

PROPOSTA DE MUDANÇA DO ENSAIO INDERBITZEN EMPREGANDO SOLOS DO CERRADO GOIANO COM DIFERENTES DENSIDADES

Proposal to change the Inderbitzen trial using soil from the Cerrado of Goiás with different densities

Propuesta de cambio de la prueba de inderbitzen utilizando suelos del cerrado goiano con diferentes densidades

Resumo

O principal fator que provoca degradação dos solos é a erosão hídrica. As características, em relação à geologia, geomorfologia, solos e clima, constituem fatores condicionantes dos processos erosivos atuantes. A intervenção antrópica, sobre esse substrato do meio físico, modifica as formas de atuação das forças erosivas. Entre os ensaios de laboratório que quantificam de maneira direta a erodibilidade do solo, temos o ensaio de Inderbitzen. Neste trabalho estuda-se o emprego do ensaio de Inderbitzen em pesquisas no Brasil, apresentam críticas ao modelo original do ensaio e se desenvolve um equipamento e procedimentos, de modo a amenizar a variação dos resultados dos ensaios. Para o estudo foram selecionados três solos do cerrado goiano sendo eles da região metropolitana de Goiânia. Os solos possuem textura e origem pedológicas diferentes sendo: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Solo 1), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico (Solo 2) e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (Solo 3) Foram propostas modificações nos procedimentos e equipamento do ensaio Inderbitzen que ocasionaram boa precisão e repetibilidade dos resultados encontrados. Nos Solos 2 e 3 houveram pouca variação de perda de solo em função do índice de vazios. Já para o Solo 1, demonstrou significativo aumento da perda de solo com o aumento do índice de vazios.

Palavras-chave: Conservação do solo, Erosão hídrica, Densidade, Erodibilidade, Solos tropicais.

Abstract

The main factor that causes soil degradation is water erosion. The characteristics, in relation to geology, geomorphology, soils and climate, are conditioning factors of the erosive processes at work. Anthropic intervention, on this substrate of the physical environment, modifies the ways in which erosive forces act. Among the laboratory tests that directly quantify soil erodibility, we have the Inderbitzen test. In this work, the use of the Inderbitzen assay in research in Brazil is studied, they present criticisms of the original model of the assay and equipment and procedures are developed in order to mitigate the variation in the results of the assays. For the study, three soils from the Cerrado of Goiás were selected, being from the metropolitan region of Goiânia. The soils have a different pedological texture and origin, being: Dystrophic RED LATOSOL (Soil 1), Dystrophic HABC CAMBISSOL Ta (Soil 2) and Ortical QUARTZARENIC NEOSOL (Soil 3). Modifications to the Inderbitzen assay procedures and equipment were proposed, which caused good precision and repeatability. the results found. In Soils 2 and 3 there was little variation in soil loss due to the void index. For Solo 1, on the other hand, it showed a significant increase in soil loss with the increase in the void index.

Keywords: Soil Conservation, Water Erosion, Density, Erodibility, Tropical Soils.

Resumen

El principal factor causante de la degradación del suelo es la erosión hídrica. Las características, en relación a la geología, geomorfología, suelos y clima, son condicionantes de los procesos erosivos activos. La intervención antrópica, sobre este sustrato del medio físico, modifica las formas de acción de las fuerzas erosivas. Entre las pruebas de laboratorio que cuantifican directamente la erosionabilidad del suelo, tenemos la prueba de Inderbitzen. En este trabajo se estudia el uso de la prueba Inderbitzen en investigaciones en Brasil, se presentan críticas al modelo original de la prueba y se desarrollan equipos y procedimientos para minimizar la variación en los resultados de la prueba. Para el estudio, fueron seleccionados tres suelos del cerrado de Goiás, siendo ellos de la región metropolitana de Goiânia. Los suelos tienen diferentes texturas y orígenes pedológicos: LATOSOLO VERMELHO Distrófico (Suelo 1), CAMBISOLO HÁPLICO Ta Distrófico (Suelo 2) y NEOSOLO QUARTZARENICO Órtico (Suelo 3) Se propusieron modificaciones en los procedimientos y equipos de la prueba Inderbitzen, lo que resultó en una buena precisión y repetibilidad de los resultados encontrados. En los Suelos 2 y 3 hubo poca variación en la pérdida de suelo en función del índice de vacíos. En cuanto al Suelo 1, mostró un aumento significativo en la pérdida de suelo con el aumento en la relación de vacíos.

Palabras clave: conservación de suelos, erosión hídrica, densidad, erosionabilidad, suelos tropicales.

Introdução

A erosão é um processo natural que faz parte da formação da paisagem há milhares de anos, onde são formadas bacias de drenagem, vales e montanhas, segundo Barreto (2007).

Nos ambientes do Cerrado brasileiro vem a cada ano que passa sofrendo processos erosivos advindos de processos de ocupação e solidificação advindos de processos antrópicos (Jesus e Cabral, 2019), advindo, principalmente, da monocultura.

O processo de erosão em solos é entendido como um ciclo de alteração, desagregação, transporte e sedimentação dos constituintes do solo, subsolo e rocha (Stephan, 2010). Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes químicos, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, provocam poluição das nascentes (Mathias e Nunes, 2019).

A erodibilidade do solo, sob condições de escoamento superficial, corresponde à quantidade de solo desprendido por unidade de área, tempo e tensão aplicada. Constitui uma das propriedades de comportamento dos solos de maior complexidade em função do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.

Para obter a erodibilidade, pode-se empregar os métodos empíricos, ensaios laboratoriais (diretos ou indiretos) e ensaios de campo. Os ensaios diretos simulam condições de campo de modo a provocar perda de solo semelhante à encontrada in loco.

Inderbitzen (1961) propôs um ensaio para determinar em laboratório, a quantidade de solo erodido em uma amostra, colocada em uma rampa com inclinação conhecida, quando sua superfície é exposta a uma determinada vazão. No ensaio é medida a perda de solo em amostras cuja superfície coincide com um plano de inclinação variável por onde passa um fluxo de água superficial, permitindo determinar a influência de fatores como a compactação do solo, a declividade da rampa, a vazão e a duração do fluxo, segundo Stephan (2010).

O objetivo deste trabalho é estudar o ensaio Inderbitzen executado no Brasil e desenvolver um equipamento e procedimentos de modo a sanar possíveis gargalos do ensaio. Além disso, analisar o comportamento erodível de três solos do cerrado goiano, empregando diferentes densidades.

Material e métodos

Local da Coleta e Características dos Solos Estudados

Os solos utilizados no presente estudo foram coletados na região metropolitana de Goiânia. A Tabela 1 apresenta os locais da coleta, as coordenadas, classificações pedológicas e os usos dos solos estudados.

Em geral, o clima da região é do tipo tropical típico (sub úmido) com estação seca, a variação da temperatura média anual na região é de 18,5 °C a 30 °C, com precipitação acumulada média anual de 1.500 mm.

Tabela 1. Dados dos solos coletados para o estudo

Solo	Classificação Pedológica	Local	Coordenada	Utilização
Solo 1	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	Goiânia-GO	692433,61 m E; 8160166,51 m S	Apesar de a área ser urbanizada, o local possui características do cerrado goiano original.
Solo 2	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico	Aparecida de Goiânia-GO	679874,33 m E; 8132867,17 m S	Essa área era usada antigamente para extração ilegal de areia, passando a ser de propriedade do Estado.
Solo 3	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico	Senador Canedo-GO	701031,26 m E; 8155797,65 m S	O local é utilizado como área de empréstimo de solo, sendo uma área com nível alto de degradação.

Fonte: Alves (2019)

A Tabela 2 apresenta os valores dos pesos específicos dos grãos, dos limites de Atterberg, os argilos-minerais da fração argila e os percentuais das frações dos solos estudados.

Tabela 2. Resultados de peso específico dos grãos, limites de Atterberg, os argilos-minerais e os percentuais das frações dos solos (Alves, 2019).

