

AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO DE UM PROCESSO EROSIVO NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL/ RS

Ceccato, H.D¹, Miranda, M.G², Feltrin, R.M³, Nummer, A.V⁴

Resumo – A erosão trata-se de um fenômeno natural que age continuamente na superfície terrestre, sendo o responsável pela paisagem. No entanto, quando ocorre de forma desordenada, sendo afetada pela ação antrópica, pode vir a gerar problemas até para a sociedade, podendo citar quando ocorre em estradas vicinais. A erodibilidade remete a uma propriedade condicionada dos processos erosivos e pode ser definida como a maior ou menor facilidade com que um solo é erodido. A área da antiga estrada de acesso a Cascata do Salso situada no município de Caçapava do Sul – RS há anos vem sofrendo processos de erosão. Desde então, seu acesso vem sendo limitado ao tráfego de carros. A proposta deste trabalho consiste em avaliar a extensão da erosão provocada tanto por fatores antropólogos quanto de forma natural. O presente trabalho consistiu em avaliação de campo e realização de ensaios de investigação que permitem avaliar indiretamente e diretamente a erodibilidade do solo. Portanto, em laboratório foi realizado ensaio de Inderbitzen, levando em consideração o grau de declividade da estrada (12°), bem como, ensaio desagregação, ambos permitem avaliar a erodibilidade. Face esse panorama, o ensaio de desagregação comprovou que independente da condição da amostra ensaiada (i.e., natural ou seca ao ar por 72 horas), a desagregação ocorreu nas primeiras horas de ensaio. Por conseguinte, para as três condições de umidade submetida ao ensaio de Inderbitzen (i.e., natural, seca ao ar por 72 horas e saturada por 24 horas), as amostras foram classificadas como alta erodibilidade.

Abstract – Erosion consists of a natural phenomenon that acts continuously on the Earth's surface, being responsible for the landscape. However, when it occurs in a disorderly manner, being affected by anthropic action, it can cause problems even for society, and it can be mentioned when it occurs on back roads. Erodibility refers to a conditioned property of erosive processes and can be defined as the greater or lesser ease with which a soil is eroded. The area of the old access road to Cascata do Salso located in the municipality of Caçapava do Sul - RS has been undergoing erosion processes for years. Since then, their access has been limited to car traffic. The purpose of this work is to evaluate the extent of erosion caused by both anthropological factors and naturally. The present work consisted of field evaluation and conducting investigation tests that allow indirect and direct assessment of soil erodibility. Therefore, in the laboratory, an Inderbitzen test was performed, taking into account the degree of slope of the road (12 °), as well as a breakdown test, both of which allow the evaluation of erodibility. In view of this scenario, the disaggregation test proved that regardless of the condition of the tested sample (i.e., natural or air-dried for 72 hours), the disaggregation occurred in the first hours of the test. Therefore, for the three humidity conditions subjected to the Inderbitzen test (i.e., natural, air-dried for 72 hours and saturated for 24 hours), the samples were classified as high erodibility

Palavras-Chave – Ensaio de Inderbitzen; Estrada; Erodibilidade.

1 Geól., Mestranda, Universidade Federal de Santa Maria (55) 98117-2433, haline.ceccato@gmail.com

2 Estudante de Geologia, Universidade Federal do Pampa, (55) 98155-0713, gabrielamiranda.aluno@unipampa.edu.br

3 Eng., Agrônomo, Professor na Universidade Federal do Pampa, rafael feltrin@unipampa.edu.br

4 Geól., Professora do Curso de Geografia da Universidade e do PPGEIO da UFSM, (55) 99607-1932, a.nummer@gmail.com,

1. INTRODUÇÃO

Erosão provém do latim “erode” e significa corroer, separar, arrancar (BASTOS, 1999). De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2006), a erosão constitui um processo natural que não pode ser evitado, sendo considerado um agente geológico que provoca modificação nas paisagens terrestres, lento e gradual, medido através do tempo geológico. No entanto, quando a erosão ocorre em intensidade superior à erosão natural é, usualmente, consequência dos resultados advindo das atividades humanas sob determinadas condições de clima, vegetação, solo e relevo (VILELA FILHO, 2002).

