

**Erodibilidade de Solos Residuais de Feição Erosiva e Mecanismo de Propagação****Erodibility of Erosive Feature Residual Soils and Propagation Mechanism**

DOI:10.34117/bjdv5n12-175

Recebimento dos originais: 10/11/2019

Aceitação para publicação: 12/12/2019

**Lucas Henrique Vieira**

Graduado em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Rua Horácio Macedo, 2030 – Cidade universitária, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

E-mail: lucas.vieira@coc.ufrj.br

**Tatiana Tavares Rodriguez**

Doutora em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de Juiz de Fora

Endereço: Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, Juiz de Fora – MG, Brasil.

E-mail: tatiana.rodriguez.tr@gmail.com

**Maria Fernanda Wamser Barra**

Graduada em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Rua Horácio Macedo, 2030 – Cidade universitária, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

E-mail: maria.barra@coc.ufrj.br

**RESUMO**

A erodibilidade é a suscetibilidade dos solos à erosão, podendo ser determinada de maneira direta ou indireta por ensaios de laboratório e/ou campo. Esses ensaios são utilizados na busca da identificação do mecanismo relacionado à formação e propagação da feição erosiva. Este trabalho tem como objetivo principal analisar a erodibilidade dos solos residuais presentes nas paredes de uma feição erosiva, através de ensaios de laboratório, buscando identificar o seu mecanismo de propagação. Os solos residuais analisados foram retirados das paredes da feição erosiva existente no bairro Salvaterra em Juiz de Fora – MG. O programa experimental contou com ensaios de Pinhole e Inderbitzen sobre amostras indeformadas. Segundo os ensaios de Pinhole, o solo foi classificado como não dispersivo e, no ensaio de Inderbitzen, os valores encontrados para a medida de erosão oscilaram de 0,59 g/cm<sup>2</sup> a 5,42 g/cm<sup>2</sup>. Quanto ao mecanismo de erosão no local, concluiu-se que a feição erosiva está submetida à erosão superficial sem influência de piping.

**Palavras-Chave:** Erodibilidade, Solo Residual, Feição Erosiva, Inderbitzen, Pinhole.

**ABSTRACT**

Erodibility is the susceptibility of soils to erosion and can be directly or indirectly determined by laboratory and / or field trials. These assays are used to identify the mechanism related to erosive feature formation and propagation. This work has as main objective to analyze the erodibility of the residual soils present in the walls of an erosive feature, through laboratory tests, trying to identify its propagation mechanism. The residual soils analyzed were taken from the walls of the erosive feature in the Salvaterra neighborhood in Juiz de Fora - MG. The experimental program included Pinhole and Inderbitzen tests on undisturbed samples. According to Pinhole tests, the soil was classified as non-dispersive and, in the Inderbitzen test, the values found for the erosion measurement ranged from 0.59 g / cm<sup>2</sup> to 5.42 g / cm<sup>2</sup>. Regarding the erosion mechanism at the site, it was concluded that the erosive feature is subjected to surface erosion without the influence of piping.

**keywords:** Erodibility, Residual Soil, Erosive Feature, Inderbitzen, Pinhole.

**1 INTRODUÇÃO**

Erosão pode ser definida como o processo mecânico de destruição e remoção do solo por água, sendo conhecida como erosão hídrica. Quando existe um fluxo concentrado formando canais de diferentes profundidades, pode-se classificar a erosão hídrica como erosão linear. Com o aumento da velocidade de percolação de água esses canais podem se tornar sulcos, ravinas e voçorocas (ABNT, 1995; BRITO, 2012).

Segundo Veloso (2002), os dois principais fatores que aceleram o processo de erosão são: as taxas de Erosividade e de Erodibilidade. A erodibilidade é a vulnerabilidade do solo à erosão, este fator é função das características físicas do solo e do seu manejo, podendo ser determinada de maneira direta ou indireta por ensaios de laboratório e/ou campo.

Por se tratar de um fenômeno natural que ocorre na faixa mais externa da superfície terrestre, a erosão tem a atividade antrópica como um dos fatores intensificadores de sua evolução. Além deste, o potencial erosivo da chuva incidente no local, as condições de infiltração e escoamento superficial, a declividade e a extensão da encosta são exemplos de fatores que influenciam diretamente nesta evolução (LIMA, 2003; CAMAPUM et al., 2006).

