

3

CAPÍTULO

ANÁLISE DO HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE APARELHO DE INDERBITZEN PARA A CONFECCÃO DE TABELAS COMPARATIVAS

Ana Paola do Nascimento Silva¹

Maria Tereza da Silva Melo¹

Resumo: O estudo dos processos erosivos e de seus condicionantes é de fundamental importância para o seu entendimento. Desta forma, a partir de sua

¹ Unidade Acadêmica Especial de Matemática, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, Brasil. E-mail de contato: anapaolans@gmail.com

compreensão é que se torna possível desenvolver alternativas capazes de minimizar seus efeitos sobre o espaço. De acordo com esta necessidade, foi proposto o aparelho de Inderbitzen, a fim de simular uma situação real de erodibilidade dos solos em laboratório para a obtenção de resultados que representassem de modo semelhante o fenômeno de erosão ocorrido na natureza. Neste contexto, o presente trabalho objetivou reunir, expor dados e informações acerca do aparelho de Inderbitzen, desde seu desenvolvimento em 1961 até novas propostas de equipamentos que foram idealizadas por pesquisadores brasileiros. Deste modo, a partir dos resultados obtidos, foram confeccionadas tabelas comparativas que abrangeram semelhanças e divergências, evidenciando peculiaridades no trabalho de cada pesquisador, seja na montagem dos equipamentos, das amostras coletadas e/ou na realização dos ensaios.

Palavras-chave: Processos erosivos. Aparelho de Inderbitzen. Erodibilidade. Tabelas comparativas.

Abstract: The study of erosion and their conditioning is very important for your understanding. Thus, from their understanding it is that it becomes possible to develop alternatives able to minimize their effect on the space. And according to this need has been proposed the Inderbitzen apparatus in order to simulate a real situation erodibility of the laboratory in soil, to obtain results that similarly represented erosion phenomenon occurring in nature. In this context, this study aimed to gather, display data and information about the Inderbitzen device since its development in 1961 by new proposals of equipment that were developed by Brazilian researchers. Thus, from the results, comparative tables were prepared covering similarities and differences, highlighting peculiarities in the work of each researcher during the assembling of the equipment, collected and/or conducting the test samples

Keywords: Erosion. Inderbitzen apparatus. Erodibility. Comparative tables.

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente está continuamente se transformando e se recriando, por meio de fatores internos e externos a ele. Assim, estas transformações são responsáveis pela manutenção de seu equilíbrio. Neste sentido, a erosão também se caracteriza por ser um processo natural que influencia na formação dos solos, mantendo nivelada a quantidade erodida e a recomposta (CAMAPUM DE CARVALHO et. al. 2006).

Porém, o crescimento desordenado e sem planejamento das cidades tem agravado esse fenômeno ambiental, aumentando a intensidade dos seus efeitos. Este problema consiste no desprendimento e arraste das partículas dos solos pela ação, principalmente, da água da chuva, resultando na degradação do solo em

termos físico-químicos, na perda de fertilidade, no assoreamento de cursos d'água ou até mesmo numa possível contaminação dos mananciais (SILVEIRA, 2002).

Neste contexto, a erosão hídrica, fenômeno causado quando o agente condicionante é a chuva, foi objeto de estudo para Inderbitzen (1961), que observou neste tipo de fenômeno a necessidade de avaliação da erodibilidade dos solos diante da potencial erosividade da chuva. Segundo Camapum de Carvalho et. al. (2006), tanto a erodibilidade dos solos quanto a erosividade da água são elementos desencadeadores de processos erosivos.

Desta forma, em seu estudo, Inderbitzen (1961) idealizou um aparelho para a execução de testes laboratoriais para a avaliação da suscetibilidade erosiva dos solos. Seu estudo foi de suma importância para o maior entendimento deste tipo de erosão que ocorre em várias regiões do mundo e foi fundamental também para pesquisadores no Brasil, onde este tipo de erosão é recorrente, devido à alta taxa pluviométrica do país.

