

CONFECÇÃO DE UM PROTÓTIPO DO APARELHO DE INDERBITZEN PARA AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE UM SOLO EM MACAPÁ-AP

Vitor Brito da Costa¹
Geremy Carlos Freitas²
Jefferson Mota de Carvalho³

RESUMO

A erosão é um processo natural que faz parte da dinâmica do planeta na modificação da superfície terrestre, mas quando esse processo é acentuado pelo homem surgem grandes prejuízos sociais e econômicos. Nas obras de engenharia geotécnica sempre ocorrem modificações do relevo que podem ser diretas, como a movimentação de terra, ou indiretas, no caso das fundações. Dessa forma, é importante que os profissionais atuantes nessa área conheçam o fenômeno a fim de minimizá-lo. Buscando conhecer melhor o fenômeno da erosão, esse trabalho dedicou-se em compreender seu desenvolvimento, as variáveis externas que o influenciam e, principalmente, a variável interna chamada erodibilidade. Para obtenção da erodibilidade do solo confeccionou-se um protótipo do aparelho de Inderbitzen, em madeira, com o qual foi possível simular as condições naturais do solo através de um escoamento laminar de água obtendo assim o fator de erodibilidade. Ao mesmo tempo, buscou-se conhecer a granulometria, os limites de Atterberg e alguns índices físicos do solo para aprofundamento das análises. Ao final, o solo foi classificado como uma argila de baixa plasticidade com erodibilidade mista, pois em duas amostras apresentou erodibilidade média e em outra, alta; essa variação pode ser explicada pelo fato de as amostras serem retiradas em diferentes pontos no talude.

Palavras-chave: Ensaio de Inderbitzen modificado. Erosão. Erodibilidade.

ABSTRACT

Erosion is a natural process that is part of the planet's dynamics in modifying the earth's surface, but when this process is accentuated by man, great social and economic damages arise. In geotechnical engineering works there are always changes in the relief that can be direct, such as earth moving, or indirect, in the case of foundations. Thus, it is important that professionals working in this area know about the phenomenon in order to minimize it. Seeking to better understand the phenomenon of erosion, this work was dedicated to understanding its development, the external variables that influence it and, mainly, the internal variable called erodibility. To obtain the soil erodibility, a prototype of the Inderbitzen device was made in wood, with which it was possible to simulate the natural conditions of the soil through a laminar flow of water, thus obtaining the erodibility factor. At the same time, we sought to know the granulometry, the Atterberg limits and some physical soil indices for further analysis. In the end, the soil was classified as a clay of low plasticity with mixed erodibility, as in two samples it presented medium erodibility and in another, high; this variation can be explained by the fact that samples are taken at different points on the slope.

Keywords: Modified Inderbitzen Test. Erosion. Erodibility.

¹ Graduando de Engenharia Civil pelo Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP. E-mail: vitorbrito581@gmail.com

² Docente de Engenharia Civil do Centro de Ensino Superior do Amapá. E-mail: geremy.freitas@ceap.br

³ Docente de Engenharia Civil do Centro de Ensino Superior do Amapá. E-mail: jefferson.carvalho@ceap.br

1 INTRODUÇÃO

O estudo do solo em sua totalidade é conhecido como pedologia, porém dependendo do que se quer conhecer dele, pode-se subdividir essas investigações em outras áreas específicas de conhecimento: química e mineralogia do solo, física do solo, mecânica dos solos e biologia do solo (BRITO, 2019). Quando se trata mais especificamente da investigação do solo na área da engenharia civil, denomina-se essa ciência de mecânica dos solos.

Por se ter uma área específica e responsável pela investigação minuciosa dos solos, conclui-se que conhecer suas propriedades é importante para os engenheiros civis, pois estes aplicam esses conhecimentos diretamente na execução de diversos tipos de obras, tais como: movimentação de terra, muros de arrimos, taludes, rebaixamento do lençol freático e, indiretamente, nas construções de edifícios em projetos urbanos e rurais, entre outras.

Assim, como esses profissionais fazem uso intenso do solo, conseqüentemente haverá modificações do relevo, da ocupação do solo, da vegetação, das propriedades internas e diminuição ou agravamento de processos naturais existentes. Quando se trata de agravamento de processos naturais pelo homem, tem-se como exemplo, a erosão.

De acordo com Demarchi (2014), a erosão é o principal impacto ambiental negativo que surge da inadequada utilização do solo, pois causa redução de sua fertilidade e produtividade agrícola, assoreamento dos cursos de água, perda de toneladas de sedimentos por ano e deslizamento de terra.

Esse processo consiste na degradação, decomposição e remoção de partes da superfície terrestre, sendo causado por diferentes agentes, como a água e o vento, respectivamente erosão hídrica e erosão eólica (DA SILVA, 1995; SANTOS, 2015; FALCETA, 2018). Diante disso, percebe-se a necessidade de conhecer as variáveis desse fenômeno, pois dessa forma se poderá controlá-lo e minimizar suas conseqüências na natureza.