Tipo de Ensaio	Solo 1	Solo 2	Solo 3
Densidade das partículas (g/cm ³)	2,842	2,695	2,679
Limite Plasticidade (%)	20,3	-	13,4
Limite liquidez (%)	38,4	36,8	23,0
Índice de plasticidade (%)	18,2	-	9,6
Argilo-Mineral Primário	Quartzo e Gibsita	Quartzo e Caulinita	Quartzo
Argilo-Mineral Subordinado	Hematita	Ilita	Ilita, Caulinita e Vermiculita
Fração Granulométrica			
Argila (%)	21,54	1,71	7,73
Silte (%)	13,16	14,41	5,40
Areia fina (%)	42,30	54,33	65,07
Areia media (%)	17,90	21,28	15,75
Areia grossa (%)	4,97	4,96	3,99
Pedregulho(%)	0,13	3,31	2,06

Classificando os solos utilizando o Método MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) tradicional e pelo Método da pastilha (Nogami e Villibor, 1995): o Solo 1 é classificado como LG⁷ – solo argiloso com propriedades de solo bem desenvolvido; O Solo 2 como NS⁷ – solo siltoso com propriedades de um solo pouco desenvolvido; e o Solo 3 como NA – um solo arenoso com propriedades de um solo pouco desenvolvido.

Confecção dos Corpos-de-Prova

Para a confecção das amostras ensaiadas, os solos estudados foram secos ao ar e destorroados e passados na peneira #10 (2 mm). Após esse procedimento, foi adicionado água ao solo, de modo que fossem obtidas as umidades de 21,22%, 17,8% e 11,96% (umidades ótimas obtidas pelo ensaio Proctor com energia normal) para os Solos 1, 2 e 3, respectivamente. Foram guardados os solos hidratados em sacos plásticos, com a intenção de manter a umidade por um período de tempo maior.

As moldagens dos corpos-de-prova foram feitas em um molde quadrado de 10 cm atendendo os índices de vazios e massas específicas aparentes secas pré-estabelecidos na Tabela 3.

Tabela 3. Índices de vazios e massas específicas aparentes secas adotadas para os solos estudados.

Índice de vazios	Solo 1		Solo 2		Solo 3	
	e	$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	e	$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	e	$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$
e ₁	0,82	1,56	0,61	1,68	0,54	1,88
e ₂	1,0	1,43	0,75	1,55	0,67	1,73

e_2	1,22	1,27	0,92	1,4	0,82	1,59
-------	------	------	------	-----	------	------

Onde: e – Índice de vazios do solo e γ_s – massa específica aparente seca do solo.

A seqüência para a confecção do corpo-de-prova para o ensaio Inderbitzen, foi:

- Pesou-se o solo necessário para obter o índice de vazios pré-determinado;
- Colocou-se o solo no molde que será utilizado;
- Aplicou-se a carga para compactação do solo, por meio de uma prensa; e
- Pesou-se a amostra com o molde, de modo a verificar as condições de índice de vazios.

A velocidade de avanço do pistão da prensa adotada foi de 5 mm/min e as camadas de compactação utilizada foram de 2 cm para todos as amostras ensaiadas, independente do solo estudado.

Estudo Sobre os Ensaio Inderbitzen no Brasil e proposta de novos equipamento e procedimentos.

Trata-se de um ensaio preconizado por Inderbitzen (1961), cuja idéia básica é a de simular uma situação de escoamento superficial, quantificando a perda do solo em tempos determinados.

O modelo original do equipamento, que consiste em uma rampa hidráulica (material metálico) com inclinação conhecida, e em um orifício, insere-se a amostra de solo de 152 mm de diâmetro, conforme a Figura 1.

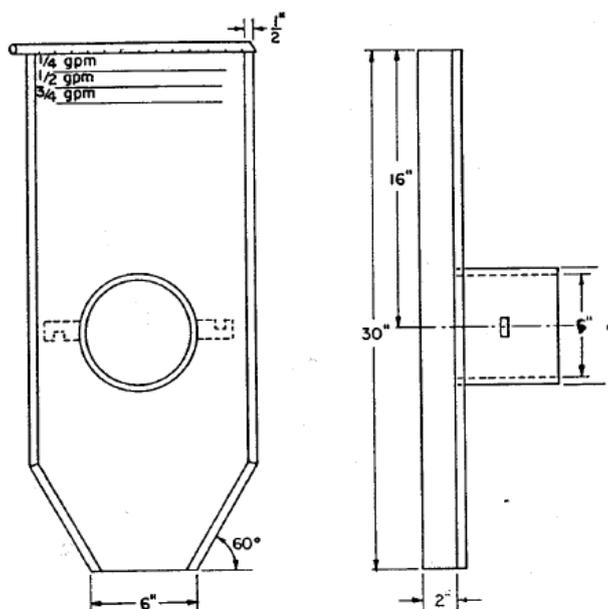


Figura 1. Concepção original do equipamento de Inderbitzen
Fonte: Inderbitzen (1961).

O material carregado pelo escoamento é coletado por um conjunto de peneiras colocadas na base da rampa. Aos 5 minutos de ensaio faz-se a primeira troca de peneiras. O conjunto é lavado e o solo recolhido em beakers de 1000 mL, com as peneiras ficando disponíveis para novas trocas, que se repetem aos 15, 30, 60 e 120 minutos. Com duas horas de ensaio, cessa-se o fluxo, retira-se o conjunto de peneiras e o ensaio é dado por encerrado.

Ao final do ensaio, tem-se 5 beakers, correspondentes a cada troca de peneiras. Estes beakers são postos em estufa a 110°C até peso constante.

No Brasil, Rego (1978) foi precursor na introdução do ensaio de Inderbitzen, para o estudo de erosões superficiais de taludes em solos residuais de gnaiss no estado do Rio de Janeiro, definindo o potencial de erodibilidade, a partir da perda de solo, como sendo dada pelo peso do solo acumulado, coletado nos respectivos tempos, dividido pela área da amostra de solo.

Ao longo dos anos, o procedimento de coletas de amostras, as dimensões e os materiais das rampas, e as dimensões das amostras, vêm variando ao longo dos anos conforme o estudo executado. A Tabela 4 apresenta um resumo dos estudos que utilizaram o ensaio Inderbitzen como instrumento de obtenção da erodibilidade do solo, levando em consideração a erosão laminar. Percebe-se a grande variabilidade das dimensões, dos materiais e dos procedimentos dos ensaios encontrados nos trabalhos, impossibilidade de comparações de resultados.

Tabela 4. Resumo de estudos realizados com o ensaio Inderbitzen no Brasil.

Rego (1978)	
Local dos estudos	Estado do Rio de Janeiro
Material e dimensões da rampa	Rampa metálica. Comprimento de 78 cm e largura de 34 cm..
Condições das amostras de solo	Amostra com 15,24cm de diâmetro e 4,6 cm de altura. Umidade natural, pré-saturada e ressecamento.
Considerações adotadas	Vazão entre 59 e 314 cm ³ /s; Inclinação 44° e 59°; tempo de ensaio de 120 min.
Fonseca e Ferreira (1981)	
Local dos estudos	Estado do Rio de Janeiro
Material e dimensões da rampa	Rampa metálica. Comprimento de 78 cm e largura de 34 cm..
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15,24 cm e 4,6 cm de altura. Umidade natural, pré-saturada e ressecamento.
Considerações adotadas	Vazão entre 59 e 314 cm ³ /s; Inclinação 44° e 59°; tempo de ensaio de 120 min.
Rodrigues (1982)	
Local dos estudos	Centro-Leste do Estado de São Paulo
Material e dimensões da rampa	Rampa metálica. Comprimento de 78 cm e largura de 34 cm.
Condições das amostras de solo	Amostra com 15,2 cm de diâmetro
Considerações adotadas	Vazão entre 59 e 314 cm ³ /s; Inclinação 44° e 59°; tempo de ensaio de 120 min
Fácio (1991)	
Local dos estudos	Ceilândia-DF, Taguatinga-DF, Samambaia-DF, Gama-DF e Sobradinho-DF
Material e dimensões da rampa	Rampa metálica. Comprimento de 130cm e largura de 33,3 cm.
10.18227/2177-4307.acta.v16i42.6474	

Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10cm e altura de 10 cm; Umidade seca ao ar e saturado por 15 min.
Considerações adotadas	Vazão = 50 ml/s; Inclinação 10°; tempo de ensaio de 20 min.
Santos (1997)	
Local dos estudos	Goiânia-GO
Material e dimensões da rampa	Rampa igual ao do Fácio (1991), sendo modificada, com laterais de acrílico, a largura da rampa passando a ser 10 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 10 cm; Umidade natural
Considerações adotadas	Vazão = 17,5 ml/s; Inclinação de 10° (18%); tempo de ensaio de 30 min.
Lima (1999)	
Local dos estudos	Manaus-AM
Material e dimensões da rampa	O mesmo de Santos (1997)
Condições das amostras de solo	Amesma de Santos (1997)
Considerações adotadas	A mesma de Santos (1997)
Bastos (1999)	
Local dos estudos	Região metropolitana de Porto Alegre – RS
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica; Comprimento de 60 cm e largura de 25 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 9,76 cm e altura de 5 cm. Umidade secas ao ar, natural e pré-umedecidas
Considerações adotadas	Vazão = 50 e 100 ml/s (3 e 6 l/min); Inclinações de 10°, 26°, 45° e 54°; tempo de ensaio de 20 minutos
Viana et al. (2000)	
Local dos estudos	Belo Horizonte-MG
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica; Comprimento de 200 cm e largura de 20 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15 cm e altura de 5 cm. Umidade natural.
Considerações adotadas	Vazão = 200, 500 e 600 ml/s; Inclinações de 5% e 22%; tempo de ensaio de 15 minutos
Fragassi (2001)	
Local dos estudos	Serra de São Geraldo – MG e campus da UFV, Viçosa-MG.
Material e dimensões da rampa	PVC; Comprimento de 120cm e largura de 15,2 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15 cm e altura de 4 cm. Umidade próxima a saturação.
Considerações adotadas	Vazão = 25 ml/s (1,5 l/min); Inclinação de 10°; tempo de ensaio de 30 minutos.
Gomes (2001)	
Local dos estudos	Cabo de Santo Agostinho-PE
Material e dimensões da rampa	O mesmo de Bastos (1999)
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm; embebecimento por 15 min.
Considerações adotadas	Vazão = 50 ml/s; Inclinação 10° , com tempo de ensaio de 60 min.
Santos (2001)	
Local dos estudos	Ouro Preto-MG
Material e dimensões da rampa	PVC; Comprimento de 120 cm e largura de 15 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15,2 cm e altura = 4 cm; Amostras saturadas
Considerações adotadas	Vazão = 50 ml/s (3 l/min); Inclinação de 10°; tempo de ensaio de 30 minutos
Motta (2001)	
Local dos estudos	Campo Grande-MS
Material e dimensões da rampa	Os mesmos de Santos (1997)
Condições das amostras de solo	As mesmas de Santos (1997)
Considerações adotadas	Entre 25 e 75 ml/s; Inclinação entre 5° e 40°; tempo de ensaio de 30 minutos.
Chamecki (2002)	
Local dos estudos	Curitiba-PR
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica; Comprimento de 78 cm e largura de 34 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 4 cm; Umidade natural e seco ao ar.
Considerações adotadas	Vazão em torno de 70 a 75 ml/s; Inclinação de 34°; tempo de ensaio de 20 minutos
Lemos (2002)	

Local dos estudos	Pinhais-PR
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica; Comprimento de 78 cm e largura de 34 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 4 cm; Umidade natural e seca ao ar.
Considerações adotadas	Vazão = 54,57, 78,83, 137,67 e 152,03 ml/s; Inclinação de 10° e 46°; tempo de ensaio de 20 minutos
Ramidan (2003)	
Local dos estudos	Área de empréstimo da UHE de Itumbiara-GO.
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica; Comprimento de 130 cm e largura de 33 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 10 cm (para solos lateríticos); Diâmetro de 10 cm e altura de 15 cm (demais solos). Amostras com umidade natural
Considerações adotadas	Vazão = 50 ml/s (3 l/min); 10°; tempo de ensaio de 30 minutos
Paiva (2004)	
Local dos estudos	Bacia do rio Una em Taubaté-SP
Material e dimensões da rampa	Chapa de aço revestida com PVC; Comprimento de 130 cm de largura de 33 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15 cm e altura de 4,5 cm. Amostras secas ao ar, natural e pré-umidecidas
Considerações adotadas	Vazão de 50 e 125 ml/s (3 e 7,5 l/min); Inclinação de 20° e 60°; tempo de ensaio de 120 minutos.
Cardoso et al. (2005)	
Local dos estudos	Cascavel-PR
Material e dimensões da rampa	Não informado.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 4,2 cm; Umidade natural.
Considerações adotadas	Vazão de 2,88 l/min; Inclinação de 10°; tempo de ensaio de 120 minutos.
Lafayette et al. (2005)	
Local dos estudos	Cabo de Santo Agostinho-PE
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Largura de 0,35 m e comprimento de 1,20 m.
Condições das amostras de solo	Diâmetro = 10 cm; altura = 5 cm. Umidade natural, seca ao ar e inundada.
Considerações adotadas	Vazão de 70, 100 e 170 ml/s; Inclinações de 10°, 18° e 30°. Tempo de 20 min
Menezes et al. (2006)	
Local dos estudos	Encostas da cidade de Lavras-MG.
Material e dimensões da rampa	PVC; Comprimento de 120 cm e largura de base 15,2 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15 cm e altura de 4 cm. Amostras com umidade natural
Considerações adotadas	Vazão de 25 ml/s (1,5 l/min); Inclinações de 10° a 80°; tempo de ensaio de 120 minutos.
Mendes (2006)	
Local dos estudos	Bom Jardim-RJ
Material e dimensões da rampa	Madeira coberta por fórmica, revestida com PVC; Comprimento de 100 cm e largura de 50 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15 cm e altura de 10 cm. Amostras com umidade natural
Considerações adotadas	Vazão = 50 ml/s (3 l/min); Inclinação de 37°; tempo de ensaio de 60 minutos.
Chuquipiondo (2007)	
Local dos estudos	Araguari-MG
Material e dimensões da rampa	O mesmo de Fragassi (2001)
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15 cm; Umidade de 23 e 29%.
Considerações adotadas	Vazão de 1,2 l/min a 2,3 l/min; Inclinação de 10° e 25°; tempo de ensaio de 65 minutos. 15 min de embebedimento
Lemos et al. (2007)	
Local dos estudos	Campina Grande do Sul-PR
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Rampa de 34 cm de largura e 78 cm de comprimento
Condições das amostras de solo	Diâmetro = 10 cm e altura de 5 cm; Umidade natural.

Considerações adotadas	Vazão de 10,91 ml/s a 12,93 ml/s; Inclinação de 16°, com tempo de ensaio de 10 minutos.
Meira (2008)	
Local dos estudos	Recife-PE
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Comprimento de 120 cm e largura de 25 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 5 cm; Umidade natural, seca ao ar e pré-umedecida.
Considerações adotadas	Vazão 4,2, 6,0 e 10,2 l/min; Inclinação de 10°, 18° e 30°; tempo de ensaio de 20 minutos.
Avila (2009)	
Local dos estudos	Santa Maria-RS
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Comprimento de 60 cm e largura de 25 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 5 cm; Umidade seca ao ar e pré-umedecida.
Considerações adotadas	Vazão 3 e 6 l/min; Inclinação de 10°, 26°, 45° e 54°; tempo de ensaio de 20 minutos.
Ide (2009)	
Local dos estudos	Bauru-SP
Material e dimensões da rampa	Acrílico. Rampa de 11 cm de largura e 50 cm de comprimento
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm; Umidade natural e inundada.
Considerações adotadas	Vazão 50 ml/s; Inclinação de 10°, 18° e 30°; tempo de ensaio de 20 minutos.
Koetz et al. (2009)	
Local dos estudos	Viçosa-MG
Material e dimensões da rampa	Não informado.
Condições das amostras de solo	Amostra quadrada com lado de 137 mm e altura de 49 mm. Umidade natural.
Considerações adotadas	Vazão = 9 l/min; Inclinação de 15°, 31° e 50°; tempo de ensaio de 10 minutos.
Menezes et al. (2009)	
Local dos estudos	Teresópolis-RJ
Material e dimensões da rampa	Rampa de fórmica; Duas umidades.
Condições das amostras de solo	Não informado
Considerações adotadas	Vazão de 47 ml/s; Inclinação de 10° e 22°; tempo de ensaio de 60 minutos.
Nacinovic (2009)	
Local dos estudos	Teresópolis-RJ
Material e dimensões da rampa	Compensado; largura e comprimento não informado.
Condições das amostras de solo	Não informado
Considerações adotadas	Vazão = 47ml/s; Inclinação de 10° e 22°; tempo de ensaio de 60 minutos
Pinheiro et al. (2009)	
Local dos estudos	Oeste do Rio Grande do Sul
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica; Comprimento de 60 cm e largura de 25 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 5 cm. Umidade natural, seca ao ar e pré-inundada.
Considerações adotadas	Vazão = 50 ml/s; Inclinação de 10°; tempo de ensaio de 20 minutos
Nagel et al. (2009)	
Local dos estudos	Oeste do Rio Grande do Sul
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica; Comprimento de 60 cm e largura de 25 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 5 cm. Umidade natural.
Considerações adotadas	Vazão = 3 e 6 l/min; Inclinação de 10°, 26°, 45° e 54°; tempo de ensaio de 10 minutos
Sampaio Júnior (2010)	
Local dos estudos	Estado do Pará
Material e dimensões da rampa	PVC; largura de 29,5 cm e comprimento de 93 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro = 15,44 cm; altura de 5,58 cm. Umidade natural.
Considerações adotadas	Vazão = 6 l/min; Inclinação de 26°, 45° e 54°.
Stephan (2010)	