2 OBJETIVO

O presente trabalho possui o objetivo geral de reunir e expor dados acerca do desenvolvimento do aparelho de Inderbitzen desde sua proposta inicial em 1961 até 2013. Outros pesquisadores brasileiros, ao longo dos anos com a finalidade de ampliar o campo de pesquisa, desenvolveram seus próprios aparelhos e modificaram alguns parâmetros adotados inicialmente por Inderbitzen (1961) de acordo com a necessidade do seu estudo e de seu campo de trabalho. Estas modificações expandiram o estudo da erodibilidade dos solos, possibilitando uma análise mais detalhada de fatores relacionados à erosão hídrica que contribui para ocasionar feições erosivas no terreno. Dessa forma, as informações reunidas acerca do histórico de desenvolvimento do aparelho de Inderbitzen irão servir de subsídio para a confecção de tabelas comparativas que irão abranger as semelhanças e as divergências do trabalho de cada autor, seja na construção do aparelho, no manejo das amostras coletadas e/ou na realização dos ensaios.

3 MÉTODOS

A questão do histórico de desenvolvimento do aparelho de Inderbitzen é aqui investigada por meio da reunião de informações presentes na literatura geotécnica sobre os principais autores brasileiros que difundiram metodologias de construção do equipamento baseados no conceito inicial que foi proposto por Inderbitzen em 1961. Esta pesquisa firmou-se em destacar aqueles pesquisadores que de certa forma ampliaram o estudo inicial de Inderbitzen por meio de modificações nos aspectos relacionados às características do aparelho, das amostras e dos en-

saios, com o intuito de aproximar o ensaio laboratorial com as condições observadas in loco para obterem melhores resultados sobre as características dos solos.

3.1 Metodologia difundida por Inderbitzen (1961)

Inderbitzen (1961) foi o primeiro pesquisador a estudar e propor um modelo de avaliação da suscetibilidade erosiva do solo, através de ensaio laboratorial. Seu método consistia na montagem de um equipamento que permitisse simular a situação de erosão hídrica observada em campo dentro do laboratório para avaliar as condições que propiciam este tipo de erosão e seus efeitos.

De acordo com Inderbitzen (1961 apud LEMOS, 2002) o aparelho proposto consiste em uma rampa metálica com dimensões de 76,20 cm de comprimento, com um furo central de 15,24 cm de diâmetro para o confinamento da amostra coletada em anel metálico, conforme Figura 1. O aparelho ainda apresenta cantoneiras que possibilitam a variação do ângulo de inclinação da rampa.

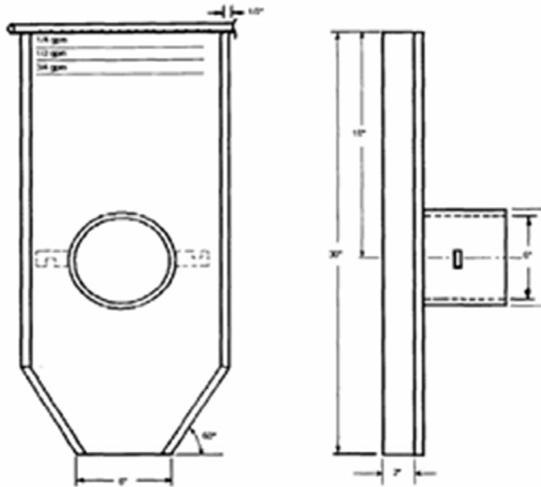


Figura 1. Modelo de aparelho proposto por Inderbitzen. Fonte: adaptada de Inderbitzen (1961 apud LEMOS, 2002).