A intensidade da erosão ocorre através de pequenas variações nas condições, características e propriedades dos solos. Assim, variações, mesmo que pequenas, na cobertura vegetal, inclinação do terreno, clima e o tipo de solo provocam aumento ou diminuição da atuação da erosão (TOMINAGA, 2009).

Pode-se dizer que essas características e condições são variáveis externas ao solo, todavia existe uma variável interna chamada de erodibilidade do solo. Esta propriedade é definida como sendo a maior ou menor facilidade com que as partículas dos solos têm de se desprenderem e serem transportadas pela ação de um agente erosivo (COUTO, 2015). Sendo assim, para solos de um mesmo local em condições externas iguais, ainda poderá haver diferenças na sua resistência à erosão, pois suas propriedades físicas, químicas e biológicas variam de acordo com os processos que o formam, isto é, esses solos podem ter diferentes coeficientes de erodibilidade (COUTO, 2015).

O interesse em conhecer essa propriedade do solo é devido seu corriqueiro uso nas obras de engenharia civil, e quando se pensa no estado do Amapá, que faz parte da

Amazônia brasileira, a importância ainda maior devido as condições climáticas e a ausência de estudos na área.

Sendo assim, tomou-se a investigação do potencial erodível do solo componente do talude adjacente à estrada de terra que liga a Rodovia AP-440 ao bairro Parques dos Buritis na Zona Norte de Macapá como o problema desse estudo. Escolheu-se um talude com vegetação rasteira e inclinação de 45°, considerada elevada.

Dessa forma, foram obtidas amostras deformadas e indeformadas, para classificação e caracterização dos solos; e a erodibilidade através do ensaio de Inderbitzen, para o qual foi confeccionado um protótipo em madeira para simular as condições do local da amostragem.

Com este trabalho pretende-se proporcionar aos profissionais maior conhecimento do fenômeno da erosão, além de apresentar uma metodologia para obtenção dos parâmetros necessários para avaliar a erosão dos solos presentes nas diversas obras, o que pode torná-las menos onerosas e mais eficientes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTUDO DA EROSIÃO

2.1.1 Conceito

A erosão é um processo natural que faz parte da dinâmica do planeta. Constitui-se em um processo de degradação, decomposição e remoção de partes da superfície terrestre pela ação da chuva, dos ventos, das águas dos rios, etc., em que expõe as rochas a condições divergentes das de sua formação e suaviza a superfície terrestre (DA SILVA, 1995; FALCETA, 2018).

Esse processo de erosão pode ser denominado de erosão geológica ou natural, tendo como característica sua intensidade sempre menor do que a intensidade de formação do solo; todavia, quando há a ação do homem intensificando-o, passa a ser chamado de erosão acelerada e sua intensidade é maior que a intensidade de formação dos solos, impedindo sua deposição e acúmulo (DA SILVA, 1995).

2.1.2 Agentes da erosão

A água e o vento são os agentes da erosão, este age com maior intensidade em regiões áridas, semiáridas e com solo descoberto, tanto em áreas planas como de topografia irregular; aquele, porém, age em regiões de elevadas precipitações pluviométrica, em áreas com solo descoberto e com topografia irregular (GIACOMINI; PES, 2017). Porém, alguns autores destacam outros agentes, como a temperatura e ação biológica.

Na erosão causada pela ação biológica, seres vivos promovem um ambiente mais propício à degradação. Da Silva (1995, p. 5) dá um exemplo da ação biológica: “as formigas e as minhocas que provocam o aumento da aeração e oxidação, acelerando o processo de decomposição de rochas resistentes, facilitando o transporte das partículas pelos agentes água e vento”. Quanto à temperatura, sua variação interfere na erosão geológica, pois quando há mudanças nela, seja acentuada ou não, percebe-se erosão na camada

superficial ou na profunda, respectivamente.

2.1.3 Erosão pluvial e suas etapas

A erosão causada pela ação da água da chuva atinge praticamente toda a superfície da terra, pois o processo conhecido como ciclo da água é essencial e ocorre em quase todos os ecossistemas do planeta. Contudo, percebe-se uma intensificação em regiões tropicais, pois existe um alto índice pluviométrico, consequência do alto teor de umidade dessas áreas (SANTOS, 2015).

“Ela pode ser dividida em dois tipos principais de acordo com a ocorrência do escoamento das águas: erosão laminar ou em lençol e erosão linear” (TOMINAGA, 2019, p. 55). Na erosão laminar ou em lençol, há o escoamento das águas difusamente, ou seja, a água escoar uniformemente pela superfície do terreno; transporta sedimentos superficiais sem formar canais definidos e, geralmente, assoreia os rios, lagos e represas (PROIN/CAPEIS; UNESP/IGCE, 1999; TOMINAGA, 2019).

Já a erosão linear é causada pela concentração da água em determinados pontos e seu fluxo se dar através de filetes. Consequentemente, passa a formar caminhos no solo e, com o decorrer do escoamento, esses caminhos irão se aprofundando ainda mais, de forma que esse tipo de erosão se desmembra em outros de acordo com a profundidade dos percursos formados (PROIN /CAPEIS; UNESP/IGCE, 1999).