Local dos estudos	Juiz de Fora-MG
Material e dimensões da rampa	Chapa de alumínio; Comprimento de 170 cm e largura de 14,4 cm para a amostra cilíndrica e de 14,2 mm para a amostra cúbica.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15 cm para a amostra cilíndrica; Lado de 10 e 15 cm para a amostra cúbica. Umidade natural.
Considerações adotadas	Vazão de 16,7 ml/s; Inclinação de 10°; tempo de ensaio de 30 minutos.
Fernandes (2011)	
Local dos estudos	São Valetim-RS
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Comprimento de 0,60 m e largura de 0,25 m.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 5 cm. Umidade Natural, seca ao ar e pré-umedecidas.
Considerações adotadas	Vazão de 3 e 6 l/min; Inclinações de 10°, 18° e 30°. Tempo de 20 min
Lafayette et al. (2011)	
Local dos estudos	Cabo de Santo Agostinho-PE
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Comprimento de 1,20 m e largura de 0,35 m.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 5 cm. Umidade Natural
Considerações adotadas	Vazão de 121, 172, 193 e 240 ml/s; Inclinações de 10°, 18° e 30°; tempo de 20 min.
Ávila et al. (2013)	
Local dos estudos	Santa Maria-RS
Material e dimensões da rampa	Largura de 0,25 m e comprimento de 0,60 m.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm; Umidade Seca ao ar, pré-saturada e natural
Considerações adotadas	Vazão de 3 e 6 l/min; Inclinações de 10°, 26°, 45° e 54°.
Basso (2013)	
Local dos estudos	São Francisco de Assis-RS
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Comprimento de 0,60 m e largura de 0,25 m.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 5 cm. Umidade Natural
Considerações adotadas	Vazão de 3 e 6 l/min; Inclinações de 10°, 26°, 45° e 54°; tempo de 20 min
Jesus (2013)	
Local dos estudos	Anápolis-GO
Material e dimensões da rampa	Os mesmos de Santos (1997)
Condições das amostras de solo	As mesmas de Santos (1997)
Considerações adotadas	As mesmas de Santos (1997)
Campos (2014)	
Local dos estudos	Bauru-SP
Material e dimensões da rampa	Acrílico; Comprimento de 50 cm e largura de 11 cm; Umidade saturada, natural e seco ao ar.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm para a amostra cilíndrica; Lado de 10 e 15 cm para a amostra cúbica.
Considerações adotadas	Vazão de 50 ml/s; Inclinação de 15°, 30°, 45°; tempo de ensaio de 30 minutos.
Fonseca (2014)	
Local dos estudos	Juiz de Fora-MG
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Comprimento de 1,70 m e largura de 22cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 14,4 cm e altura de 5 cm. Umidade Natural
Considerações adotadas	Vazão de 1 l/min; Inclinações de 10°, 26°, 45° e 54°; tempo de 30 min
Fernandes (2015)	
Local dos estudos	Santa Maria - RS
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica. Comprimento de 60 m e largura de 25 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 10 cm e altura de 5 cm. Umidade natural, seca ao ar e pré-umedecidas.
Considerações adotadas	Vazão de 1 e 6 l/min; Inclinações de 10°, 26° e 45°; tempo de 20 min
Soares et al. (2018)	
Local dos estudos	Bom Jardim-RJ
Material e dimensões da rampa	Acrílico; Comprimento de 130 cm e largura de 33 cm.

Condições das amostras de solo	Diâmetro de 15 cm e altura de 10 cm. Amostras com umidade natural.
Considerações adotadas	Inclinação de 11° e 20°; tempo de ensaio de 120 minutos.
Moreira e Polivanov (2018)	
Local dos estudos	Macaé-RJ
Material e dimensões da rampa	Acrílico. Comprimento de 128 cm e largura de 20 cm.
Condições das amostras de solo	Lado de 10 cm e altura de 8 cm. Umidade natural pré-umedecida.
Considerações adotadas	Inclinações de 24°. Tempo de 10 min
Marques (2018)	
Local dos estudos	Santa Maria-RS
Material e dimensões da rampa	Chapa metálica; Comprimento de 60 cm e largura de 25 cm.
Condições das amostras de solo	Diâmetro de 9,76 cm e altura de 5 cm. Umidade natural.
Considerações adotadas	Vazão = 20 mm/3 horas; Inclinações de 2°, 3°, 4°, 5° e 8°.

Baseado nos estudos das metodologias e nos equipamentos apresentados por Inderbitzen (1961) e nas referências da Tabela 4, observou-se algumas fragilidades do ensaio. Entre estas, temos:

I. O ensaio não leva em consideração as perdas provocadas por impacto das gotas de chuva. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), a energia cinética da chuva é 256 vezes maior do que a do escoamento superficial.

II. A dimensão do equipamento original, geralmente, não permite que o fluxo da água trabalhe, pelo menos próximo, do regime de escoamento laminar, dificultando a modelagem física do ensaio;

III. A amostra no formato cilíndrico apresenta área de concentração de tensão de cisalhamento hidráulica diferente da amostra com formato prismático com base quadrada, conforme a Figura 2. Esta diferença provoca desagregação do solo mais rápida na amostra com formato cilíndrico, comparado com a amostra com formato prismático;

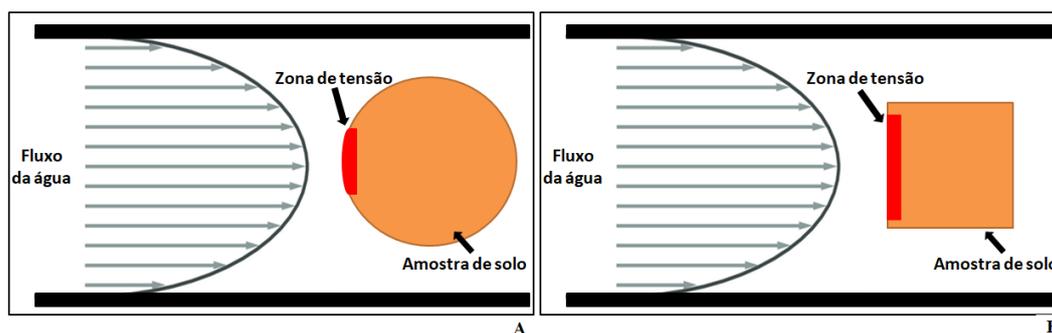


Figura 2. A) Fluxo de água agindo sobre uma amostra cilíndrica; B) Fluxo de água agindo sobre uma amostra prismática com base quadrada.

IV. As paredes do canal da rampa do equipamento não podem margear a amostra, pois nas regiões das paredes a tensão de cisalhamento hidráulica é mais variável, conforme a Figura 3;

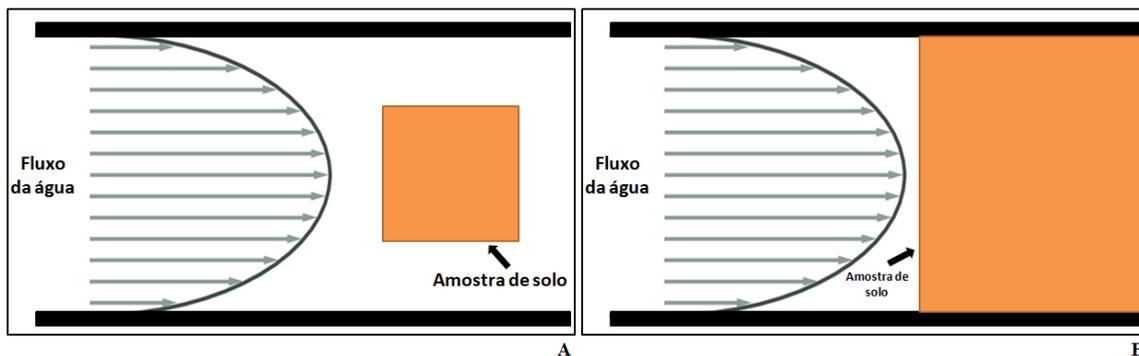


Figura 3. A) Paredes do canal distantes da amostra de solo; B) Paredes do canal margeando a amostra de solo.