Para assemelhar-se a um escoamento superficial, utiliza-se um tubo de cobre perfurado, de comprimento semelhante à largura da rampa, de onde sai um fluxo contínuo de água (INDERBITZEN, 1961 apud LEMOS, 2002). O ensaio consiste no escoamento de água através do tubo de cobre sobre a rampa metálica, simulando o escoamento superficial da chuva. Para proporcionar este escoamento, utiliza-se um reservatório próximo à parte superior do plano, sendo mantida a vazão constante durante todo o ensaio que se dá por um período máximo de duas horas (SILVEIRA, 2002).

O autor ainda explica que no furo existente é colocada uma amostra de solo indeformada ou compactada, permitindo que sua superfície coincida com a superfície da rampa inclinada. Sendo assim, o material que é erodido através do escoamento é coletado pelo conjunto de peneiras em períodos previamente determinados. Deste modo, todo o material retido é colocado em recipientes e levados à estufa, para a obtenção de seu peso seco. A partir da obtenção dos valores do seu peso seco acumulado nos respectivos tempos, correlacionam-se os valores encontrados com o da área da amostra, assim será finalmente obtida a medida da erosão pela Equação (1), como apresentada pelo autor:

$$E = \frac{Ps}{A} \quad (1)$$

Em que:

E é a medida da erosão (g/cm²);

Ps é o peso do solo seco (g);

A é a área superficial (cm²).

Por meio da medida da erosão (E), é possível avaliar a suscetibilidade erosiva, sendo que o mesmo método de ensaio pode ser realizado para tipos diferentes de solos o que permite observar e comparar como os processos erosivos atuam em variados solos, apontando qual variedade é mais propícia à erosão. Esta diferença de suscetibilidade é chamada de erodibilidade dos solos.

De acordo com Lemos (2002), o trabalho de Inderbitzen (1961) possibilitou a análise de uma gama de parâmetros que podem ser alterados e/ou incrementados na análise de acordo com as necessidades de cada estudo, como: variação da declividade da rampa, alteração da vazão, do fluxo de água e das condições do solo (com ou sem proteção superficial, compactado e umidade na condição saturada ou parcialmente saturada). Esta possibilidade abriu espaço para vários pesquisadores desenvolverem seus aparelhos de Inderbitzen, alterando o projeto inicial e analisando parâmetros específicos dando um direcionamento singular a cada trabalho.

3.2 Metodologias propostas por pesquisadores brasileiros baseados no método de Inderbitzen (1961)

Um dos estudos pioneiros no Brasil, de acordo com Bastos (1999), foi o trabalho desenvolvido por Fonseca e Ferreira (1981). O equipamento foi trazido pelo engenheiro Salomão Pinto e construído com base no aparelho esboçado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal – LNEC.

Essa proposta desenvolvida já trazia algumas modificações nas dimensões da rampa, que possuía 78 cm de comprimento e 34 cm de largura, conforme Figura 2. De acordo com o ensaio descrito por Fonseca e Ferreira (1981 apud LEMOS, 2002), todo o processo foi realizado a partir da retirada de amostras de solo com diâmetro de 15,24 cm e altura de 4,6 cm. As amostras possuíam uma peculiaridade por serem retiradas em três condições de umidade: natural, pré-saturada e ressecamento prévio.

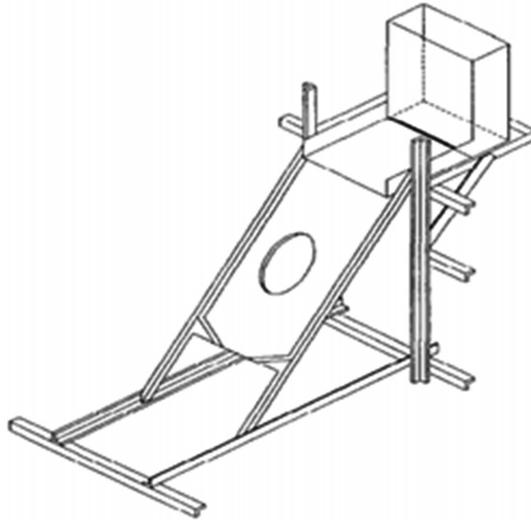


Figura 2. Modelo de aparelho proposto por Fonseca e Ferreira. Fonte: adaptada de Fonseca e Ferreira (1981 apud LEMOS, 2002).

