

Desenvolvimento de um protótipo para verificação do potencial de erodibilidade dos solos pelo Método de Inderbitzen

Development of a prototype to verify the potential of soil erodibility using the Inderbitzen Method

LUCAS GOMES

Discente do curso de Engenharia Civil (UNIPAM)
E-mail: lucas@unipam.edu.br

SHELLA PEREIRA VIEIRA

Professora orientadora (UNIPAM)
E-mail: sheilapv@unipam.edu.br

Resumo: Este trabalho teve como premissa o desenvolvimento de um protótipo para a avaliação potencial empregando o método proposto por Inderbitzen. A partir da análise de outras obras, foram estabelecidas as dimensões para a confecção e realização dos ensaios, tendo as bases mais usuais de dados quanto à velocidade e à inclinação. Por meio dos dados obtidos, foi possível determinar que o solo da região apresenta média erodibilidade, não tendo resistência grande ao escoamento laminar.

Palavras chave: Inderbitzen. Protótipo. Erodibilidade.

Abstract: This work had as premise the development of a prototype for the potential evaluation using the method proposed by Inderbitzen. The dimensions for the preparation and performance of the tests were established, having the most usual databases regarding speed and inclination. Through the data obtained, it was possible to determine that the soil in the region presents medium erodibility, not having great resistance to laminar flow.

Keywords: Inderbitzen. Prototype. Erodibility.

1 INTRODUÇÃO

O processo erosivo compreende um ciclo no qual o solo sofre alteração, desgaste, transporte e, por fim, sedimentação. Decorre de fatores naturais e antrópicos e acarreta danos à sociedade em decorrência do alto poder destrutivo. Quando não corrigido, leva à redução da fertilidade dos solos, ao assoreamento de percursos de água, ao deslizamento, à instabilidade de taludes e encostas, entre outros fatores.

No âmbito da construção civil, a erosão destrói o terreno degradando não só o solo local, mas também toda a extensão adjacente a ele, gerando perdas financeiras e patrimoniais para as áreas urbanas ou em processo de urbanização. Segundo Santos (2017), em São Paulo, são desprendidos três milhões e meio de metros cúbicos de

sedimento por ano; esse volume assoreia a rede de drenagem, causando enchentes na região.

Outro ponto em que fica evidente o problema gerado pela erosão está nos trechos de algumas rodovias. A Confederação Nacional Transporte (2019) aponta o problema em um total de 130 lugares nas rodovias do Sul de Minas; essa situação pode acarretar sérios riscos à segurança dos usuários.

Devido à importância de se entender esse tema, foram desenvolvidos métodos e ensaios que possibilitam a mensuração e a quantificação do potencial de erodibilidade. Dentre estes, destaca-se o de Inderbitzen, por possibilitar a simulação em pequena escala do processo de erosão de forma indireta. Com a finalidade de entender melhor esse processo, este trabalho consiste na pesquisa e no desenvolvimento de um protótipo para verificação e aferição do potencial de erodibilidade dos solos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EROSÃO DO SOLO: DEFINIÇÕES

Segundo Pena (2013), processos erosivos são fenômenos de transformação dos solos, que passa por retirada ou transporte dos sedimentos da superfície do solo. Acontecem a partir do desgaste, transporte e sedimentação das rochas ou do próprio solo em decorrência de fatores naturais ou antrópicos.

O processo por ação natural da superfície terrestre ocorre pela modificação lenta do solo por agentes como vento, água, ondas, gravidade, bioerosão e mudanças climáticas que ocorrem ao longo do tempo.

A ação antrópica pode acelerar o processo natural de erodibilidade. São originadas do mau manejo do solo, da remoção da vegetação, da mineração, da ocupação desordenada, da construção de barragens e de outros fatores que garantiam a coesão dos sedimentos e que protegem a superfície. Tais processos erosivos tendem a iniciar a lixiviação, provocando a retirada superficial com a criação de pequenas rugosidades externas, que, por sua vez, podem aumentar e transformar-se em ravinas (PENA, 2013).