Segundo Lima (2003) quando a erosão é causada pela chuva, pode-se apresentar em quatro diferentes feições: laminar, em sulcos, em ravinas e em voçorocas.

Moraes Silva (2000) separa a erosão hídrica em superficial e interna (ou subterrânea), sendo que a superficial se subdivide seguindo a mesma classificação feita por Lima (2003) e a interna é caracterizada pela ação do nível de água.

A erosão interna, também chamada de *piping* consiste em um processo de carreamento de partículas que resulta na formação de um canal, ou “tubo”, por meio do qual o fluxo percola, com vazões consideráveis de forma contínua entre a porção de montante e jusante do maciço, podendo conduzir à formação de fendas e até à ruptura do maciço (PEREIRA, 2019).

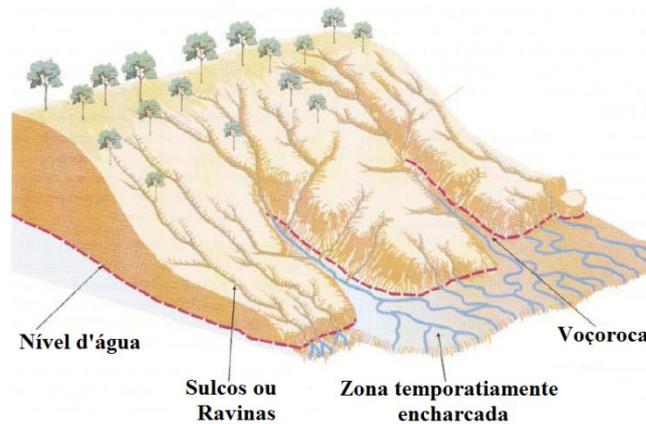


Figura 1. Morfologia das feições erosivas (Modificado de KARMANN, 2003).

Os mecanismos de formação e propagação de feições erosivas podem ocorrer tanto em solos transportados quanto em solos residuais.

Os solos residuais são subdivididos em horizontes que se dispõem sequencialmente a partir da superfície. A transição entre um horizonte e o outro é gradativa de modo que a separação entre eles pode ser aleatória. Não existe um contato ou limite direto e brusco entre o solo e a rocha que o originou. Esses horizontes se classificam de acordo com a intensidade do intemperismo existente, sendo eles: solo residual maduro; solo residual jovem ou solo saprolítico; blocos em material alterado. Dizer qual o autor fonte.

Os solos residuais maduros perderam toda a estrutura original da rocha mãe e tornaram-se relativamente homogêneos. Os solos residuais jovens mantêm a estrutura original da rocha mãe, inclusive fissuras, veios intrusivos e foliações. O material tem aparência de rocha alterada, porém se desmancha com a pressão dos dedos (MACHADO, 2013).

Na cidade de Juiz de Fora, onde predominam os solos residuais, Rocha *et al.* (2003) identificaram vários problemas relacionados a erosão e movimentos de massa devido à urbanização acelerada. O bairro Salvaterra em Juiz de Fora apresenta vários problemas de erosão, em especial a feição erosiva estudada neste trabalho, onde havia dúvidas quanto ao seu mecanismo de propagação (erosão por chuva ou por piping).

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar a erodibilidade dos solos residuais presentes nas paredes da feição erosiva do bairro Salvaterra, através de ensaios de laboratório, buscando identificar o seu mecanismo de propagação.

## 2 MATERIAIS

A feição erosiva está situada na região do bairro Salvaterra, Avenida Deusdedith Salgado em Juiz de Fora - MG, a cerca de 3,0 km da BR – 040. Os solos das paredes da feição foram denominados P3, P4 e P5 (Figura 2).