O autor ainda destaca que foram realizadas duas séries de ensaios com a inclinação da rampa variando de 44° a 59° , considerando, para cada série, vazões entre 59 e 314 cm^3/s e intervalos de tempo de 5, 15, 30, 60 e 120 minutos de ensaio. Outro pesquisador no qual seu estudo apresenta bastante relevância é Fácio (1991). De acordo com Fácio (1991 apud LEMOS, 2002), foi idealizado um novo aparelho, modificando o projeto original e adaptando três rampas paralelas, com o intuito de realizar ensaios simultâneos, conforme Figura 3. Ainda se adicionou bacia de uniformização de fluxo e fixação roscável das amostras nas rampas, reduzindo a largura da rampa para 33 cm e aumentando o seu comprimento para 130 cm. Quanto ao diâmetro das amostras, também houve uma redução para 10 cm.

Fácio (1991) foi o primeiro pesquisador a propor uma normatização do ensaio de Inderbitzen ao fixar alguns parâmetros, como: vazão de 50 ml/s , tempo de ensaio de 20 minutos, declividade de 10° e tempo de pré-umedecimento (embebimento) igual a 15 minutos, para que as eventuais forças de sucção sejam

anuladas. A partir da realização dos ensaios, o autor concluiu que a perda de solo aumenta quando: o grau de saturação diminui, a vazão aumenta ou o grau de inclinação da rampa aumenta. Outro fator verificado foi que a perda de solo é mais significativa (65% da perda total) nos primeiros 5 minutos de ensaio.

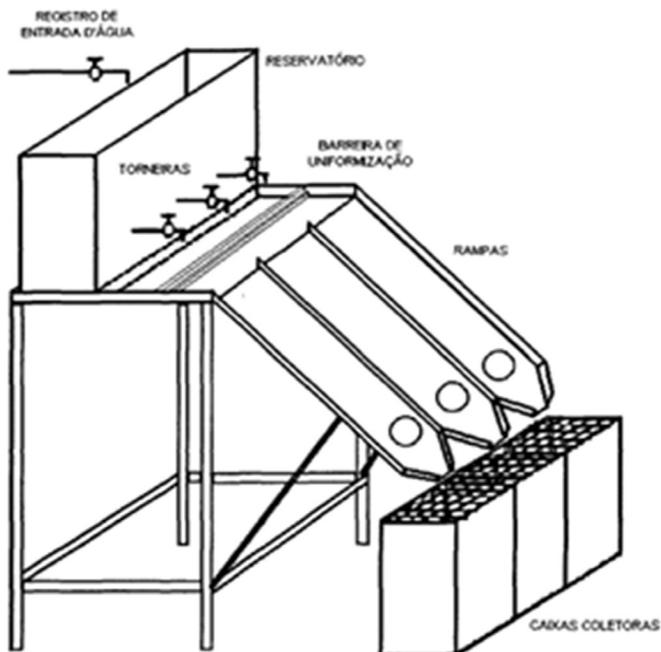


Figura 3. Modelo de aparelho proposto por Fácio. Fonte: adaptada de Fácio (1991 apud LEMOS, 2002).

A pesquisa realizada por Bastos (1999) consistiu na construção de um aparelho semelhante ao de Inderbitzen (1961), porém com algumas alterações, como: rampa de 25 cm de largura, 60 cm de comprimento e com articulação que permite a mudança da declividade de 0° a 54° , de acordo com Figura 4. Já os amostradores eram de cloreto de polivinila – PVC biselado – com diâmetro de 9,76 cm e altura de 5 cm. O fluxo de água, que simula o escoamento superficial, era alimentado por uma rede hidráulica e a vazão era gerida por um registro e rotâmetro (LEMOS, 2002).

