

Erodibilidade do Solo de uma Encosta da Cidade de Barbalha-CE por meio do Ensaio de Inderbitzen

Antonio Jaime André da Silva

Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, Brasil, jaimeandre_bet@hotmail.com

Ana Patricia Nunes Bandeira

Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, Brasil, ana.bandeira@ufca.edu.br

Lizandra de Barros de Sousa

Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, Brasil, lizandradebarros@hotmail.com

Samuel Onofre Cavalcante

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, samueluni3@hotmail.com

RESUMO: Os processos erosivos são fenômenos que ocorrem de forma natural ou acelerada, podendo gerar áreas de risco em regiões ocupadas. As erosões podem ser as causas de deslizamentos de encostas, devido ao descalçamento da base e também podem contribuir com as inundações na planície, devido ao processo de assoreamentos de rios e canais. É o caso do município de Barbalha-CE, que vem apresentando diversas áreas sujeitas a processos erosivos. Este trabalho visa avaliar a erodibilidade do solo de uma encosta situada no Município, por meio do Ensaio de laboratório denominado Inderbitzen. Foram realizados ensaios básicos de classificação do solo e ensaios de erodibilidade. Os ensaios de Inderbitzen foram realizados com a rampa inclinada em 10° e 18°, e com vazões de 3,0 L/min, 4,5 L/min, 6,0 L/min e 7,5 L/min, em amostras indeformadas saturadas previamente. O material estudado trata-se de um solo de textura areno-argilo siltosa (SC-SM), sendo considerado de elevado potencial erosivo, segundo a classificação de Loppis Trilho (1999). O solo em estudo também apresentou uma massa específica seca máxima de 1,897 g/cm³ e uma umidade ótima de 13,7%. Através dos ensaios de Inderbitzen foi verificado que o solo erodido aumenta com a vazão e com a inclinação da rampa, e que a maior fração de perda de solo se deu no primeiro minuto de ensaio para todas as vazões e inclinações. A taxa de erodibilidade (K) obtida, considerando todas as respostas dos ensaios realizados foi de 1,6916 g/cm²/min/Pa, sendo o solo classificado como de alta erodibilidade, segundo Bastos (1999), estando de acordo com a textura do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Erodibilidade, Erosão, Inderbitzen.

1 INTRODUÇÃO

A erosão tem sido um processo cada vez mais comum e preocupante tanto nas zonas rurais quanto nas zonas urbanas. Na zona rural provoca sérios prejuízos aos agricultores e ao meio ambiente; há perdas de terra provocada pelas águas das enxurradas nas estradas e nas lavouras. Na zona urbana surgem as áreas de risco de deslizamentos, sendo o solo transportado para locais mais baixos do terreno, depositando-se no

fundo de canais.

O processo erosivo depende tanto das condições naturais quanto do uso de terra. O clima, as características da encosta, a cobertura vegetal e a natureza do solo são exemplos de condições naturais. Neste sentido é importante observar a relação do ciclo hidrológico com a erosão, pois a junção da água resultante das precipitações com as águas superficiais e subterrâneas, contribuem para o armazenamento e escoamento superficial que, por ventura, retorna à

atmosfera pela evapotranspiração.

A ação antrópica inadequada é um dos principais agravantes dos processos erosivos, podendo acelerar o fenômeno. O processo erosivo depende do potencial de erosividade da chuva e da erodibilidade do solo.

Erodibilidade é a falta de resistência do solo aos processos erosivos, sendo dependentes das características intrínsecas do solo. Como a erosão resulta do destacamento de partículas dos solos pela força hidráulica, a erodibilidade está diretamente relacionada à resistência ao cisalhamento dos solos (MASCARENHA, et. al., 2015).

Devido ao grande número de variáveis que influenciam o processo erosivo torna-se difícil sua quantificação, no entanto há diversos procedimentos de ensaios geotécnicos que fornecem indicação do potencial de erosão do solo. Dentre os ensaios mais difundidos no ramo geotécnico destacam-se: Desagregação (Slaking Test), Dispersão Rápida (Crum Test), Furo de agulha e Inderbitzen.