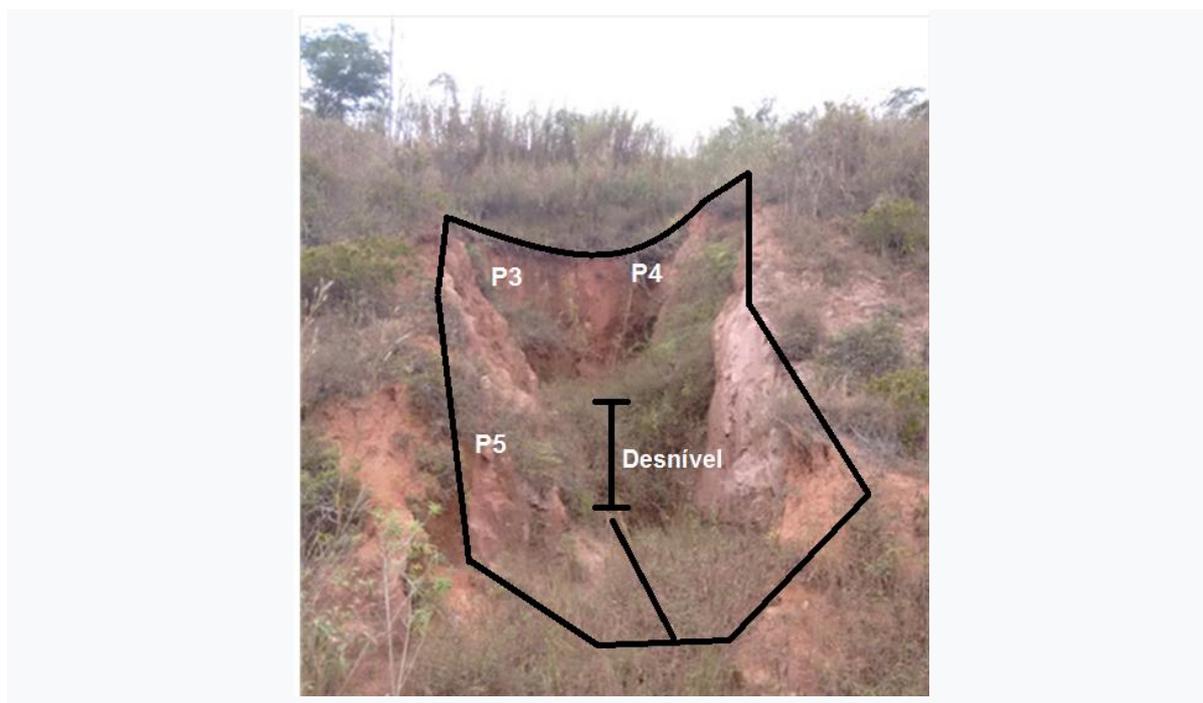


Figura 2. Vista frontal da feição erosiva.

A caracterização física dos solos analisados nesta pesquisa foi feita por Rodriguez *et al.* (2016), em projeto de pesquisa sobre erodibilidade de solos, e consta da Tabela 1.

Tabela 1. Dados da caracterização física (Rodriguez *et al.*, 2016).

| Solo | Granulometria com defloculante (%) |       |       |        | Classificação |
|------|------------------------------------|-------|-------|--------|---------------|
|      | Pedregulho                         | Areia | Silte | Argila |               |
| P3   | 1                                  | 23    | 71    | 5      | Silte Arenoso |
| P4   | 1                                  | 24    | 68    | 7      | Silte Arenoso |
| P5   | 0                                  | 61    | 37    | 3      | Areia Siltosa |

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 COLETA DE AMOSTRAS

As amostras para o ensaio de Pinhole foram coletadas conforme ilustra a Figura 3, os corpos de prova resultantes apresentaram 5,30 cm de diâmetro e 5,00 cm de altura.

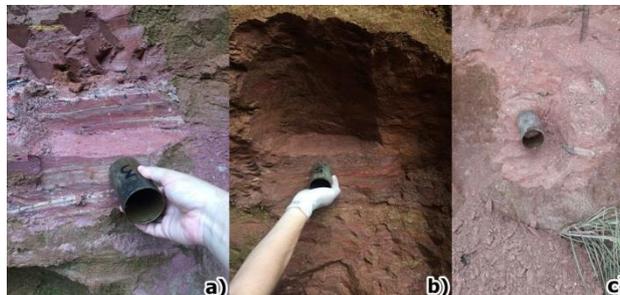


Figura 3. Coleta de amostras para o ensaio de Pinhole: a)P3 b)P4 e c)P5.