Para a realização do ensaio, todo o material erodido passou por um conjunto de peneiras com malhas de 4,8; 2,0; 0,42 e 0,074 mm e a água foi coletada em recipientes de 60 litros. Para ampliar a análise, o autor utilizou inclinações variáveis da rampa, sendo utilizadas angulações de 10° , 26° , 45° e 54° . As vazões utilizadas foram de 3 e 6 L/min e as amostras foram ensaiadas sob condições de umidade natural, seca ao ar por 72 h e umedecidas por 24 h. Por fim, o pesquisador determinou intervalos de tempo de 1, 5, 10 e 20 minutos de ensaio.

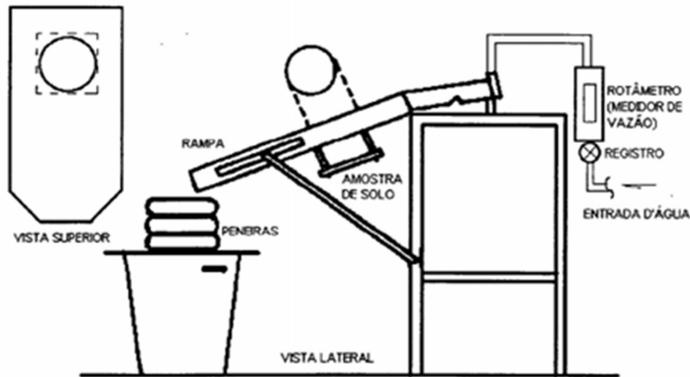


Figura 4. Modelo de aparelho proposto por Bastos. Fonte: adaptada de Bastos (1999 apud LEMOS, 2002).

Um dos trabalhos mais relevantes foi o de Freire (2001), por modificar consideravelmente o aparelho inicialmente proposto por Inderbitzen (1961), ficando seu ensaio conhecido como Inderbitzen Modificado. Seu objetivo com as alterações era suprir as limitações observadas no aparelho de Inderbitzen original, propondo um ensaio que representasse também a ação do impacto das gotas de chuva no solo. Dessa maneira, seu trabalho foi denominado “Grau de Erodibilidade do Solo – GES”, no qual simula o impacto das gotas de chuva através de um “chuveiramento” sobre a amostra. Seu novo equipamento consistia em uma estrutura tubular, na qual foi apoiada uma grelha com apenas duas possibilidades de inclinação, sendo disposta uma amostra de solo prismática não confinada debaixo de duas linhas de “chuveiramento” a uma altura de 20 cm, conforme a Figura 5, sendo que a vazão era controlada através de um manômetro.

Todo o material erodido foi coletado por um recipiente que o dispôs abaixo da grelha. Posteriormente, todo o material presente foi escoado para o recipiente adjacente, utilizado para decantação.

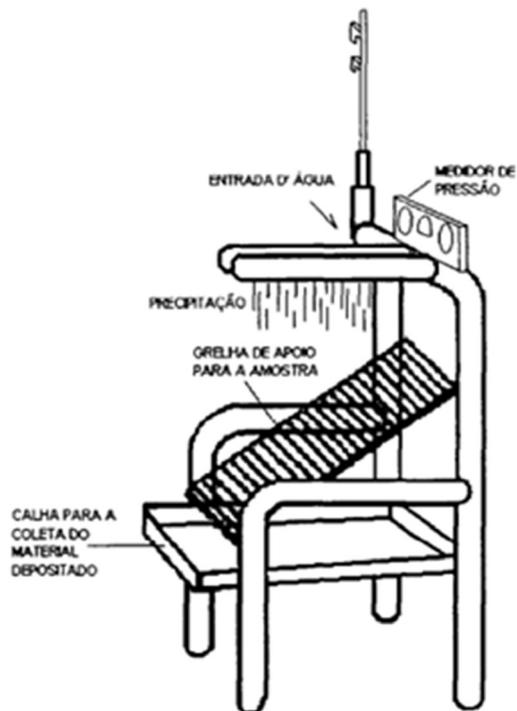


Figura 5. Modelo de aparelho proposto por Freire. Fonte: adaptada de Freire (2001 apud LEMOS, 2002).