A erodibilidade remete a propriedade dos solos, quando exposto a processos erosivos, que pode ser definida como a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas de um ponto a outro pela ação de um agente erosivo, que pode ser a água, o gelo, o vento ou a gravidade, sendo um fator de grande complexibilidade por estar em função de um grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes (BASTOS, 1999).

Diversos fatores devem ser levados em consideração ao avaliar a erodibilidade do solo. Pois conforme já discutido por diversos autores, embora o solo venha a ser expostos as mesmas condições (i.e., declividade, chuva, cobertura e manejo do solo), nem sempre erodem da mesma forma (BASSO, 2013; SANT'ANA, 2012; FERNANDES, 2011; ÁVILA, 2009).

No entanto, dentro da geotecnia, ensaios que permitem avaliar indiretamente ou diretamente a erodibilidade do solo. O ensaio de desagregação constitui um dos ensaios designado indireto que, se destaca por tratar-se de um ensaio simples na avaliação qualitativa do potencial a desagregação quando são expostos à imersão gradativa em água. De acordo com Bastos et al (1999) este ensaio é indicado como critério preliminar na avaliação qualitativa da erodibilidade devido ao fato de ser um ensaio considerado simples e apresenta resultados que auxiliam no direcionamento de outros ensaios de erosão.

Por conseguinte, diversos estudos destacam o ensaio de Inderbitzen, por permitir avaliar diretamente a erodibilidade do solo (REGO, 1978; FÁCIO, 1991; LIMA, 1999; BASTOS, 1999; MOTTA, 2001; FREIRE, 2001; MENDES, 2006; CAMAPUM de CARVALHO et al., 2006). Consiste em um ensaio de simples execução e baixo custo de implementação quando comparado a outros ensaios do mesmo tipo, o que torna alvo de várias pesquisas. O respectivo mede a perda de solo em amostras cuja superfície coincide com um plano de inclinação variável por onde passa um fluxo d'água com vazão controlada (BASTOS, 1999).

Considerando a relevância dos efeitos provados pela erosão dos solos, o objetivo deste trabalho consiste em analisar por intermédio da geofísica e ensaios laboratoriais, a estrada vicinal que permite acesso a uma antiga barragem que, no passado forneceu energia elétrica ao município e, hoje, tornou-se um dos belíssimos pontos turísticos da cidade de Caçapava do Sul. A respectiva estrada vem sofrendo um processo erosivo bastante intenso o que, impede o tráfego de carros bem como, o acesso torna-se limitado a Cascata do Salso.

2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo refere-se à estrada vicinal que permite acesso a Cascata do Salso, que foi nomeada um dos 46º geossítios Borba et al (2013), pertencentes ao respectivo município de Caçapava do Sul, situado na região centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul. O local abriga a antiga Barragem do Salso, que no passado forneceu energia elétrica para o município, hoje, se destaca por apresentar uma belíssima queda d'água de mais de 20 metros de altura.

Geologicamente, a respectiva área está inserida na Suíte Granítica Caçapava do Sul, que segundo Bitencourt (1983), trata-se de um corpo com dimensões de 25 km x 12 km, com uma forma ovalada e orientação segundo a direção N-S. Ao longo da estrada foram observados blocos de rocha granítica, pertencente a formação geológica local, além disso, nota-se que, em algumas porções, a estrada está sendo sustentada por estruturas de veios de pegmatitos.

A estrada no geral tem largura média de 7 +/- 0,8 m (ponto mais crítico da erosão). A estrada fica entre dois taludes e, devido à falta de um sistema de drenagem, impede à dissipação do

escoamento superficial. Fato comprovado pela criação de pequenos ravinamento no sentido transversal e longitudinal da faixa de rolamento, com a disponibilidade de material solto para ser transportado. Além disso, nas porções mais críticas, pequenos sulcos erosivos são formados e, também, voçorocas.



A) Queda d'água da Cascata do Salso



B) Barragem desativada da Cascata do Salso

Figura 1. Vista geral da área.

De acordo com o Relatório Técnico de Elaboração do Plano Ambiental do Município de Caçapava do Sul – RS (2010), a estrada vicinal está inserida em área bastante íngreme, além de cortar as curvas de nível e, conforme analisando em campo, em alguns locais a declividade da estrada chega a 12°. Por conseguinte, em virtude da ausência de dissipadores de energia, o escoamento superficial é facilitado, assim como, um aumento na sua velocidade, que, conseqüentemente, gera uma perda maior de solo. Neste aspecto, nota-se, a falta de práticas constante de conservação, desde as primeiras evidencias de ocorrência de erosões, iniciadas nas laterais dessa estrada ou nas enormes voçorocas formadas pela manutenção equivocada destes caminhos.