O agente que mais agrava a erosão é a água. A erosão pluvial é causada pela água das chuvas. Seus efeitos são intensificados quando a superfície do solo está exposta por falta de vegetação. Quando atinge a superfície do solo, acarreta redução da força coesiva das partículas. Outros fatores que podem influenciar o processo são as condições topográficas ou o relevo, as características do solo.

A erosão ocorre em três fases: desagregação devido à forma como as partículas de água geram impacto sobre a superfície, promovendo a tensão de cisalhamento, transporte do escoamento superficial e deposição das partículas. Guerra *et al.* (1999) afirmam que a erosão dos solos pela água é responsável por 56% da degradação dos solos do mundo.

O processo erosivo está presente nas mais diversas regiões, mais especificadamente nas regiões com clima tropical ou subtropical úmido, em que se encontra boa parte do território brasileiro.

De acordo com Lima (2003), em regiões tropicais, a grande maioria dos solos, em função das suas características físico-químicas originárias do processo de formação,

apresenta alta porosidade e grande sensibilidade das ligações cimentícias em presença de água. Por esse motivo são, frequentemente, suscetíveis à erosão hídrica.

2.2 EROSÃO HÍDRICA

Na erosão hídrica, têm-se alguns processos que ocorrem com maior predominância, como erosão por salpicamento, também chamada de *splash*, erosão laminar ou superficial, erosão em ravinas e voçorocas.

A erosão por salpicamento é originada do golpeamento direto da chuva sobre o solo, cuja energia tende a lançar as partículas rompidas do solo. As partículas podem ser lançadas até 0,6 m de altura e 1,5 m de distância lateral; são mantidas livres ou, com ocorrência do escoamento superficial, propendem a ser transportadas (FACHIN; PEREIRA; THOMAZ, 2019).

Já a erosão laminar é caracterizada pelo desgaste e o arraste suavemente na extensão da área de ocorrência erosiva. Inicialmente o processo desprende as partículas de argila e a matéria orgânica, posteriormente os nutrientes do solo; essa mudança fica evidente conforme a produção dos solos tende a se diminuir. O processo da erosão nas ravinas ou sulcos é notório com o surgimento de pequenas depressões; quando a água atinge esses pontos, tende a ganhar velocidade, aumentando a profundidade e transportando sedimentos com traço bem demarcado.

Segundo Lima (2003), a erosão interna surge em consequência do aumento da taxa de infiltração ou do gradiente hidráulico e corresponde à formação de canais de fluxo no interior do maciço de solo. Com a finalidade de quantificar e mensurar a perda de solo, foram desenvolvidas equações empíricas que possibilitam avaliar a perda do solo, descritas nos itens a seguir.

2.3 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

Chamada de Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), atualizada para Equação Universal de Perda do Solo Revisada (EUPSR), é uma metodologia que avalia fatores como clima, propriedades do solo, topografia, administração de resíduo, práticas especiais e outros aspectos que provocam a erosão do solo. A equação 1, proposta pela (EUPS), é a seguinte:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Na qual:

A = perda de solo média anual, em t ha⁻¹ ano⁻¹;

R = fator erosividade da chuva, em (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹);

K = fator erodibilidade do solo em t h / (MJ mm);

LS = fator topográfico, que resulta da combinação dos fatores de comprimento de encosta (L) e declive (S) (adimensional);

C = fator uso e manejo (adimensional); e

P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

Os parâmetros R, K, L e S dependem das condições naturais, e os parâmetros C e P dependem do uso e ocupação do solo (intervenção antrópica).

A equação é válida para obtenção de dados qualitativos da erosão hídrica laminar. Valores menores que 6 toneladas/ha.ano são considerados de nível muito baixo, de 6 a 11 de nível baixo, de 11 a 22 de nível moderado, de 22 a 33 de nível alto, superiores a 33 de nível severo.

