

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAL DE ÁREA DEGRADADA DE UNIDADE DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

Álvaro Pereira

Faculdade Dom Bosco/FGS Geotecnia
alvaro@fgs.eng.br

Rogério Martins Paiva

Faculdade Dom Bosco
rogeriomartinspaiva@gmail.com

RESUMO. *A erosão é um fenômeno natural de modificação da paisagem, por intemperismo, caracterizada pelo transporte de partículas desagregadas de cotas mais altas para mais baixas, tendo como principal agente a água (chuva), e ocorre lentamente. Quando associado a ações antrópicas, esse processo é acelerado, tornando-se um problema ambiental, causando assoreamento em cursos d'água, redução da fertilidade do solo ou surgimento de voçorocas, como na Unidade de Conservação Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos, onde o fim da atividade extrativista de mineração propiciou o estabelecimento de um processo erosivo. Com base nestes processos erosivos este trabalho tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de um equipamento de Inderbitzen (baseado em Bastos, 1999) para avaliar a erodibilidade do solo, através de amostras de solos locais, de características arenosas e suscetíveis aos processos erosivos*

PALAVRAS-CHAVE: *Erosão. Erodibilidade. Erosividade. Ensaio de Inderbitzen.*

1. INTRODUÇÃO

A formação de sulcos, ravinas e voçorocas é resultado da ação de processos erosivos, que podem estar associados a atividades antrópicas, como agricultura, obras de engenharia, mineração, entre outras. Em regiões de interesse econômico estes

geralmente são objeto de projetos de recuperação, já onde a ocorrência dos processos erosivos resulta somente em uma questão ambiental, geralmente não há interesse em intervenções para o tratamento dos problemas.

Um exemplo da influência antrópica no desenvolvimento dos processos erosivos e a falta de interesse no tratamento deste quando a questão se torna ambiental é a Unidade de Conservação Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos (UCRVSBP). Nesta, existe uma área que anteriormente a criação da Unidade de Conservação (UC), era destinada à extração de saibro, o que promoveu o surgimento de uma área degradada que não condiz com o propósito da UC. Com o fim das atividades de extração e sem nenhum projeto ou ação remediadora, tem ocorrido significativas mudanças geomorfológicas no local, caracterizadas por um forte processo erosivo que leva em conta uma série de fatores que favorecem o surgimento do mesmo, tais como: estrutura do solo, falta de vegetação, chuvas e declividade da região.

Essa degradação se apresenta na forma de uma grande voçoroca, duas de tamanho intermediário e uma série de processos erosivos de menor porte. Estes processos, sem nenhuma ação ou medida de contenção ou mitigação, vêm se tornando cada vez maiores, resultando em prejuízo ecológico, colocando a UCRVSBP em situação de risco de agravamento destes processos.

Através de verificações de campo, coleta de amostras, coleta de dados na literatura técnica, montagem de um equipamento de Inderbitzen para execução de ensaios em amostras coletadas em campo, este trabalho apresenta resultados de taxa de erodibilidade dos diferentes tipos de solo observados e coletados no local

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Erosão

De maneira geral o conceito de erosão é um processo de movimentação de massa de solo promovido por um agente externo. Para Bastos (1999), erosão é um processo natural de dissolução, desagregação, arraste e deposição do solo, ocorrendo de forma lenta, tendo com principais agentes a água e o vento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005), sendo chamado de erosão natural ou geológica. Quando associado às ações humanas como desmatamento, uso inadequado do solo, mineração, obras de engenharia, ocupação de encostas entre outras (STEPHAN, 2010), esse processo é acelerado vertiginosamente, se configurando a partir do momento em que as taxas de erosão excedem às de produção de solo (ROTTA, 2012), tornando-se assim um problema ambiental conhecido como erosão antrópica. Sendo está a situação observada em desenvolvimento na UCRVSBP.