O primeiro e menos profundo é conhecido por sulco, nele o fluxo d'água forma incisões no solo de até 0,5 metros de profundidade sendo condicionado por uma inclinação maior do terreno e pela concentração de lamina finas de água; o segundo, por sua vez, é conhecido por ravina e acontece quando as incisões formadas pelos sulcos agravam-se passando da profundidade de 0,5 metros, as águas escavam os solos até seus horizontes inferiores; por último, estágio mais grave da erosão linear, tem-se a boçoroca ou voçoroca, neste caso grandes volumes de água ganham velocidade, desagregando as laterais e o fundo das ravinas atingindo o nível freático que aflora no fundo do canal, existindo, portanto, a ação conjunta das água superficiais e subterrâneas (DA SILVA, 1995; GIACOMINI; PES, 2017; PROIN/CAPEIS, UNESP/IGCE, 1999).

2.2 ERODIBILIDADE

O fator de erodibilidade pode ser definido como sendo o potencial que um solo tem de ter suas partículas carregadas por agentes erosivos (COUTO, 2015). Essa capacidade se dar através de suas propriedades constituintes, ou seja, depende muito da rocha geradora do solo e dos processos intempéricos que o formaram.

Essa propriedade é mais perceptível quando o solo está completamente exposto a ação erosiva. Sendo, nessa situação, a erodibilidade o único fator resistente aos processos erodíveis (CAMPOS, 2014). Sendo assim, nota-se que essa propriedade é interna ao solo, diferente da inclinação do terreno, cobertura vegetal, umidade, intensidade da chuva, entre outras, que influenciam na intensidade da erosão também, todavia são externas a ele. Para obtenção desse fator têm-se vários métodos, porém o que trabalha diretamente com o solo simulando

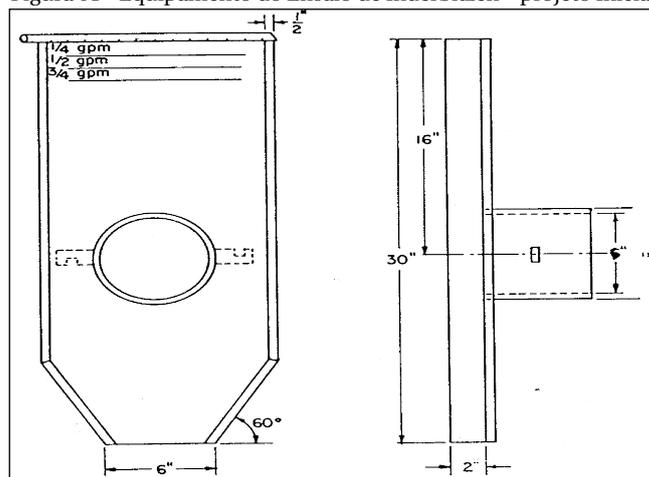
suas condições naturais é o chamado Ensaio de Inderbitzen.

2.3 ENSAIO DE INDERBITZEN

O ensaio de Inderbitzen, entre os ensaios em canais hidráulicos, é o mais utilizado no meio geotécnico devido sua simplicidade (BASTOS, 2004). Este ensaio foi desenvolvido originalmente por Inderbitzen (1961) em sua publicação “An erosion test for soils”, o qual pode medir a perda solo das amostras através da simulação das condições naturais que ele é encontrado. Nesse ensaio, a inclinação do plano da superfície coincide com o plano variável da rampa proporcionando um escoamento planejado no qual pode-se simular várias situações e obter diferentes resultados e previsões de possíveis mudanças caso ocorra alguma alteração na condição natural do solo (FERNANDES, 2011).

O ensaio começou a ser conhecido no meio geotécnico e passou a ser chamado de ensaio de Inderbitzen, esonômetro ou, ainda, ensaio de erosão (BASTOS, 2004). Através da Figura 01, pode-se observar a concepção inicial do aparelho desenvolvido por Inderbitzen.

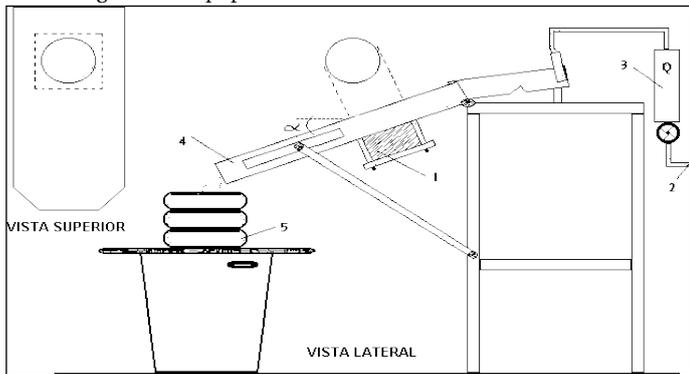
Figura 01 - Equipamento do Ensaio de Inderbitzen – projeto Inicial



Fonte: Inderbitzen (1961 apud BASTOS, 2004)

Com o passar do tempo, vários ensaios e modificações do aparelho foram feitas, dentre esses o que chamou a atenção dos pesquisadores nessa área foi o de Bastos (2004). Este utilizou um equipamento específico (Figura 02) desenvolvido no laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LMS/UFRGS). O equipamento é constituído por uma rampa hidráulica em chapa metálica com 25 cm de largura e 60 cm de comprimento e por um orifício central, onde é colocada a amostra confinada em um anel de PVC biselado (diâmetro de 9,76 cm e altura de 5 cm).