Análogo ao equipamento desenvolvido por Freire (2001), alunos da Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão, desenvolveram seu próprio equipamento de Inderbitzen Modificado ao realizarem o trabalho “Construção de um modelo para análise do índice de erodibilidade do solo em uma região do município de Catalão – Goiás” no ano de 2013. O equipamento consistiu em uma estrutura tubular, como proposto por Freire (2001), composta por uma grelha localizada debaixo de duas linhas de “chuveiramento”, sendo que a amostra é colocada sobre a grelha, conforme as Figuras 6(a) e 6(b). Durante o ensaio, o solo é erodido e transportado por gravidade para um recipiente de acumulação. Para prosseguir com o ensaio, todo o material que estava no recipiente de acumulação passa pela peneira de abertura de 0,075 mm (QUIRINO; MORAIS; MELO, 2013).

Ainda de acordo com os autores supracitados, posteriormente à realização do ensaio, deve ser reservada a quantidade de material erodido retido no recipiente de acumulação e na peneira de malha de 0,075 mm. Após a retirada, o material segue para secagem em estufa e pesagem do material seco.

Para encontrar o potencial de erodibilidade (E), os autores utilizaram a Equação (1), na qual é dividida a quantidade acumulada de solo retido no recipiente e na peneira pela área superficial da amostra.

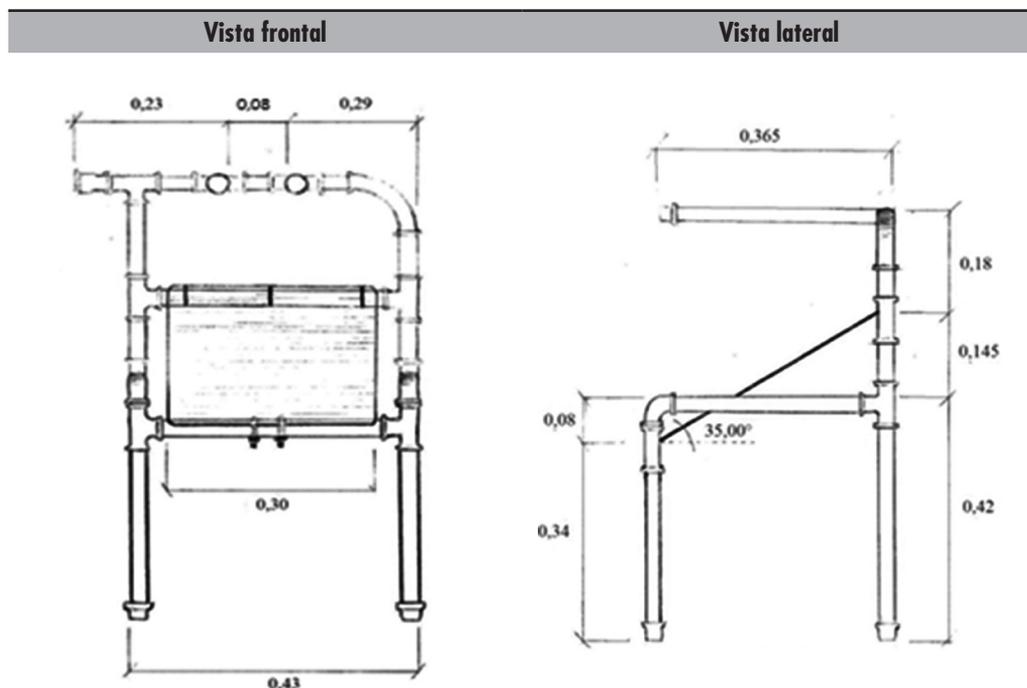


Figura 6. Modelo de aparelho proposto por Quirino, Morais e Melo. Fonte: adaptada de Quirino, Morais e Melo (2013).