Para o ensaio de Inderbitzen foram coletados blocos inderfomados e, em laboratório, os corpos de prova foram moldados de forma a manter as dimensões padrão, sendo elas 10,0 cm de lado e 3,0 cm de espessura. Na Figura 4 é apresentado um exemplo de corpo de prova utilizado neste ensaio.



Figura 4. Corpo de prova pronto para ser ensaiado no Inderbitzen.

#### 3.2 INDERBITZEN

O equipamento de Inderbitzen foi montado tomando por base o sugerido em Grandó (2011). Para o presente trabalho foram mantidos os 20 cm de distância entre a origem do gotejamento e a amostra e feitas as seguintes alterações: inclinação da rampa de 35°, corpos de prova quadrados com lados em torno de 10,0 cm e espessura de 3,0 cm, vazão adotada de

50 ml/s e tempo total de ensaio de 30 minutos com coletas nos tempos de (1, 3, 5, 9, 15 e 30) minutos. Detalhes do equipamento estão expostos na Figura 5.



Figura 5. Equipamento de Inderbitzen: a) vista frontal b) vista lateral.

Após coleta, o material foi deixado em repouso para sedimentação das partículas e posterior retirada do excesso de água por sifonamento. Por fim, o material foi colocado em cápsulas e levado para a estufa para secagem. Após 24 horas, o material foi pesado para obtenção da massa seca erodida ( $P_s$ ) em cada intervalo de tempo. Essas massas, quando relacionadas com a área superficial do corpo de prova ( $A$ ) em contato com o gotejamento, fornecem o dados suficientes para a construção de gráficos que representam a evolução da erosão com o decorrer do tempo de ensaio. Essa evolução é chamada medida de erosão ( $E$ ) e é calculada pela Equação 1, segerida por Lemos (2002).

$$E = \frac{P_s}{A} \quad (1)$$

O DNER (1979) *apud* Fragassi (2001) desenvolveu um equipamento de Inderbitzen e realizou mais de 50 ensaios em solos residuais de gnaisse que apresentaram resultados que permitiram uma boa correlação entre o que foi observado no campo e o medido no laboratório. Além disso, apresentou faixas de classificação de acordo com a velocidade de erosão ( $V_e$ ) para vazão de 314 cm<sup>3</sup>/seg. Fragassi (2001) realizou estudo semelhante para a vazão de 25 cm<sup>3</sup>/seg. obtendo outras faixas de classificação. Para o presente trabalho, como a vazão de ensaio foi de 50 cm<sup>3</sup>/seg, optou-se por interpolar os valores encontrados por Fragassi (2001) e

DNER (1979) obtendo-se as faixas de classificação apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Velocidade de erosão (g/cm<sup>2</sup>/h).

| Faixa           | A        | B           | C      |
|-----------------|----------|-------------|--------|
| DNER (1979)     | 0 - 7,0  | 7,0 - 50,0  | > 50,0 |
| FRAGASSI (2001) | 0 - 0,8  | 0,8 - 25,0  | > 25,0 |
| AUTORES         | 0 - 1,35 | 1,35 - 27,0 | > 27,0 |

Onde a Faixa A é a mais resistente à erosão e a Faixa C a menos resistente.

### 3.3 PINHOLE

Para o ensaio de furo de agulha ou *Pinhole Test* (classificação quanto à dispersibilidade), o método utilizado seguiu os procedimentos da norma ABNT (1998) apresentando pequenas alterações, tais como: dimensões do cilindro em torno de 5,30 cm de diâmetro e 5,00 cm de altura e uso de amostra indeformada. O procedimento consiste na aplicação crescente de estágios de carga hidráulica (2, 7, 15 e 40 polegadas), simultânea verificação da coloração do efluente e aferição da vazão de saída. O tempo de duração de cada estágio e os critérios para finalização do ensaio dependem dos resultados encontrados no decorrer do mesmo. Ao final do ensaio, os solos são classificados quanto à dispersibilidade em seis categorias: ND1 e ND2, não dispersivos à incipientemente dispersivos; ND3 e ND4, leve a moderadamente dispersivos e D1 e D2, dispersivos e altamente dispersivos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 INDERBITZEN