V. O material da rampa, geralmente, influencia o regime de fluxo do canal, conforme o seu coeficiente de escoamento;

VI. A aplicação da vazão de água de maneira direta à rampa provoca muita turbulência no fluxo, o que atrapalha as medições;

VII. O estrangulamento no final da rampa pode provocar o retorno da água, o que provocaria perturbação no regime de escoamento do fluxo;

VIII. Adoção de peneira #200 para reter o solo perdido da amostra se torna ineficiente, pois, além de deixar passar muito solo fino, limita muito a quantidade de leituras do ensaio pelo preço elevado da peneira.

IX. O tempo de ensaio até 120 minutos se torna desnecessário, pois a maioria do solo perdido da amostra se concentra nos primeiros 20 minutos, segundo Bastos (1999). Além disso, em um determinado momento do ensaio a amostra perde muito solo e o modelo físico de erosão laminar deixa de existir, pois em um dado momento a amostra de solo possuía uma cavidade em que o fluxo de água formará um vórtice no provocará a erosão.

X. Inclinações da rampa maiores que 45° se tornam indesejáveis, pois a perda de solo se torna rápida dificultando a troca das peneiras para a coleta de solo sem perda de material. Além disso, há dificuldade de estabilizar o fluxo de água no regime laminar.

Fundamentado nas falhas observadas foi construído um equipamento com modificações nas dimensões da rampa e formato da amostra de solo. Estas modificações foram feitas de modo a diminuir a turbulência do fluxo no canal, deixando mais aproximado ao regime de escoamento laminar, aumentando o comprimento da rampa, em relação ao comprimento do equipamento do Inderbitzen (1961), conforme é mostrado na Figura 4.

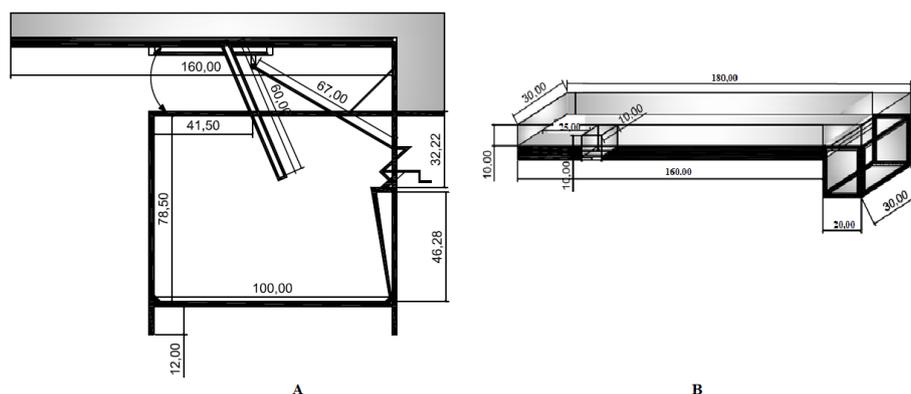


Figura 4. A) Vista lateral e dimensões do aparelho Inderbitzen Modificado; B) Vista em perspectiva e dimensões da rampa do aparelho Inderbitzen Modificado.

O equipamento é uma rampa hidráulica em acrílico e metalon, sendo feito um orifício central, onde é introduzida uma amostra de solo em um molde quadrado biselado de aço de dimensões 10 x 10 cm e 6 cm de altura.

A rampa é articulada, permitindo a variação da inclinação de 5° a 30°. O fluxo d'água na rampa é alimentado diretamente da rede hidráulica e o controle da vazão é realizado por um registro e por um rotâmetro, instalados junto ao ponto de alimentação. Para garantir uma menor turbulência do fluxo, a alimentação de água abastece um reservatório que ao transbordar fornece o fluxo de água que irá passar pela amostra de solo.

Inicialmente, três amostras de cada solo (Solos 1, 2 e 3) foram compactadas com três densidades diferentes (Tabela 3), por meio de uma prensa. As amostras foram ensaiadas em umidade natural igual à umidade ótima obtida na compactação dinâmica, sendo o molde com o solo pesado antes da instalação da rampa.

As variáveis de ensaio foram as inclinações da rampa de 7°, 14° e 21° e a vazão de fluxo de 5 l/min. Sendo que, houve 3 (três) repetições para cada característica de tipo de solo, densidade e inclinação de rampa.

Os geotêxteis, com gramatura de 200 g/m², foram empregados para reter o solo perdido, sendo que estes revestem peneiras de grande abertura. Mas antes de revestir as peneiras, foram pesados de modo a determinar o peso seco do material.

Foi passada uma cera de carro no acrílico da rampa de modo a diminuir o atrito do material com a água. Depois a amostra foi instalada na rampa de tal forma que sua superfície coincide com o fundo da rampa. Em seguida, foi anexado um pedaço de plástico sobre a amostra, para proteger a amostra durante a estabilização do fluxo de água.

Assim que o fluxo de água for estabilizado, é retirado o plástico e a amostra sofre a ação erosiva do fluxo de água.

Iniciado o ensaio, foram coletadas as amostras empregando peneiras revestidas com geotêxtil, nos tempos de 1 min, 2 min, 3 min, 4min , 5 min, 10 min e 20 min. O fluxo de água foi encerrado aos 20 min de ensaio. O tempo de ensaio de 20 min foi baseado nos trabalhos de Fácio (1991), Bastos (1999), Chamecki (2002), Lafayette et al (2005), Meira (2008), Avila (2009), Ide (2009), Pinheiro et al. (2009), Fernandes (2011) e Basso (2013).

O sistema de coleta do material erodido é constituído por um funil de chapa de aço revestido com uma lona plástica que conduz o solo perdido da amostra para uma peneira revestida com geotêxtil, conforme é mostrado na Figura 5.



Figura 5. A) Funil revestido com lona plástica; e B) Peneira revestida com geotêxtil captando o solo perdido

Os materiais de solos recolhidos, junto com os geotêxteis, foram secos ao ar durante 24 horas (Figura 6), de modo a eliminar o excesso de água. Em seguida, foram secos em estufa por 12 horas e repesado, de modo a obter o peso do solo erodido seco.



Figura 6. Geotêxteis com solo retido secando ao ar.

Os resultados foram expressos pela perda de solo acumulada relativa média - PSARM (peso seco erodido de solo acumulado médio das três repetições/peso seco de solo do corpo-de-prova médio das três repetições) em percentual plotados em relação ao tempo de ensaio em minutos, conforme ilustra a Figura 7.

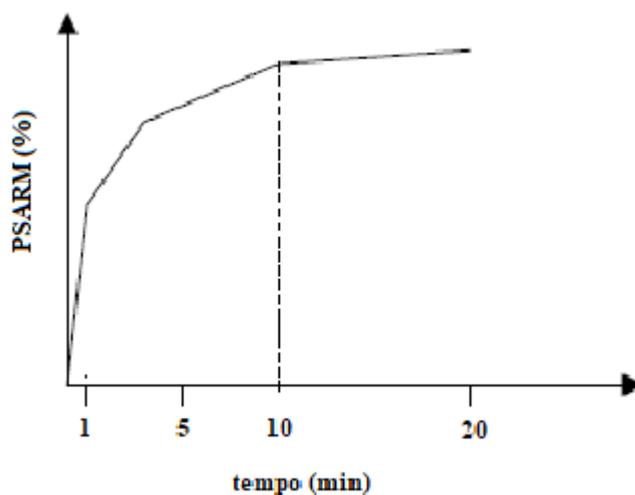


Figura 6. Curva típica PSARM x tempo de ensaio para o ensaio de Inderbitzen

Resultados

Análises das Perdas de Solo em Função do Tempo

Nas Figuras 7 a 9, são mostrados os gráficos que representam as PSARM's em função do tempo, no ensaio Inderbitzen modificado, para diferentes índices de vazios dos Solos 1, 2 e 3, respectivamente.

Analisando as Figuras 7 a 9, observou-se que, na maioria dos ensaios, há um PSARM crescente com o tempo e com o aumento da inclinação da rampa, conforme Fácio (1991), exceto para o Solo 2 (Figura 8) nos índices de vazios 1 e 3 (e_1 e e_3), no qual houve a mudança de inclinação da rampa de 7° para 14° . Esse fato é explicado pela variação da tensão de cisalhamento hidráulica não ser suficiente para deslocar partículas maiores, sendo mobilizada quantidade semelhante de partículas da primeira inclinação de rampa.