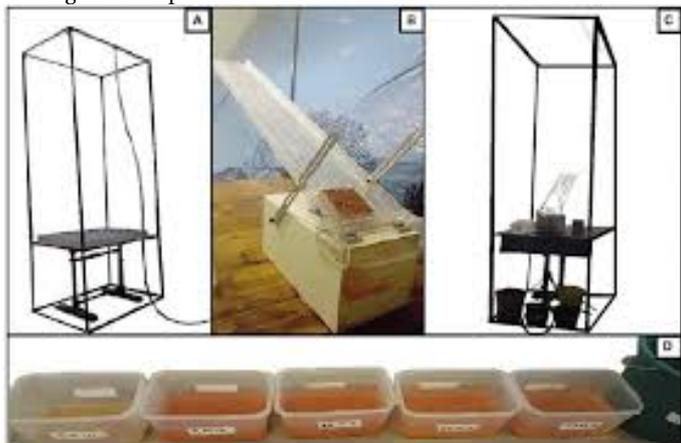
Figura 02 - Equipamento desenvolvido no LMS/UFRGS



Legenda: 1: Amostra de solo; 2: Entrada de água; 3: rotâmetro (medidor de vazão); 4: rampa; 5: peneira. Fonte: Bastos (2004)

Com o passar do tempo as modificações continuaram. Mais recentemente foi desenvolvido o chamado aparelho de Inderbitzen modificado, o qual leva em consideração tanto o fluxo constante superficial quanto o efeito da erosão causada pelo impacto das gotas de chuva através de um simulador de chuvas (SOARES, 2019). Freire (2001 apud SOARES, 2019) iniciou essa nova modificação em seu trabalho ao adaptar um simulador de chuvas no antigo ensaio. Um exemplo desse simulador pode ser visto na Figura 03 proposto por Souza (2012 apud SOARES, 2019).

Figura 03 - Aparelho de Inderbitzen com simulador de chuvas



Legenda: A: Simulador de chuva; B: aparelho de Inderbitzen; C: conjunto Inderbitzen modificado; D: coletores. Fonte: Souza (2012 apud SOARES, 2019)

Assim, apesar de não ser normatizado, esse ensaio ordinariamente é utilizado em pesquisas e traz grandes contribuições para o estudo dos solos. Atualmente, tanto o ensaio de Inderbitzen que considera somente o escoamento superficial quanto aquele que considera o efeito das gotas das chuvas são usados e trazem resultados satisfatórios. A escolha sobre qual será usado dependendo muito dos materiais disponíveis para construção do aparelho e das características do ambiente que será estudado.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia foi desenvolvida através de três etapas sucessivas: escritório, campo e laboratório. A seguir tem-se o desenvolvimento detalhado de cada uma delas.

3.1 ETAPA DE ESCRITÓRIO

3.1.1 Área de estudo

O local escolhido para estudo foi uma estrada de terra no Município de Macapá, capital do Estado do Amapá, que liga a Zona Oeste à Zona Norte da cidade. A estrada foi bastante utilizada, pois reduzia o tempo e o percurso entre as duas regiões, e o fluxo de veículos se dava pelo crescente número de residenciais e loteamento na Zona Norte. Porém, hoje a estrada se encontra em mal estado de conservação, sendo pouco utilizada. A seguir a Figura 04 apresenta a Rua linha E, o local de estudo.

Figura 04 - Rua Linha E

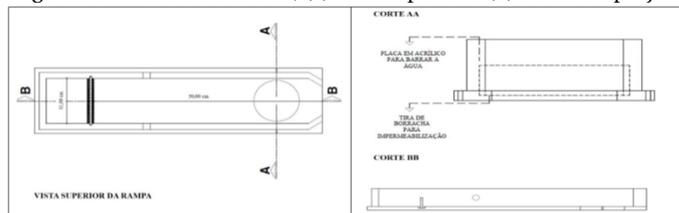


Fonte: Adaptado de GOOGLE MAPS (2021)

3.1.2 Construção do protótipo do aparelho de Inderbitzen

O aparelho utilizado baseou-se no modelo de Soares (2019), no seu trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, tendo como título “Confecção de aparelho de Inderbitzen para avaliação do fenômeno erosivo em um solo da região sudoeste de Anápolis (GO)”. O modelo do seu projeto pode ser visto na Figura 05, onde vê-se a vista em planta e seus cortes.