Para o ensaio de Indebitzen um corpo de prova de cada solo foi submetido ao chuveiramento. Para exemplificar os estágios atingidos durante o ensaio é apresentada a Figura 8, para o solo P4. Aos 3 minutos do início da realização do ensaio (b) a amostra apresentou fraturamento na direção da foliação do solo. Aos 11 minutos (c) outras regiões da amostra se soltaram com impacto das gotas. No final do ensaio (d) parte da amostra ainda se manteve sobre a grade de apoio.



Figura 6. Etapas do ensaio de Inderbitzen para o P4: a) Início do ensaio, b) 3 minutos, c) 11 minutos, d) Final do ensaio.

Após todos os ensaios feitos, foram plotados os gráficos apresentados da Figura 7 à Figura 9. Os gráficos foram gerados com base na Equação 1 (Medida de Erosão – E) e no tempo em que foi coletado o material erodido. Para cada amostra foi plotada uma curva com valores acumulados (E–Acumulado) e outra com valores simples, sem acumular as massas do material (E–Simples). Nos ensaios em que a última leitura ocorreu antes dos 30 minutos finais foi atribuído ao E-Simples referente à leitura subsequente o valor 0 (zero), para que assim, a visualização do valor em que ocorreu a estabilização da medida de erosão (E) fosse melhor identificada.

Na Figura 7 é apresentado o gráfico que representa o avanço da perda de material para o corpo de prova ensaiado para o P3. Nota-se que a estabilização ocorreu aos 15 minutos de ensaio com E igual a 5,16 g/cm<sup>2</sup>.

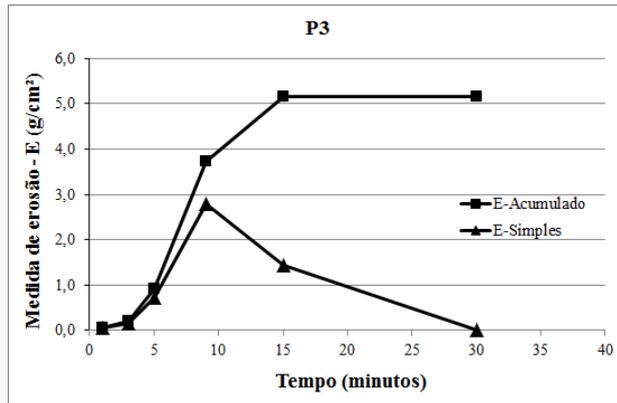
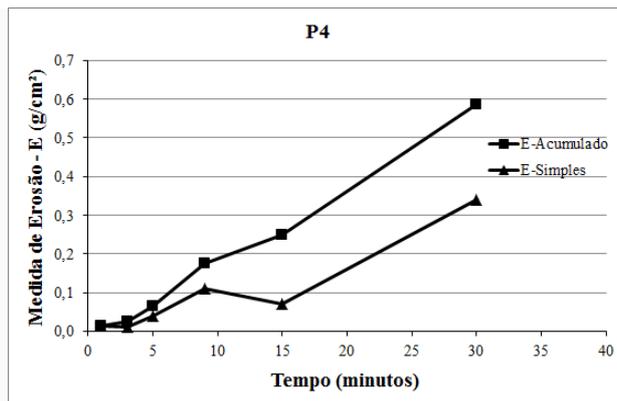


Figura 7. Medida de erosão *versus* Tempo para P3.

Na Figura 8 é apresentado o gráfico que representa o avanço da perda de material para o corpo de prova ensaiado para o P4. Nota-se que a estabilização não ocorreu, caracterizando-o, como menos erodível em relação aos outros. O maior valor de E alcançado foi de 0,59 g/cm<sup>2</sup>.



Para o P5 a quantidade de material erodido nas últimas leituras foi bem inferior às iniciais, contribuindo para a estabilização ocorrer em E igual a 5,42 g/cm<sup>2</sup>. (Figura 9).