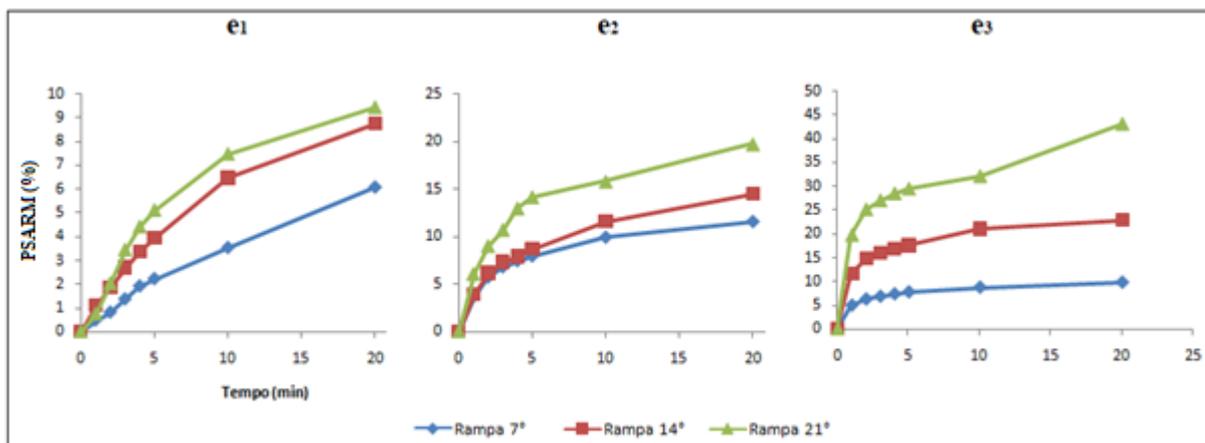


Figura 7. PSARM em função do tempo do Solo 1 com diferentes índices de vazio.

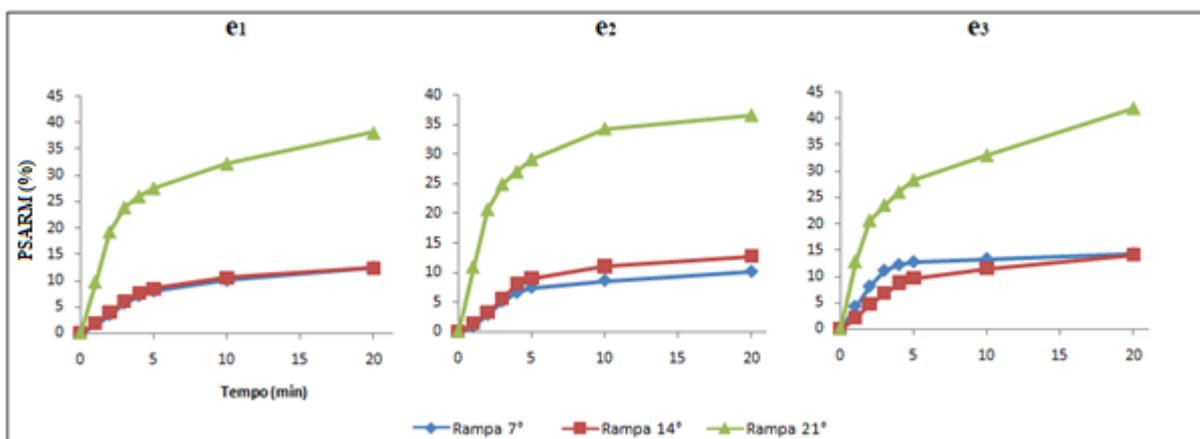


Figura 8. PSARM em função do tempo do Solo 2 com diferentes índices de vazios

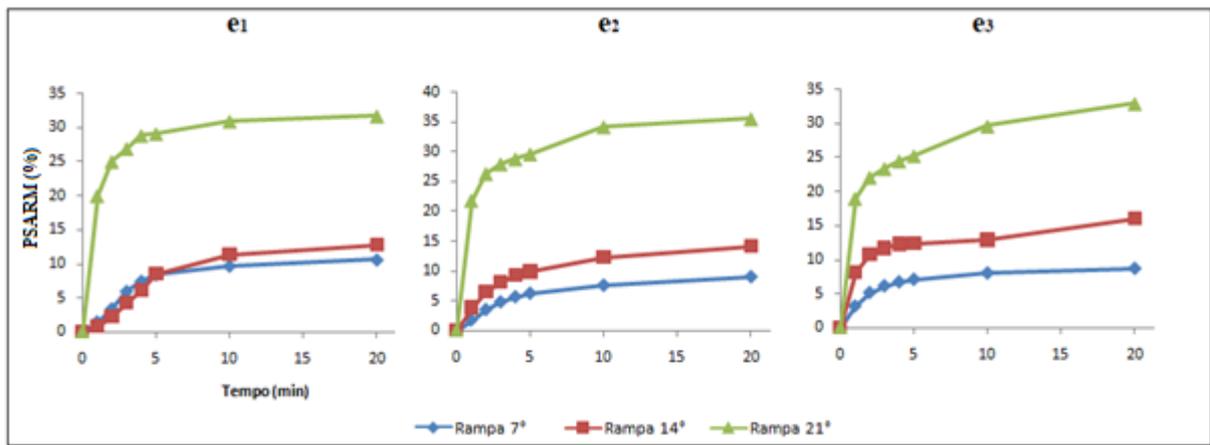


Figura 9. PSARM em função do tempo do Solo 3 com diferentes índices de vazios

As Figuras 10 a 12 apresentam as PSARM's em função do tempo com diferentes inclinações de rampas.

Observou-se que os Solos 2 e 3 (Figuras 11 e 12) apresentaram PSARM's bem semelhantes entre os índices de vazios, não sendo constatado esse comportamento no Solo 1 (Figura 10). Fato explicado por o Solo 1 ter os grãos mais finos (menor igual da peneira #100 – 0,149 mm) do solo mais coeso do que os Solos 2 e 3, sendo que essa faixa de granulometria a principal responsável por PSARM's nos primeiros 5 (cinco) minutos, conforme Ide (2009), Stephan (2010) e Jesus (2013).

Analisando a Figura 6 notou-se que houve o aumento expressivo dos valores PSARM aos 20 minutos à medida que houve o aumento do índice de vazios, exceto na inclinação de rampa de 7° em que o e₂ obteve mais perda que o e₃. Nas Figuras 11 e 12 encontraram-se valores de PSARM aos 20 minutos ficaram bem próximos, independente da inclinação da rampa. Podendo ser explicado, principalmente, pela baixa coesão dos solos, fazendo com que a tensão de compactação não provoque aglutinação necessária para diminuir a PSARM. A estabilização da PSARM ao longo do tempo (quando com o tempo não a mais perda), aparentemente, não ocorreu em nenhum solo aos 20 minutos.

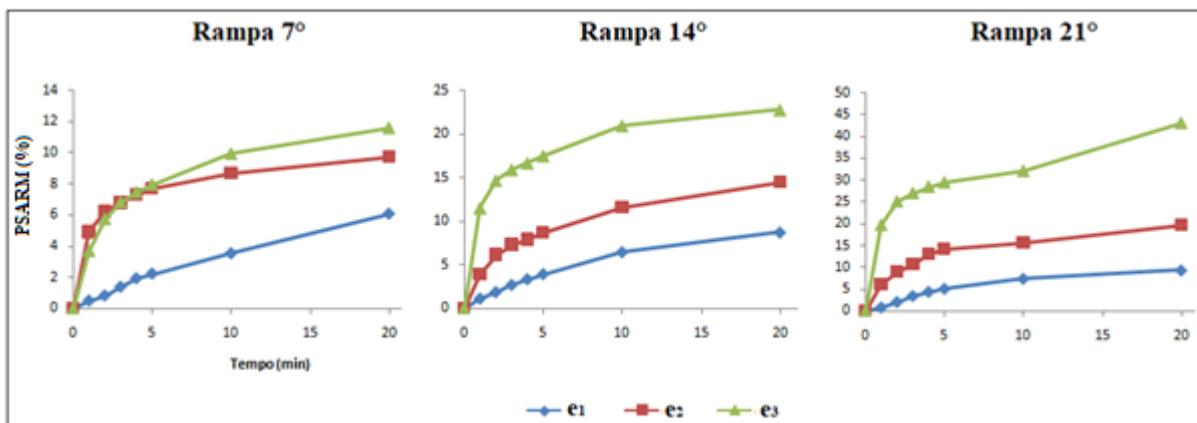


Figura 10. PSARM em função do tempo do Solo 1 com diferentes inclinações de rampas