Figura 05 - Modelo de Soares, (a) vista superior e (b) cortes do projeto

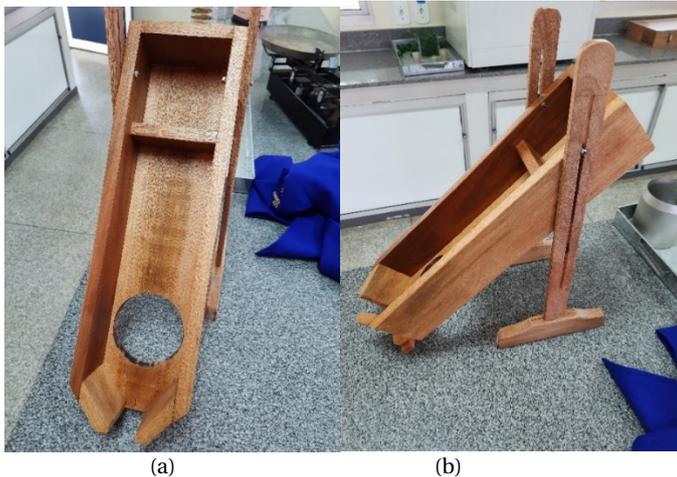


Fonte: Soares (2019)

A diferença entre o aparelho de Soares (2019) e o desenvolvido para o ensaio nesse trabalho é o material utilizado, pois foi desenvolvido uma rampa hidráulica de madeira, material abundante na região.

As dimensões do aparelho são 110,0 mm de largura, comprimento da rampa de 500,0 mm, furo de 100,0 mm na ponta para encaixe do amostrador e um pequeno reservatório de 110,0 mm x 110,0 mm para uniformizar o fluxo de água na rampa. O modelo utilizado pode ser visto na Figura 06, nela é possível ver dois pés como suporte e reguladores de altura e inclinação que auxiliarão no Ensaio.

Figura 06 - (a) Vista frontal e (b) vista lateral do Aparelho de Inderbitzen em madeira



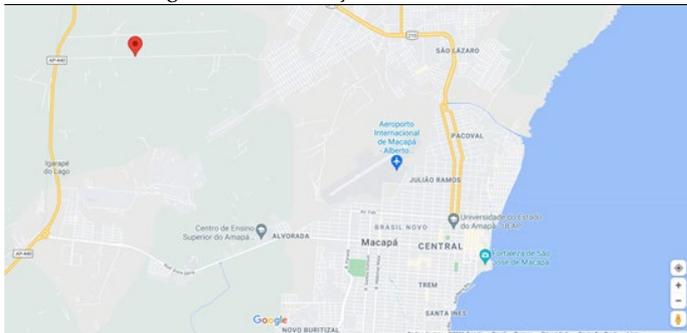
(a) (b)
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

3.2 ETAPA DE CAMPO

3.2.1 Coleta de amostras

Na manhã do dia 14 de maio de 2021, foi realizada a coleta de cinco amostras indeformadas e uma amostra deformada. O local onde foram retiradas as amostras encontra-se nas coordenadas 0°04'24,8" N (latitude) e 51°07'113" W (longitude), conforme Figura 07.

Figura 07 - Localização da área de estudo



Fonte: Google Maps (2021)

O amostrador para retirada do solo é um cilindro metálico com altura de 12,52 cm e diâmetro de 10,14 cm (Figuras 08a e 08b).

Figura 08 – Amostrador na (a) vertical e na (b) horizontal



(a) (b)
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por estar completamente coberto por uma vegetação de pequeno e médio porte, foi necessário limpar a área para amostragem. Na Figura 09, tem-se todas as ferramentas usadas para limpeza e escavação (A), a vista completa do talude (B) e o registro do momento da limpeza da área (C).

Figura 09 – Ferramentas para limpeza, vista do talude e limpeza do local



A: Ferramentas para escavação e limpeza; B: Talude; C: Limpeza do local

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com relação às amostras indeformadas, estas foram retiradas com uma distância de 40,0 cm uma da outra subindo o talude, que tinha aproximadamente 4,0 metros de altura e uma inclinação de 45 graus. Pela acentuada inclinação, necessitou-se primeiro retirar camadas de terra até plainar uma pequena região para cravação do amostrador. Na Figura 10, tem-se o primeiro amostrador no solo e, também, o processo de seu encravamento.

Figura 10 – Passos para entrada do amostrador no solo



A: Amostrador no solo; B: Cavação ao redor do amostrador

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

3.3 ETAPA DE LABORATÓRIO

3.3.1 Ensaio de caracterização, limites de Atterberg, massa específica e índices físicos

Os ensaios de caracterização foram desenvolvidos no laboratório de solos do Centro de Ensino Superior do Amapá (CEAP), entre os dias 07 e 28 de maio de 2021. Realizaram-se os ensaios de análise granulométrica de acordo com a NBR 7181 – Análise Granulométrica, os limites de Atterberg de acordo com a NBR 6459 – Determinação do limite de liquidez e a NBR 7180 – Determinação do limite de plasticidade e a massa específica de acordo com a NBR 6508 – Determinação da massa específica.