2.4 LIMITES DE LIQUIDEZ, PLASTICIDADE E ÍNDICE DE PLASTICIDADE NO PROCESSO DE EROSÃO

Outra forma é a relação da erodibilidade do solo com seus índices de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e Índice de plasticidade (IP). Segundo Meireles (1967) *apud* Stephan (2010), solos com predominância de erosão apresentam baixa plasticidade, com LL= 21% e IP=8%; a curva granulométrica pode ser usada para se determinar o potencial de erosão. O mesmo autor apresenta a seguinte classificação: se o material passante na peneira número 200 é igual ou menor a 20%, trata de solo que sofre fortemente com erosão; já no intervalo de 20% a 40% de material passante na peneira 200, solo passível de erosão; por fim, material passante superior a 40%, solo com pouca erodibilidade.

2.5 INDERBITZEN

Inderbitzen (1961) propôs um modelo inicial para aferição da fragilidade de erosão dos solos frente a um canal hidráulico artificial. O método parte da simulação do processo erosivo hídrico existente em campo dentro do laboratório. O ensaio é feito com o escoamento da água pela rampa, simulando-se o escoamento superficial da chuva e verificando-se o comportamento da amostra de solo.

O aparelho inicial teve várias modificações ao longo de história, com o propósito de permitir o estudo com diferentes padrões, para análise de padrões que foram alterados de acordo com a necessidade de cada estudo: inclinação da rampa visando à simulação da inclinação da amostra de solo, volume de água para simulação da precipitação local, nas condições do solo ser com ou sem a proteção vegetal, entre outros que possibilitam a melhor aproximação dos efeitos que acontecem em campo. O Quadro 1 apresenta alguns dos ensaios já realizados com a relação dos critérios empregados e as condições de ensaio.

Os valores obtidos pelo ensaio são empregados na criação do gráfico com a equação de Du Boys (1879) para a definição do K. Segundo Bastos (1999), solos erodíveis apresentam valores superiores a 0,1 g/cm²/min/Pa, entre 0,001 e 0,1g/cm²/min/Pa apresentam resistência mediana e os mais resistentes apresentam valores inferiores a 0,001 g/cm²/min/Pa.

Quadro 1: Relação de padrões de ensaio pelo método de Inderbitzen

REFERÊNCIA	LOCAL DE RETIRADA DAS AMOSTRAS	RAMPA Material/Dimensões	DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA	CONDIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	VARIÁVEIS ADOTADAS Vazão/ Declividade da rampa	TEMPO TOTAL DE ENSAIO
(BASTOS, 1999)	Região Metropolitana de Porto Alegre – Rio Grande do Sul	Chapa metálica base =25,0 cm comprimento = 60,0 cm	⊙ = 9,76 cm altura = 5,00 cm	secas ao ar, natural e pré- umedecidas	50,0 e 100,0 ml/s (3,0 e 6,0 l/min) 10°, 26°, 45° e 54°	20 minutos
(SANTOS, 2001)	Santo Antônio do Leite Ouro Preto- MG	PVC base =15,0 cm comprimento = 120,0 cm	⊙ = 15,20 cm altura = 4,00 cm	amostras saturadas	25,0 ml/s (1,5 l/min) 30 min iniciais 50,0 ml/s (3,0 l/min), 100,0 ml/s (6,0 l/min) e 150,0 ml/s (9,0 l/min), (intervalos de 5 em 5 minutos) 10°	45 minutos
(RAMIDAN, 2003)	Área de empréstimo da UHE de Itumbiara – GO	chapa metálica base =33,0 cm comprimento = 130,0 cm	⊙ = 10,00 cm altura = 10,00 cm (para solos lateríticos) ⊙ = 10,00 cm altura = 15,00 cm (demais solos)	umidade natural	50,0 ml/s (3,0 l/min) 10°	30 minutos
(PAIVA, 2004)	Bacia do rio Una em Taubaté- SP	chapa de aço revestida com PVC base =33,0 cm comprimento = 130,0 cm	⊙ = 15,00 cm altura = 4,50 cm	secas ao ar, natural e pré- umedecidas	50,0 e 125,0 ml/s (3,0 e 7,5 l/min) 20° e 60°	120 minutos
(MENEZES <i>et al.</i> , 2006)	Encostas da cidade de Lavras- MG	PVC base =15,2 cm comprimento = 120,0 cm	⊙ = 15,00 cm altura = 4,00 cm	umidade natural	25,0 ml/s (1,5 l/min) 10° e 80°	30 minutos 120 minutos
(QUIRINO <i>et al.</i> , 2013)	Catalão – Goiás	Comprimento 48 cm Largura 37 cm Altura 75 cm	⊙ 20 cm	umidade natural	35°	-