Dos diferentes tipos de erosão, a hídrica causada pela chuva (erosão pluvial) é a principal responsável pelo processo de degradação do solo. Pelas características geomorfológicas da UCRVSBP, tal como cota do terreno e localização a montante de corpos de água, este é o processo predominante e causador dos processos erosivos. Conforme Stephan (2010) as formas mais importantes de erosão hídrica pluvial são: erosão por impacto de gota ou salpicamento (*splash*), erosão

laminar ou superficial, erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas) e erosão interna (*piping*).

- Salpicamento (*splash*) ocorre pela ação da energia da gota de chuva que toca o solo causando o desprendimento de partículas que são arremessadas a curtas distâncias (STEPHAN, 2010). Este gotejamento causa também a compactação do solo diminuindo a capacidade de infiltração da água (PEREIRA, 2000). O aceleração deste processo está diretamente associado às características do solo, falta de vegetação, entre outros.

- Erosão Laminar - ocorre quando a intensidade da chuva supera a velocidade de infiltração de água no solo ou quando este atinge a saturação e a capacidade de retenção superficial se esgota (PEREIRA, 2000), a água então passa a escoar criando um fluxo laminar difuso desgastando o solo de forma uniforme, transportando partículas desprendidas pelo efeito *splash*, partículas ou agregados desprendidos pelo efeito entre a água e o solo, matéria orgânica e nutriente (CARVALHO et.al.,2006).

- Erosão Interna (*piping*) – ocorre com fluxo subsuperficial no solo com transporte de material (finos do solo) que ao longo do tempo geram “canais” (vazios) no interior do solo. Segundo Lima (2003), a erosão interna é decorrente do aumento da taxa de infiltração ou do gradiente hidráulico e corresponde a formação de canais de fluxo, onde forma um escoamento subsuperficial e subterrâneo, transportando material granular fino, resultando no alargamento desses canais, fragilizando e desestruturando o solo, podendo causar desmoronamento do teto dos canais e solapamento do terreno.

- Erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas) - ocorre devido a imperfeições na textura do solo; são irregularidades que fazem com que o escoamento laminar se acumule em canais, Ayres (1936, apud ROTTA, 2012). Surge com o aumento da inclinação do talude e da velocidade do fluxo linear, que aos poucos

formam longas valas de pouca profundidade e traçado bem definido (ROTTA, 2012; STEPHAN, 2010). Com o passar do tempo e o aumento da intensidade do fluxo, esses canais ganham mais profundidade e largura, tornando-se ravinas, que podem ou não evoluir para voçorocas. Voçorocas, forma mais grave desse processo erosivo (PEREIRA, 2000; BASTOS, 1999), são originadas pela combinação da ação de intensos fluxos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos (BASTOS, 1999). Nesse tipo de erosão há uma grande perda de solo, normalmente apresenta a forma oval lembrando anfiteatros.

A erodibilidade, conforme Bastos (1999, p. 2), é a propriedade do solo que retrata a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas. A erodibilidade do solo tem a vegetação, a declividade e comprimento de rampa como fatores independentes (MACIEL FILHO, 1997).

2.2 Ensaios de Inderbitzen

Inderbitzen, com a finalidade de monitorar as perdas de solo causadas pelos processos erosivos hídricos, desenvolveu, em 1961 um equipamento para avaliar, qualitativamente, a perda de solo, simulando o escoamento superficial em diferentes inclinações de rampa. Este equipamento consiste em uma rampa hidráulica de inclinação conhecida, tendo no centro um orifício, onde é inserida a amostra de solo cuja superfície coincide com o plano da rampa, a amostra é então submetida a um fluxo de água superficial com vazão controlada.