Com os resultados obtidos nos ensaios de caracterização, pode-se calcular alguns índices físicos, como: teor de umidade, densidade relativa dos grãos, índices de vazios, porosidade e massa específica seca.

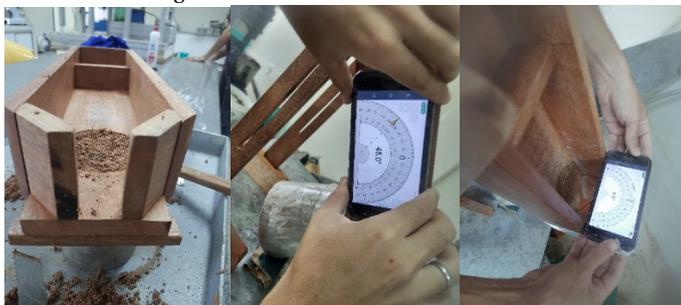
3.3.2 Ensaio de Inderbitzen

De acordo com Fácil (1991), os parâmetros ideais para realização dos ensaios são vazão de 50 ml/s, tempo de 20 minutos e rampa com inclinação de 10°. O único valor que foi adaptado foi a declividade, pois o talude em estudo tinha inclinação aproximadamente de 45°, dessa forma, manteve-se essa variável próxima ao real.

A primeira etapa foi a calibração do aparelho. Através de um bécquer de 600 ml, e um cronômetro pode-se testar a vazão da torneira que alimentou o aparelho e deixá-la constante na vazão de 50 ml/s. A inclinação de 45° foi mantida pelos adaptadores deixados nos apoios do aparelho e o apoio da amostra se deu através de fita adesiva, que suportou satisfatoriamente o peso da amostra durante os ensaios.

O ensaio completo se desdobrou nas seguintes fases: posicionamento da amostra na rampa e sua fixação com a fita adesiva; calibração da inclinação e da horizontalidade da rampa; verificação da vazão; recolhimento do solo erodido nos tempos de 1,0, 5,0, 10,0 e 20,0 minutos com 4 baldes; e, por último, sedimentação dos solos e secagem na estufa. Na Figura 11, pode-se ver como a amostra foi nivelada na rampa de escoamento e organizada para o ensaio.

Figura 11 – Desenvolvimento do ensaio



A: Alocação da amostra da rampa hidráulica; B: Verificação da horizontalidade da rampa; C: inclinação da rampa

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Na Figura 12, a seguir, tem-se uma amostra de solo em sua situação logo após o ensaio e as suas partículas em processo de decantação.

Figura 12 – Solo depois do ensaio



Legenda: A: Amostra do solo após o ensaio; B: Partículas em sedimentação

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA, LIMITES DE ATTERBERG, MASSA ESPECÍFICA E ÍNDICES FÍSICOS

Pinto (2006) elabora os passos para caracterizar o solo de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS). Assim, de acordo com o SUCS, o solo em estudo é CL, argila de baixa plasticidade. Quanto às propriedades do solo, pode-se resumi-las na Tabela 01 a seguir.

Tabela 01 – Propriedades do solo

PROPRIEDADE	VALOR	UNIDADE
Limite de liquidez (LL)	31,45	%
Limite de plasticidade (LP)	18,55	%
Índice de plasticidade (IP)	12,90	%
Massa específica (ρ)	1,83	g/cm ³
Teor de umidade (w)	24,4	%
Densidade relativa dos grãos (Gs)	2,75*	-
Índice de vazios (e)	31,57	%
Porosidade	83,47	%
Massa específica seca (pd)	30,31	%

* valor estimado com base na composição do solo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.2 ENSAIO DE INDERBITZEN

A realização do ensaio ocorreu de forma satisfatória mantendo-se os cuidados quanto a inclinação da rampa, a vazão e o tempo de ensaio. Foram retiradas 05 amostras de solos, todavia utilizou-se apenas as três primeiras.

Com resultados dos ensaios, foram elaboradas tabelas com os valores dos solos nos tempos de 1,0, 5,0, 10,0, e 20,0 minutos, além dos gráficos de solo acumulado para cada uma das amostras, que demonstra o desprendimento das partículas durante todo tempo do ensaio.

Na Tabela 02 tem-se os valores, em gramas, dos solos desprendidos no ensaio. As colunas das tabelas foram compostas com os valores de solo erodido, acumulados, valores acumulados divididos pela seção transversal da amostra de solo (taxa de erosão) e esse último valor dividido pelo respectivo tempo (erodibilidade).