O ensaio Inderbitzen foi originalmente proposto por Inderbitzen (1961) e consiste em simular uma chuva com inclinação, vazão de escoamento e tempo de duração do fluxo controlados. O ensaio simula um escoamento superficial sobre um corpo de prova, onde a perda de solo é quantificada em intervalos de tempo pré-determinados, porém não simula o fenômeno da desagregação de partículas, como por exemplo, devido ao impacto da água de uma precipitação pluviométrica solos (MASCARENHA, et. al., 2015). Através desse ensaio, pode-se quantificar a erodibilidade (fator K) e avaliar o efeito da umidade inicial do solo proporcionando a erosão hídrica por fluxo superficial (LAFAYETTE, 2006).

Na Região do Cariri, no Sul do Ceará, observam-se alguns locais de encostas que apresentam fenômenos de processos erosivos. Na cidade de Barbalha, parte do relevo original de uma encosta já não existe mais e o processo erosivo continua avançando podendo gerar futuras áreas de risco. Este trabalho visa avaliar e classificar a erodibilidade do solo de uma encosta situada na cidade de Barbalha-CE, Região Metropolitana do Cariri, através do Ensaio de Inderbitzen, e contribuir com os estudos sobre processos erosivos na Região do

Cariri Cearense.

2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Barbalha está localizada no sul do Estado do Ceará, na Região do Cariri, com latitude de 7° 18' 18" S e longitude de 39° 18' 7" W, sendo situada aos pés da Chapada do Araripe (Figura 1). O município compreende 479,184 km² de área, com população de 55.323 habitantes e densidade demográfica de 115,45 hab./km². O clima de Barbalha é caracterizado como semiárido quente, se encontra nos domínios da Sub-bacia Hidrográfica do Salgado. Ademais, podem-se distinguir, em Barbalha, dois grandes domínios hidrogeológicos: rochas sedimentares e depósitos aluvionares. Possui dois tipos principais de solo: latossolo e sedimentar. A vegetação é bastante diversificada, apresentando domínios de cerradão, caatinga e cerrado (IBGE, 2010).

Para a realização deste trabalho, foi retirada uma amostra indeformada tipo bloco de uma encosta que vem apresentando processo erosivos em Barbalha. A Figura 2 apresenta o aspecto da encosta estudada.



Figura 1. Localização do Município de Barbalha.

Fonte: pt.wikipedia.org



Figura 2. a) Vista Aérea da Encosta Erodida; b) Detalhe da Vista Frontal da Encosta Estudada
Fonte: Adaptado de Google Earth (2016) e Foto UFCA.

3 METODOLOGIA DO ESTUDO

A erodibilidade do solo foi estimada por meio de ensaios de laboratório, realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Cariri. Para tal foram realizados ensaios utilizando o aparelho Inderbitzen. A metodologia utilizada neste estudo seguiu os procedimentos utilizados por Lafayette (2006).

O aparelho Inderbitzen (Figura 3) é composto por uma rampa de inclinação variável, dotada de um orifício central na parte inferior, onde é colocada a amostra de solo que é submetida a um escoamento superficial, onde o fluxo do líquido deve ter vazão controlada. Por meio da realização deste ensaio pode-se medir a perda de solo da amostra.

Para a realização deste trabalho, o aparelho utilizado foi constituído de uma rampa metálica de 1,2 m de comprimento por 0,2 m de largura e de um orifício circular com 0,1 m de diâmetro, e altura variável, pois o recipiente da amostra permite regular a altura conforme a quantidade de ensaios a serem realizados. Durante a realização do ensaio o fluxo de água foi alimentado através de uma rede hidráulica e controlado por meio de um registro. A amostra de solo foi posicionada no equipamento de tal forma que a sua superfície fique no mesmo

nível que a rampa. O sistema de coleta do material erodido foi feito por um conjunto de baldes.