A) Incisões de sulcos no trecho inicial da estrada



B) Feições de erosão – pináculo, no interior das voçorocas



C) Resultado da falta de caneletas de drenagem



D) Ponto mais crítico da estrada – presença de voçorocas

Figura 2. Vista geral da estrada com a presença de feições erosivas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho desenvolveu-se mediante revisão acerca do assunto em questão, atividades de campo e laboratório. Inicialmente, foram realizados trabalhos de reconhecimento da área, que resultou na escolha dos pontos de coleta das amostras deformadas e indeformadas. Os ensaios de caracterização e erodibilidade foram realizados no Laboratório de Laminação, no prédio do curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

3.1. Ensaios de erodibilidade

Foram coletadas amostras deformadas, para a realização dos ensaios de caracterização, contemplando ensaios de granulometria (ABNT NBR 7181/2016) e limites de liquidez (ABNT NBR 6459/2016) e plasticidade (ABNT NBR 7180/2016).

Para a avaliação da erodibilidade, foram realizados ensaios de modo indireto e direto, sendo eles desagregação e Inderbitzen, respectivamente. As amostras indeformadas, para a realização dos ensaios foram coletadas conforme procedimentos recomendados na ABNT NBR 9604/2016 para o horizonte C do perfil de solo. Ao total, foram retiradas em campo cinco amostras de solo, onde os corpos de prova foram moldados em anéis de PVC circulares (10x 5 cm), de acordo com as medidas de acomodação dos moldes no aparelho Inderbitzen.

Não existe uma normativa para o ensaio de Inderbitzen, portanto, o desenvolvimento foi realizado de acordo com as metodologias já adotadas nas pesquisas desenvolvidas anteriormente por Tatto (2007), Ávila (2009), Fernandes J. (2011), Sant' Ana (2012), Basso (2013) e Fernandes, L (2015), com algumas modificações. A escolha da vazão foram as mesmas já empregadas nesses estudos, 3 l/min e 6 l/min. As vazões foram definidas de acordo com a capacidade de escoamento da rampa e pela sensibilidade dos valores de perda de solo medidos. A inclinação foi escolhida de acordo com a condição de campo, sendo ela de 12°. As amostras utilizadas no ensaio, conforme citado acima, são indeformadas, de modo a preservar a estrutura e as características originais do solo. Por conseguinte, as amostras são preparadas em três condições de umidade diferentes: umidade natural, seca ao ar e pré-umedecida. As amostras, no estado natural de umidade, são conservadas de maneira a apresentarem, na data de realização do ensaio, as mesmas características de umidade de campo. Já para a condição seca, a amostra fica exposta ao ambiente, secando ao ar, por no mínimo 72 horas antes de ser submetido ao ensaio. Por fim, a condição pré-umedecida, as amostras são, repousadas, por no mínimo 24 horas, sobre uma pedra porosa que por sua vez é assentada sobre uma lâmina d'água – de forma a saturar a amostra por capilaridade.

O ensaio de desagregação ("*Slaking test*") permite a verificação da estabilidade do solo à desagregação sob a condição inundada. Essa avaliação é realizada de modo qualitativo e auxilia na investigação da erodibilidade. Seguiu-se a metodologia proposta por Santos (1997), foram utilizadas amostras nas condições seca ao ar por 72 horas e natural. Inicialmente, foi colocado água apenas na base das amostras por 30 minutos e após elevado o nível em intervalos de 15 minutos para 1/3, 2/3 e submersão total, permanecendo nesta condição até 24 horas. Durante o procedimento, é anotado os comportamentos ocorridos com as amostras, observando o tempo de início de fissuração e tempo para desagregação total ou parcial. Além disso, a descrição qualitativa da amostra, durante o ensaio, consiste das seguintes dinâmicas erosivas nas amostras: abatimento (*slumping*); fraturamento no topo; ruptura nas bordas; velocidade de desagregação; grau de dispersão das partículas de solo; velocidade de ascensão capilar; e, inchamento.

As Figura 3 e Figura 4ostentam os equipamentos utilizados nos ensaios de desagregação por imersão e Inderbitzen.



Figura 3. Ensaio de desagregação por imersão.



Figura 4. Ensaio de Inderbitzen.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios de caracterização física e determinação dos índices físicos foram realizados em acordo com as normas da ABNT e compreendem os ensaios de peso específico real dos grãos, limite de liquidez (LL), limites de plasticidade (LP) e análise granulométrica com defloculante (hexametáfosfato de sódio).

Por conseguinte, o horizonte A e B, apresentaram baixa a média plasticidade, com LL inferior a 50% e IP entre 11 e 24%, respectivamente. O IP inferior do horizonte A em relação ao B, está relacionado com a baixa porcentagem de argila. Em adição, o horizonte C, apresentou-se não plástico (NP), condizente com a análise granulométrica, ou seja, maior concentração de material arenoso em relação a finos.

A Figura 5 ostenta a curva granulométrica realizada com os três horizontes (A, B e C) do perfil de solo estudado.

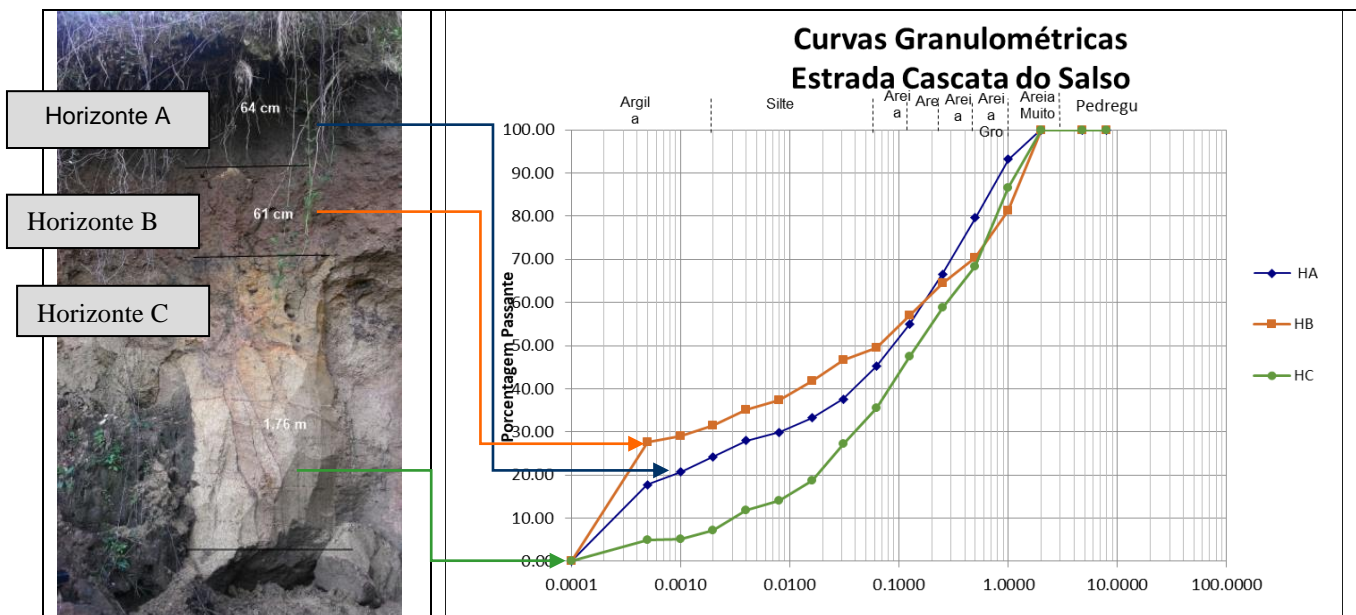


Figura 5. Resultado da Curva Granulométrica e exposição do perfil de solo analisado.

Analisando os resultados dos ensaios granulométricos, é possível afirmar que o solo não apresenta partículas do tamanho pedregulho, no entanto, predomina a fração de areia, composta

por areia grossa, média e fina, correspondente à 54.79% (horizonte A), 50.46% (horizonte B) e 64.41% (horizonte C). A quantidade de finos (partículas <0.075 mm), composta pelas frações silte e argila, variam significativamente com a profundidade do perfil, assim como, observado para as partículas arenosas. Apresentando 45.22% (horizonte A), 49.53% (horizonte B) e 35.59% (horizonte C).