Este ensaio não leva em consideração a desagregação do solo causada pelo impacto de gota, por esse motivo o teor de sedimentos recolhido é menor que real, sendo essa diferença mais expressiva para solos desprovidos de cobertura vegetal (STEPHAN, 2010). Apesar desta limitação, os resultados obtidos nesse ensaio podem ser considerados

satisfatórios uma vez que demonstram de forma bastante aproximada o comportamento do solo estudado, sendo apresentados na forma de gráficos de perda de solo versus tempo e de velocidade de erosão versus tempo. Bastos (1999), com o propósito de estudar solos residuais na região metropolitana de Porto Alegre, utilizou o ensaio de Inderbitzen, construído uma versão modificada.

3. PESQUISA EXPERIMENTAL

Este item apresenta as principais considerações quanto ao desenvolvimento da pesquisa experimental e os principais materiais envolvidos.

3.1 Área de Estudo

Localizada em Águas Claras, município de Viamão, na Região Metropolitana de Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul, o Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos foi criado em 24 de abril de 2002, através do Decreto 41.559, com o objetivo de preservar as nascentes do rio Gravataí a UCRVSBP tem seus ecossistemas relacionados ao Bioma Pampa. Este se encontra em uma área cedida pelo Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA) à Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), ocupando uma área de 2560 ha dentro da Área de Proteção Ambiental Banhado Grande, seus ambientes de banhado são importantes fontes de abastecimento do rio Gravataí e suas áreas servem de abrigo a várias espécies residentes e migratórias, algumas em risco de extinção no estado (RIO GRANDE DO SUL, 2017). A área de estudo compreende um sítio de, aproximadamente 9,9 há, Figura 1, destinado anteriormente a mineração, que promoveu a remoção da vegetação e camada de solo superficial, que apresentava cobertura composta por mata nativa, arbustos e gramíneas.



Figura 1. Vista aérea e delimitação da Área de estudo (Imagem Google Earth).

A condição geológica local tem sua formação baseada em: (i) Depósitos Aluvionares de planícies aluviais e lagunares, constituídos por cascalhos imaturos mal classificados, argilas orgânicas de canis, areias e siltes; (ii) Depósitos de planícies lagunares, de areias finas a médias mal classificadas e imaturas, depósitos siltico-arenosos intercalados com argilas plásticas, formadas a montante da primeira linha de Costa desenvolvida no quaternário; (iii) Depósitos da Barreira Marinha constituídos por areias quartzonas finas a médias bem classificadas e semi-consolidadas, relacionada à primeira linha da costa, de origem glacio-estática desenvolvida no início do quaternário.

O solo predominante na área de estudo de acordo com o mapa pedológico da região, são argissolos Vermelho-Amarelos. De acordo com Streck *et al* (2008), estes são solos minerais medianamente profundos a profundos, com drenagem moderada, tendo um horizonte B, rico em argila do tipo textural, com cores variando entre tons avermelhados a amarelados, com textura argilosa. Normalmente o horizonte B está localizado abaixo de um horizonte A ou E, cujas cores variam entre tons mais claros, tendo textura arenosa ou média, com baixos teores de matéria orgânica.

3.2 Avaliação dos Processos Erosivos

A avaliação da possibilidade de ocorrência de processos erosivos em uma determinada área é feita com base em dois conjuntos de fatores intervenientes: (i) Fatores Antrópicos: referentes à ação do homem no meio, traduzida pelo uso e ocupação do solo; (ii) Fatores Naturais: referentes à erosividade da chuva, erodibilidade do solo e energia do relevo. No caso da UCRVSBP, o desenvolvimento dos processos erosivos se dá pelos dois fatores, a influência antrópica pela remoção da camada superficial e a natural, pelos processos naturais em consequência do abandono da área.