4 RESULTADOS

A partir da reunião e da exposição de informações acerca dos principais modelos de aparelho de Inderbitzen desenvolvidos pelos pesquisadores citados, foi possível a confecção de tabelas comparativas com o intuito de apresentar as semelhanças e as divergências entre cada modelo.

A Tabela 1 apresenta as comparações entre as características físicas de cada aparelho proposto.

Tabela 1. Comparação dos dados sobre cada aparelho proposto

Autores	Dimensões do aparelho	Inclinação da rampa
Inderbitzen (1961)	Comprimento 76,20 cm	-
Fonseca e Ferreira (1981)	Comprimento 78 cm Largura 34cm	44° e 59°
Fácio (1991)	Comprimento 130 cm Largura 33 cm	10°
Bastos (1999)	Comprimento 60 cm Largura 25 cm	10°, 26°, 45° e 54°
Freire (2001)	-	-
Quirino et al. (2013)	Comprimento 48 cm	35°
	Largura 37 cm	
	Altura 75 cm	

Já a Tabela 2 apresenta as comparações entre as características das amostras coletadas para a realização de cada ensaio.

Tabela 2. Comparação sobre as amostras coletadas

Autores	Dimensões	Confinada	Condições de umidade
Inderbitzen (1961)	Diâmetro 15,24 cm	Sim	-
Fonseca e Ferreira (1981)	Diâmetro 15,24 cm	Sim	Natural Pré-saturada Ressecamento prévio
Fácio (1991)	Diâmetro 10 cm	Sim	Embebimento de 15 min

Autores	Dimensões	Confinada	Condições de umidade
Bastos (1999)	Diâmetro 9,76 cm	Sim	Natural Seca ao ar por 72 h Umedecida por 24 h
Freire (2001)	Prismática	Não	-
Quirino et al. (2013)	Diâmetro 20 cm	Não	Natural

A Tabela 3 apresenta as peculiaridades de cada ensaio, como tipo de ensaio, vazão dada em L/min e tempo de ensaio estabelecido por cada autor.

Tabela 3. Comparação dos dados sobre cada ensaio desenvolvido

Autores	Tipo de ensaio	Vazão (L/min)	Tempo de ensaio
Inderbitzen (1961)	Inderbitzen	Constante	120 min
Fonseca e Ferreira (1981)	Inderbitzen	3,54 e 18,84	120 min
Fácio (1991)	Inderbitzen	3	20 min
Bastos (1999)	Inderbitzen	3 e 6	20 min
Freire (2001)	Inderbitzen Modificado	-	Solo saprolítico 600 min Solo laterítico 90 min
Quirino et al. (2013)	Inderbitzen Modificado	1,96	90 min

5 DISCUSSÃO

A confecção das tabelas comparativas mostrou que todos os pesquisadores seguiram o mesmo direcionamento de trabalho defendido por Inderbitzen (1961), no qual consistia na simulação de um escoamento superficial por meio da cons-

trução de um aparelho. No entanto, após a reunião de informações acerca dos pesquisadores, ficou evidente que cada estudo conteve suas singularidades, seja no modelo de aparelho proposto, nas características da amostra ou no desenvolvimento do ensaio.