Figura 3. Aparelho de Inderbitzen.

Com relação às variáveis do processo metodológico, foi realizado o ensaio com as seguintes especificações:

- Inclinação da rampa: 10° e 18°;
- Vazões: 3L/min, 4,5L/min, 6L/min e 7,5L/min;
- Condições de umidade da amostra: inundada

Para a realização do ensaio foram executadas seis principais etapas, que estão descritas a seguir:

a) Moldagem do corpo de prova: moldou-se um

corpo de prova da amostra indeformada com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura;

b) Inundação do corpo de prova: o solo foi posicionado dentro do cilindro e em seguida inundado por um período de uma hora;

c) Estabilização de uma determinada vazão: a rampa hidráulica foi umedecida e a vazão foi estabelecida para o ensaio. Realizou-se a determinação da vazão por meio da medida do volume de água que escoou em um determinado tempo, utilizando-se para isso uma proveta e um cronômetro.

d) Posicionamento do corpo de prova na rampa: após a estabilização da vazão a amostra de solo foi posicionada no equipamento de tal forma que a sua superfície coincidisse com o nível da rampa, mas com o cuidado de impedir que o fluxo hídrico percorresse a superfície da amostra antes do início da coleta de solo e da contagem do tempo;

e) Coleta de solo erodido: O sistema de coleta do material erodido foi realizado por um conjunto de baldes. Para cada intervalo de tempo foi posicionado um balde. Nos tempos de 1 min, 5 min, 10 min e 20 min de ensaio, os sedimentos foram recolhidos e colocados em estufa durante 24h, para secagem e determinação do peso seco.

f) Realização do ensaio com outras vazões: após a realização do ensaio de Inderbitzen com uma determinada vazão, parte do corpo de prova era extraído do cilindro para então ser regularizado na superfície da rampa e posteriormente ser ensaiado com outra vazão.

As etapas especificadas anteriormente foram realizadas para diferentes vazões e inclinações. Após a realização dos ensaios, os valores obtidos foram plotados no gráfico Tensão Cisalhante versus Perda do solo (por unidade de área e tempo de ensaio). A tensão cisalhante é obtida através da Equação 1:

$$\tau h = \gamma_w * h * d \quad (1)$$

Onde:

γ_w - peso específico da água (kN/m³);

h - altura da lâmina de fluxo (m);

d - declividade da rampa em (m/m);

A altura da lâmina de água pode ser estimada a partir da velocidade de escoamento

utilizando-se um corante no fluxo hídrico e o tempo necessário para o mesmo percorrer o canal. Utilizando-se a vazão (m³/s), a velocidade (m/s) e a largura do canal (m) e aplicando na Equação 2, da continuidade de Mecânica dos Fluidos, encontra-se a altura da lâmina do fluxo (m). Matematicamente, a expressão pode ser apresentada conforme a Equação 3:

$$Q = A * \omega \quad (2)$$

$$Q = (l * h) * \omega \quad (3)$$

Onde:

Q - vazão (m³/s);

A - área de seção do fluido (m²);

ω - velocidade do escoamento (m/s);

l - largura do canal (m);

h - altura da lâmina de fluxo (m);

A partir do gráfico Tensão Cisalhante versus Perda do solo é obtido o fator K (erodibilidade), sendo este o valor do coeficiente angular da equação da reta que melhor ajuste os pontos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O solo estudado apresenta textura de predominância arenosa (figura 4), com limite de liquidez igual a 23% (figura 5) e limite de plasticidade igual a 17%, resultando em um índice de plasticidade de 6,0%, sendo classificado como areia-argilosa/areia-siltosa (SC-SM), dando indícios de solo de elevado potencial erosivo, segundo a classificação de Lloppis Trilho (1999).