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA VERIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS PELO MÉTODO DE INDERBITZEN

(TOMASI, 2015)	REGIÕES DE SANTA MARIA, SÃO FRANCISCO DE ASSIS E PORTO ALEGRE/RS	chapa metálica 25 cm de largura e 60 cm de comprimento	☉☉= 10,00 cm altura = 5,00 cm	pré- umedecidas	50,0 ml/s (3,0 lm) e 100,00 ml (6,0 l/m) 0°, 26°, 45° e 54°	20 minutos
(IDE, 2009)	Bauru - SP	Acrílico 11 cm de largura e 50 cm de comprimento	☉☉= 10,00 cm	umidade natural	50 ml/s (3,0 lm) 15°, 31° e 50°	30 minutos
(SOARES; QUEIROZ; ALENCAR, 2019)	ANÁPOLIS (GO)	Acrílico 11 cm de largura e 50 cm de comprimento	☉☉= 10,00 cm	umidade natural	50,0 ml/s (3,0 lm) 10°	20 minutos

Fonte: adaptado de STEPHAN, 2010.

3 METODOLOGIA

Apresenta-se, nesse ponto da pesquisa, as etapas necessárias para a construção do protótipo, cumprindo-se os objetivos do estudo.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa caracterizou-se como qualitativa quanto à escolha de como foi desenvolvido o protótipo e quanto à realização de ensaios para validação dos resultados encontrados. O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Mecânica dos Solos, pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Materiais da Construção Civil, no Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.

3.2 ÁREA DE ESTUDO - CIDADE DE PATOS DE MINAS

O município de Patos de Minas é localizado na região Oeste do estado de Minas Gerais. Faz parte da Mesorregião Geográfica do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba, ocupando a área de aproximadamente 3.190,456 km² segundo o Instituto Brasileiro Geográfica e Estatística (2019), estando em 27^º lugar com relação ao estado.

3.3 METODOLOGIA USADA NA COLETA DAS AMOSTRAS

Para a coleta do material, foi seguida a NBR 9604, (ABNT, 2016) - Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. As amostras foram cuidadosamente extraídas para a manutenção da integridade do solo e colocadas em uma caixa para o transporte do material.

Figura 1: Região de extração



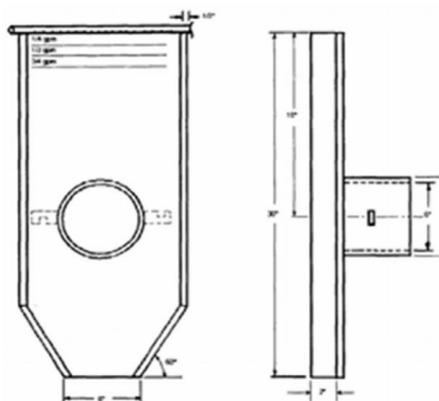
Fonte: acervo dos autores, 2020.

A amostra foi extraída na Av. Fátima Porto em Patos de Minas. Na figura 1, é visto o local de coleta, adjacente à avenida, na localização 18°35'10.0"S 46°29'35.2"W. Essa região sofre de erodibilidade em diversos pontos no trecho de elevação que conecta os bairros Jardim Recanto e Alto Limoeiro.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Segundo Inderbitzen (1961) *apud* Lemos (2002), o aparelho é composto de uma rampa metálica (figura 2), com dimensões de 76,20 cm de comprimento e um furo central de 15,24 cm de diâmetro, no qual a amostra fica confinada.