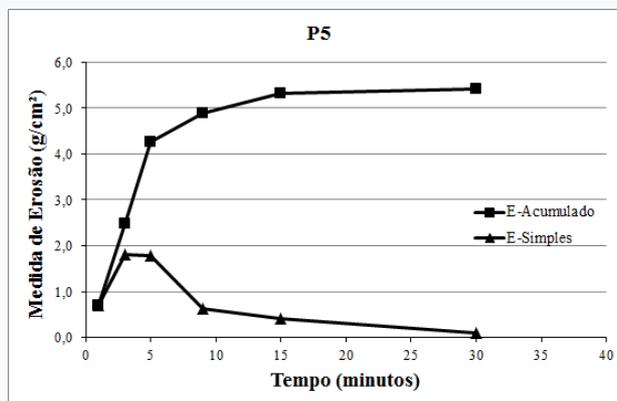


Figura 8. Medida de Erosão *versus* Tempo para o P5.

Para uma visualização geral dos resultados obtidos, é apresentada a Tabela 3. Nela pode-se perceber que o P4 mostrou comportamento erodível inferior aos demais perfis – a perda de material erodido por unidade de área durante o ensaio obtido para o P4 foi bem inferior ao obtido para o P3 e P5.

Tabela 3. Resumo dos resultados para o ensaio de Inderbitzen.

| Amostra | E (g/cm <sup>2</sup> ) | Ve (g/cm <sup>2</sup> /h) |
|---------|------------------------|---------------------------|
| P3      | 5,16                   | 24,79                     |
| P4      | 0,59                   | 1,17                      |
| P5      | 5,42                   | 51,21                     |

Com o intuito de comparar os valores encontrados com as faixas de classificação propostas nesta pesquisa, foram plotadas em um gráfico, curvas obtidas para cada perfil da velocidade de erosão (Ve) por tempo de ensaio (Figura 10). Nele é possível observar que, para todos os perfis, a erosão atingiu maior velocidade de erosão antes dos 15 minutos de ensaio, tendo os valores de pico variando de 51,2 g/cm<sup>2</sup>/h para o P5 a 1,2 g/cm<sup>2</sup>/h para o P4.

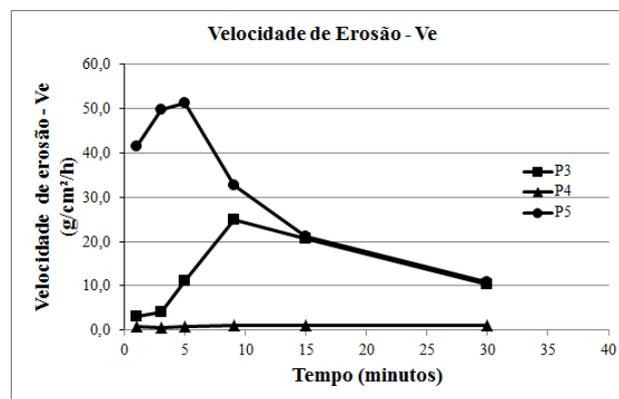


Figura 9. Gráfico conjunto da velocidade de erosão *versus* tempo.

Pela classificação proposta, obtiveram-se os seguintes resultados: o solo P3 foi classificado dentro da FAIXA B, o solo P4 classificado como pertencente à FAIXA A e solo P5 na FAIXA C. Estes resultados são coerentes com o que acontece em campo, dado que o P4, que apresentou menores valores de velocidade, encontra-se na região menos afetada da feição erosiva.

## 4.2 PINHOLE

Para cada perfil de solo foram ensaiados dois corpos de prova, denominados AM1 e AM2. Na Figura 11 são apresentados em detalhe alguns dos corpos de prova correspondentes a cada perfil.

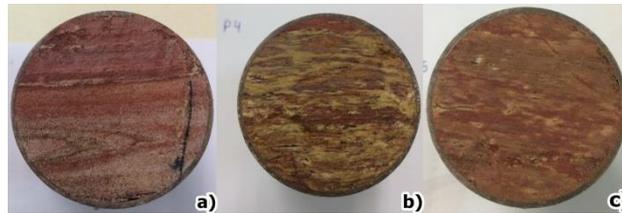


Figura 10. Detalhes dos corpos de prova para ensaio: a)P3, b)P4 e c)P5.