A UCRVSBP apresenta de certa forma, todos os tipos de processos erosivos supracitados, ocorrendo de forma paralela ou em sequência (Figura 2). Ficam nítidas na região sem vegetação as características do solo após as chuvas, conforme o conceito de salpicamento, este também ocorre nos taludes das voçorocas, a erosão laminar fica aparente nos caminhos de água observados que direcionam e concentram o fluxo de água ao longo de todo o terreno formando sulcos e ravinas. A montante da região erodida, nos taludes de corte da época da Saibreira é possível observar os indícios de fluxos subsuperficiais e de erosão interna. Na região central do terreno e a jusante deste ponto identificado são observadas as grandes instabilidades, na forma de voçorocas

Com o fim da atividade extrativista e sem nenhuma ação de recuperação, o horizonte B do solo ficou exposto, que sem proteção iniciou um processo erosivo que culminou com a formação de voçorocas, que são a forma mais grave de erosão. Em julho de 2006, as voçorocas existentes no local apresentavam profundidades de mais 10 m, larguras que variam até 30 m e chegando a 190 m de comprimento.

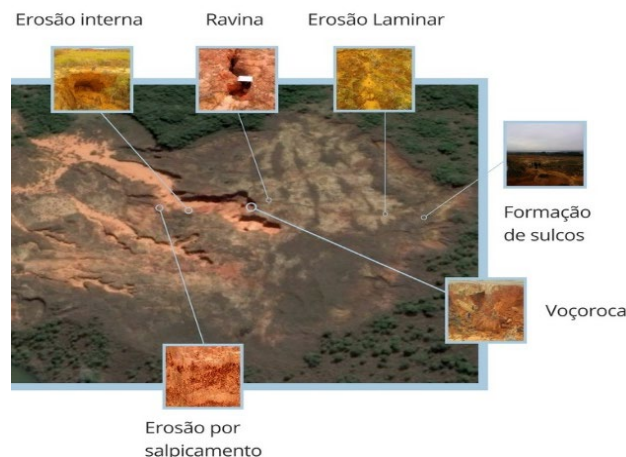


Figura 2. Diferentes tipos de erosão observados na UCRVSBP.

Através de imagens de satélite disponíveis é possível acompanhar o desenvolvimento evolutivo do processo erosivo estabelecido na área de estudo, desde o ano de 2002 até o ano de 2018. Percebe-se na voçoroca de maior dimensão localizada ao norte, que entre os anos de 2002 e 2006, ocorre um grande desmoronamento no ponto (a), Figura 3. Neste ponto a movimentação de solo é recorrente (imagens dos anos de 2012, 2015 e 2018).

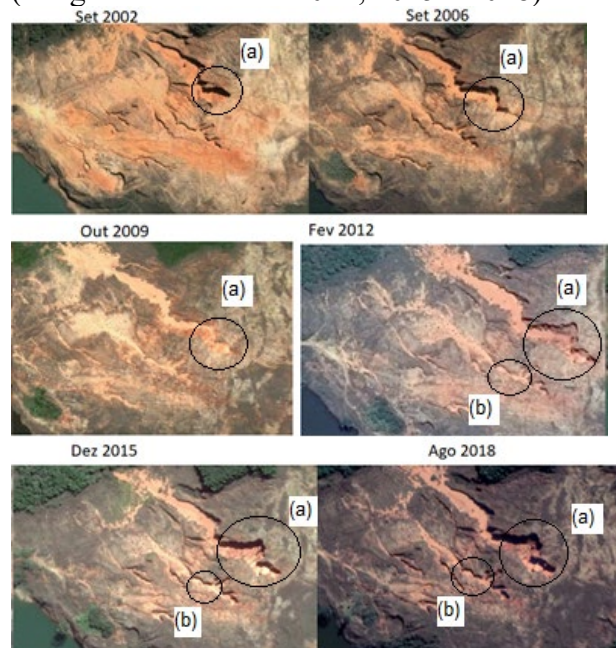


Figura 3. Imagens de satélite com a evolução do processo erosivo na área de estudo.

A partir do ano de 2012 evidencia-se a movimentação de solo na voçoroca central, onde pode ser visto um pequeno desmoronamento no ponto (b). Essa movimentação é recorrente (imagens dos anos de 2015 e 2018). Na voçoroca localizada ao sul, embora ocorram movimentos de massa de solo, esses movimentos não se mostram evidentes através das imagens aqui apresentadas.