Figura 2: Modelo de aparelho proposto por Inderbitzen

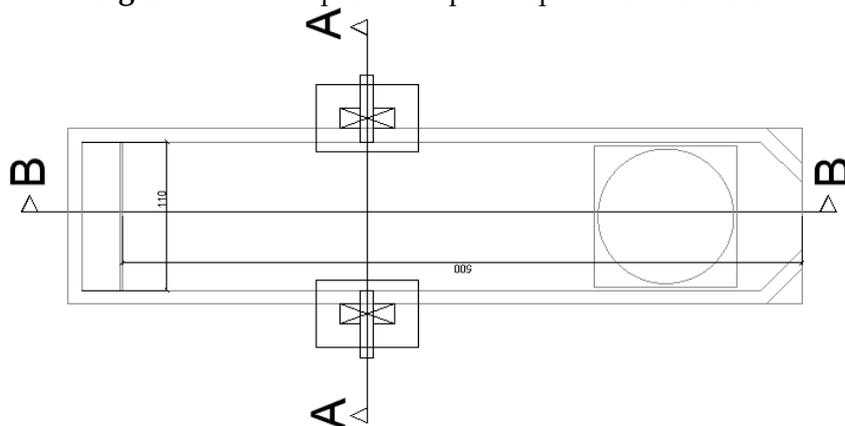


Fonte: Inderbitzen (1961) *apud* Lemos (2002).

O modelo 3D foi feito com a análise dos métodos já feitos, coletados a partir do estado da arte e representado no Autocad.

3.5 PROJETO

O protótipo partiu do modelo de Inderbitzen realizado por Soares, Queiroz e Alencar (2019), mantendo-se as mesmas dimensões da largura (110 mm) e comprimento de rampa (500 mm). Os autores seguiram essa dimensão uma vez que, em ensaios anteriores, dependia-se de uma área muito maior para um corpo de prova. Foi levado em consideração que, nas pesquisas mais recentes, o diâmetro do solo estudado tende a uma média expressiva de $\varnothing = 10,00$ cm. O molde do ensaio confeccionado em uma única rampa (figura 3) tem a abertura para encaixe de moldes com diâmetro de 10 cm e outra versão retangular com 10 cm de lado.

Figura 3: Vista superior do protótipo de Inderbitzen

Fonte: adaptação dos autores, 2020.

A vazão da água é de 3 l/min, valor comumente utilizado, sendo possível o emprego de outras variações para aferição das condições mais extremas. Quanto à inclinação, há ajuste nas laterais (conforme pode ser visto nas figuras 4 e 5), que permite a correta inclinação e trava do equipamento.

Figura 4: Modelo 3D - Inderbitzen

Fonte: arquivo dos autores, 2020.

Os corpos de prova são encaixados no orifício conforme o modelo 3D da figura 4; a confecção se deu com o solo coletado de forma indeformada para a melhor representação dos efeitos, estudados no modelo circular e quadrado; esses valores são utilizados para a verificação e comparação dos métodos. Confeccionou-se com chapas de acrílico, com o diâmetro padrão proposto por Inderbitzen, com seção circular de 10 cm de diâmetro e a adição de uma seção quadrada.

Figura 5: Equipamento de Inderbitzen modificado



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

O equipamento confeccionado está disposto no Laboratório Mecânica dos Solos, pertencente ao Laboratório de Tecnologia de Materiais de Construção Civil do UNIPAM. A montagem foi feita de maneira a estar disposto próximo à pia para o abastecimento do reservatório. Para os ajustes de inclinação, foram empregadas borboletas para a fixação da rampa.

3.6 REALIZAÇÃO DO ENSAIO

Após a montagem do aparelho, este passou por testes e calibração, utilizando um solo padrão com dimensões 10 cm, por ser comumente empregado nos ensaios na condição natural, sem compactação, para se aferirem os resultados.

As amostras foram ensaiadas a 15°, 30° e 50°, esse último é acima do modelo ideal de inclinação de taludes, visto que, no processo de erodibilidade, podem-se ter essas ocorrências. O solo utilizado foi extraído e utilizado em seu estado natural de umidade, sendo ensaiado no mesmo dia de sua extração para manter-se essa característica.