Tabela 02 – Resultado do ensaio para as amostras 1, 2 e 3

ENSAIO DE INDERBITZEN - AMOSTRA 01				
TEMPO (min)	SOLO ERODIDO (g)	ACUMULADO (g)	ACUMULADO / ÁREA (g/cm ²)	ACUMULADO/ÁREA / TEMPO (g/cm ² /min)
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000
1,0	17,565	17,565	0,224	0,224
5,0	14,654	32,219	0,410	0,082
10,0	6,200	38,419	0,489	0,049
20,0	4,746	43,165	0,550	0,027

ENSAIO DE INDERBITZEN - AMOSTRA 02				
TEMPO (min)	SOLO ERODIDO (g)	ACUMULADO (g)	ACUMULADO / ÁREA (g/cm ²)	ACUMULADO/ÁREA / TEMPO (g/cm ² /min)
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000
1,0	17,564	17,564	0,224	0,224
5,0	16,722	34,286	0,437	0,087
10,0	7,248	41,534	0,529	0,053
20,0	2,741	44,275	0,564	0,028

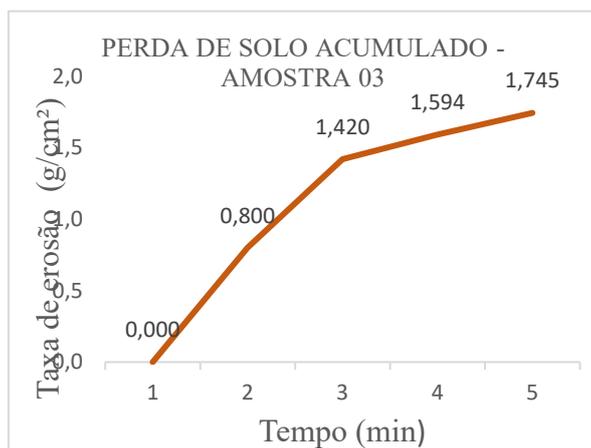
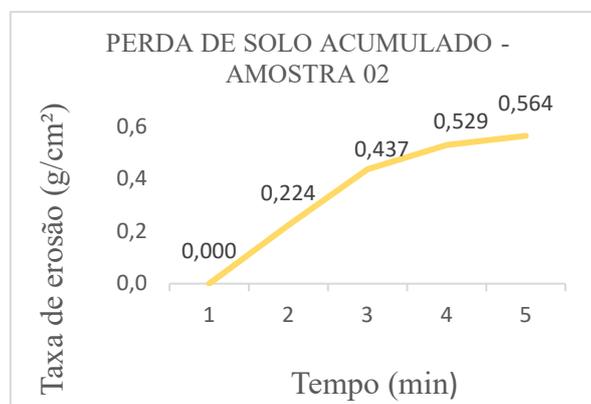
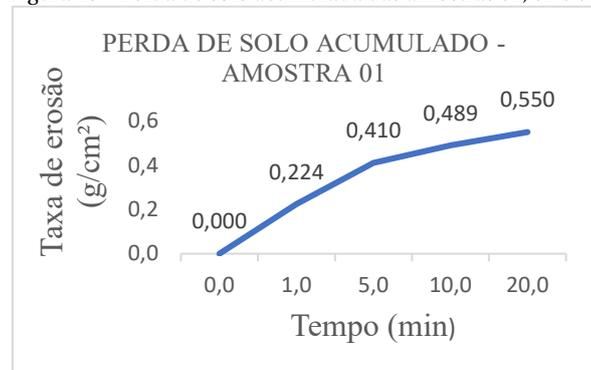
ENSAIO DE INDERBITZEN - AMOSTRA 03				
TEMPO (min)	SOLO ERODIDO (g)	ACUMULADO (g)	ACUMULADO / ÁREA (g/cm ²)	ACUMULADO/ÁREA / TEMPO (g/cm ² /min)
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000
1,0	62,871	62,871	0,800	0,800
5,0	48,676	111,547	1,420	0,284
10,0	13,611	125,158	1,594	0,159
20,0	11,893	137,051	1,745	0,087

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Observando-se os resultados do solo erodido, percebe-se que a amostra 01 e a 02 têm valores muito semelhantes, contudo a amostra 03 já se afasta bastante dos valores das outras duas. No ensaio, a amostra 03 foi justamente a terceira a ser feita e, nesse momento, já se tinha o controle do ensaio bem mais preciso do que nos outros dois, entretanto, não se pode concluir que foi um erro esse valor ter sido notavelmente diferente quando comparado as outras 02 (duas) amostras. Entende-se que esse valor mudou acentuadamente dos outros dois pelo fato da amostra ter sido retirada de uma altura diferente dos primeiros, ela se encontrava praticamente na metade da altura do talude enquanto a primeira amostra foi retirada do pé do talude e a segunda a 40,0 cm da primeira.

Com os resultados, pôde-se construir os gráficos que se encontram na Figura 13, que relacionam o solo acumulado por área (taxa de erosão) pelo tempo. Neles é possível observar com mais clareza a erosão do solo durante os ensaios.

Figura 13 – Perda de solo acumulada das amostras 01, 02 e 03



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

De acordo com Bastos (2004), o valor a ser considerado como coeficiente de erodibilidade da amostra estudada é o que corresponde a 10,0 minutos de ensaio, pois a taxa de erosão se estabiliza nesse tempo. Em 1,0 e 5,0 minutos o valor seria superestimado e em 20,0 minutos não corresponderia ao solo, pois já teria se deformado. Sendo assim, na Tabela 03 pode-se ter resumidamente os parâmetros de ensaio e o valor da erodibilidade (K) de cada um.