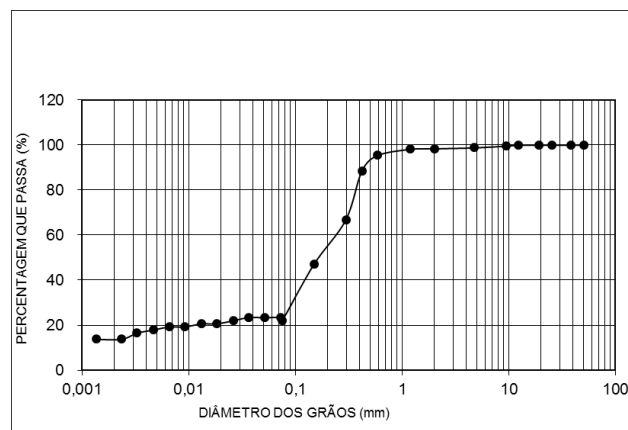


Figura 4. Curva granulométrica.

Com relação aos ensaios de Inderbitzen, realizados nas vazões de 3,0 L/min, 4,5 L/min, 6,0 L/min e 7,5 L/min, as Figura 6 e 7 apresentam os resultados, com as curvas Perda de solo *versus* Tempo, para as inclinações de 10° e 18°, respectivamente.

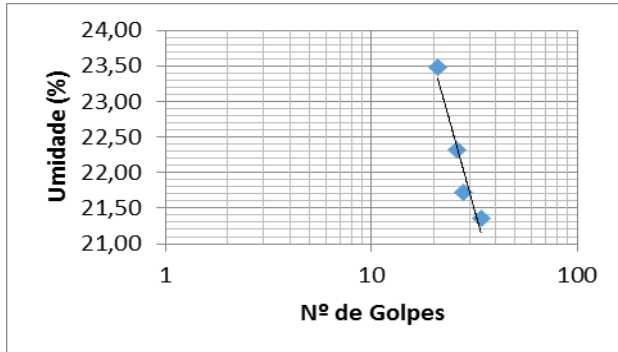


Figura 5. Limite de liquidez.

Observa-se nas Figuras 6 e 7 que o solo erodido aumenta com a vazão e que a maior fração de perda de solo se deu no primeiro minuto de ensaio para todas as vazões e inclinações.

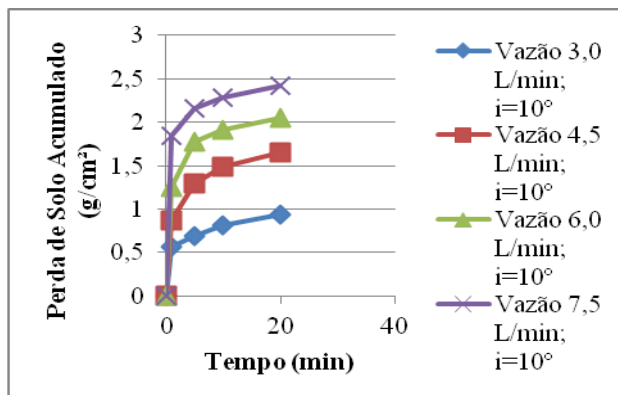


Figura 6. Curva de perda de solo por tempo de ensaio para a inclinação de 10°.

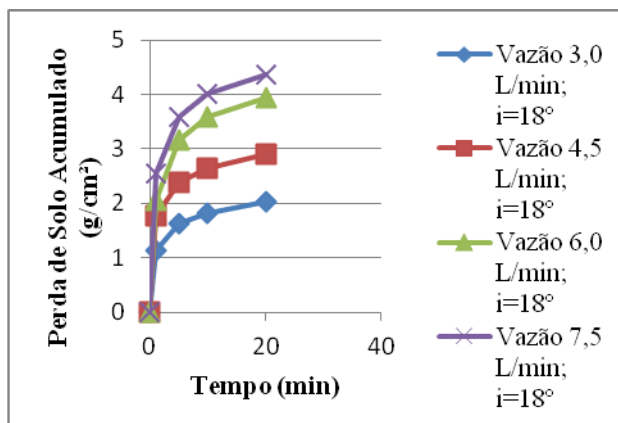


Figura 7. Curva de perda de solo por tempo de ensaio para a inclinação de 18°.