A coleta do material extraído foi por meio de baldes, os quais foram posicionados ao final da rampa para coleta dos sedimentos carregados pela água do ensaio. Cada ensaio consistiu de um único ciclo de amostra com o balde, sendo trocado em intervalos de 1, 5, 10 e 20 min para a coleta; posteriormente, foi vertido nas peneiras de malha 4,8 mm (peneira #4); 2,0 mm (peneira #10); 0,42 mm (peneira #40) e, por fim, 0,074 mm (peneira #200); foi separado em cápsulas o solo de cada peneira; posteriormente essas cápsulas foram pesadas para plotagem do gráfico da relação de massa por unidade de área erodida por tempo de ensaio.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO MATERIAL

Seguindo a NBR 6502, (ABNT, 1995), na qual tem-se a terminologia das rochas e solos, o material tem sua separação quanto à sua divisão granulométrica por porcentagem, vista na tabela 1.

Tabela 1: Granulometria do material

Granulometria	Diâmetro	(%)
Pedregulho	2,00 mm à 60,00 mm	3,18
Areia	0,06 mm à 2,00 mm	48,20
Silte	0,002 mm à 0,06 mm	17,10
Argila	< 0,002 mm	31,52

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Quanto às características pelos limites de Atterberg, foram obtidas as seguintes características, que podem ser vistas na tabela 2.

Tabela 2: Propriedades do solo

Propriedades físicas	
ρ (g/cm ³)	2,65
LL (%)	37%
LP (%)	32%
IP (%)	5%
IG	6,55

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

A partir da análise granulométrica do solo do estudo, pelas características vistas na Tabela 1 e Tabela 2, a amostra classifica-se como areia argilosa, pelo método diagrama de FERET; já com relação à classificação pelo Método Classificação Unificada (SUCS), a amostra classifica-se como SM; já com relação ao sistema de classificação rodoviária com base na DNIT (2006), classifica-se como A-4, sendo solo siltoso.

4.2 ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE

Os resultados obtidos pelo ensaio mostraram-se satisfatórios. Após os ajustes, fazendo-se testes da rampa, liberando-se o fluxo de água previamente calculado e aferido com proveta para constatar a vazão de 50 ml/s, a água distribuiu-se, formando uma lâmina fina sem variação, obtendo-se a correta distribuição da água com um fluxo constante.

Quanto à inclinação, verificou-se, com transferidos e com o aplicativo do smartphone, se a rampa estava corretamente ajustada; já quanto ao teste da trava, colocou-se o molde quadrado com solo úmido para verificação do peso suportado pelas travas laterais.

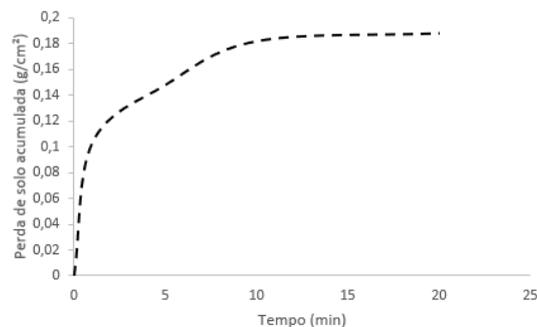
Figura 6: Ensaio da amostra coletada



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

A partir dos testes, iniciou-se a separação nos intervalos fixados em 1, 5, 10 e 20 min do solo carregado; a partir da separação dos dados por tempo, foi gerada a curva com a relação da perda de solo por unidade da área da amostra (g/cm^2) acumulada por tempo de ensaio (minutos); devido à proximidade dos valores de ensaio, foi feito apenas 2 vezes o ensaio.