Tabela 03 – Erodibilidade das amostras

ERODIBILIDADE (K)					
Vazão (ml/s)	Declividade	Umidade (%)	Tempo (min)	Amostra	K (g/cm²/min)
50,0	45°	24,4	10,00	1	0,049
50,0	45°	24,4	10,00	2	0,053
50,0	45°	24,4	10,00	3	0,159

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Segundo Campos (2014), pode-se considerar solos com baixa erodibilidade aqueles que se encontram com valores de perdas de solo abaixo de 0,001 g/cm²/min e alta erodibilidade aquele acima de 0,1 g/cm²/min.

A primeira amostra de solo teve como resultado de erodibilidade o valor de 0,049 g/cm²/min, sendo classificada como média erodibilidade, a segunda obteve o valor de 0,053 g/cm²/min, sendo de média erodibilidade, mas sendo um valor maior que a anterior; e, por último, a terceira amostra demonstrou um valor de 0,159, sendo de alta erodibilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Confeccionar o protótipo do Aparelho de Inderbitzen em madeira foi uma oportunidade de aproveitar e enaltecer o material da região, além de elaborar um protótipo alternativo. Quanto ao ensaio e aos resultados, o esforço em uniformidade de parâmetros e processos levou a uma investigação confiável.

As amostras sendo tiradas de alturas diferente, começando-se da base do talude até o ponto mais alto, demonstra um acréscimo da erodibilidade conforme se aumenta sua altura em relação à base do talude. Isso se deve à sua alta declividade que contribui para o aumento do processo erosivo.

Diante disso, sugere-se como futuras pesquisas nessa área a investigação da variação do fator de erodibilidade diante de diferentes inclinações da rampa, com vazão característica da região e, principalmente, com amostras retiradas de várias alturas de um mesmo talude.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de**

plasticidade. Rio de Janeiro, 2016c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2016d.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados.** 2004, 251 p. (Tese de doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande, Porto Alegre, RS, 2004.

BRITO, Leitícia. **Ciência do solo e suas especificidades.** Disponível em: [http://www.sobregeologia.com.br/2019/11/ciencias-do-solo-e-suasespecificidades.html#:~:text=Conhecida%20tamb%C3%A9m%20como%20pedologia%20\(segmento,%E2%80%9CBiologia%20do%20solo%E2%80%9D%2C%20s%C3%A3o.](http://www.sobregeologia.com.br/2019/11/ciencias-do-solo-e-suasespecificidades.html#:~:text=Conhecida%20tamb%C3%A9m%20como%20pedologia%20(segmento,%E2%80%9CBiologia%20do%20solo%E2%80%9D%2C%20s%C3%A3o.) Acesso em: 12 ago. 2020.

CAMPOS, Camila Jorge Moretti de. **Avaliação da erodibilidade pelo método Inderbitzen em solo não saturado da região de Bauru-SP.** 2014.

CARVALHO, J.C.; FÁCIO, J.A. Estudo da erodibilidade de solos do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10., 1994, Foz do Iguaçu/PR. **Anais...** Foz do Iguaçu/PR: ABMS, 1994. v.4, p.1245–1252

COUTO, Bruno de Oliveira Costa. **Análise de erodibilidade em taludes com horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos.** 2015.

DA SILVA, Maria Sonia Lopes. **Estudos da erosão.** EMBRAPA-CPATSA, 1995.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

FACIO, J, A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do distrito Federal.** Dissertação de Mestrado. Brasília: Departamento de Engenharia Civil/UFRGS, 1991.

FALCETA, Filipe Antonio Marques. **Erosão e assoreamento;** duas faces da mesma moeda. In: WOSKSHOP DE RECURSOS HÍDRICOS DO IFES CAMPUS MONTANHA, 1., 2018, Montanha. Palestra... 22 slides.

FERNANDES, J. A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentin, RS. 2011. 127 p.** 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GIACOMINI, D. A.; PES, L. Z. **Conservação do solo.** Santa Maria: Universidade federal de Santa Maria, colégio Politécnico; Rede e-tec Brasil, 2017. 69 p.

INDERBITZEN, A.L. An erosion tests for soils. Material reseach and standarts. **Philadelphia**, v. 1, n. 7, p. 553-554, 1 july. 1961.

LEMOS, Clarice Farian de. Avaliação da erosão superficial em áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional, utilizando o aparelho de Inderbitzen. 2002.

MOREIRA, R. F.; POLIVANOV, H. **Potencial erosivo de perfil de solo de talude de corte através de ensaios de nderbitzen.** Geo UERJ, n. 32, p. 32158, 2018.

PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, v. 3, 2006.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. 1999. **Material didático: arquivo de transparências (CD).** Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada.

SANTOS, L. M. dos. **Erosão em taludes de corte:** métodos de proteção e estabilização. 2015.

SOARES, Danielle Lima et al. Erodibilidade de Solos em Taludes de Corte de Estrada Não Pavimentada. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 179-193, 2019.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; DO AMARAL, Rosângela. **Desastres naturais:** conhecer para prevenir. Instituto geológico, 2009.