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos nos somatórios da perda de solo seco por área, de cada vazão, e as tensões de cisalhamento hidráulico para a inclinação de 10°. A Figura 8 representa graficamente estes dados.

Tabela 1 - Peso seco erodido acumulado e a Tensão cisalhante hidráulica para a inclinação de 10°.

Vazão (L/min)	Peso seco Acumulado (g/cm²/min)	Tensão de Cisalhamento Hidráulico (Pa)
3,0	0,9431	0,8477
4,5	1,6472	1,0665
6,0	2,0538	1,2965
7,5	2,4227	1,5306

Traçando a linha de tendência dos pontos e exibindo a equação linear da reta, observa-se na Figura 8 que o valor da taxa de erodibilidade (K) é igual a 2,1205 (g/cm²/min/Pa), correspondendo a um solo de alta erodibilidade segundo Bastos (1999).

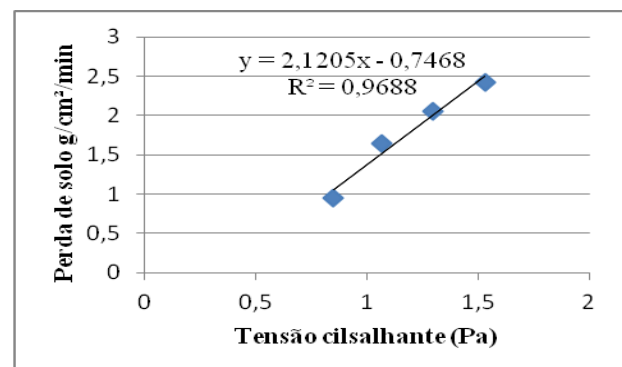


Figura 8 - Perda de solo por tensão cisalhante para a inclinação de 10°.

A Tabela 2 apresenta os dados obtidos dos somatórios da perda de solo seco por área, de cada vazão, e as tensões de cisalhamento hidráulico para a inclinação de 18°. A Figura 9 representa graficamente estes dados.

Tabela 2 - Peso seco erodido acumulado e a Tensão cisalhante hidráulica para a inclinação de 18°.

Vazão (L/min)	Peso seco Acumulado (g/cm²/min)	Tensão de Cisalhamento Hidráulico (Pa)
3,0	2,0279	1,5621
4,5	2,9051	1,9652
6,0	3,9336	2,3891
7,5	4,3578	2,8205

Traçando a linha de tendência dos pontos e exibindo a equação linear da reta, observa-se na Figura 9 que o valor da taxa de erodibilidade (K) é igual a 1,9061 (g/cm²/min/Pa), correspondendo a um solo de alta erodibilidade segundo Bastos (1999).

A Figura 10 mostra a linha de tendência formada por todos os pontos das inclinações de 10° e 18°, e exibe a equação linear da reta para esses pontos. Observa-se na Figura 10 que o valor da taxa de erodibilidade (K) é igual 1,6916 (g/cm²/min/Pa), correspondendo a um solo de alta erodibilidade segundo Bastos (1999).

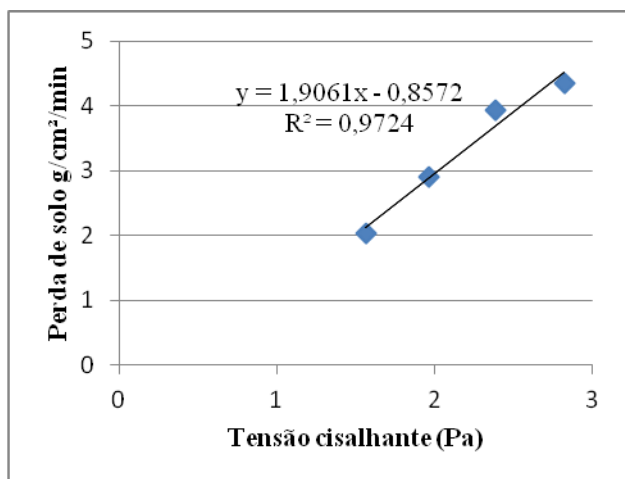


Figura 9 - Perda de solo por tensão cisalhante para a inclinação de 18°.