As primeiras modificações no aparelho aplicavam-se apenas nas dimensões (comprimento e largura), mantendo o conceito inicial proposto. Porém, Freire (2001) o recriou introduzindo um método de “chuveiramento”, aproximando ainda mais o aparelho das condições reais do meio. A proposta do autor era de imitar o impacto das gotas sobre o terreno, ocasionando a separação e o posterior transporte das partículas por efeito de salpicamento. Vale ressaltar também que, em seu trabalho e no de Quirino, Moraes e Melo (2013), as amostras não se encontravam confinadas, permitindo um efeito maior do “chuveiramento” sobre as faces da amostra.

Além disso, os pesquisadores observaram nas condições e nas características da amostra outras possibilidades de análise do estudo da erodibilidade dos solos, como suas propriedades de umidade, cobertura vegetal, formato e dimensões, permitindo uma melhor caracterização das amostras de acordo com seus aspectos reais quando encontrados na natureza. Outro fator modificado foram os ensaios que permitiam a alteração da vazão de escoamento e o tempo de ensaio.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos a partir da reunião de informações acerca do histórico de desenvolvimento do aparelho de Inderbitzen resultaram na confecção de tabelas comparativas contendo as características relacionadas à montagem do aparelho, das propriedades da amostra e do método de ensaio. Em vista disso, foi possível concluir que houve uma tendência de construção de equipamentos mais econômicos, devido à diminuição de suas dimensões e no emprego dos materiais mais simples. Além disso, os autores buscaram praticidade na utilização dos aparelhos para possibilitar uma maior quantidade de ensaios, como ensaios simultâneos, e mais possibilidades de alterações no grau de inclinação da rampa.

Pode-se concluir também que as características das amostras foram modificadas de acordo com as formas de confinamento e também das condições de umidade. Estas mudanças realizadas ao longo dos anos possibilitaram uma melhor caracterização e aproximaram as condições da amostra coletada das condições reais do local de retirada.

Em relação ao método de ensaio, observou-se modificação na criação de meios para a simulação do efeito da gota de chuva sobre o solo, a exemplo das linhas de “chuveiramento” do ensaio de Inderbitzen Modificado, o que possibilitou uma ampliação do estudo da erodibilidade no sentido de que aumentou os

parâmetros de análise dos ensaios, melhorando os resultados obtidos. Dessa maneira, as modificações propostas por cada autor pesquisado demonstraram que existem diversas possibilidades de análise que podem ser realizadas por meio de alterações de modo a se chegar ao resultado pretendido em cada trabalho. Além disto, é válido ressaltar que as tabelas comparativas foram fundamentais para facilitar a visualização e a simplificação da disposição das principais informações de cada pesquisador, portanto, atingindo o objetivo proposto.

Assim, as metodologias baseadas em Inderbitzen (1961), ao decorrer dos anos, passaram por modificações de acordo com a necessidade de cada pesquisador em tornar seu estudo singular, resultando em uma melhoria na reprodução das condições encontradas na natureza, o que possibilitou a obtenção de resultados cada vez mais satisfatórios e fidedignos com a realidade. Desta forma, torna-se importante a continuidade dos estudos de modo a permitir o acompanhamento da evolução dos aparelhos e das características que os distinguem das propostas anteriores de equipamentos e ensaios.

REFERÊNCIAS

- BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999. 269 p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. **Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. Brasília: FINATEC, 2006.
- FÁCIO, J. A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1991.
- FONSECA, A. M. M. C. C.; FERREIRA, C. S. M. Metodologia para determinação de um índice de erodibilidade de solos. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; CNPq; ABMS, 1981.
- FREIRE, E. P. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001.
- INDERBITZEN, A. L. An erosion test for soils. **Materials Research & Standards**, v. 1, n. 7, Technical Note, p. 553-554, 1961.
- LEMOES, C. F. **Avaliação da erosão superficial em áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional, utilizando o aparelho de Inderbitzen**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – área de concentração em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. 82 p.
- 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: III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro-Oeste e VI Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos, 2013, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFG, 2013.

SILVEIRA, L. L. L. **Elaboração de carta de susceptibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão-SP, escala 1:50.000.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2002. 211 p.