3.1.3 Amostragem

Para este estudo foram coletadas três amostras indeformadas de solo, nas dimensões de 300 x 300 x 300 mm. As amostras de solo foram coletadas seguindo os critérios estabelecidos na NBR 9604/86 (Abertura de poços e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas). Foram escolhidos cinco pontos para retirada de amostras, denominadas de P1, P2, P3, P4 e P5 sendo três a montante da cabeceira da voçoroca e duas no interior. As amostras estão localizadas conforme descrito:

P1 - Localizada na área com cobertura vegetal e tem como objetivo servir ao comparativo dos efeitos erosivos encontrados nas áreas descobertas – Horizonte A;

P2 - Localizada na área acima da cabeceira da voçoroca próxima a área vegetada, onde pode ser verificado os primeiros efeitos erosivos na forma de erosão laminar e início dos primeiros sulcos, neste local o solo possui cor amarelada e encontra-se bastante desagregado o que facilita o carreamento de partículas pelo efeito da erosão laminar – Horizonte A / Horizonte B;

P3 - Localizada na cabeceira da voçoroca, neste local o solo se apresenta bem compactado e tem coloração avermelhada com alguns traços amarelos, percebe-se também a presença de resíduos orgânicos. Apesar da compactação, durante a coleta a amostra rompe-se com muita facilidade – Horizonte A

/ Horizonte B;

P4 - Amostra retirada do talude da voçoroca, talude onde ocorrem instabilidades, apresenta coloração avermelhada, sem resíduos orgânicos aparentes, durante a coleta verificou-se uma grande facilidade de fraturamento das amostras - horizonte B;

P5 - Amostra retirada do talude da voçoroca em área sujeita a instabilidades, tem como característica a coloração vermelha e a facilidade fraturamento – Horizonte B;

3.4 Experimento de laboratório

A execução do ensaio em laboratório pode ser separada em fases, conforme descrito na sequência. A Figura 4 apresenta uma imagem do equipamento desenvolvido nesta pesquisa, baseado nos detalhes apresentados por Bastos (1999).

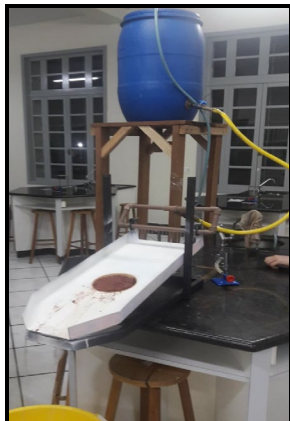


Figura 4. Equipamento desenvolvido, baseado em Bastos (1999), para esta pesquisa.

A primeira fase consistiu da preparação do ensaio, iniciando com a instalação da amostra, conforme descrito a seguir: (i) As amostras de solo colhidas em campo foram desembaladas cuidadosamente de maneira a manter suas características originais, sendo expostas ao ar livre por 72 h para obter a condição natural de umidade. (ii) A vazão foi determinada aplicando-se um fluxo à rampa pré-umedecida para diminuir a resistência ao fluxo (valor aferido para a realização do ensaio foi de 3,4

L/min, determinado com base em teste com fluxo de água entre a saída do registro e captação em recipiente de volume conhecido com o registro do tempo). (iii) O anel de PVC contendo a amostra previamente preparada, é fixado à rampa de modo a ficarem niveladas as superfícies da amostra e da rampa.

A segunda fase do ensaio, consiste da execução do mesmo propriamente dita conforme descrito na sequência: (i) Liberação do fluxo de água sobre a rampa, erodindo a amostra; (ii) O material carregado é então coletado em baldes no final da rampa, nos tempos de 1, 5, 10 e 20 minutos, quando é encerrado o fluxo, conteúdo dos baldes é passado pelo conjunto de peneiras. (iii) O solo contido em cada peneira é recolhido e colocado em capsulas devidamente identificada e levados a estufa por 24 h para determinar seu peso seco. (iv) O material passante na peneira 200 é medido de forma indireta através do uso de uma amostra representativa da água com os finos contidos no balde, devidamente homogeneizada e levada à estufa em recipiente apropriado.