Para todos os solos o efluente não apresentou nenhuma turbidez, independente da carga hidráulica aplicada. Em relação às vazões, foram construídos gráficos (Figura 12 a Figura 14) para que fossem mais bem visualizadas as diferenças existentes entre as vazões da etapa de carga (C) e descarga (D) do ensaio.

O gráfico da Figura 12 mostra que, nas duas amostras coletadas no perfil 3 (P3), não houve grandes mudanças entre as vazões das etapas de carga e descarga do ensaio. Fato este justificado pela baixa alteração no diâmetro do furo, o que indica baixos níveis de dispersibilidade para este solo.

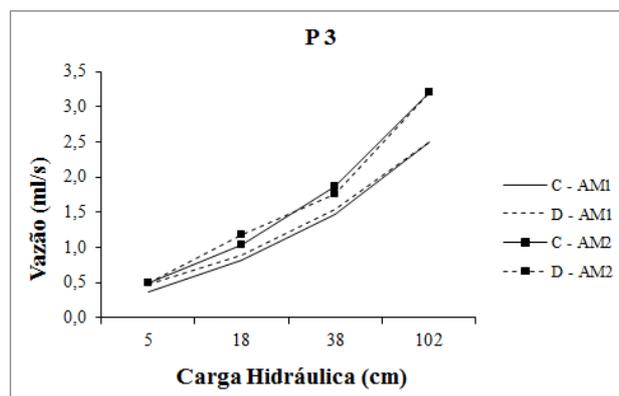


Figura 11. Gráfico do ensaio de pinhole para o P3.

O gráfico da Figura 13 mostra que, na segunda amostra do solo do perfil 4 (P4) ensaiada, houve uma variação entre as vazões das etapas de carga e descarga do ensaio (vazão

de retorno maior que a vazão inicial). Fato este, justificado pelo aumento na dimensão do diâmetro do furo, mas que ainda assim, não classifica o solo como dispersivo .

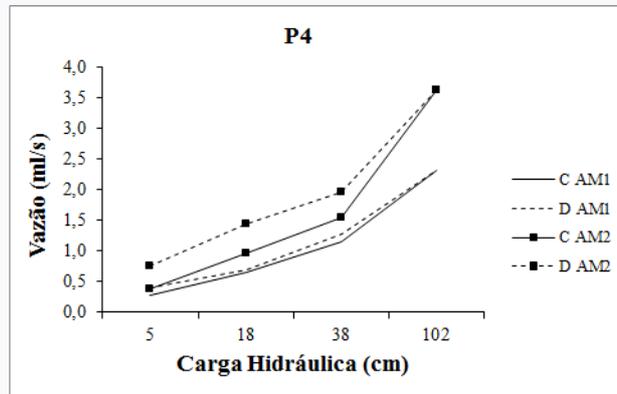


Figura 12. Gráfico do ensaio de pinhole para o P4.

Na Figura 14 estão apresentados os gráficos gerados a partir dos dados obtidos no ensaio para o perfil 5 (P5). Nota-se que as vazões de carga e descarga para a segunda amostra não apresentou grandes variações, ao contrário do que aconteceu a amostra AM1, em que para as cargas entre 18 cm e 38 cm apresentou uma alteração maior.

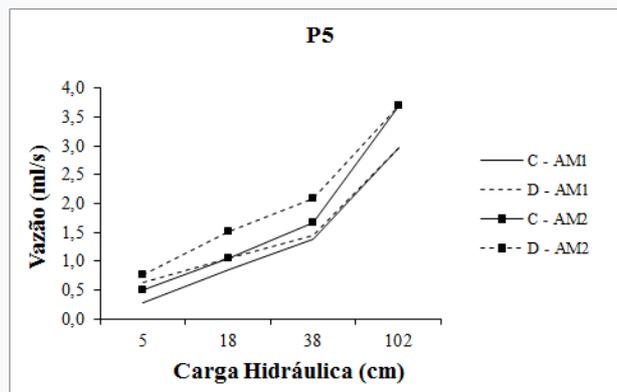


Figura 13. Gráfico do ensaio de pinhole para o P5.