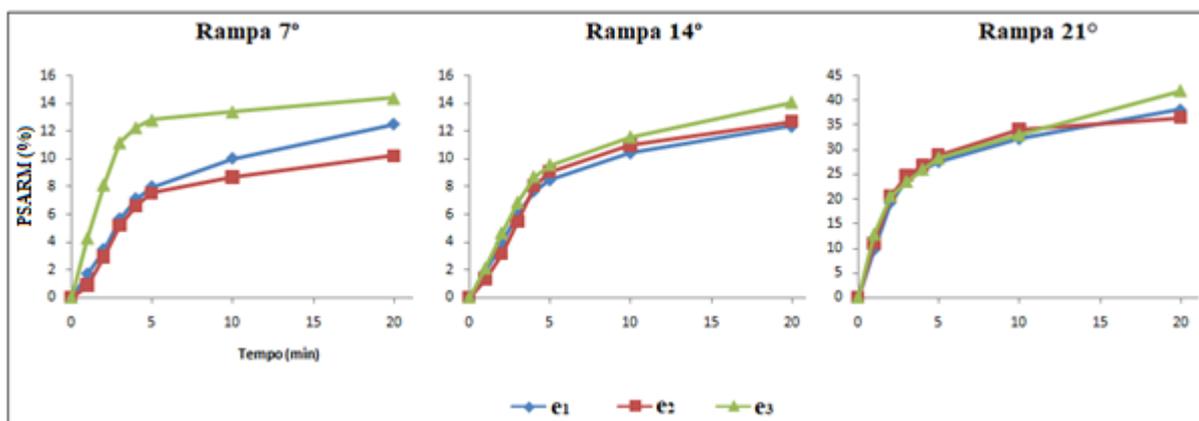


Figura 11. PSARM em função do tempo do Solo 2 com diferentes inclinações de rampas

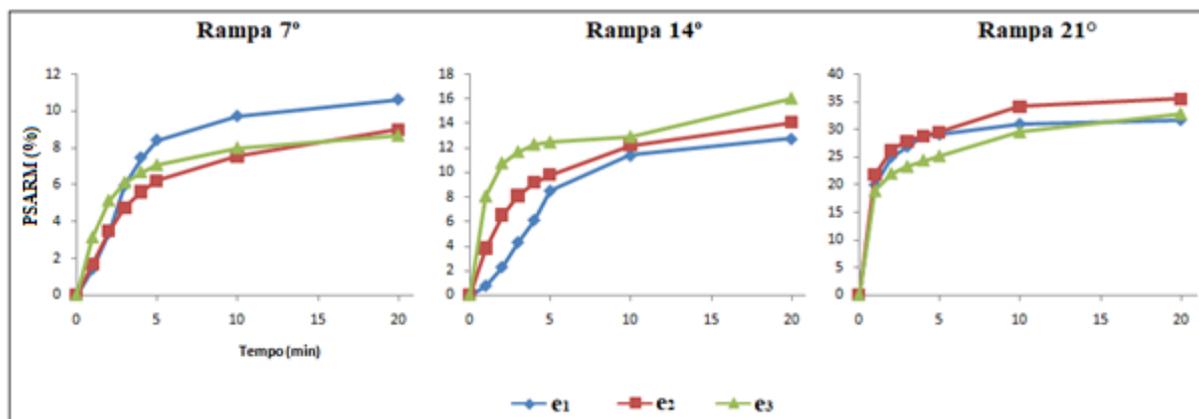


Figura 12. PSARM em função do tempo do Solo 3 com diferentes inclinações de rampas

Observou-se que, conforme Fonseca e Ferreira (1981), Fácio (1991), Bastos (1999), Ramidan (2003), Mendes (2006) e Nacinovic (2009), as maiores quantidades de PSARM nos ocorrem 5 primeiros minutos, exceto para as condições no Solo 1 no índice de vazios 1 (e_1) e nas inclinações de rampas 7 e 14 graus. Fato que pode ser explicado pelo grau de

compactação ser maior e a tensão de cisalhamento hidráulica destas inclinações não serem suficientes para desagregar as partículas em um solo coesivo nos primeiros 5 (cinco) minutos.

Apesar do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Solo 1) ser considerado um solo pouco erodível, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), mostrou-se com o maior valor de PSARM (43,19%) do que os Solos 2 (41,91%) e Solo 3 (35,59%), nos quais são solos mais erodíveis. Tendo que todos os valores máximos obtidos com a inclinação da rampa de 21° e índice de vazios e_3 .

Empregando os PSARM's aos 20 minutos dos ensaios apresentados nas Figuras 7 a 12, confeccionaram-se gráficos de superfície para estudar a influência das variáveis índices de vazios (e) e inclinação da rampa em relação aos valores médios de perda de solo acumulada relativa em percentual, conforme a Figura 13.

Observa-se na Figura 13, por meio da escala de cores das superfícies (faixas paralelas ao eixo do índice de vazios), que os Solos 2 e 3 não apresentam variações significativas de valores de PSARM quando se varia o índice de vazios (grau de compactação). Além disso, percebe-se que houve pouca variação de PSARM, também, quando se variou a inclinação da rampa de 7° para 14°. Já no Solo 1, observa-se que a variável índice de vazios provoca mais influencia nos valores de PSARM (pela inclinação da superfície), do que a variável inclinação de rampa.

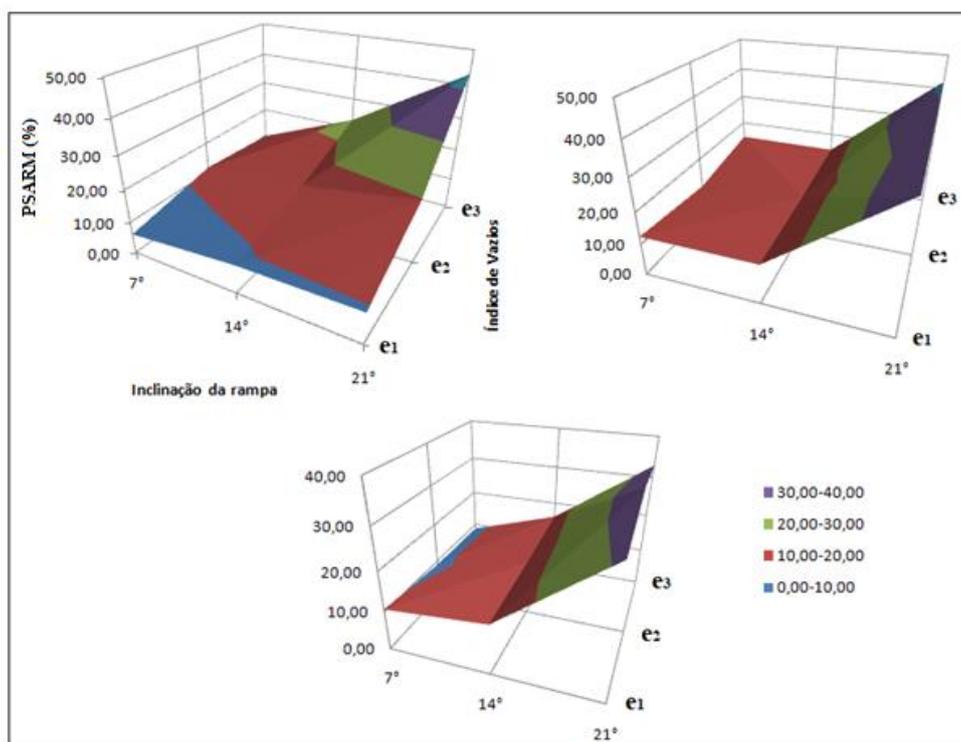


Figura 13. PSARM x Índice de vazios x Inclinação da Rampa

Conclusões

Conforme o estudo apresentado, concluiu-se que:

- A maioria dos equipamentos do ensaio Inderbitzen empregados em estudos no Brasil, são diferentes ao equipamento original;
- Diversas modificações realizadas nos procedimentos e no equipamento original do ensaio Inderbitzen modificou a execução do ensaio de maneira mais rápida e confiável;
- A confecção dos corpos-de-prova por compactação semiestática e o uso de geotêxtil como material filtrante, demonstraram uma boa repetibilidade nos resultados dos ensaios de Inderbitzen modificados. Chegando à alguns valores de ensaios à coincidem;
- O aumento da inclinação da rampa proporcionou o aumento dos valores de perda de solo acumulada relativa média (PSARM) para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Solo 1). Fato não encontrado quando se variou a inclinação de 7° para 14° nos solos NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (Solo 3) e o CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico (Solo 2).
- A variação dos PSARM's, com a variação do índice de vazios foi, evidente, para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Solo 1), mas não foi constatado o mesmo comportamento para o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (Solo 3) e o CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico (Solo 2).

Referências Bibliográficas

ALVES, E. C. *Estimativa da Erodibilidade dos Solos com Diferentes Densidades*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EAEA), Goiânia, 2019, p 246.

ÁVILA, L.O. *Erosão na microbacia do Arroio Sarandi: Voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria-RS*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, 2009, p. 114.

AVILA, L.O.; ROBAINA, L.E.S.; BERGER, M.G. Urbanização e as áreas de risco: o caso de Santa Maria, RS. In: Luis Eduardo de Souza Robaina; Romásio Trentin. (Org.). *Desastres Naturais no Rio Grande do Sul*. 1ed.Santa Maria:, v.1, 2013, p. 183-203.

BARRETO, A.G.O.P. *História e geografia da pesquisa brasileira em erosão do solo*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2007, p. 120.

BASSO, L. *Estudo da erodibilidade de solos e rochas sedimentares de uma voçoroca na cidade de São Francisco de Assis-RS*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013, p. 140.

BASTOS, C.A.B. *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999, p. 303.

CAMPOS, C.J.M. *Avaliação da erodibilidade pelo método Inderbitzen em solo não saturado da região de Bauru-SP*, Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014, p. 153. Cardoso et al. (2005)

CHAMECKI, P. R. *Metodologias de laboratório para estudos de erosão hídrica em solos: aplicação a uma argila da Formação Guabirotuba*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, 2002, p. 274.

CHUQUIPIONDO, I.G.V. *Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água: estudo de caso trecho de vazão reduzida Capim Branco I Araguari Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, p. 216.

FÁCIO, J.A. *Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, DF, 1991, p. 107.

FERNANDES, J.A. *Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valetim/RS*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2011, p. 127.

FERNANDES, L.P. *Avaliação da erodibilidade de um perfil de solo típico da área do campo de instrução de Santa Maria – RS*, Dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2015, p. 150.

FONSECA, L.D.M. *Indicadores ambientais em áreas de riscos de deslizamentos de terra em Juiz de Fora, Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2014, p. 70.

FONSECA, A.M.M.C.C.; FERREIRA, C.S.M. *Metodologia para Determinação de um Índice de Erodibilidade de Solos*. Anais do Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, 1, 1981, p. 646-667.

FRAGASSI, P.F.M. *Estudo da erodibilidade dos solos residuais de gnaisse da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)*. Dissertação de mestrado, Universidade de Viçosa, 2001, p. 119.

GOMES, F.S. *Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo erosivo*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2001, p. 207.

IDE, D.M. *Investigação geotécnica e estudo de um processo erosivo causado por ocupação urbana*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009, p. 143.

INDERBITZEN, A.L. Na erosion test for soils. *Materails research and Standards*, Vol 1, p. 553-554, 1961.

JESUS, A.S. *Investigação Multidisciplinar de Processos Erosivos Lineares: Estudo de Caso da Cidade de Anápolis - GO*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, p. 340, 2013.

JESUZ, C.R.; CABRAL; I.L.L. Análise da erosão laminar em áreas com uso agrícola e pastagem: Bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral – MT. *Revista Geosul*, v. 34, n. 72, 2019, p. 254-279.

KOETZ, M.; PRUSKI, F.F.; MEHL, H.U.; SILVA, D.D.; MARQUES, E.A.G. Métodos para a determinação da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo em estradas não pavimentadas. *Revista Engenharia na Agricultura – REVENG*, 2009, p. 110-119.

LAFAYETTE, K.P.V.; COUTINHO, R.Q.; QUEIROZ, J.R.S. Avaliação da erodibilidade como parâmetro no estudo de sulcos e ravinas numa encosta no Cabo de Santo Agostinho. *IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*. Salvador-BA, 2005, p. 387-399.

LEMOS, C.F. *Avaliação da erosão superficial em áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional, utilizando o aparelho de Inderbitzen*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, p. 85, 2002. Lemos et al. (2007)

LIMA, M.C. *Contribuição ao estudo do processo evolutivo de boçorocas na área urbana de Manaus*. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 1999, p. 150.

MARQUES, R.D. *Progressões Denudacionais na Vila São Rafael, Zona Norte de Santa Maria-RS*, Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, 2018, p. 261.

MATHIAS, D.T.; NUNES, J.O.R. A dinâmica geotecnogênica em áreas periurbanas: município de São Pedro. *Revista Geosul*, v. 34, n. 70, 2019, p. 484-498. Meira, 2008

MENDES, C.A.R. *Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e cin pousio no município de Bom Jardim – RJ*. Tese de doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006, p. 237.

MENEZES, S.M.; CARVALHO, D.; ALBUQUERQUE, P.J.R. Estudo da erodibilidade de solos em encostas no sudeste do Brasil. *Revista de Tecnologia Fortaleza*, v. 27, n. 1, 2006, p. 58-63.

MENEZES, C.E.E.; NACINOVIC, M.G.G.; AVELAR, A.S.; MAHLER, C.F. Parâmetros hidrológicos e erosivos obtidos em parcelas experimentais, bacia do córrego Sujo, Teresópolis, *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2009, p. 17.

MOREIRA, R.F.; POLIVANOV, H. `Potencial erosivo de perfil de solo de talude de corte através de ensaios de Inderbitzen, *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 32, 2018.

MOTTA, N.O. *Caracterização Geotécnica e dos processos erosivos na Cidade de Campo Grande – MS*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2001, p. 179.

NACINOVIC, M.G.G. *Estudo de erosão pela análise de sucção e escoamento superficial na bacia do córrego Sujo (Teresópolis, RJ)*. Dissertação de mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009, p. 167.

NAGEL, F.; STORGATTO, G.; BASSO, L.; NUMMER, A.V.; PINHEIRO, R.J.B. Ensaio Interbitzen: Estudo da erodibilidade de solos e rochas sedimentares. V *SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL*, Pelotas-RS, 2009.

NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. Ed. Villibor, São Paulo, 1995, p. 213.

PAIVA, C.F.E. *Avaliação da erodibilidade de alguns horizontes residuais pertencentes a Bacia do Rio Uma-Taubaté-SP*. Tese de doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2004, p. 194.

PINHEIRO, R.J.B.; NUMMER, A.V.; SANGOI, D.S. Caracterização de processo erosivo tipo voçoroca no oeste do estado do Rio de Grande do Sul. V *COBRAE - Conferência Brasileira sobre estabilidade de Encostas*, 2009.

RAMIDAN, M. A. S. *Estudo de um Processo de Voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara – GO*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, p. 242, 2003.

REGO, J.J.V. *Erosão Superficial em Taludes de Corte em Solo Residual de Gnaisse*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Rio de Janeiro, 1978.
RODRIGUES, J.E. *Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas*. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1982, p. 162.

SANTOS, R.M.M. *Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no município de Goiânia*. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 1997, p. 120.

SAMPAIO JÚNIOR, J.L.C. Avaliação da erosão por escoamento superficial nos solos da base de uma Torre de Linha Transmissão de energia, no estado do Pará. *COBRAMSEG 2010: Engenharia Geotécnica para o Desenvolvimento, Inovação e Sustentabilidade*, Gramado-RS, 2010.

SANTOS, L.M. *Caracterização geotécnica de um solo não saturado sob processo erosivo*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2001, p. 114.

SOARES, D.L.; POLIVANOV, H.; BARROSO, E.V.; MOTTA, L.M.G.; SOUZA, C.C. Erodibilidade de solos em taludes de corte de estrada não pavimentada. *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ*, V. 41, 2018, p. 179-193.

STEPHAN, A.M. *Análise de processos erosivos superficiais por meio de ensaio de Inderbitzen*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2010, p. 165.

10.18227/2177-4307.acta.v16i42.6474

VIANA, C. S.; GALVÃO, T.C.B. Soil erosion in Belo Horizonte quo vadis?.In: *5th Int. Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development*, Belo Horizonte: UFMG, 2000, p. 164-164.