O material remanescente da amostra que permanece no amostrador é então retirado e seco em estufa para a obtenção de seu peso seco. O sedimento passante na peneira 200 é homogeneizado com a água do balde coletor, retirada com copo becker com graduação volumétrica.

4. RESULTADOS

Os dados obtidos após a secagem do solo são plotados em um gráfico que representa a perda de solo acumulada em g/cm² pelo tempo de ensaio em minutos, obtendo-se assim a curva característica da perda acumulada de solo (Figura 5), observando-se os gráficos percebe-se que a perda de solo é muito elevada os primeiros 5 min. A partir deste ponto as perdas de solo diminuem iniciando uma estabilização, após o tempo de 10 min está praticamente

estabilizada com uma pequena perda de material.

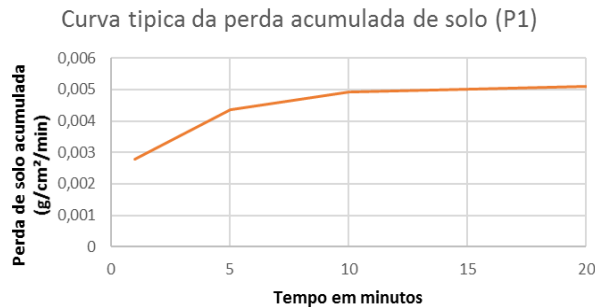


Figura 5. Curva típica da perda acumulada de solo, amostra P1

Para a curva típica da amostra P1 percebe-se que apesar das maiores perdas ocorrem nos 5 min iniciais (0,0043 g/cm²/min), a perda total após 20 min de ensaio pode ser considerada insignificante (0,0050 g/cm²/min).

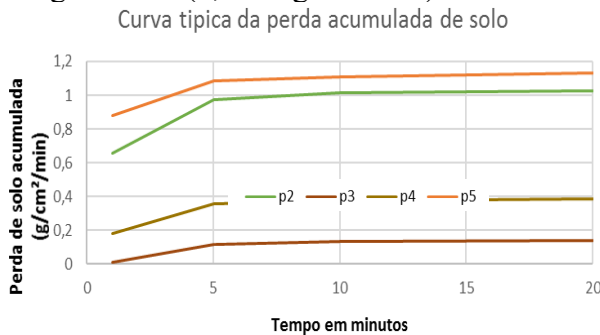


Figura 6. Curva típica da perda acumulada de solo, amostras P2, P3, P4 e P5

As maiores perdas ocorreram com as amostras P2 e P5 (1,0263 e 1,1292 g/cm²/min respectivamente), as amostras P3 e P4 apresentaram perdas menores (0,1395 e 0,3863 g/cm²/min).

No ensaio de Inderbitzen as diferentes amostras apresentaram valores condizentes com os processos erosivos e condições do terreno encontrados nos diferentes trechos de cada perfil.

Para calcular o valor K foi determinado a tensão hidráulica, obtendo-se um valor de 1,0416 Pa. com base nas equações (1) e (2):

$$\tau_h = Y \cdot h \cdot d \quad (1)$$

Onde:

Y = peso específico da água (N/cm³)

h = altura da lamina d'água de fluxo (cm)

d = declividade da rampa

$$h = \frac{Q}{vL} \quad (2)$$

Onde:

Q = vazão (cm³/s)

v = velocidade (cm/s)

L = largura da rampa (cm)

Assim o menor valor de K, refere-se a amostra P1 (0,0047 g/cm²/min/Pa), que tem preservada sua cobertura vegetal e por tanto menos suscetível aos efeitos erosivos dos episódios de chuva.