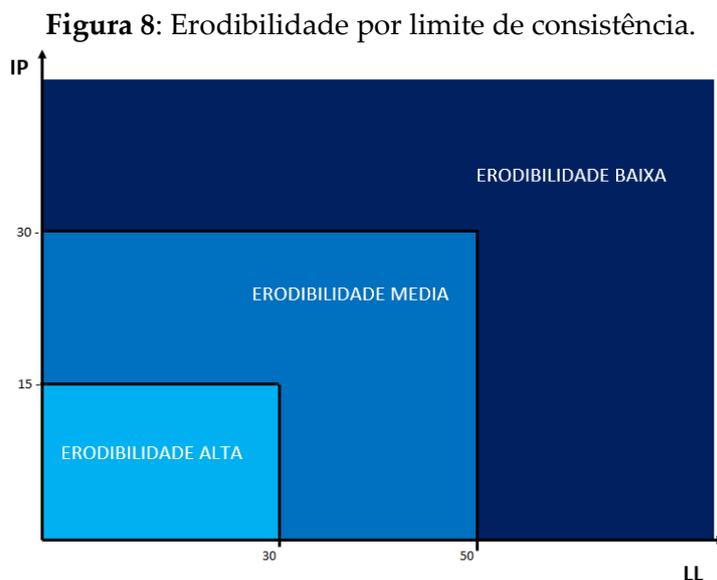
Figura 7: Curva de perda de solo por tempo de ensaio



Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Na figura 7, é expressa a curva de perda de solo por tempo de ensaio. O solo utilizado *in situ* foi moldado na forma quadrada, conforme pode ser observado na figura 6, para a utilização completa da rampa e ensaio, à inclinação de 15° e com o fluxo de 50 ml/s, o mais empregado nos estudos do equipamento de Inderbitzen, como pode ser visto no Quadro 1. Por meio dessa curva, nota-se a relação da carga de sedimentos acumulada desprendida da amostra por tempo de ensaio.

Nos primeiros instantes de ensaio, é notória a maior perda de solo; posteriormente essa perda diminui. Seguindo os critérios citados por Bastos (1999), tem-se a massa erodida situada nos primeiros 10 min, em que o fluxo é capaz de carregar grande parte das partículas por não haver resistência hídrica (esse feito é visto na figura 7); após esse prazo, a perda tende a diminuir drasticamente no decorrer do ensaio.



Fonte: adaptado de Molinero Júnior, 2010.

A caracterização dos dados contribui para um melhor entendimento das especificidades do solo, podendo-se, assim, fazer a correta classificação quanto ao processo de erosão, tendo essa região da amostra apresentado erodibilidade média (figura 8); seguiram-se os critérios estabelecidos por Molinero Junior (2010), correlacionando-se os limites de consistência, em que o encontro dos pontos LL e IP marca a classificação.

Segundo Bastos (1999), não há, na literatura, um parâmetro quanto à erodibilidade por meio do ensaio de Inderbitzen, mas, de forma a aproximar os resultados, o parâmetro K permite uma melhor comparação dos dados obtidos nas condições naturais do solo.

Como critério de cálculo de K, sendo este a representação da erodibilidade, no ponto máximo de 10 min, o solo apresenta a taxa de erodibilidade de 0,01817 g/cm²/min caracterizando como de média erodibilidade. Seguindo os critérios de Campos (2014), os valores de $K < 0,001$ g/cm²/min relacionam-se a solos de baixa erodibilidade; no intervalo de $0,001 \leq K \leq 0,1$ g/cm²/min, os solos são de mediana erodibilidade; já solos com valores superiores, são de alta erodibilidade.

Essa erodibilidade é caracterizada pela composição do solo. Por se tratar de um solo areia argilosa, sendo a areia de maior predominância, não se tem muita coesão. Uma das principais características das areias é a baixa coesão, em que as partículas são facilmente separáveis.

5 CONCLUSÃO

O ensaio de Inderbitzen adaptado permitiu a simulação, no laboratório, das condições em que o solo se encontra e a possibilidade de experimentação de condições adversas para estudos da estabilidade frente ao processo de erosão em que se encontra. A partir do ensaio, por meio do cálculo do fator de erodibilidade K, foi possível constatar

que o solo da região apresenta média erodibilidade, não tendo resistência grande ao escoamento laminar.

Devido à inacessibilidade na área de extração, não se pôde explorar mais pontos da região para um mapeamento completo das mudanças de solo e a exploração dos horizontes do solo para a verificação da resistência das camadas inferiores.

Com base nas análises, pôde-se destacar a necessidade de futuras pesquisas para a verificação de diferentes horizontes da região e a extração de mais amostras para um maior entendimento do processo de erosão. Quanto às características do equipamento, este se apresentou apto para realização dos ensaios, tendo que se fazerem alguns ajustes para facilitar ainda mais o trabalho de quem executa o ensaio, um sistema de encaixe para a amostra e a adição de uma marcação na própria estrutura quanto à inclinação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6502**: rochas e solos: terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9604-1**: abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas: procedimento. Rio de Janeiro, 2016.