Através de uma análise dos dados dos ensaios, tanto os realizados os solos se classificam como ND1 – Não dispersivos (sem carreamento de partículas, vazões menores que  $5,0 \text{ cm}^3/\text{s}$  e o diâmetro final do furo não é sensivelmente maior que o diâmetro do furo da agulha).

**5 CONCLUSÕES**

Comparando-se os resultados obtidos para o ensaio de Pinhole (ND1 - Não Dispersivo) com a quantidade de argila (material dispersivo) presente no solo estudado, pode-se dizer que a erosão interna (piping) não ocorre no local, sendo predominante a ocorrência de erosão superficial (por chuva) como observado durante os ensaios de Inderbitzen. Além disso, concluiu-se que a propagação da voçoroca ocorre nos solos P3 e P5 que são os que indicaram maiores taxas de erosão.

Com o intuito de estabilizar a erosão superficial existente, sugere-se o uso de técnicas como: i) concreto projetado, método prático que permite ser empregado em áreas de difícil acesso e regularização como o caso estudado; ii) geomantas, que é um método de proteção baseado na cobertura vegetal, capaz de reduzir o impacto das gotas de chuva e o desprendimento de partículas durante o escoamento.

**REFERÊNCIAS**

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas (1998) NBR 14114 - Solo - Solos argilosos dispersivos - *Identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (pinhole test)*. Rio de Janeiro, RJ, BR. 8 p.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1995) NBR 6502 - *Rochas e solos*. Rio de Janeiro, RJ, BR. 18 p.

Brito, A. de O. B. (2012) *Estudos da erosão no ambiente urbano, visando planejamento e controle ambiental no Distrito Federal*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 78 p.

Camapum De Carvalho, J; Sales, M.M.; Souza, N.M.; Melo. M.T.S. (2006) (Org.). *Processos erosivos no centro-oeste brasileiro*. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 464 p.

DNER – Departamento Nacional De Estradas De Rodagem (1979). *Pesquisa de Estabilidade de Taludes: Recomendação Para Proteção de Taludes Contra Erosão*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Fragassi, P. F. M. (2001) *Estudo da Erodibilidade dos solos Residuais de Gnaisse da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Universidade Federal

de Viçosa, Viçosa, 136 p.

Grando, A. (2011) *Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 175 p.

Karmann, I. (2003) *Ciclo da água, a água subterrânea e sua ação geológica*. In: Teixeira, W; Toledo, M. C.; Fairchild, T.; Taioli, F. Decifrando a Terra. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos, cap. 7.

Lemos, C. F. de. (2002) *Avaliação da erosão superficial em áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional, utilizando o aparelho de Inderbitzen*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 97 p.

Lima, M. C. (2003) *Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas*. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 336 p.

Machado, K. M. (2013) *Retroanálise de um deslizamento de encosta em solo residual no município de Nova Friburgo - RJ*. Projeto de graduação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 63 p.

Moraes Silva, T. R. (2000) *Caracterização e erodibilidade dos solos de uma voçoroca na região de Ouro Preto, Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 106 p.

Pereira, L. M. M. (2019). *Avaliação das condições de manutenção e segurança de barragens no interior do estado do Rio Grande do Norte*. / Lucas Mazullo Mascarenhas Pereira. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 75 p.

Rocha, G. C.; Latuf, M. De O.; Carmo, L. F. Z. do. (2003) Mapeamento de riscos ambientais à escorregamentos na área urbana de Juiz de Fora, MG, *Geografia*, Vol. 12, p. 509-516.

Rodriguez, T. T.; Vieira, L. H.; Ferreira, L. L. (2016) *Estudo Da Erodibilidade De Solos De Juiz De Fora Por Ensaios Geotécnicos*. Relatório De Pesquisa - Universidade Federal De Juiz De Fora, Juiz De Fora, Mg, 34 p.

Veloso, A. J. G. (2002) *Importância dos estudos das vertentes*. – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.