Adotando-se o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), os horizontes A e B são classificados como areia argilosa (SC) e o horizonte C como areia siltosa (SM). E conforme a classificação de Highway Research Board (TRB), estes horizontes são descritos como A-2-6 (finos argilosos de média plasticidade), A-2-7 (finos argilosos de alta plasticidade) e A-3 (areia fina), respectivamente.

Os ensaios de avaliação indireta e direta, denominados desagregação e Inderbitzen, são os principais ensaios que permitem analisar o solo quanto a erodibilidade. Na Tabela 1 são apresentados os resultados do ensaio de avaliação indireta de desagregação. O ensaio é puramente qualitativo, no entanto, a relação entre o potencial de desagregação e a erodibilidade é evidente.

Tabela 1. Descrição do comportamento das amostras durante o ensaio de desagregação.

Identificação	Condição inicial	Comportamento durante ensaio	Comportamento Final
Amostra horizonte C	Natural	Aos 30 minutos iniciais, a ascensão de água chegou ao topo da amostra e, teve as primeiras desagregações. Aos 45 minutos, iniciou a ruptura de toda a borda e fissuras no topo da amostra. Aos 50 minutos, ocorrência de rupturas laterais, com raio de dispersão das partículas de solo entorno de 5 cm do corpo de prova (CP). Amostra totalmente destruída.	Totalmente desagregada
Amostra horizonte C	Seca ao ar	Aos 30 mim de ensaio a ascensão de água chegou ao topo da amostra. Aos 40 minutos, houve ruptura das bordas laterais e superior, redução do diâmetro da amostra em 4 cm. Desagregação total as amostras com raio de dispersão das partículas em torno de até 5,0 cm. CP totalmente destruído.	Totalmente desagregada

Conforme Tabela 1, não houve diferença na ascensão capilar de água em relação a condição inicial da amostra, portanto, foram necessários poucos minutos do início do ensaio, para ocorrer a saturação das amostras. Portanto, observa-se que, as condições iniciais (natural e seca ao ar), não foi um fator de influência na resistência a desagregação, embora a amostra seca ao ar tenha apresentando uma desagregação um pouco mais lenta. No entanto, em ambas as condições, as amostras não resistiram à inundação completa (24 horas).

Solos considerados altamente erodíveis desagregam totalmente em água, entretanto, não é possível verificar uma relação direta do potencial de desagregação com os níveis intermediários e baixos de erodibilidade (Bastos, 1999). Portanto, diante do resultado final do respectivo ensaio, pode-se inferir que, independentemente da condição inicial, o solo do horizonte C é considerado altamente erodíveis.

Na Figura 6 são apresentados os resultados dos ensaios de desagregação, mostrando uma análise qualitativa da erodibilidade dos solos. Neste ensaio, conforme apresentando na metodologia, foram utilizadas amostras indeformadas do horizonte C, em duas condições de umidade: natural e seca ao ar (72 horas).





Identificação	Comportamento Inicial	Comportamento Final (pós 24 horas)
Amostra indeformada – Natural		
Amostra indeformada – Seca ao ar por 72 horas		

Figura 6. Comportamento da amostra no ensaio de desagregação.

A erodibilidade foi avaliada de modo direto por intermédio do ensaio de Inderbitzen. Os resultados são apresentados em termos de perda de solo (desagregação) por unidade de área (g/cm^2) pelo tempo de ensaio (min), conforme apresentado na metodologia. Por conseguinte, para cada condição específica de escoamento de água de inclinação de rampa, neste caso, 12° , determinou-se a tensão hidráulica aplicada no ensaio (th). Além disso, com os resultados de perda de solo por unidade de área da amostra, pelo tempo de ensaio plotado versus tensão hidráulica aplicada, foi determinada a tensão cisalhante hidráulica crítica (th_{crit}) e a taxa de erodibilidade (K).

A Figura 7 ostentam a relação entre a perda de solo por unidade de área da amostra pelo tempo de ensaio para as amostras do horizonte C, para as condições de umidade natural, seca ao ar e pré-umedecida, nas vazões de 3 e 6 l/min. E a Tabela 2 resume os resultados obtidos para o horizonte C para as três condições de umidade inicial das amostras.

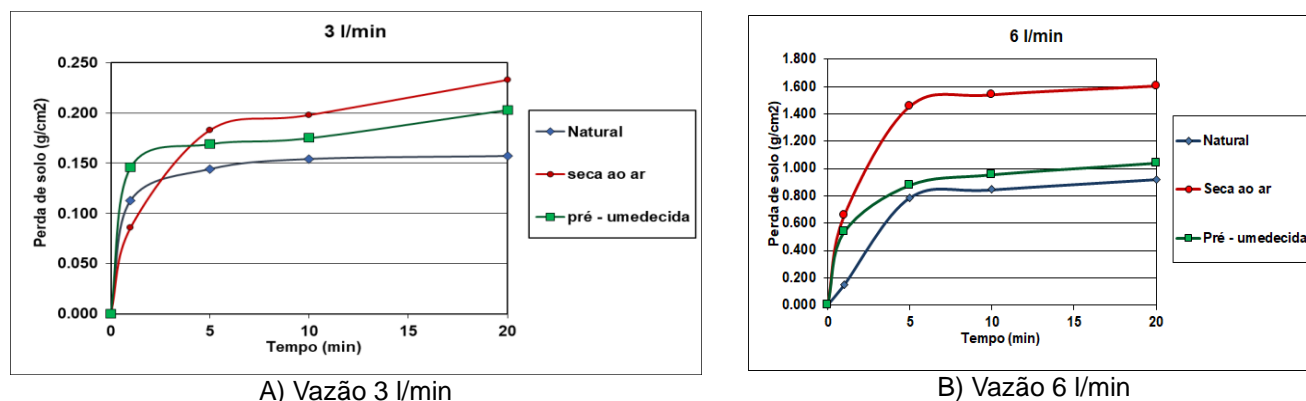


Figura 7. Curva típica obtida do ensaio de Inderbitzen para amostras do horizonte C em diferentes condições de umidade e vazão

Tabela 2. Resultados dos ensaios de Interbitzen – Perda de Solo (10^{-3} g/cm²/min), para diferentes condições de fluxo (Q = vazão e i = inclinação da rampa) e teor de umidade das amostras, e parâmetros τ_{crit} (Pa) e K (10^{-2} g/cm²/min/Pa).

Condição	$Q = 3$ l/min	$Q = 6$ l/min	τ_{crit} (Pa)	K (10^{-2} g/cm ² /min/Pa)
Inclinação	$i = 12^\circ$	$i = 12^\circ$		
Tensão hydr.	1.42	1.78		
Natural	0.15	0.84	1.35	191.11
Seca ao ar	0.19	1.54	1.37	377.79
Pré-umedecida	0.17	0.95	1.34	210.38

É possível observar que, os valores para os coeficientes de erodibilidade (K) nas três condições de umidade foram extremamente elevados. A grande perda de material pelo fluxo concentrado de água, independente da condição, foi facilmente visualizada já nos primeiros minutos de ensaio, conforme já havia sido observado por Fácio (1991) e Mendes (2006), principalmente na condição de umidade seca ao ar, elevando bruscamente os valores de coeficiente de erodibilidade.

Conforme apresentado na análise da área, em algumas porções da estrada a evidência da estrutura sendo sustentada por veios é bastante notório. Ressalta-se que, durante o ensaio de Indebizten, com a amostra seca ao ar, foi possível analisar sua interferência na resistência a erosão. A Figura 8 ostenta duas amostras que foram submetidas ao ensaio, sendo elas, para a vazão de 3 l/min e a outra 6 l/min.



A) Ensaio realizado para uma vazão de 6 l/min B) Ensaio realizado para vazão de 3 l/min

Figura 8. Resultado das amostras sob umidade seca ao ar após o ensaio de Inderbitzen.

Nota-se que, a amostra submetida a uma vazão de 3 l/min teve pouco material sendo carregado em comparação a vazão de 6 l/min. Embora as amostras tenham sido submetidas a vazões diferentes, o que de fato interferiu no resultado final, foi a presença de uma estrutura preservada na amostra (vazão 3 l/min). Durante o ensaio, foi observado que, a estrutura tornou-se uma barreira, pois o carregamento do material sedimentado só ocorreu nas laterais da estrutura.

5. CONCLUSÕES

A análise dos dados permitiu através das observações levantadas em campo corroborar com os respectivos ensaios laboratoriais acerca da erosão acelerada da estrada de acesso a Cascata do Salso, situada no município de Caçapava do Sul, localizada na porção centro-sul do Rio Grande do Sul.

Em campo, o perfil de solo do talude da estrada foi dividido em três horizontes e classificado a partir dos parâmetros de SUCS como SC (horizonte A e B) – areia argilosa e SM (horizonte C) – areia siltosa e, segundo a TRB A-2-6 (finos argilosos de média plasticidade); A-2-7 (finos argilosos de alta plasticidade) e A-3 (areia fina). Condizente com os resultados de IP, pois, o valor inferior do horizonte A (11%) em relação ao B (24%), está relacionado com a baixa porcentagem de argila, já o horizonte C, apresentou-se não plástico (NP). Por conseguinte, os ensaios de caracterização indireta e direta foram realizados apenas com solo no qual a estrada apresenta atualmente estruturada, sendo neste aspecto, o horizonte C.

No ensaio de desagregação por imersão, nota-se que, independentemente da condição inicial da amostra, sendo elas, natural (umidade de campo) ou seca ao ar (por 72 horas), a desagregação ocorreu completamente antes do final do ensaio (24 horas). Desta forma, segundo Bastos (1999), os solos do horizonte C são classificados como alta erodibilidade.

Por conseguinte, através do ensaio designado Inderbitzen, novamente, a condição inicial das amostras não interferiu. Sendo assim, as amostras ensaiadas nas condições natural, seca ao ar e saturada, ostentam valores extremamente elevados quanto a erodibilidade. Pois de acordo com estudos realizado por Bastos (1999), os solos mais erodíveis apresentam valores de k na condição natural superior a $0.01 \text{ g/cm}^2/\text{min}/\text{Pa}$, sendo assim, no respectivo estudo, foi obtido valor de $191.11 \text{ g/cm}^2/\text{min}/\text{Pa}$.

Portanto, pode-se concluir que, os processos geológicos de erosão linear acelerada, na forma de sulcos, ravinas e voçorocas, observada em campo, demonstram que a estrada está exposta a suscetibilidade a erodibilidade. A falta de canaletas de drenagem pode ter sido um dos facilitadores para o carreamento de sedimentos quando sujeitos a eventos pluviais. Por conseguinte, é evidente a falta de projetos geotécnicos nesse tipo de obra. Fato esse, complementado com os resultados obtidos por intermédio de análise indireta e direta, que comprovaram a alta erodibilidade ao horizonte C.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1968. 6p.

_____. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984a.13p.

_____. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984c. 3p.

_____. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1968. 6p. Origem: MB-30.

ALCÂNTARA, M.A.T (1997) “Aspectos geotécnicos da erodibilidade de solos”. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

ÁVILA, L. O. Erosão na Microbacia do Arroio Sarandi: Voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria/RS. 2009. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

BASSO, L. (2013) “Estudo da erodibilidade de solos e rochas sedimentares de uma voçoroca na cidade de São Francisco de Assis – RS” . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

BORBA, A.W. et al. Inventário e avaliação quantitativa de geossítios: exemplo de aplicação ao patrimônio geológico do município de Caçapava do Sul (RS, Brasil). Pesquisas em Geociências, v. 40 (3), p.275-294, 2013.

BITENCOURT, M. F. A. S. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS - Geologia e relações com o corpo granítico. In: I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. Porto Alegre, 1983.

BASTOS, C. A. B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.). Processos erosivos no centro-oeste brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, p. 39-91, 2006.

FACIO, J.A. Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal. 1991. 107f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1991.

FERNANDES, J. A (2011) “Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentin, RS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FERNANDES, L. P. Avaliação da erodibilidade de um perfil de solo típico da área do campo de instrução de Santa Maria – RS. 2015. Dissertação Mestrado. Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

LIMA, M.C (2003) “Desagregação Físico – Química e Mineralógica de Maciço junto às voçorocas. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal.

MOTTA, N. O (2001) “Caracterização Geotécnica dos Processos Erosivos na cidade de Campo Grande – MS”, Dissertação de M. Sc., Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

TATOO, J. Análise dos Parâmetros geológico-geotécnicos que condicionam erosão por voçoroca no município de São Francisco de Assis – RS. Trabalho de Conclusão de Curso. Santa Maria, RS, Brasil. 2007.