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

CAMPOS, C. J. M. **Avaliação da erodibilidade pelo método Inderbitzen em solo não saturado da região de Bauru-SP**. 2014. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL TRANSPORTE – CNT. 23ª Pesquisa CNT de Rodovias. *In*: **23ª Pesquisa CNT de Rodovias**. [S. l.], 22 out. 2019. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/49c9e3d3-ed8e-4a93-95ac-76dd53790299.pdf>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DU BOYS, S. P. Lerohne et les Rivieres a Lit Affoillable. **Annales des Ponts et Chaussees**, v.18, s. 5, p. 141-195, 1879.

FACHIN, Paulo; PEREIRA, Adalberto Alves; THOMAZ, Edivaldo. **Erosão por salpico: padrões de chuva e produção de sedimentos em latossolo bruno**, [S. l.], ano 02, v. 13, n. 32, p. 59-75, ago. 2019. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/4991/2691>.

FRAGASSI, P. F. M. **Estudo da erodibilidade dos solos residuais de gnaiss da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG)**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

GUERRA, A. J. T. *et al.* **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRÁFICA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Território e Ambiente**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/patos-de-minas/panorama>.

IDE, D. M. **Investigação geotécnica e estudo de um processo erosivo causado por ocupação urbana**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

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

LEMOS, C. F. **Avaliação da erosão superficial em áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional, utilizando o aparelho de Inderbitzen**. 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LIMA, M. C. **Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas**. 2003. 336 f. Dissertação (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

MEIRELES, J. M. F. Erosão de taludes de estradas. *In*: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2., 1967, Rio de Janeiro; São Paulo. **Anais [...]**. Rio de Janeiro; São Paulo, 1967. p. 204-211.

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

MOLINERO JUNIOR, J. A. **Estudo geotécnico dos solos de erosões resultantes de intervenções em rodovias**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

PAIVA, C. F. E. **Avaliação da erodibilidade de alguns horizontes residuais pertencentes à Bacia do Rio Una-Taubaté - SP**. 2004. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2004.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Processos Erosivos**. [S. l.], 27 jun. 2013. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/processos-erosivos.htm>.

QUIRINO, G. H. A.; MORAIS, L. S.; MELO, M. T. S. **Construção de um modelo para análise do índice de erodibilidade do solo em uma região do município de Catalão – Goiás**. In: SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA NA REGIÃO CENTRO-OESTE, 3.; SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS EROSIVOS, 4., 2013, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: UFG, 2013.

RAMIDAN, M. A. S. **Estudo de um processo de voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara – GO**. 2003. 229 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2003.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **Terraplanagem + erosão = desastre**. jun. 2017. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=33&Cod=486>.

SANTOS, C. A. **Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto - Minas Gerais**. 2001. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

SOARES, Leonardo Augusto Camparine; QUEIROZ, Angela Custódia Guimarães; ALENCAR, Pablo Moisés Soares de. **Ensaio de Inderbitzen na avaliação do fenômeno erosivo em um solo do Município de Anápolis**. Brasília/DF: GEOCENTRO, 2019. Disponível em: <https://qe.iweventos.com.br/upload/trabalhos/t1arquivo/qOL1MyXPms4VWgF9vH3SIC8tZg70.pdf>.

STEPHAN, A. M. **Análise de processos erosivos superficiais por meio de ensaios de Inderbitzen**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2010. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/834/1/texto%20completo.pdf>.

TIWARI, A. K.; RISSE, L. M.; NEARING, M. A. Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. **Trans. Am. Soc. Agron. Eng.**, n. 43, p. 1129-1135, 2000.

TOMASI, L. F. **Ensaio de Inderbitzen para avaliação da erodibilidade dos solos e rochas: aplicação nas regiões de Santa Maria, São Francisco de Assis e Porto Alegre-RS**. 2015. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.