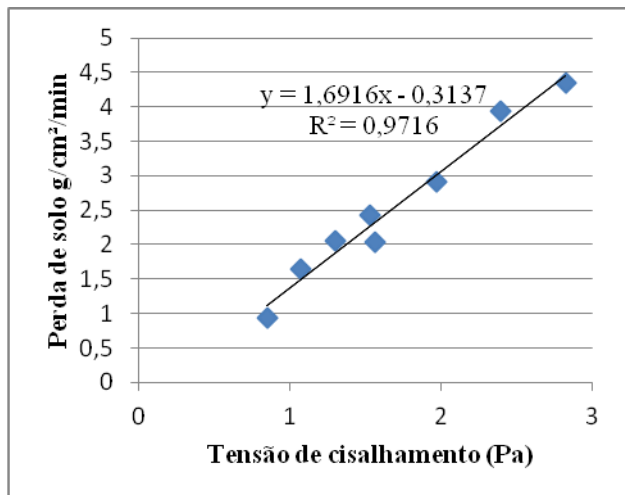


Figura 10 - Perda de solo por tensão cisalhante para as inclinações de 10° e 18°.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados encontrados concluiu-se que os fatores naturais da erosão do local de

estudo de fato contribuíram para a ocorrência do processo erosivo, no entanto o fator antrópico, através de práticas inadequadas, tem intensificado o processo.

O ensaio de Inderbitzen permitiu avaliar o potencial erosivo do solo estudado por meio de um fluxo hídrico. A erodibilidade para o solo inundado foi de 1,6916 (g/cm²/min/Pa), o que representa um alto potencial de erosão, coerente com o tipo de solo ensaiado (SC-SM). Segundo Llopis Trillo (1999), este tipo de solo está entre os mais erodíveis, tornando a encosta em questão mais propensa a processos erosivos.

A ausência de conscientização e de obediência às normas de Política Ambiental também tem contribuído para o problema. Este estudo serve de orientação para outras áreas do município e da Região do Cariri, destacando que as erosões geram degradação ambiental, ecológica, social e econômica, sendo necessário um olhar mais atento por parte da população e dos gestores públicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Cariri, através do Laboratório de Mecânica dos Solos, pela contribuição essencial para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, C. A. B. *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Tese de Doutorado, UFRGS, PortoAlegre, 296p. 1999.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Populacional 2010*. Disponível em < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=230190>>. Consultado em 11 de dezembro de 2010.
- INDERBITZEN, A. L. *An erosion test for soils. Materials Research e Standards*, Philadelphia, v. 1, n. 7, p. 553-554, 1961.
- LAFAYETTE, K. P. V. *Estudo Geológico – Geotécnico Do Processo Erosivo Em Encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti - Cabo de Santo Agostinho/PE*. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2006.
- LLOPIS TRILHO, G. *Control de la Erosión y Obras de Desague. Manual de Estabilizacion y Revegetación de Taludes*. Madri, Entorno Grafico S. L., 1999.
- MASCARENHA, M. M. A.; MAHLER, C. F.;

LAFAYETTE, K. P. V; NACINOVIC, M. G. G.; BANDEIRA, A. P. N.; ALMEIDA, J. G. R. Erosão. In: *Solos não saturados no contexto geotécnico* / José Camapum de Carvalho ... [et.al.] orgs.. – São Paulo : Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015. xxxvi, 759 p.