A amostra P2 localizada a jusante da área vegetada onde o horizonte A se encontra desprotegido e com inclinação de terreno é superior a 14%, ficando desta maneira mais sujeito aos efeitos cinéticos da enxurrada, apresenta uma taxa de perda elevada, 0,9766 g/cm²/min/Pa, os efeitos dessa elevada perda de solo são visíveis na forma de sulcos e também erosão laminar evidenciando um aumento da área erodida.

A amostra P3 apresenta valor de K igual a 0,1281 g/cm²/min/Pa, o menor valor entre os solos desprotegidos coletados, estando localizada em uma área com baixa declividade onde o processo erosivo mais evidente é a formação de ravinas.

A amostra P4 com taxa K de 0,3619 g/cm²/min/Pa, fica localizada no talude da voçoroca onde o processo erosivo mais evidente é a fragilização do solo que sofre erosão interna causada pela infiltração e pelos fluxos subsuperficiais, que é percebido no local pelos depósitos de material oriundos de desmoronamentos do talude. Essa fragilidade é observada também na amostra P5 que apresenta K igual a 1,0654 g/cm²/min/Pa, e está localizada abaixo de P4 igualmente no talude da voçoroca, em local com declividade maior que 20%, na base do talude existe um acúmulo de material proveniente de

desmoronamentos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio de Inderbitzen permitiu quantificar a taxa de erodibilidade e verificar que ela é variável dentro de um mesmo perfil, podendo ser significativa a diferença mesmo em pequenas distâncias, o que indica que além do fator LS outros fatores influenciam de forma decisiva os efeitos, com por exemplo a característica física do solo e intensidade de fluxo.

A perda massa de solo é maior nos primeiros 5 minutos de chuva mesmo que não ocorra diminuição de fluxo, a perda de solo tende a se estabilizar após este tempo. A taxa média de erodibilidade obtida através do ensaio de Inderbitzen é $K = 0,6330514 \text{ g/cm}^2/\text{Pa}$, que segundo os critérios adotados por Bastos (1999), define o solo da região como muito erodível.

A determinação da taxa de erodibilidade K através do ensaio de Inderbitzen, apresentou resultados que refletem de forma satisfatória o comportamento do solo da área de estudo em relação ao processo erosivo instalado na UC, indicando que o equipamento pode ser considerado uma ferramenta útil no entendimento e controle de processos erosivos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre pelo apoio à pesquisa desenvolvida durante o trabalho de conclusão de curso que gerou o presente artigo.

REFERÊNCIAS

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

Bertoni, J.; Lombardi Neto, Francisco. *Conservação do solo*. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.

Carvalho, J. C. et al (Org.). (2006). *Processos erosivos no centro oeste brasileiro*. Brasília: Finatec. 464 p.

Lima, M. C. (2003) *Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas*. 2003. 336 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2003.

Maciel Filho, C. L.(1997) *Introdução à geologia de engenharia*. 2. ed. Santa Maria, RS: Brasília, DF: Ed. da UFSM.

Pereira, S. B. (2000). *Desprendimento e arraste do solo em decorrência do escoamento superficial*. 2000. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Pós-graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Disponível em: <http://www.do.ufgd.edu.br/silviopereira/arquivos/Tese_Mestrado_Silvio.pdf>.

Rotta, C. M. S. (2012). *Estudo da recuperação de áreas degradadas por processos erosivos: procedimentos e eficiência dos métodos*. 2012. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos.

RS. CPRM. Ministério de Minas de Energia. (2006). *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Cprm. 1 p.

RIO GRANDE DO SUL. Sema. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. *Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos*. 2017. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/refugio-de-vida-silvestre-banhado-dos-pachecos>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

Stephan, A. M.. (2010) *Análise de processos erosivos superficiais por meio de ensaios de Inderbitzen*. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

Streck, E. V. et al. 2008. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS.