



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHERIA CIVIL**

**Alexandre Eliseu da Silva**

**ANÁLISE DA ERODIBILIDADE DE SOLOS RESIDUAIS DA BACIA DO  
ITACORUBI - SC**

**Florianópolis**

**2016**

Alexandre Eliseu da Silva

## **ANÁLISE DA ERODIBILIDADE DE SOLOS RESIDUAIS DA BACIA DO ITACORUBI - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Curso de Graduação da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
Engenheiro Civil.

**Orientador:** Prof. Dr. Rafael Augusto  
dos Reis Higashi

Florianópolis

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Alexandre Eliseu da  
Análise da Erodibilidade de Solos Residuais da Bacia do  
Itacorubi - SC / Alexandre Eliseu da Silva ; orientador,  
Rafael Augusto dos Reis Higashi - Florianópolis, SC, 2016.  
92 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.  
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Erosão. 3. Erodibilidade. 4.  
Metodologia MCT. 5. Bacia do Itacorubi. I. Higashi, Rafael  
Augusto dos Reis. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

## ANÁLISE DA ERODIBILIDADE DE SOLOS RESIDUAIS DA BACIA DO ITACORUBI - SC

Este trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado e aprovado, em sua forma final, para obtenção do grau de Engenheiro Civil pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 29 de Novembro de 2016

**Banca examinadora:**



Prof.º Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.º Luiz Henrique Guesser, Ms.

Examinador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.º Orlando Martini de Oliveira, Dr.

Examinador

Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente aos meus pais, Jozete da Silva Porto e Almir Eliseu da Silva, os quais estiveram sempre dispostos a me dar suporte e acreditaram em minha capacidade de superar quaisquer obstáculos durante essa caminhada, possibilitando a concretização de meus objetivos.

Agradeço aos meus irmãos, os quais me apoiaram e me proporcionaram de alguma forma auxílio para a conclusão de mais uma etapa na minha vida.

A todos meus familiares que de alguma maneira tornaram essa conquista possível, levando-se em consideração até os simples gestos para me auxiliar.

Aos grandes amigos que surgiram durante a graduação, até mesmo aqueles que me incentivaram dizendo que não seria possível a conclusão deste no tempo estimado para avaliação da banca.

Ao meu professor orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, o qual esteve sempre presente para sanar diversas dúvidas, manteve a calma, até nos momentos mais preocupantes, e proporcionou boas conversas durante esse último ano de grande aprendizado.

Ao pessoal do laboratório de mecânica dos solos, os quais foram sempre extremamente prestativos e me proporcionaram boas conversas durante as incontáveis horas de realização de ensaio.

## RESUMO

O avanço da mancha urbana de maneira desordenada, vinculado à falta de preocupação com a resiliência de alguns ambientes e o mau planejamento urbano, tem gerado consequências preocupantes no Brasil. Motivo pelo qual, fazem-se necessários estudos sobre as causas e consequências dessas expansões, elucidando as potencialidades de ocorrência de deslizamentos, erosão e outros problemas voltados à área geotécnica. Portanto, a presente pesquisa acadêmica buscou esclarecer, durante o ano de 2016, sobre um dos recorrentes problemas advindos dessas invasões sobre áreas de preservação, encostas etc. encontradas na Bacia do Itacorubi. A análise de erodibilidade desse local propiciou um esclarecimento sobre os motivos de episódios como, enchentes e assoreamentos, e gerou a avaliação a partir da Metodologia MCT, idealizada inicialmente por Nogami e Villibor (1979), o qual utiliza a análise de infiltrabilidade, que resultam coeficientes de sorção, e de erodibilidade específica (modificado), obtida com o percentual de perda de massa quando submerso. Os resultados estabeleceram uma classificação quanto às potencialidades dos solos erodíveis da bacia (Podzólico Vermelho-Amarelo), estabelecendo como solos com alta suscetibilidade à erosão. Como complemento, houve a compilação e avaliação comparativa dos dados encontrados com alguns resultados de autores com pesquisas voltadas à análise de erosão, com enfoque na Metodologia MCT e Inderbitzen.

**Palavras chave:** Erosão, Erodibilidade, Metodologia MCT e Bacia do Itacorubi

## **ABSTRACT**

The disordered advance of urban spreading, linked to the lack of concern about some environments resilience and bad urban planning, has generated worrying consequences in Brazil. Hence studies about the causes and consequences of these expansions are necessary, elucidating the potential of occurrence of landslides, erosion and other Geotechnical problems. Therefore, the present academic research sought for a way to clarify, over 2016, one of the common problems arising from these invasions on preserving areas, slopes, etc. found in the Itacorubi Basin. The erodibility analysis of this site provided an interpretation on the reasons for problems such as floods and sedimentation, and provided the evaluation from the MCT Methodology, idealized initially by Nogami and Villibor (1979), which uses the infiltrability analysis and results in sorption coefficients, and the modified specific erodibility, which is obtained using the percentage of weight loss when submerged. The outcomes established a classification of the potential of the erodible soils of the basin (Red-Yellow Podzolic), establishing these soils as high susceptibility to erosion. As a complement, there was the compilation and comparative evaluation of the data found and some results of authors with studies focused on the erosion analysis, focusing on the MCT and Inderbitzen Methodology.

**Keywords:** Erosion, Erodibility, MCT Methodology and Itacorubi Basin





## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Erosão por salpicamento ou “splash”.....	16
<b>Figura 2</b> - Concentração do fluxo devido à rugosidade e declividade do terreno ocasionando erosão.....	17
<b>Figura 3</b> - Estágio evoluído de ravinamento no solo.....	18
<b>Figura 4</b> - Tipos de voçoroca.....	19
<b>Figura 5</b> - Reflorestamento da microbacia experimental do Rio Feio, ano 2006. ....	21
<b>Figura 6</b> - Exemplo de Traçado de Vetores de Crescimento.....	24
<b>Figura 7</b> - Inderbitzen original.....	27
<b>Figura 8</b> - Inderbitzen modificado (gotejamento).....	28
<b>Figura 9</b> - Inderbitzen modificado (chuveiramento).....	29
<b>Figura 10</b> - Ensaio de Infiltrabilidade.....	31
<b>Figura 11</b> – Comportamento típico de uma amostra durante o ensaio de infiltrabilidade.....	31
<b>Figura 12</b> - Desagregação de partículas no ensaio de perda de massa por imersão.....	33
<b>Figura 13</b> - Ensaio de cisalhamento direto.....	38
<b>Figura 14</b> - Localização geográfica da Bacia do Itacorubi.....	44
<b>Figura 15</b> - Mapa Geotécnico da Bacia do Itacorubi.....	45
<b>Figura 16</b> - Cruzamento de temas para Bacia do Itacorubi realizado por Régis Filho (2008).....	48
<b>Figura 17</b> - Localização dos pontos de coleta na bacia do Itacorubi.....	50
<b>Figura 18</b> - Exposição dos horizontes B/C do talude 1.....	51
<b>Figura 19</b> - Coleta de amostras no primeiro ponto.....	52
<b>Figura 20</b> - Cortes realizados no segundo ponto de coleta para obras de infraestrutura.....	53
<b>Figura 21</b> - Talude exposto no terceiro ponto de coleta.....	54
<b>Figura 22</b> - Coleta sendo realizada no local.....	54
<b>Figura 23</b> - Coleta sendo realizada no quarto talude.....	55
<b>Figura 24</b> - Talude com características distintas no ponto 4.....	56
<b>Figura 25</b> - Fluxograma das etapas de trabalho.....	57
<b>Figura 26</b> - Molde posicionado para extração de uma amostra.....	61

<b>Figura 27</b> - Amostras expostas ao ar (24 e 48 horas) para variação da umidade. ...	62
<b>Figura 28</b> - Ensaio de infiltrabilidade em andamento.....	63
<b>Figura 29</b> - Amostra e molde antes do ensaio de perda de massa por imersão.....	65
<b>Figura 30</b> - Calha, filtro de papel e suporte metálico para ensaio de erodibilidade específica.....	66
<b>Figura 31</b> - Ensaio de perda de massa por imersão em andamento.....	67
<b>Figura 32</b> - Critério de avaliação de erodibilidade. ....	69
<b>Figura 33</b> - Resultados obtidos no ensaio de infiltrabilidade para o Talude 2. ....	71
<b>Figura 34</b> - Avaliação da erodibilidade para os pontos de coleta da Bacia do Itacorubi.....	73
<b>Figura 35</b> – Disparidade entre os solos ao longo do Talude 4 .....	74
<b>Figura 36</b> - Análise comparativa entre os dados da Bacia do Itacorubi e Higashi (2006).....	76
<b>Figura 37</b> - Análise comparativa dos dados da Bacia do Itacorubi e Grandó (2011). .....	78
<b>Figura 38</b> - Análise comparativa entre os dados da Bacia do Itacorubi, Bastos (1999), Basso (2013) e Moraes (2015). ....	79
<b>Figura 39</b> - Análise comparativa entre os Métodos Inderbitzen realizados pelos autores Higashi (2006), Grandó (2011) e Heidemann (2014). ....	81

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Unidades Geotécnicas e respectivas áreas na Bacia do Itacorubi. ....	45
<b>Tabela 2</b> - Localização por Coordenadas UTM dos pontos de coleta.....	49
<b>Tabela 3</b> - Resumo dos dados encontrados para todos os pontos de coleta. ....	72
<b>Tabela 4</b> - Critério de classificação gerado por Bastos (1999).....	83

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 OBJETIVO GERAL .....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	14
2.1 EROSÃO E ERODIBILIDADE .....	14
2.2 AGENTES EROSIVOS.....	15
2.2.1 Erosão Hídrica .....	15
2.2.2 Erosão Geológica .....	20
2.2.3 Erosão Eólica.....	20
2.2.4 Erosão Glacial .....	20
2.3 COMO EVITAR/AMENIZAR OS IMPACTOS DA EROSÃO.....	20
2.4 FASES DA EROSÃO .....	22
2.5 IMPACTO DA AÇÃO ANTRÓPICA COM RELAÇÃO À EROSÃO .....	22
2.6 ENSAIOS PARA ANÁLISE DO POTENCIAL ERODÍVEL DO SOLO.....	24
2.6.1 Ensaio Diretos.....	25
2.6.2 Ensaio Indiretos .....	29
2.7 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO .....	39
2.7.1 SIG e Geoprocessamento – Abordagem Geral.....	39
2.7.2 Aplicações do SIG em Avaliações sobre Suscetibilidade à Erosão .....	40
<b>3. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	43
3.1 PANORAMA GERAL SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA BACIA DO ITACORUBI.....	43
3.2 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO ITACORUBI.....	44
3.3 CENÁRIOS SOBRE QUESTÕES ANTRÓPICAS QUANTO À ERODIBILIDADE DO SOLO .....	47
3.4 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS.....	49
<b>4. MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	57
4.2. MATERIAIS .....	57
4.1.1 Ensaio de infiltrabilidade .....	58
4.1.2 Ensaio de erodibilidade específica modificado .....	58
4.2 MÉTODO .....	59
4.2.1 Ensaio de infiltrabilidade.....	60
4.2.2 Ensaio de Erodibilidade Específica Modificado (Perda de Massa por Imersão) ...	64
4.2.3 Critério de avaliação dos resultados obtidos na metodologia MCT .....	68
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	70

5.1 APLICABILIDADE DOS ENSAIOS .....	70
5.2 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA MCT APLICADA PARA A UNIDADE GEOTÉCNICA MAJORITÁRIA DA BACIA DO ITACORUBI .....	70
5.3 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DA BACIA DO ITACORUBI E OUTROS LOCAIS DA REGIÃO SUL .....	75
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>84</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	84
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	86
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>88</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano exacerbado tem se mostrado um dos principais fatores na ocorrência de diversos problemas relacionados ao solo, o que, conseqüentemente, fazem-se necessárias análises preliminares, utilizando diferentes métodos, para esclarecer a capacidade do solo de resistência, não apenas às adversidades da natureza com as chuvas e seu carreamento, vento e temperatura, mas também às ações do homem em ocupação (FONTOURA, 2013).

Um dos recorrentes problemas advindos da ação da água sobre o solo é a erosão, motivo pelo qual é necessária a caracterização e correta classificação obtida de diferentes experimentos. A análise dos mecanismos da erosão quando em ação no solo deve ser realizada, não apenas utilizando alguns métodos de caracterização quanto ao tipo de solo, como também quanto à erodibilidade do mesmo (KARLEN, MAUSBACH, DORAN, CLINE, HARRIS e SCHUMAN, 1997).

O desconhecimento sobre as grandes variações quanto à capacidade do solo no qual será aplicado algum carregamento é uma das principais causas em danos à natureza e ao homem. Isso se torna evidente quando é realizado um comparativo entre algumas cidades que tiveram um crescimento exagerado e grande densidade urbana, e outras que tiveram um correto planejamento, evidenciando pontos de risco à ocupação. Devido ao grande número de pessoas instalando-se nessas áreas de risco em certas cidades, a erosão acaba ecoando como uma problemática ainda maior, em razão dos espaços, os quais deveriam estar cobertos por vegetação, estarem totalmente devastados e desprotegidos (MARANDOLA, MARQUES, DE PAULA e CASSANELI, 2013).

O enfraquecimento do solo pode conter diversas origens, entre as mais comuns está a causa supracitada de apropriação indevida. A perda de vegetação não apenas torna o solo menos coeso, como também deixa de auxiliar na infiltração da água, ocasionando uma maior lamina de água na superfície e, conseqüentemente, um maior carreamento de partículas. A perda de cobertura vegetal é causa intrínseca para a formação de sulcos e entre sulcos, os quais potencializam a ação da água e tornam o ambiente mais propício à ocorrência de desastres, entre esses, a erosão. A falta de vegetação pode ainda auxiliar na

formação de superfícies de água dentro do solo, fazendo com que essa porção fique instável e possam propiciar deslizamentos (KARLEN et al., 1997).

A despreocupação com a erosão pode gerar consequências de grandes magnitudes, entre essas estão voçorocas, assoreamento, soterramento de áreas, acarretando perda de fauna e flora no local (DIAS, GOMES e GOES, 2001).

Em consequência dessa perda de cobertura vegetal, há também a potencialização da ocorrência de enchentes e alagamentos, os quais são resultados do uso de áreas próximas aos fluxos de água, resultando em assoreamentos. Essas Áreas de Preservação Permanentes (APP) são continuamente devastadas devido à ação antrópica, gerando incompatibilidades no equilíbrio entre ambiente e seres humanos (PROCHMANN, 2014).

Os limites estabelecidos pelo Plano diretor de Florianópolis para ocupação de áreas específicas são constantemente revistos e ignorados, atingindo negativamente a resiliência desses espaços e, conseqüentemente, propiciando problemas com erosão. As restrições sobre o zoneamento de ocupação de áreas adjacentes à APP indica que poderiam ser realizadas apenas obras unifamiliares em um distanciamento máximo de 250 metros do limite da mancha urbana, além dos limites de ocupação próximos a corpos d'água. Restrições essas que poderiam evitar o maior crescimento sobre essas áreas suscetíveis, mas não são satisfatoriamente respeitadas (VARGAS DE CRISTO, 2002).

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho acadêmico teve como objetivo primordial a análise e classificação quanto à erodibilidade das amostras de solos, as quais foram coletadas na Bacia do Itacorubi, promovendo ainda uma visão sobre possíveis áreas de risco com o avanço da mancha urbana sobre específicas localidades.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar diferentes métodos de classificação do solo quanto à erosão, evidenciando peculiaridades e mostrando a relevância de cada método especificamente;
- Definir parâmetros para análise do solo a partir de ensaios que determinam a erodibilidade do solo;
- Analisar suscetibilidade à ocorrência de problemas voltados para erosão nas localidades estipuladas;
- Realizar um estudo comparativo com outros autores sobre as distinções de alguns métodos abordados.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 EROSÃO E ERODIBILIDADE

Erosão é o ato ou efeito de corroer/desgastar e transportar partículas do solo devido à ação de fatores externos, contudo, há diversas alternativas para caracterizar o que é erosão apropriadamente.

Para uma definição extremamente ampla, adotou-se a erosão como um processo no qual há a transformação do solo, sendo que, essa mudança é sempre realizada por agentes exógenos, os quais condicionam a desagregação de partículas e, conseqüentemente, a possibilidade de carreamento dessas para áreas com maior estabilidade, nas quais ocorrem a deposição e acúmulo das camadas fragmentadas.

Em concordância com D'Agostini (1999), erosão é a ação necessária para quebrar a coesão, provendo as partículas de solo um deslocamento relativo entre partes contíguas, as quais irão ser transportadas e, finalmente, depositadas.

Esse conceito voltado para o âmbito mais sustentável teve seu início a partir da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a qual foi realizada em Estocolmo, 1972. Durante as discussões entre os representantes mundiais um dos principais enfoques foi o estudo do tema erosão, expondo suas causas e conseqüências, expandindo essas questões para os principais campos de estudo (BASSO, 2013).

Os agentes externos, condicionantes à ocorrência desses processos de desgastes superficiais, originam-se das ações: eólicas, glaciais, geológicas e hídricas, sendo que, essa última inclui a desagregação realizada por rios, chuvas e mares (IMESON e CURFS, 2006). Os mecanismos, anteriormente citados, são ainda intensificados devido à ação antrópica que, predominantemente, tende ao avanço sobre áreas com suscetibilidade à erosão, as quais não tiveram mapeamento apropriado (REGIS FILHO, 2008).

As conseqüências podem ser desastrosas quando há problemas vinculados com construções e áreas próximas às pessoas, dessa maneira, algumas soluções poderiam ser indicadas na tentativa de diminuição desses avanços. Essas alternativas são comumente abordadas pela Geografia, Geologia e Engenharia Civil

(Geotecnia), as quais representam grande parte dos interessados nesse assunto, tentando esclarecer os diversos fatores que implicam negativamente. Na Região Sul, há o predomínio de alguns pesquisadores, como, Bastos (1999), Higashi (2006), Avila (2009), Grando (2011), Basso (2013), entre outros que serão abordados ao longo desse trabalho acadêmicos.

## 2.2 AGENTES EROSIVOS

### 2.2.1 Erosão Hídrica

A Erosão hídrica é definida como as transformações impostas ao solo devido à ação hídrica, a qual pode possuir diversas origens, o que possibilita a demonstração, em parte, dessa classificação quanto ao grau de erodibilidade e à origem do agente erosivo, caso esse seja fluvial, pluvial etc.

A erosão hídrica possui significativo impacto no planejamento urbano e, conseqüentemente, é a maior influenciadora nas mudanças impostas à superfície terrestre, tornando-se ainda mais evidente quando intensificada pelo ser humano (MAGALHÃES, 2001), motivo pelo qual, esse projeto irá concentrar esforços na análise de áreas nas quais há a possibilidade de erosão devido à ação pluvial.

A erosão pluvial, responsável por grandes movimentações de terra, por vezes, deixa de ser definida como causa para pequenas perdas de partículas, as quais podem, aos poucos, ganhar grandes proporções.

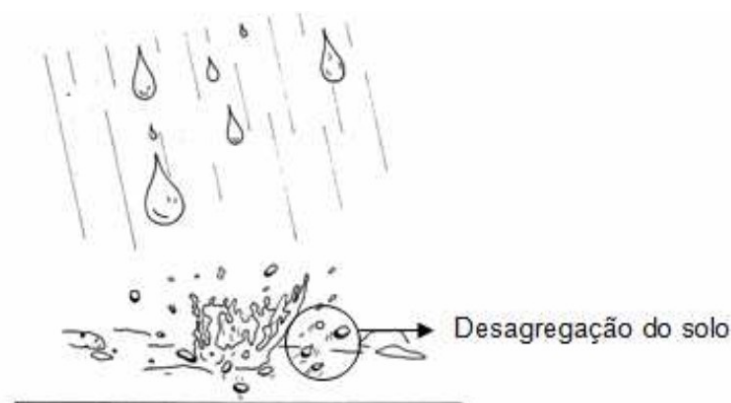
#### 2.2.1.1 Erosão por impacto

A ação hídrica pode abranger diversos mecanismos, um dos itens mais relevantes é o evento de desagregação resultante dos impactos das gotículas de água, provenientes da ação pluvial, sobre uma camada de solo, o que acarretará em maior desprendimento (BLOISE, CARVALHO JÚNIOR, REATTO, GUIMARÃES, MARTINS e CARVALHO, 2001; IMESON e CURFS, 2006).

Alguns usam o conceito de erosão por salpicamento ou por “splash”, o qual evidencia o som resultante do impacto da gotícula sobre superfície de solo. Essa é

uma das principais causas da erosão pluvial, como pode ser observado na Figura 1, o que influencia em um aumento gradual da porção de solo que será carregada e em uma maior erosão laminar, em virtude da maior quantidade de massa em escorregamento.

**Figura 1** - Erosão por salpicamento ou “splash”.



**Fonte:** Basso (2013).

### **2.2.1.2 Erosão laminar**

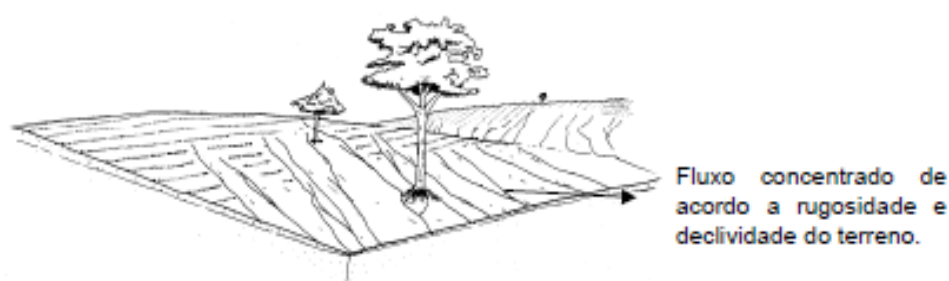
A erosão laminar é proveniente do desprendimento ocasionado por um fluxo de água em uma superfície de solo, o qual, como citado anteriormente, é potencializado em razão do impacto das partículas. Simultaneamente, além de desagregação, há aumento da quantidade de grãos que propiciam uma maior energia e resultam em maior poder de arraste. Essas, ocasionalmente, possuem algumas tendências em virtude do relevo local, o que na evolução do processo erosivo na Figura 2, originando uma maior concentração desses fluxos em linhas, provocando ranhuras e, com isso, a erosão em sulcos.

### **2.2.1.3 Erosão em sulcos**

Em razão do predomínio do escoamento de água em alguns pontos devido à declividade e rugosidade do terreno (Figura 2) há a ocorrência desses sulcos, os quais provocam um maior desgaste, intensificando a erosão em direções

específicas, o que implicará em problemas de maiores proporções. Esse pode ser satisfatoriamente analisado pelo ensaio de cisalhamento direto, no qual há o predomínio da análise de tensões provenientes da desagregação do solo. O ensaio determina coeficientes necessários para que ocorra a movimentação entre partes adjacentes do solo, gerando, dessa forma, base para a avaliação da erosão que ocorre devido às forças que o fluxo de água que desprendem as porções de solo (GRANDO, 2011).

**Figura 2** - Concentração do fluxo devido à rugosidade e declividade do terreno ocasionando erosão.

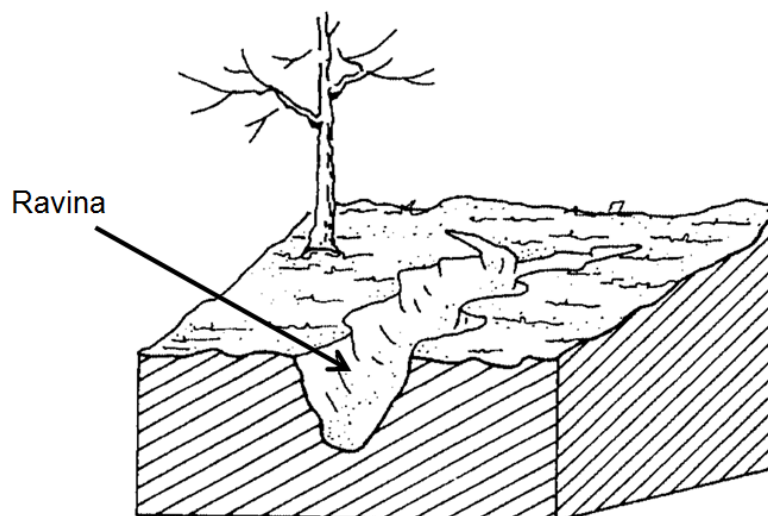


Fonte: Avila (2009).

#### **2.2.1.4 Ravinas**

Com o acúmulo de água, há a formação de cavidades, e seu aprofundamento, ao longo da declividade do terreno (Figura 3) os quais são geralmente provenientes da ação de enxurradas e córregos, que originam as ravinas, considerado o maior impacto em virtude da erosão superficial. Essas são erosões mais visíveis e que acontecem gradualmente quando comparadas com as possibilidades atingidas pelas voçorocas.

**Figura 3** - Estágio evoluído de ravinamento no solo.

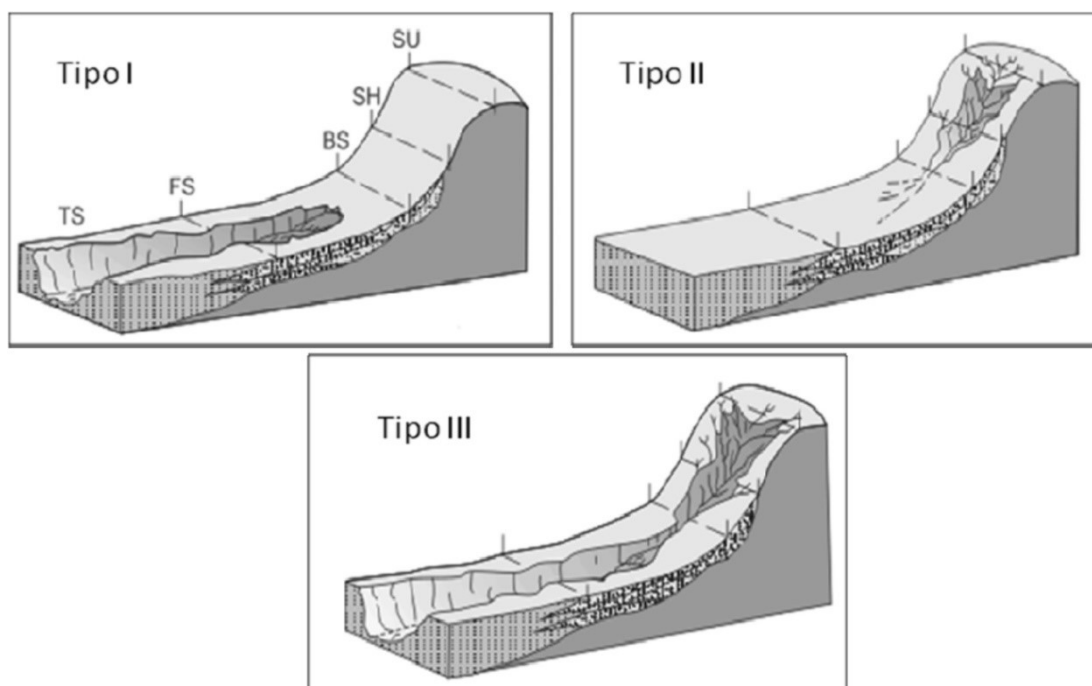


**Fonte:** Adaptado de Kuypers et al.(2005).

#### **2.2.1.5 Voçorocas**

Apontada como altíssima gravidade, esse tipo de erosão é comumente alcançada quando há o enfraquecimento do solo em níveis freáticos. A causa da profundidade desse processo erosivo é a junção entre água superficial e subterrânea, o que implica em grandes movimentos de massa. Essa ainda pode ser subdividida em três tipos, como demonstrado na Figura 4, os quais incluem o Tipo I – conectadas à rede de drenagem, locais com menor declividade e propícios ao acúmulo dos agentes; Tipo II – desconectadas à rede de drenagem, que caracterizam o maior impacto de águas subterrâneas e Tipo III – integração entre os dois tipos acima citados, sendo esse o desenvolvimento da erosão desde o topo da encosta até o fim da rede de drenagem preexistente, a jusante (PITTELKOW, 2013). Como resultado, as voçorocas ocasionam gigantescas cicatrizes, fazendo uso de canais subterrâneos e enfraquecendo a estrutura do solo.

**Figura 4** - Tipos de voçoroca.



**Fonte:** Pittelkow (2013).

### **2.2.2 Erosão Geológica**

Em consequência do escoamento da água proveniente de chuvas, sendo essas direcionadas predominantemente a redes fluviais, ocorre o ganho de energia cinética e, em seguida, deposição do solo em áreas de acordo com a perda dessa energia adquirida em razão da diminuição da potencial, conceituando o relevo como um fator extremamente relevante á ação dos outros mecanismos. A definição da erosão geológica indica que devido à formação de determinadas áreas, essas terão uma maior predominância a ocorrência de processos erosivos, por obra da alta declividade ou do tipo de formação que o solo sofreu ao longo dos anos, indicando a erosão com base na geomorfologia do local (GLOSSÁRIO DE DEFESA CIVIL, 2009).

### **2.2.3 Erosão Eólica**

Dentre os tipos mais recorrentes, nos deparamos com a erosão eólica, no qual o vento, como principal agente responsável por essa ocorrência, é a origem da abrasão de partículas de solos e rochas. Essas irão causar atritos, impactos e, por conseguinte, o desprendimento de mais porções, as quais serão carregadas devido à energia que esses fragmentos adquirem.

### **2.2.4 Erosão Glacial**

A erodibilidade também é influenciada em razão das variações de temperatura, a erosão glacial, a qual tende a gerar, em lapsos temporais consideravelmente grandes, fissuras e aberturas que irão possibilitar a infiltração do agente erosivo mais problemático, a água (BASTOS, 2004).

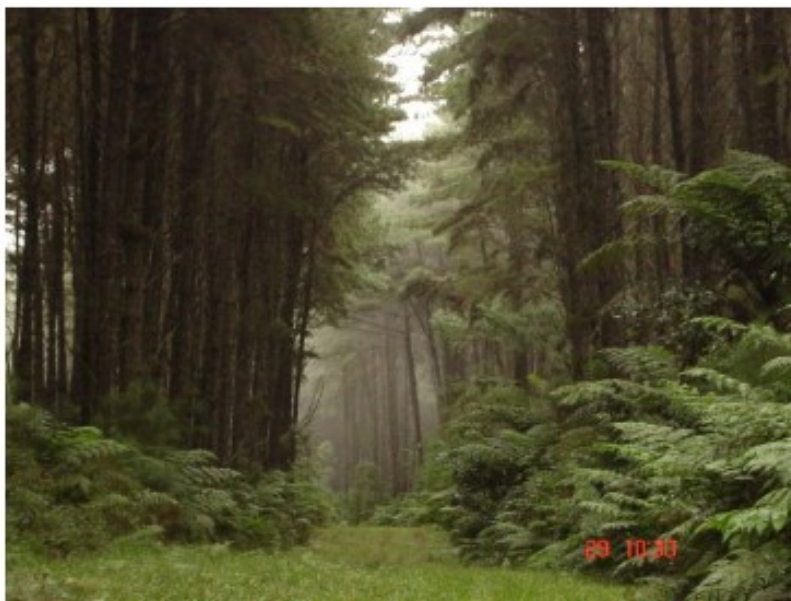
## **2.3 COMO EVITAR/AMENIZAR OS IMPACTOS DA EROSÃO**

Quando há apropriada cobertura vegetal, e sem que existam ações antrópicas, a erosão é definida como natural no qual ocorre a movimentação de camadas mais superficiais e posterior deposição. Esse processo é caracterizado

como lento e gradual, ocorrendo em virtude de agentes exógenos naturais essenciais para a formação das camadas constituintes do solo (BASTOS, 1999). Porém, devido à consolidação do avanço urbano com a natureza, essa ação gradual é potencialmente dispersa.

A necessidade de uma adequada infraestrutura e um correto mapeamento é evidenciada como essencial para prevenir catástrofes. Dessa forma, seriam levadas em consideração as ações em longo prazo, as quais seriam observadas com mapas temáticos, demonstrando o avanço da mancha urbana, variações do solo, declividade etc. Outra forma, pouco explorada, seria o processo de sucessão vegetal, o que diminuiria as chances de deixar solo descoberto, o investimento em expansão de áreas verdes (Figura 5) com o plantio de mudas nativas da Mata Atlântica, e combatendo possíveis incêndios ou, ainda, auxiliando a renovação da mata com reflorestamento (GRANDO, 2011).

**Figura 5** - Reflorestamento da microbacia experimental do Rio Feio, ano 2006.



**Fonte:** Grando (2011).

Entre as medidas descritas, a avaliação das potencialidades antes da ocorrência seria uma das opções mais relevantes para evitar fatalidades e perdas econômicas e, também, opções para prover cobertura vegetal.



## 2.4 FASES DA EROSÃO

Durante a evolução de um processo erosivo, há basicamente três fases principais, as quais seguem determinado sequenciamento: Desagregação, Transporte e Deposição.

A primeira provém da ação, geralmente conjunta, de diversos agentes erosivos, que extrapolam a adesão entre partículas, causando a fragmentação do todo.

O segundo é predominantemente realizado pelas ações da água e do vento que, após o desprendimento de partículas, resultante de impactos, carreamentos e quedas, irão superar a inércia necessária no intuito de produzir o transporte dessas frações.

Conseqüentemente, essas sofrerão deposição, sendo esses locais de acúmulo tanto em leitos de rios, quanto em base de encostas, podendo originar deposições em áreas já urbanizadas, como é comum observar finas camadas de material arenoso sobre estradas na ocorrência de chuvas (MINELLA, MERTEN, REICHERT e CASSOL, 2010).

## 2.5 IMPACTO DA AÇÃO ANTRÓPICA COM RELAÇÃO À EROSÃO

O fortalecimento desses processos, quando instigado pela ação humana, é denominado como erosão acelerada e pode ser consequência tanto de atividades agrícolas, quanto do exacerbado crescimento urbano. A erosão, em sua maioria, é gradativa e aceitável, contudo, quando o solo é submetido às exigências antrópicas há a possibilidade de aceleração desses processos e, concomitantemente, carreamento de grandes camadas superficiais (MAGALHÃES, 2001).

A expansão da mancha urbana sobre essas áreas inóspitas acaba resultando também em problemas como assoreamentos, onde haverá perdas de sustentação do solo. O resultado é a deposição de solo em áreas com baixa energia potencial, como em base de rios, lagos etc. o que acarretará na diminuição de espécies em razão da menor profundidade com a perda de seção transversal, além dos problemas para o homem, que sofrerá com possíveis inundações e enchentes.

Como citado anteriormente, o rápido crescimento populacional e a ocupação desordenada são os principais fatores para problemas vinculados à erosão. Com

isso, há essa necessidade de esclarecer quais seriam as formas de controle adequadas com intuito de garantir um crescimento controlado (ARAÚJO, 1994).

Como Magalhães (2001) descreve, a ocupação de áreas com camadas impermeáveis próximas à superfície resultará em menor infiltração e, assim, maior acúmulo superficial e escoamento, criando pontos mais propensos à ocorrência de erosão. Por esse motivo, é crucial a limitação de áreas específicas levando em consideração, não apenas a retirada da cobertura vegetal, mas também a análise da capacidade de infiltração dos locais, os quais possuem uma maior propensão a serem utilizados e que sofrerão um aumento da potencialidade de um desastre.

Além disso, há a necessidade de análises sobre alguns pontos com alta declividade, com isso, um controle ocupacional mais rígido, desses locais acentuados, seria obtido. O que impossibilitaria o uso de localidades sem condições próprias para o escoamento de água e, por essa razão, evitaria a ocorrência de instabilidades, as quais intensificam o processo erosivo (VARGAS DE CRISTO, 2002).

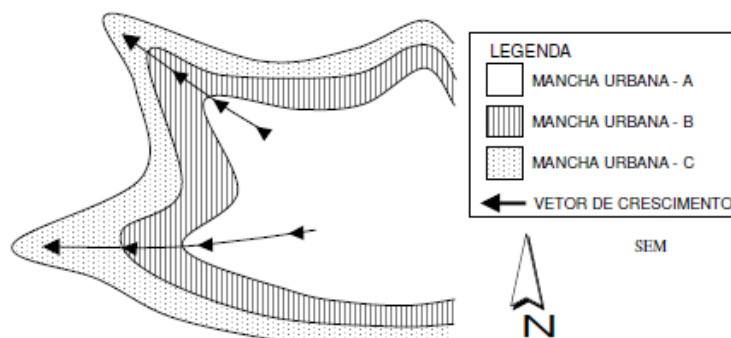
Em parcial concordância, há uma fração de autores que apoiam a ocupação de locais com uma determinada declividade, segundo Almeida Filho (2000), a necessidade de estabilização em taludes, quando o uso de áreas suscetíveis for imprescindível para dar continuidade ao crescimento urbano consciente, seria uma resposta viável para o avanço urbano. E o uso de algumas técnicas para locais com a existência de águas subterrâneas suavizando esses impactos. O autor sustenta essa ideia explicando sobre as possibilidades do uso de micro e macrodrenagem para diminuir os problemas consequentes da erosão.

Em um comparativo entre problemas provenientes da erosão hídrica, as regiões que mais possuem crescimento desordenado são os locais com maior foco e, conseqüentemente, maiores concentrações de projetos e estudos. A análise da suscetibilidade dos solos à erosão tornou-se mais evidente na Região Sul (Santa Catarina), em parte, devido a alguns estudos realizados por autores regionais, como, por exemplo, Bastos et al. (2003).

Esse descreve a suscetibilidade à erosão laminar na Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar. A mesma região foi ainda amplamente investigada durante as pesquisas realizadas por Higashi (2006), obtendo os potenciais de erodibilidade de cada unidade, gerando mapas sobre o grau de suscetibilidade à ocorrência de erosão. Esse utilizou formas de avaliar vetores de

crescimento (Figura 6) a fim de elucidar quais pontos seriam mais adequados para análise, em virtude dessa expansão.

**Figura 6** - Exemplo de Traçado de Vetores de Crescimento.



Fonte: Higashi (2006).

Com relação ao descrito em seu projeto, Bastos et al. (2003), com a investigação sobre o potencial e suscetibilidade quanto à erosão dessa área, modelou um mapa com o qual foi possível a conclusão de alguns percentuais sobre áreas problemáticas. A partir desse mapa há grande predomínio de áreas com suscetibilidade à erosão hídrica na Bacia, aproximadamente 60,6%, e 17,5% com extremo potencial erosivo, os quais são diretamente responsáveis pela extensa quantidade de sedimentos gerados e, posteriormente, depositados nos principais rios dessa região. Higashi (2006), em um estudo complementar, avaliou os coeficientes advindos dos ensaios de erosão para o local, o qual foi classificado e subdivido em áreas com alta, média e baixa erodibilidade, de acordo com os resultados encontrados para análise erosiva.

## 2.6 ENSAIOS PARA ANÁLISE DO POTENCIAL ERODÍVEL DO SOLO

Os ensaios de caracterização são essenciais para um correto direcionamento sobre as peculiaridades que cada massa de solo irá possuir. O estudo dos solos é algo extremamente recente, iniciando em meados do século 19, motivo pelo qual ainda é muito restrito ao desenvolvimento em algumas áreas em específico, os quais não tiveram o adequado estudo nos diversos tipos de solos (BRADY e WEIL, 2000).

Com relação às análises erosivas, apenas a partir dos anos sessenta começaram a ocorrer relevantes pesquisas com simulação de processos de erosão hídrica em laboratório, na tentativa de simular as consequências do impacto e carreamento de sedimentos. Com isso, criou-se a possibilidade da análise das variações do processo erosivo quanto à temperatura, influência do poder erosivo pluvial e escoamento.

Entre as avaliações de erodibilidade que mais se destacam para gerar os dados satisfatórios para as pertinentes interpretações de consequências, devido à água, em um corpo sólido, são os ensaios de Inderbitzen (INDERBITZEN, 1961), de desagregação (FONSECA e FERREIRA, 1981), agulha e torrão (SHERARD et al., 1976a e 1976b), Inderbitzen Modificado (FREIRE, 2001) e o critério de erodibilidade MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1979), o qual foi o foco para a coleta de dados.

Segundo esses autores, a principal causa da erosão do solo é a água, razão pelo qual, o enfoque dessa pesquisa é a erosão hídrica. Assim, a erosão proveniente da ação hídrica ocorre devido ao limite de infiltração que determinada área possui e à quantidade excedente que está tentando penetrar no solo fica disposta e propensa a desagregar parte do solo e carregá-lo, sendo, predominantemente, influenciada em virtude da pluviosidade. Os ensaios que tentam criar essas peculiaridades podem ser divididos em dois segmentos, Diretos e Indiretos, os quais serão melhores descritos a seguir.

### **2.6.1 Ensaios Diretos**

Ensaios diretos são métodos de avaliação da erodibilidade que tentam representar em laboratório as implicações que o impacto da chuva teria sobre o solo.

Atribuído como um ensaio de caráter direto, o ensaio Inderbitzen tenta avaliar diretamente o percentual de massa perdida em razão da ação do gotejamento, ou chuveiramento, e posterior arraste de partículas. Dessa forma, esse tenta gerar informações sobre a erosão, recriando-a em laboratório.

### **2.6.1.1 Inderbitzen**

O ensaio de Inderbitzen foi desenvolvido para interpretar as consequências da chuva quanto ao seu poder de interferência na superfície do solo, desde o gotejamento até o carreamento de partículas, sendo assim, esse consiste em um ensaio que tenta aproximar-se da realidade reproduzindo o processo de erosão. Nesse, a amostra coletada é indeformada a fim de garantir a confiabilidade da reprodução desses processos sobre o solo, sendo que até o aparelho segue as tendências do talude que será estudado (BASTOS, 2004).

Esse tipo de ensaio pode ser subdividido em alguns métodos com pequenas variações, o primeiro foi apresentado e discutido por Inderbitzen (1961), o qual será discutido como o original. O segundo foi apresentado por Freire (2001), no qual propôs apresentar as consequências da ação da chuva, maior vazão, sobre uma massa de solo e suas implicações quanto à erodibilidade do solo, dessa forma, foi desenvolvido o ensaio de Inderbitzen Modificado. E a partir desse, criou-se pequenas modificações de acordo com a intensidade de chuva que seria analisado.

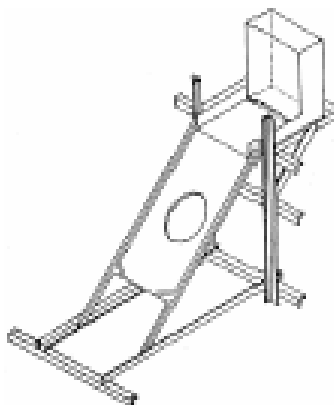
#### a) Ensaio de Inderbitzen (Original)

Nesse ensaio, a rampa, a qual direcionará a água, possui específica inclinação, conforme tentativa de recriar o processo erosivo, e na qual ficará disposta a superfície da amostra, dentro do molde metálico. A superfície citada está no limite de encontro com a rampa, facilitando dessa maneira o carreamento de grãos com a erosão laminar. Como pode ser observado na Figura 7, o molde e a rampa conectam-se evidenciando o tipo de erosão predominante nesse método. Esse método foi pioneiro na avaliação de erosão a partir de ensaios diretos em laboratório, sendo que Inderbitzen (1961) tinha como objetivo encontrar formas de avaliar a erodibilidade laminar.

O enfoque na realização desse ensaio se manteve constante durante alguns anos, com diversos autores fazendo o uso da canaleta que proporcionaria essa desagregação de partículas, entre esses Fonseca e Ferreira (1981 apud SILVA e MELO, 2016), os quais fizeram uso desse método para determinação de um índice de erodibilidade a fim de gerar certa classificação do solo. Durante a realização pelos autores em 1981, o método já possuía algumas pequenas modificações do

original, entretanto, a maneira com a qual o solo era erodido manteve-se constante, avaliando também as consequências da variação da inclinação da rampa em diferentes vazões.

**Figura 7** - Inderbitzen original.



**Fonte:** Fonseca e Ferreira (1981)

#### b) Ensaio de Inderbitzen Modificado

Nesse ensaio, a amostra é posicionada em uma grelha (rampa), a qual está devidamente inclinada, proporcionando, dessa maneira, uma respectiva angulação ao corpo de solo, na tentativa de gerar um talude de solo que irá facilitar o carregamento das partículas, como observado na Figura 8.

Sobre essa amostra são dispostos tubos com pequenos orifícios, dos quais irão gotejar água sobre a amostra para que ocorra o desprendimento de partículas. Essa pressão no gotejamento é administrada por um manômetro, o qual irá tender a uma quantidade de água sem que ocorra acúmulo na superfície, focando, conseqüentemente, no escoamento superficial e nas implicações devido à erosão pluvial que essa amostra estará sujeita.

Na tentativa de intensificar a ação do gotejamento, foi desenvolvida uma forma de aumentar a erosão hídrica com a substituição desse pelo chuveiramento, Figura 9, ampliando a área de impacto por salpicamento e, com isso, resultando em um maior desgaste.

O ensaio, o qual tenta elucidar o percentual de massa despreza em função do tempo de duração, ângulo da rampa e vazão d'água que atinge o solo, é

amplamente difundido na região, e é constantemente abordado em pesquisas a fim de gerar classificações comparativas com outros ensaios. Bastos (1999), em sua pesquisa na área de Porto Alegre, RS, fez uso desse método com algumas alterações e adquiriu dados satisfatórios para um comparativo, gerando dessa forma limites dos índices para classificação entre os graus de suscetibilidade à erosão.

Enquanto que Higashi (2006) possui um enfoque no estado de Santa Catarina, analisando as implicações do método nos solos de municípios como Tubarão, por exemplo, onde pôde avaliar os efeitos sobre a perda de solo devido à diferenciação no tempo de exposição ao ar, evidenciando os teores na umidade seca e em 72 horas. Outro autor que fez uso dessa análise foi Heidemann (2014), o qual além de avaliar as consequências dessa alternância, contestou o intervalo de tempo que a amostra deve estar exposta à água durante a realização do ensaio, determinando os percentuais de variação de massa quando ensaiadas para os intervalos de uma e duas horas.

**Figura 8** - Inderbitzen modificado (gotejamento).



**Fonte:** Freire (2001)

**Figura 9** - Inderbitzen modificado (chuveiramento).



**Fonte:** Grando (2011).

## **2.6.2 Ensaio Indiretos**

Os ensaios indiretos, como evidencia o nome, são métodos que tentam gerar dados a partir de interpretações que esses terão quando realizados em laboratório, sendo pela quantidade absorvida de água, pelo fluxo e pressão de água transpassando um furo de agulha, pela desagregação quando imerso em água etc. São testes pertinentes à conclusão da suscetibilidade à erosão e que irão produzir fatores classificatórios quanto ao risco de ocorrência.

### **2.6.2.1 Critério de Erodibilidade MCT**

A avaliação de erodibilidade manteve-se continuamente em desenvolvimento, mas essa evolução não ocorreu de forma uniforme em todos os países. Razão pela qual, foi evidente a deficiência em métodos de estimativa de erodibilidade para solos em áreas tropicais e subtropicais. Assim, uma das principais causas para a criação de um ensaio foi a obtenção de dados satisfatórios para solos como os brasileiros. E ainda, em razão do alto grau de drenagem e evapotranspiração dessas áreas, fica evidente que os ensaios da metodologia teriam valores mais adequados que outros ensaios, pois há uma contínua perda de água dessa massa, incitando a melhor análise a partir da infiltração (NOGAMI e VILLIBOR, 1994; BASTOS, 2004).



O critério de análise erodibilidade MCT descrito por Nogami e Villibor (1979) tem por objetivo analisar a infiltrabilidade de uma amostra indeformável, a qual será submetida também à análise de perda de massa por imersão, conhecida como ensaio de erodibilidade específica. Os dois ensaios tentam indiretamente avaliar a erosão hídrica em amostras que sofrem com algumas variações de umidade, observando quais seriam as consequências em razão da alternância em exposição ao ar.

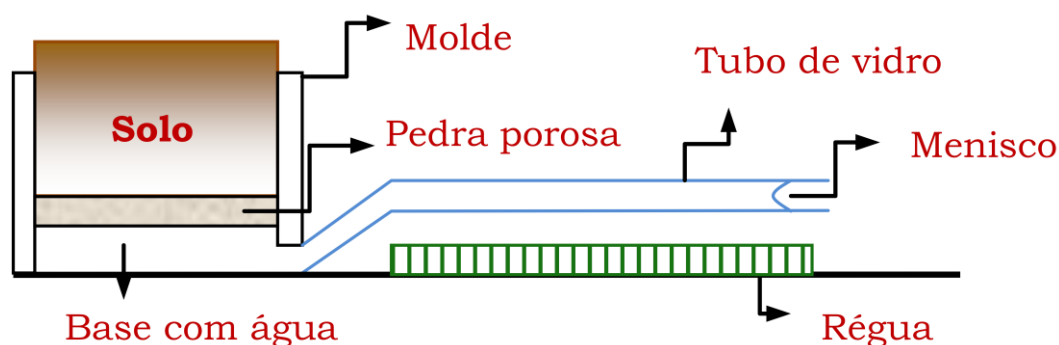
#### a) Ensaio de Infiltrabilidade

O ensaio foi obtido a partir da metodologia do MCT, e consiste na obtenção de amostras, de maneira indeformada, fazendo o uso de um anel biselado, 5cm de diâmetro e 5cm de altura, feito de PVC. Após adequação aos moldes (arrasamento do material excedente), para continuidade dos ensaios, essas amostras são posicionadas sobre uma pedra porosa de granulação aberta saturada.

Essa pedra porosa, a qual está posicionada anexa à amostra, irá facilitar a mudança de gradiente sem que haja perdas de massa de solo indeformada no molde, levando em consideração que a amostra terá sua umidade previamente estipulada (BASTOS, 2004).

Durante a realização do ensaio, há um tubo capilar conectado a esse molde, o qual está preenchido com água, posicionada na respectiva altura da pedra porosa possibilitando a devida ascensão (Figura 10) e sendo esse responsável por indicar a velocidade do fluxo ascendente do líquido, em virtude do fenômeno de capilaridade que ocorre na porção de solo indeformado.

Figura 10 - Ensaio de Infiltrabilidade.

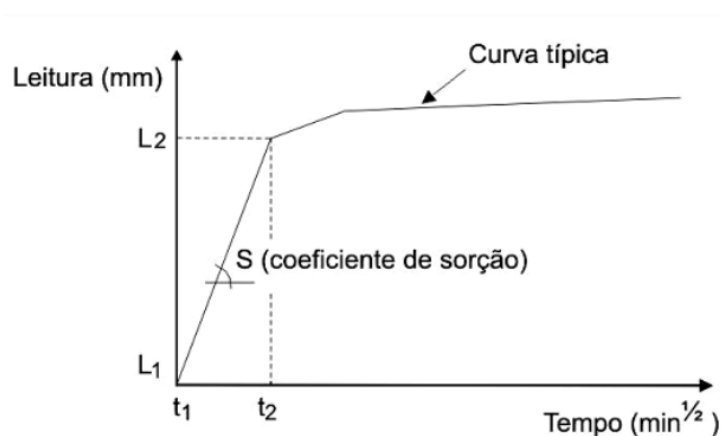


Fonte: Adaptado de Fonseca e Ferreira (1981) por Grando (2011)

A velocidade do menisco capilar é estipulada a partir de determinados intervalos de tempo, seguindo os valores dos quadrados do tempo (1, 2, 4, 9, 16, 25 etc) até que seja alcançada a estabilidade desse menisco, a qual irá variar conforme a mudança de umidade da amostra.

Com esses valores de variações no movimento do menisco no tubo capilar, e seus respectivos períodos de tempo, os quais foram cronometrados seguindo o critério citado anteriormente, é construído um gráfico, como está apresentado na Figura 11, de onde foi evidente o típico comportamento.

Figura 11 – Comportamento típico de uma amostra durante o ensaio de infiltrabilidade.



Fonte: Bastos (1999).

A proporção encontrada a partir do trecho retilíneo inicial, o qual possui determinada angulação, irá gerar um coeficiente de sorção  $s$  (em  $\text{cm}/\text{min}^{1/2}$ ):

$$s = \frac{(L_b - L_a) \cdot S}{10(tb - ta) \cdot A} \quad (1)$$

Onde:

- $L_b$  e  $L_a$  são as leituras das distâncias no tubo capilar;
- $tb$  e  $ta$  são os tempos referentes às leituras;
- $S$  é a seção do tubo capilar;
- $A$  é a área da seção da amostra.

Concluindo, a variação das leituras no menisco é diretamente proporcional aos resultados de infiltrabilidade, os quais serão indicados pelo coeficiente de sorção obtido com esses valores. Durante as pesquisas realizadas para a Região Sul, tornou-se imprescindível salientar o específico comportamento de alguns tipos de solos. Higashi (2006), na tentativa esclarecer similares características entre amostras da mesma unidade, gerou diversos gráficos demonstrando as tendências erodíveis de algumas amostras e reforçando seu desempenho devido à mudança nos teores de umidade.

Há algumas variações no método que podem ser utilizadas para avaliar as implicações da mudança de umidade, como apresentam Bastos (1999), Basso (2013), Moraes (2015), os quais fizeram uso de amostras pré-umedecidas para comparar o comportamento dos solos em situações que estão completamente saturados.

#### b) Ensaio de Erodibilidade Específica Modificado (Perda de Massa por Imersão)

Esse ensaio, novamente, segue os critérios adotados na Metodologia MCT, seguindo alguns padrões para obtenção dos parâmetros em classificação dos solos quanto a sua erodibilidade.

Há algumas variações na maneira com a qual as amostras são ensaiadas no ensaio de erodibilidade específica modificado com relação ao não modificado, a principal mudança consiste que a amostra, que era anteriormente extraída dos moldes em um total de 10mm, resultando em uma porção proeminente do molde,

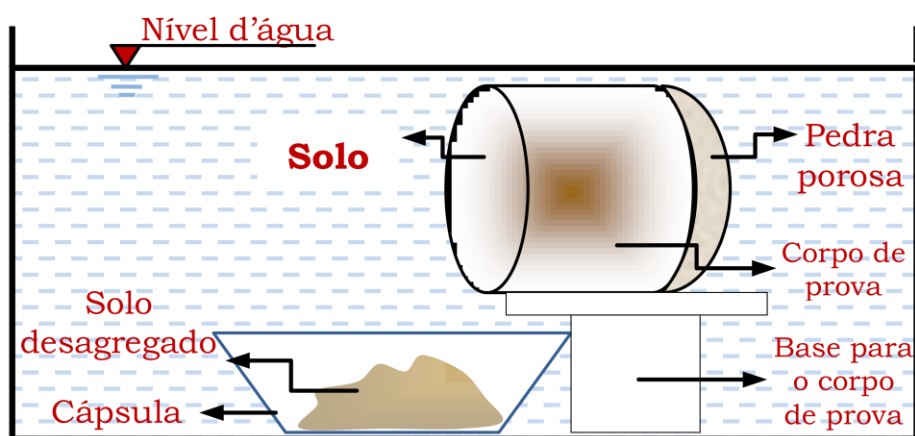
agora fica disposta totalmente dentro do anel, sendo assim, no modificado, o final do molde coincide com o limite da amostra, a qual foi moldada.

E para a realização do ensaio na outra extremidade estará disposto uma pedra porosa. Essa impede de certa maneira a perda de solo para um dos lados, ocasionando a tendência de desprendimento em apenas um dos lados, interpretando como ocorreria em um talude exposto.

O ensaio faz uso de um anel biselado, só que esse possui dimensões distintas quando comparado com o anel utilizado para o ensaio de infiltrabilidade, esse possui 2,5cm de altura e 5cm de diâmetro.

Para a realização do ensaio é necessário que seja realizado a imersão desse anel com a amostra em água, como mostrado na Figura 12. O processo é composto de um recipiente onde estará disposto o líquido e um papel filtro, que seria utilizado para que não ocorram perdas dessa parte de solo que consequentemente irá desprender-se da amostra quando deixada submersa por 20 horas.

**Figura 12** - Desagregação de partículas no ensaio de perda de massa por imersão.



**Fonte:** Adaptado de Fonseca e Ferreira (1981) por Grando (2011)

O ensaio diretamente anteriormente apresentado possui um panorama mais detalhado sobre a análise do escoamento de água e o comportamento dessas partículas em virtude da pluviosidade. Enquanto, o de erodibilidade específica perde o foco da análise do impacto da chuva sobre a amostra. Por isso, para uma avaliação de desgaste devido à colisão, seria necessário um ensaio mais específico,

no qual o foco é interpretação do choque que ocorre entre as gotas e a superfície, e posterior condução de tais sedimentos, como o Inderbitzen.

Contudo, quando levados em consideração com a metodologia MCT, esses são avaliados com uma representatividade melhor sobre o comportamento dos solos. Sendo que, no item infiltrabilidade, diversos autores fazem o uso desse procedimento para avaliação da erodibilidade do solo. Conforme Grandó (2011), as tendências à desagregação mostram-se mais expressivas de acordo com a idade e proximidade de áreas com cobertura vegetal, o que influencia na profundidade das raízes no local, sendo que, essas irão implicar também na modificação dos valores dos coeficientes de sorção encontrados.

#### **2.6.2.2 Ensaio do Furo de Agulha - “Pinhole Test”**

Esse ensaio possui como principal objetivo avaliar o comportamento de solos argilosos quanto à erosão hídrica, avaliando o fluxo de água destilada que será possível devido ao furo proveniente da ação da agulha.

No ensaio são avaliadas algumas interpretações quando aplicada uma carga hidráulica a fim de penetrar a porção de solo com uma agulha, com isso, é possível analisar a carga utilizada, medir a vazão do líquido que transpassa a amostra pelo furo, quais foram as dimensões resultantes dessa penetração.

De acordo com Chamecki (2002), esse possui como referência a NBR 14.114, a qual avalia a dispersibilidade de solos finos classificando-os em seis critérios. Com as devidas adaptações, analisando o decorrer do ensaio é possível observar o alargamento do furo e a perda de partículas com a vazão de água destilada, o que, conseqüentemente, irá resultar no aumento de vazão.

O desenvolvimento desse método deu-se a partir de consultorias e diversas publicações, seu idealizador, junto com sua equipe, elaborou esse método para análise de solos finos compactados, primeiramente, para avaliação de barragens de terra (Sherard, 1976b).

O Aparelho é constituído por um tubo cilíndrico, o qual pode ser metálico ou de plástico, formado por dois furos que irão direcionar o líquido para a realização do ensaio e um terceiro para evitar a formação de vácuo, o molde possui diâmetro

interno de 36mm e altura aproximada de 100mm, onde a amostra será moldada preenchendo-se esse cilindro.

Em seguida, há a necessidade de posicionamento de um guia para que, quando a amostra for penetrada, a agulha não fique deslocada ou normal à superfície. Com isso, a agulha é retirada girando-a para evitar alguma possibilidade de amolgar. Esse ensaio é realizado alternando-se os teores de umidade, Grando (2011) fez uso de três diferentes percentuais de umidade, a fim de esclarecer a influência na inserção da agulha de acordo com a umidade seca, natural e saturada.

Iniciando o ensaio, a água é introduzida no aparelho, o qual fornece uma pressão estipulada para que ocorra o movimento do líquido através desse furo e, por conseguinte, direcionado para uma proveta onde será analisada a perda de solo.

#### **2.6.2.3 Ensaio do Torrão – “Crumb Test”**

O ensaio “crumb test” consiste em uma avaliação visual, na qual é realizado observações sobre o comportamento de amostras quando essas são imersas em água destilada e devido às perdas de massa quando está imersa, sendo assim, necessários outros ensaios para uma análise mais concisa (CHAMECKI, 2002). Mas esse é extremamente utilizado em razão da facilidade e velocidade em alcançar resultados.

Os torrões são porções de solo com diâmetro de aproximadamente 6 a 10mm, gerando-se sempre três amostras para cada condição, tentando, dessa forma, evitar discrepâncias e com diferentes umidades em virtude da exposição, por alguns dias, ao ar, resultando em seu ressecamento e maior influencia quando imersa em água.

Quanto à idealização dos ensaios, Head (1994), com base nos estudos realizados por Sherard (1976a), concluiu que apesar de a maioria dos ensaios possuírem variações significativas no início, de 5 a 10 minutos, ainda há reações que podem ocorrer com o tempo, dessa forma, a análise se estendeu por uma hora, fazendo com que fosse possível analisar as variações mais significativas.

É essencial uma observação expressiva, já que as avaliações são realizadas apenas visualmente, de forma qualitativa. E a falta de cálculos torna esse ensaio

muito susceptível à interpretação pessoal, além dos cuidados que se deve tomar com os posicionamentos das amostras dentro da água destilada, para que não ocorra impactos, possibilitando problemas como trincas e fraturas devido ao choque no fundo do béquer. Assim, evidenciando a necessidade de experiência em laboratório para dispor esses torrões.

#### **2.6.2.4 Ensaio de desagregação – “Slaking Test”**

O ensaio é novamente um procedimento de observação e interpretação das perdas de solo que ocorrem devido à imersão em água. A principal variação, desse ensaio para o método anterior, é a modificação da umidade da amostra, a qual estará sujeita a desagregação superficial ou empastilhamento em razão dessa alternância entre o estado úmido e seco, outra característica relevante é como a amostra é moldada, sendo essa em formato cúbico. O “slaking test” é o ensaio mais frequente, sendo esse realizado para análise de solos compostos por partículas finas, conforme Mitchell (1993), verificando dessa forma a estabilidade à desagregação quando submetida a discrepâncias entre umidades.

Segundo Bastos (1999), há uma tendência a essa laminação e desprendimento em materiais sedimentares. Dessa forma, o método tornou-se um critério para avaliação quanto à erodibilidade de solos e, quando citado por Bastos, esse afirma sobre o uso da velocidade de desagregação como um critério classificatório em taludes expostos.

Porém, em virtude da alta imprevisibilidade de ocorrência em desagregação, esse método é usualmente utilizado como uma maneira de avaliar a necessidade de mais investigações, visto que esse indica, com certa velocidade e precisão, possíveis problemas oriundos da erosão.

Bastos (1999) ainda afirma que esse é a evolução do ensaio de torrão em razão da facilidade em se realizar e sobre as alternâncias em umidade, as quais condicionam à habitual rotina de um talude.

O ensaio pode ser realizado simultaneamente para mais de um corpo de prova, os quais, a fim de haver um comparativo mais real, são analisados ao mesmo tempo, esses possuem teores de umidade diferentes, conseqüentemente, irão responder às pressões intrínsecas, quando submetidos a essa imersão, de formas

específicas. Assim, as observações estariam menos sujeitas ao fator humano de avaliação, sendo que, essas seriam avaliadas concomitantemente. Sendo que, Chamecki (2002) exemplifica alguns métodos, fazendo um comparativo sobre a desagregação que ocorre com água em diferentes alturas, sendo essas, 1/3, 2/3 e totalmente submersa, e reforça a significativa variação entre os corpos de prova que estão ressecados, o qual ficou totalmente desagregado após 24 horas de ensaio, e em umidade ótima, dispersando-se apenas parcialmente.

#### **2.6.2.5 Cisalhamento Direto**

O ensaio representa a movimentação de uma massa de solo com relação à outra porção adjacente, dessa forma, o ensaio de cisalhamento direto prevê a análise da resistência ao cisalhamento de uma amostra indeformada quando essa é submetida às tensões cisalhantes impostas em um plano horizontal. A amostra, a qual possui uma espessura de dois centímetros, sofre um plano de ruptura em virtude das tensões atuantes, as quais dividem a porção de solo nas caixas superior e inferior e, a partir desse método, é possível gerar alguns resultados, tais como atrito entre partículas, a tensão necessária para ocorrência do mesmo, coesão do solo estudado (GRANDO, 2011).

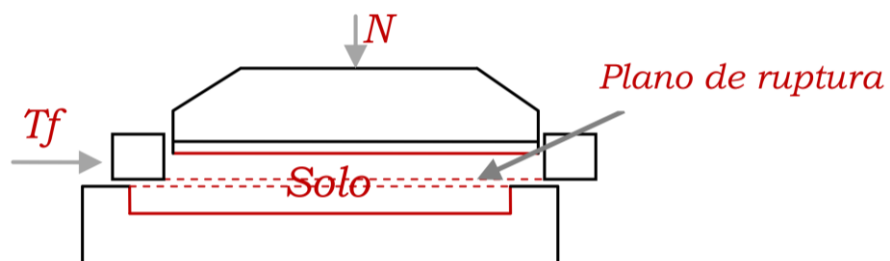
De acordo com Higashi (2006), esse ensaio é realizado até a formação dessa ruptura ou apresentação de uma curva de tensão-deformação da qual será retirada as informações já mencionadas. O ensaio representa uma similar atuação da erosão hídrica com relação aos sulcos formados devido ao acúmulo e fluxo de água em alguns pontos, como citado no capítulo de revisão. Porém, há algumas variações quanto à realidade desse processo erosivo, o ensaio de cisalhamento irá apenas representar o desgaste resultante nos sulcos, pois esse prevê as forças necessárias para que ocorra o desprendimento de partículas em virtude da variação das tensões cisalhamentos, enquanto que os entre sulcos não são levados em consideração durante o ensaio, já que não há atuação dessas tensões quando ocorre a erosão nessa porção devido à menor quantidade de fluxo que irá tentar desgastar a superfície do solo.

Simultaneamente as tensões cisalhantes, uma tensão normal é aplicada e uma velocidade variável movimentando a parte superior, como ilustrado na Figura 13, gerando o plano de ruptura. As amostras podem ser submetidas a diferentes



tensões perpendiculares controlando-se a deformação é possível medir-se a força cisalhante, o qual, dividida pela área corrigida do plano, é possível encontrar a tensão.

**Figura 13** - Ensaio de cisalhamento direto.



**Fonte:** Adaptado por Grando (2011).

## 2.7 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

### 2.7.1 SIG e Geoprocessamento – Abordagem Geral

O uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) possui como principal objetivo criar mapas temáticos a fim de facilitar a compreensão e interpretação de áreas e suas adjacências com base em processos computacionais. O desenvolvimento desses mapas tornou-se essencial apesar de ser uma tecnologia relativamente nova no Brasil, tornando-se uma ótima ferramenta para análises geotécnicas e afins (HIGASHI, 2006).

A otimização de processos, os quais eram anteriormente realizados com o uso de papéis e mapas, foi a principal causa desse avanço, dessa forma, esse *hardware* permitiu a criação de mapas que conseguiriam seguir mais precisamente as mudanças que qualquer localidade pode estar sujeita e, ainda, o emprego de informações mais detalhadas e atualizadas possibilitou o uso de compatibilizações.

Como descrito por Bastos (2004), a partir da metade do século 20, foi evidente a evolução desses processos computacionais, os quais permitiram a combinação de informações e a representação dessas em mapas interativos. Com isso, possibilitou o surgimento do geoprocessamento e uma maior facilidade em apresentar a organização de recursos minerais, propriedades dos solos, tipo de vegetação, declividade etc., em uma plataforma computacional.

Dessa forma, Higashi (2006) evidencia que geoprocessamento tornou-se uma ferramenta essencial na análise de informações nas áreas de Cartografia, Recursos Naturais, Geotecnia, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. O Sistema de Informações Geográficas permitiu esse acúmulo de informações criando essa maneira de administrar dados georreferenciados.

Ele complementa sobre as principais funções desse sistema, os quais incluem consolidação de informações provindas de diversas fontes, como, por exemplo, imagens de satélite, dados cartográficos, coeficientes de amostras coletadas e ensaiadas, tornando possível que esses dados sejam cruzados e possibilitando a geração de conclusões dessas novas combinações.

Segundo Guedes Junior (1999), geoprocessamento pode ser definido como uma tecnologia que engloba o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação

armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados. E há inúmeras atividades que poderão ser executadas por sistemas específicos chamados de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Assim, torna essa ferramenta computacional um facilitador na geração e atualizações de dados, ainda podendo criar novos aspectos para análise com o uso de sobreposições de informações. Porém, a principal causa dessa deficiência em utilização ocorre em virtude do não enquadramento desse conteúdo ao modelo SIG (Higashi, 2006).

O uso do SIG, mesmo que com alguns limites impostos por essa padronização de dados, tornou-se uma ótima ferramenta para criação de mapas temáticos. Esses mostram basicamente regiões com específicas peculiaridades, a fim de haver uma visível diferenciação entre áreas. Essa avaliação é feita particionando esses mapas de acordo com suas características, sejam elas referentes ao tipo de solo, erodibilidade, planejamento urbano, declividade etc.

### **2.7.2 Aplicações do SIG em Avaliações sobre Suscetibilidade à Erosão**

A deficiência de informações sobre as potencialidades de ocupação de cada área é um dos principais fatores para a ocorrência de um crescimento urbano de maneira desordenada. Motivo pelo qual, isso se tornou uma agravante quanto ao bem estar de cada cidadão, que se vê a mercê dos problemas provenientes da ocupação desenfreada. Com isso, é possível esclarecer a potencial aplicabilidade do mapeamento geotécnico. Esses mapas gerados precisam, além das características do solo aplicado aos planos diretores, mostrar as consequências de ação antrópica em algumas áreas, evidenciando, dessa forma, os possíveis problemas em razão da ocupação de áreas de risco (RÉGIS FILHO, 2008).

Assim, para evitar o uso dessas áreas, é evidente a necessidade de um planejamento urbano, não apenas esclarecendo limites de áreas e alturas a serem construídas, mas também mostrando, com o uso de mapas temáticos, espaços que sejam mais propícios à expansão urbana, direcionando corretamente esse crescimento.

A consolidação do uso de mapeamento geotécnico junto com o planejamento urbano adequado possibilitaria uma atualização mais frequente das

fontes de análise para ocupação urbana, e acarretaria uma maior preocupação quanto às invasões de áreas problemáticas, tanto aos perigos impostos por enchentes, desmoronamentos, deslizamentos de terra, quanto ao uso consciente de espaços de preservação ambiental.

O acúmulo de informações sobre características do solo e o planejamento urbano irão evitar que ocorram descuidados avanços contra espaços com suscetibilidade a ocorrência de erosão e, com isso, priorizar a importância da infraestrutura. Há diversas maneiras de se avaliar essas eventualidades e mostrar quais são os malefícios da ação antrópica em espaços com potencialidades erodíveis, tornando esses mais evidentes com a delimitação de taludes íngremes.

Há uma concentração substancial de estudos e análises de mapeamentos voltados para problemas com ocupação desordenada e erosão. Conseqüentemente, o investimento em projetos a fim de avaliar áreas que já ocorreram processos erosivos é grande, porém, ainda existe uma deficiência no geoprocessamento de ambientes que possuem alguma potencialidade e não sofreram danos consideráveis, gerando, dessa forma, uma má fiscalização.

Na tentativa de contornar esse tipo de situação, Valle Junior (2008) analisou as potencialidades de processos erosivos na bacia do rio Uberaba, fazendo uso de diversas cartas, como de características do solo, uso e ocupação urbana, drenagem, declividade e pluviosidades, e, posteriormente, gerando estimativas para tolerâncias às perdas laminares para cada tipo de solo.

A partir dessas, obtiveram análises percentuais sobre a demasiada perda de solos por esses processos, 37,42% da área total sofre de perdas excessivas, sendo que, 12,15% são de solos profundos, tornando evidente a necessidade de melhor infraestrutura em algumas áreas e acentuando a necessidade de ações preventivas.

Reforçando essa ideia de tornar mapas temáticos como advertência para os possíveis impactos devido à ocupação de áreas indevidas, Higashi e Figueiredo (2003) desenvolveram um mapa geotécnico do município de São Francisco do Sul com intuito de evidenciar os potenciais problemas em razão da ocupação inadequada, focando, predominantemente, em questões advindas da erodibilidade dos solos e indicando quais áreas seriam adequadas para suportar os carregamentos de possíveis moradores.

A aplicabilidade do geoprocessamento é extremamente ampla, esse pode ser utilizado, além dos itens acima descritos, para análise de taludes em barragens.

Guerra (2003 apud GREGÓRIO, 2014) afirma que a superfície terrestre é predominantemente coberta por áreas em encostas, incitando a necessidade dessas análises. Motivo pelo qual, Gregório (2014) realizou o projeto da barragem Serro Azul e obteve algumas conclusões sobre a predominância nos pontos mais propensos à erosão, os quais possuíam entre 12 e 16 graus de declividade. Sendo que, os problemas mais eminentes estavam em áreas deficientes em cobertura vegetal, mesmo aqueles com considerável percentual de inclinação.

A prevenção de catástrofes foi a principal origem dos estudos nas áreas citadas anteriormente e, também, na diminuição dos impactos de enchentes como, por exemplo, os problemas causados durante o alto nível pluviométrico que ocorreu em 2008, Santa Catarina, a qual sofreu com as grandes movimentações de massa, tornando-se imprescindíveis para fundamentar a necessidade de estudos quanto à potencialidade da erosão acelerada.

Com o objetivo de evitar perdas futuras, desenvolveu-se um estudo sobre os impactos de vulnerabilidade à erosão do solo na cidade de Santo Amaro da Imperatriz – SC, no qual foi possível determinar, ao fim de 2008, após as catástrofes, que nível de detalhamento, em relação à escala, eles deveriam alcançar para tornar o mapa aceitável à aplicabilidade em processos erosivos.

A conclusão apontou que em a escala de 1:250.000 não é o suficiente para uma satisfatória análise dos dados. Porém, esses não devem ser descartados, pois o único empecilho foi a grande extensão, tentando alcançar todo um município, evidenciando que esse deverá ser utilizado apenas para produzir estudos em áreas de menor proporção. Com isso, eles teriam maior visibilidade sobre pontos com perdas de massa em bacias hidrográficas (ARNESEN, GENOFRE e CURTARELLI, 2009).

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 PANORAMA GERAL SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA BACIA DO ITACORUBI

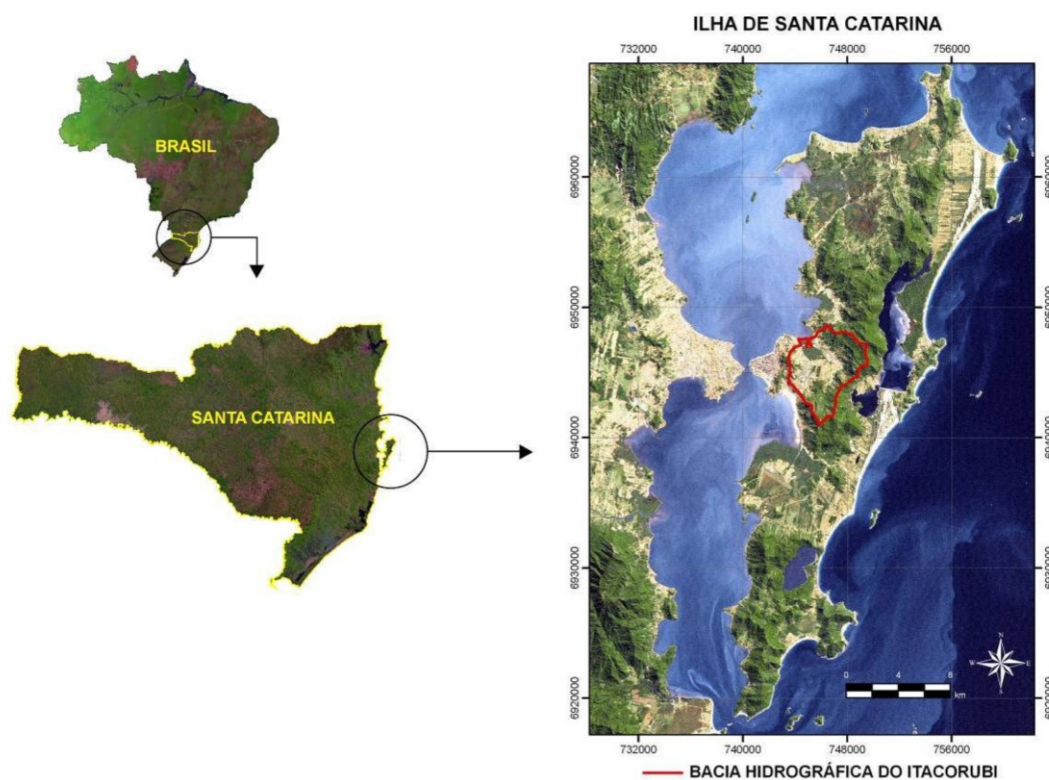
A região na qual concentrou-se os ensaios de análise de suscetibilidade ao processo erosivo foi a Bacia do Itacorubi, localizada na região centro-oeste de Florianópolis, com uma área de drenagem de 26,58 km<sup>2</sup>, conhecida por sua concentração de estudantes devido à localização de universidades, cursos, escolas etc. e pelo planejamento urbano, o qual tenta alcançar uma melhor mobilidade aos seus usuários. Essa área desenvolveu-se predominantemente a partir da segunda metade do século 20, e a qual, nos dias atuais, possui aproximadamente 80000 habitantes e 40000 transientes diários, em virtude de empregos e estudos, o que tem sobrecarregado as condições habitacionais da bacia (GEMURB, 2015; IBGE, 2010).

Como podemos observar na Figura 14 e 17, a bacia está localizada no centro da Ilha de Santa Catarina e é formada por nove sub-bacias, nas quais os principais rios são: Rio Itacorubi, do Meio, Sertão, Serrinha e Córrego Grande, sendo que todos desaguam no manguezal encontrado no bairro Itacorubi.

A cobertura vegetal está parcialmente atingida com a ação antrópica, a vegetação é composta majoritariamente por dois tipos específicos, a Floresta Ombrófila, a qual é característica de regiões submontanhosas, e a vegetação mais presente nas planícies com influência fluviomarinha, definida como o Mangue.

Além dos afluentes estarem sofrendo com a perda das coberturas citadas anteriormente e, por conseguinte, a ocorrência de assoreamento, existe, por vezes, o incorreto direcionamento das redes sanitárias, as quais possuem como destino final os leitos dos rios encontrados na bacia, problemas resultantes da ocupação desordenada e sem consciência ambiental.

**Figura 14** - Localização geográfica da Bacia do Itacorubi.



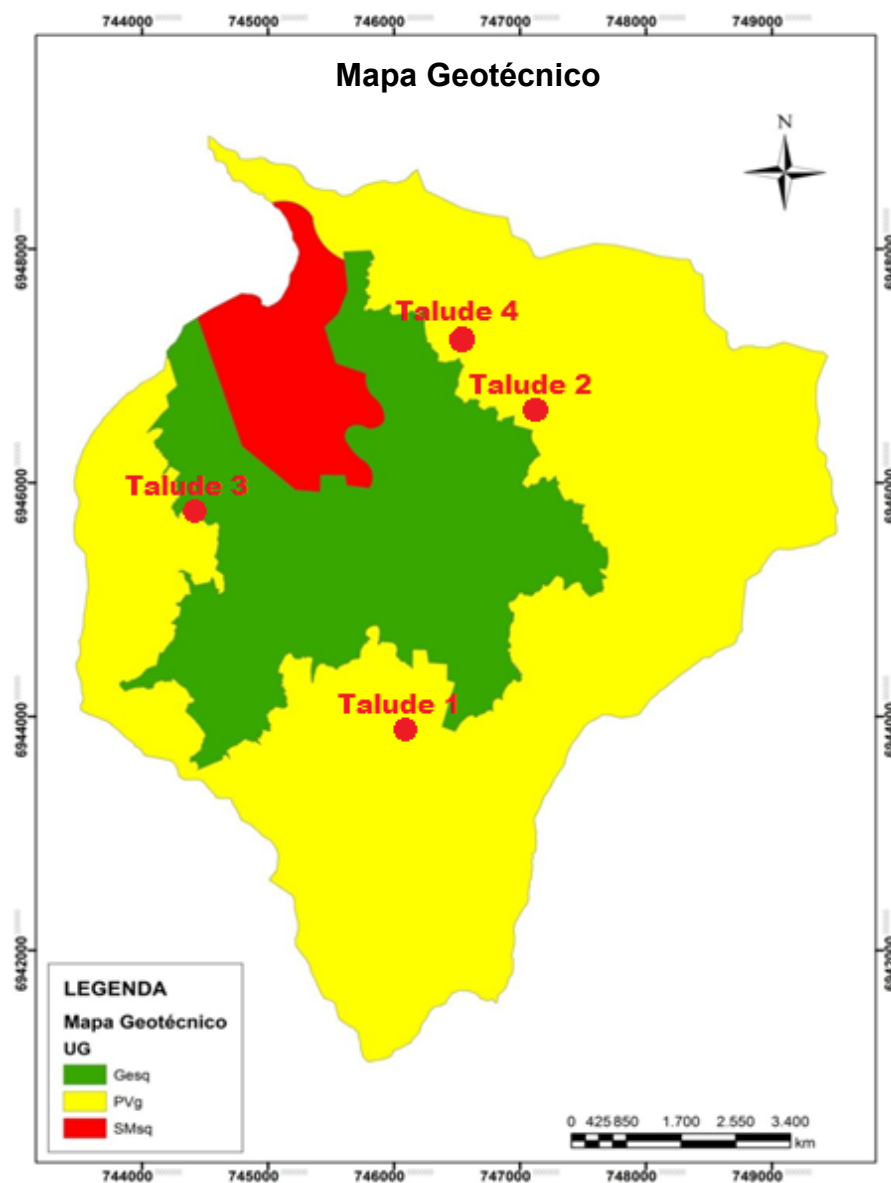
Fonte: Silva (2010)

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO ITACORUBI

Levando em consideração o mapa Geotécnico apresentado na Figura 15, é possível aferir a predominância de uma unidade, o Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito (PVg), o qual abrange majoritariamente locais com altas elevações.

Com o objetivo de minimizar tendências para a escolha dos pontos de coleta, esses foram escolhidos de maneira aleatória, contudo, em virtude da predominância da unidade geotécnica já mencionada, houve a concentração de amostras para a mesma unidade.

Figura 15 - Mapa Geotécnico da Bacia do Itacorubi.



Fonte: Adaptado de Higashi et al. (2014)

Tabela 1 - Unidades Geotécnicas e respectivas áreas na Bacia do Itacorubi.

Unidade Geotécnica	Denominação	Área (km <sup>2</sup> )
PVg	Podzólico Vermelho-Amarelo de Substrato Granito	17,8
Gesq	Glei de Substrato de Sedimentos Quaternários	7,4
SMsq	Solos de Mangue de Substrato Sedimentos Quaternários	1,8

Fonte: Adaptado de Higashi et al. (2014)



Em resumo, foram extraídas amostras em quatro pontos, dos quais foram coletados no mínimo seis corpos de prova em cada localidade, de acordo com os critérios estabelecidos para avaliação da erodibilidade em diferentes teores de umidades e para os dois ensaios adotados na metodologia MCT.

Não foram realizadas coletas para a unidade Gleissolos de substrato com sedimentos quaternários (Gsq), visto que houve a concentração de extração em áreas à margem do avanço urbano e, por fim, para a unidade de Mangue (SMsq), também não houveram extrações de amostras, devido à dificuldade de exposição de solo para extração e tratar-se de uma Área de Preservação Permanente (APP), predominantemente encontradas em áreas de baixo relevo e, com isso, processos erosivos não característicos.

Com base na homogeneidade das características do solo, as amostras provenientes de uma unidade geotécnica devem possuir comportamentos semelhantes, sendo assim, passível de extrapolação para áreas adjacentes, porém, em razão do grau de exposição do solo a intempéries, pode haver discrepâncias entre seus resultados.

Conforme Vargas de Cristo (2002), a unidade de Podzólico é caracterizada por possuir um horizonte B textural com um acúmulo considerável de argila. A unidade majoritária pode ser facilmente identificada em virtude de aspectos morfológicos, apresentando uma transição clara entre os horizontes, como pode ser observado em alguns taludes, nos quais é visível essa mudança entre camadas.

A unidade Gleissolo é caracterizada com um horizonte subsuperficial com coloração específica, acinzentada, devido à redução de óxidos que ocorre em ambientes encharcados, com principal ocorrência em áreas planas. Assim, mesmo com a proximidade do Talude 3 entre os limites das duas unidades, Podzólico e Glei, sua classificação era evidente, Podzólico Vermelho-Amarelo, devido às características marcantes vermelho-amareladas da maior unidade.

### 3.3 CENÁRIOS SOBRE QUESTÕES ANTRÓPICAS QUANTO À ERODIBILIDADE DO SOLO

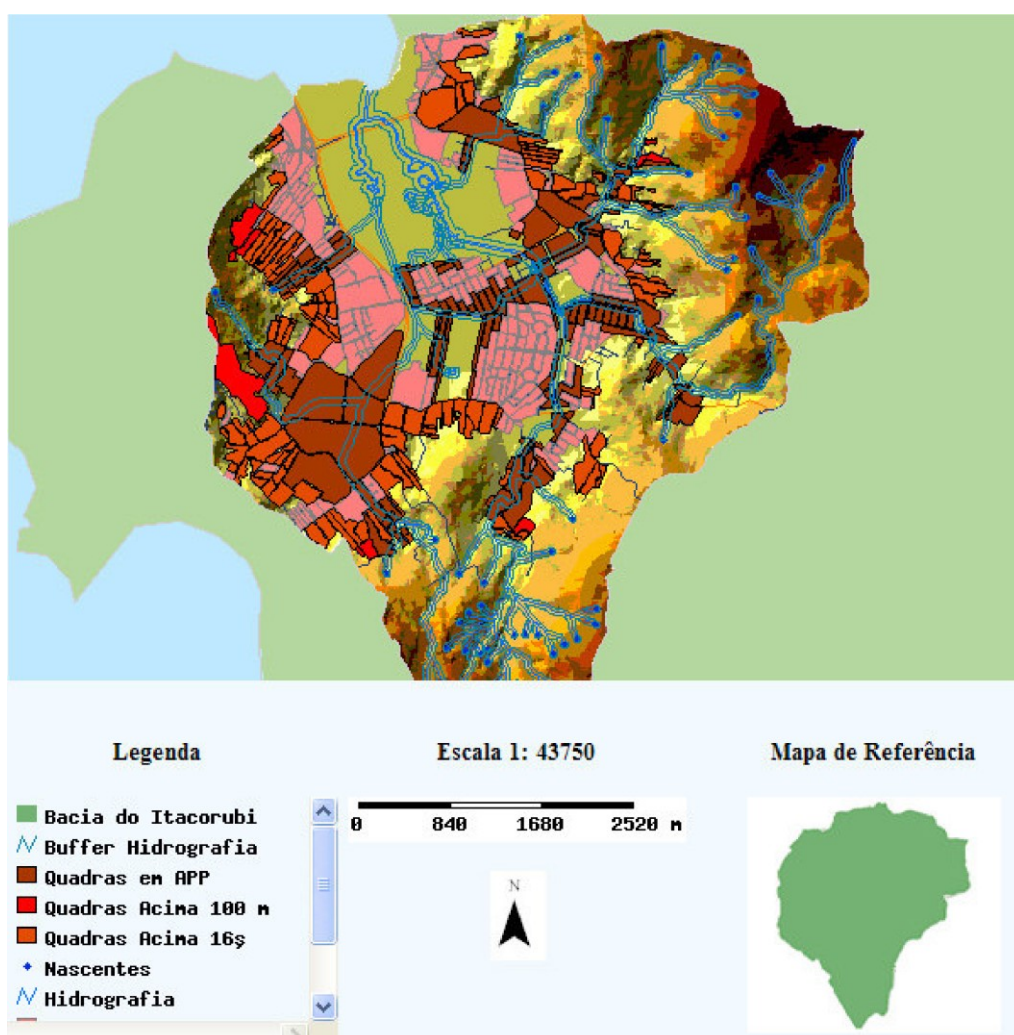
Os pontos foram coletados aleatoriamente em alguns locais da Bacia do Itacorubi. Em um anteprojeto foi estipulado que seria realizado apenas a análise dos pontos quanto à erodibilidade do solo fazendo o uso da metodologia MCT, porém, com o desenvolvimento deste, estipulou-se necessário essa análise comparativa entre os valores estimados com os ensaios de infiltrabilidade e perda de massa por imersão com as pesquisas de outros autores, os quais aplicaram também outros métodos de avaliação de suscetibilidade à ocorrência de erosão e realizaram estudos no mesmo estado, ou em estados adjacentes, englobando a Região Sul.

Regis filho (2008), com o objetivo de criar um mapa no qual seria possível a interpretação de que áreas estariam mais sujeitas a instabilidades, aderiu três critérios para análise de ocupação desordenada, facilitando a avaliação de processos erosivos acelerados em virtude da ocupação indevida. A partir desses, o autor conseguiu consolidar uma visão mais concisa dos problemas enfrentados com o planejamento urbano deficiente e, ainda, como essas áreas estão propensas a adversidades com a erosão.

Os limites foram gerados levando-se em consideração os códigos florestais e leis que definem restrições quanto à inclinação em áreas acima 30%, pelo desmatamento ocorrendo em espaços entre 46,6% e 83,8% e, por último, a definição de Áreas de Preservação Permanente (APP), as quais possuem 100% (45°).

Com o objetivo de evidenciar esses limites e áreas invadidas desenvolveram-se alguns mapas identificando localidades atingidas pela ação antrópica. A busca de informações, como hipsometria, malha viária, hidrografia com os devidos buffers para salientar áreas limites de ocupação possibilitou a melhor visualização dos espaços atingidos. E, com isso, consolidaram-se esses dados na Figura 16, tentando evidenciar todas essas divergências com os códigos e leis em virtude da ação humana, a qual resulta na erosão acelerada.

**Figura 16** - Cruzamento de temas para Bacia do Itacorubi realizado por Régis Filho (2008).



**Fonte:** Régis Filho (2008).

As áreas citadas anteriormente, as quais são consideradas de acentuada declividade e/ou definidas como APP, entre essas, adjacência a corpos d'água, aclives acima de 100% e áreas com faunas e floras específicas (mangue), são constantemente representadas em estudos sobre os potenciais problemas advindos dessas invasões. A erosão, consequência dessa má ocupação, tem provocado preocupações, não apenas nas movimentações de massa, como também, em problemas com assoreamento de rios, enchentes e alagamentos.

Conforme Guerra (1989), enchentes são caracterizadas devido às suas aleatoriedades e, com isso, acabam seguindo um padrão irregular de ocorrência em consequência de processos erosivos oriundos da má ocupação, que ocasionam o assoreamento e, assim, transbordamentos. Com o decréscimo na capacidade do rio

de proporcionar vazão, isso gera constantes alagamentos, refletindo em áreas anexas aos leitos dos rios da bacia, que sofrem erosão.

### 3.4 DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS

Na tentativa de gerar um modelo mais abrangente, como já mencionado, foram realizadas 4 coletas, respeitando as distâncias entre os pontos, com o objetivo de generalizar o comportamento em regiões próximas e, assim, abranger uma maior área. Dessa forma, foi possível coletar em quatro posições específicas, as quais são descritas pela localização da Figura 17 e coordenadas na Tabela 2.

**Tabela 2** - Localização por Coordenadas UTM dos pontos de coleta.

<b>Localização</b>		
<b>Coordenadas UTM</b>		
<b>TALUDE</b>	<b>E (m)</b>	<b>S (m)</b>
<b>1</b>	746107,0233	6944122,613
<b>2</b>	747270,2653	6946251,731
<b>3</b>	744245,6964	6945442,054
<b>4</b>	746396,885	6947110,042

**Fonte:** Autor

**Figura 17** - Localização dos pontos de coleta na bacia do Itacorubi.



**Fonte:** Adaptado de Silva (2010)

Para a extração das amostras indeformadas, houve a procura de taludes com exposição às intempéries de camadas subjacentes ao horizonte A, as quais não tinham predominantemente raízes, estavam em ambientes com influência antrópica e possuíam acesso facilitado.

O primeiro local de coleta, o qual será referenciado como Talude 1 e, assim, sucessivamente para os demais pontos, possui acentuada declividade e ocupação irregular, o primeiro talude está localizado em uma área residencial próxima à Universidade Federal (UFSC), que tem mostrado crescente desenvolvimento. O ponto foi determinado conforme a exposição do solo, sendo esse encontrado em

uma área com acentuada declividade, o qual estava parcialmente escavado, evidenciando a área exposta à erosão.

**Figura 18** - Exposição dos horizontes B/C do talude 1.



**Fonte:** Autor

As amostras foram retiradas durante um período contínuo, a fim de evitar variações da umidade encontrada para a realização dos ensaios, e ao longo do Talude 1, tentando gerar dados que poderiam homogeneizar o comportamento característico daquela área em específico. A Figura 18 possibilitou uma análise visual sobre o nível de exposição à erosão do Talude 1, o qual encontra-se sofrendo perda de cobertura vegetal advindo do constante uso desses espaços para deposição de materiais que seriam utilizados para as construções residenciais adjacentes.

**Figura 19** - Coleta de amostras no primeiro ponto.



**Fonte:** Autor

O Talude 2 pode ser classificado novamente como uma área que está sofrendo com avanço antrópico. A coleta foi efetuada em um talude exposto em decorrência de escavações para a criação de uma área residencial. O segundo ponto de coleta encontra-se em uma distância satisfatória do Talude 1, com o intuito de evitar caracterizações tão próximas.

**Figura 20** - Cortes realizados no segundo ponto de coleta para obras de infraestrutura.



**Fonte:** Autor

A extração das amostras para o segundo ponto foi realizada seguindo os mesmos padrões adotados para o primeiro, tentando coletar as diversas variações de solo que estariam expostos naquela área ao longo do mesmo talude. Como a Figura 20 evidencia, a exposição dos horizontes foi consequência de escavações para o avanço da mancha urbana sobre áreas com alta declividade, repercutindo no carreamento de partículas com a constante pluviosidade da região.

Os cortes de terra feitos para adequar a expansão urbana é um dos principais problemas que geram instabilidade, por esse motivo tentam amenizar fazendo o uso de patamares para suavizar a ocorrência de erosão e movimentação de massa.

O Talude 3 foi realizado em uma área com extrema vegetação adjacente e com alguns pontos expostos devido ao uso de moradores como travessia. Esse possuía um solo de característica mais alterada e mesmo pertencente à unidade geotécnica Podzólico Vermelho-Amarelo, conforme a Figura 15, contendo as características já citadas, é correto classifica-lo como um solo residual de diabásio e, com isso, contendo pequenas variações sobre seu comportamento.



**Figura 21** - Talude exposto no terceiro ponto de coleta.



**Fonte:** Autor

**Figura 22** - Coleta sendo realizada no local.



**Fonte:** Autor

E, finalmente, o último local, Talude 4, as amostras foram extraídas em área com considerável alteração e diversos tipos de solo. Como pode ser observado na Figura 23 e 24, o quarto ponto de coleta apresenta grandes variações das características geotécnicas. Na tentativa de abranger essa variedade, as amostras foram retiradas ao longo do talude. Foram coletadas sete amostras percorrendo uma pequena faixa de talude exposto a fim de avaliar essa suscetibilidade, porém, em virtude das discrepantes variações mineralógicas, os solos apresentaram resultados específicos para cada tipo.

**Figura 23** - Coleta sendo realizada no quarto talude.



**Fonte:** Autor

**Figura 24** - Talude com características distintas no ponto 4.



**Fonte:** Autor

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

### 4.2. MATERIAIS

O método utilizado para a avaliação da erodibilidade foi designado de acordo com as características que cada ensaio qualificaria. Dessa forma, optou-se pela metodologia MCT desenvolvida por Nogami e Villibor (1979), o qual possui foco em solos tropicais e enfatiza a avaliação de características significativas para ocorrência de erosão na área estudada.

Além dos ensaios realizados, foram consolidadas algumas pesquisas sobre avaliações da erodibilidade, as quais podem ser observadas na linha de fluxo apresentada na Figura 25 que essa pesquisa seguiu com o objetivo de criar uma forma complementar para produzir um julgamento relativo entre os dados encontrados e outros trabalhos utilizados para ponderação de solo erodíveis.

**Figura 25** - Fluxograma das etapas de trabalho.



Fonte: Autor

Os ensaios foram predominantemente realizados utilizando alguns específicos itens, tornando-se necessário discriminar tais equipamentos.

Entre os equipamentos mais importantes estão inclusos:

#### **4.1.1 Ensaio de infiltrabilidade**

- Moldes de PVC – 5 centímetros de diâmetro e 5 centímetros de altura;
- Tubos capilares de 6mm de diâmetro interno, 9mm de diâmetro externo e 75 centímetros de comprimento e Tubos capilares de 8mm de diâmetro interno, 11mm de diâmetro externo e pouco mais de 1 metro de comprimento;
- Suporte de PVC utilizando uma luva para encaixe;
- Cronômetro;
- Régua graduada;
- Plataforma de madeira.

#### **4.1.2 Ensaio de erodibilidade específica modificado**

- Moldes metálicos – 5 centímetros de diâmetro e 2,5 centímetros de altura;
- Suporte em forma de calha;
- Suporte metálico para elevar a amostra;
- Pedra porosa;
- Papel filtro;
- Estufa.

Com relação ao campo, a extração de solo deu-se em ambientes no qual há exposição de taludes, predominantemente, devido à ação antrópica em áreas adjacentes e que, aparentemente, já sofreram algum tipo de erosão, evidenciado em virtude da falta de cobertura vegetal nos locais.

## 4.2 MÉTODO

Os métodos que envolvem a análise da erodibilidade do solo foram amplamente estudados e, posteriormente, discutidos no capítulo 2, revisão bibliográfica. Nesse item foram analisados diversos ensaios que poderiam ser aplicados para a conclusão desse projeto. Contudo, há algumas divergências no emprego desses métodos como, por exemplo, o tipo de solo com o qual seriam realizados os ensaios, sendo essa influência devido à localização geográfica, ao clima, ao processo de formação que o mesmo sofreu ao longo dos anos, sendo assim, esses são alguns dos principais fatores para a adequação dos ensaios e resultados para cada tipo de local.

Assim, tornou-se evidente a deficiência em avaliação de algumas áreas nas quais não houve considerável investimento em pesquisas sobre análise do solo, resultando em peculiaridades para cada ensaio, Inderbitzen, MCT etc. foram consequências dessa adaptação ao tipo de ensaio que melhor se encaixaria na análise de cada solo para particular região. Para o local em questão, a Bacia do Itacorubi, o ensaio desenvolvido pela metodologia MCT foi o que mais se enquadrou, levando-se em consideração seu enfoque em avaliar solos em áreas tropicais (NOGAMI E VILLIBOR, 1979).

Esse é composto basicamente por dois tipos de ensaio, infiltrabilidade e perda de massa por imersão, o primeiro consiste na avaliação da absorção de água a partir da capilaridade e o segundo, na influência da ação da água para a perda de massa de solo quando totalmente saturada.

Conforme Bastos (1999 apud Basso, 2013), os critérios que possuem melhor desempenho na avaliação qualitativa dos potenciais erodíveis que cada solo possui são a razão de dispersão (MIDDLETON, 1930) e o critério de erodibilidade estudado pela Metodologia MCT (NOGAMI E VILLIBOR, 1979), motivo pelo qual esses forneceriam uma avaliação mais precisa sobre essa região.

Para estabelecer um padrão para a coleta de amostras, os corpos de prova ensaiados em laboratório foram coletados com, pelo menos, 24 horas (um dia) sem que ocorresse precipitação, tentando gerar dessa forma uma maneira mais

homogênea de avaliação e interpretação. Este processo possui significativa importância, uma vez que as condições de variação de teor de umidade natural, impostas pelas intempéries, influenciam nos resultados obtidos para cada unidade de solo.

#### **4.2.1 Ensaio de infiltrabilidade**

Essas amostras extraídas aleatoriamente em diversos pontos da Bacia do Itacorubi foram ensaiadas com o intuito de analisar a suscetibilidade a ocorrência de erosão utilizando os critérios que serão discutidos com o decorrer desse tópico. Esses ensaios serviram para potencializar o comparativo realizado com outros autores.

Os ensaios de infiltrabilidade foram realizados seguindo alguns critérios utilizados pelos autores citados anteriormente no capítulo 2. Primeiramente, os moldes que foram utilizados são de PVC, em que o formato é de um cilindro prismático com 5cm de diâmetro e 5cm de altura, os quais foram lixados nas extremidades, na tentativa de adquirir uma forma biselada para auxiliar na extração das amostras em campo.

Para extração das amostras, os moldes foram posicionados acima do local da extração e, com isso, havia a delimitação da área que seria extraída. Esses eram cuidadosamente forçados para baixo e iniciava-se a extração retirando o solo que estava além dos limites estabelecidos pelo molde e, dessa forma, esses eram novamente forçados alguns centímetros, até que ultrapassassem os 5 centímetros de altura e fosse possível a moldagem dentro dos limites do molde.

**Figura 26** - Molde posicionado para extração de uma amostra.



**Fonte:** Autor

Em cada local, houve a extração de pelo menos três amostras com o molde de PVC com o intuito de gerar situações recorrentes aos taludes estudados. Assim, em cada ponto foi realizado o ensaio em três diferentes variações de umidade, para que houvesse devida alternância da quantidade de água que infiltraria em cada experimento.

As umidades adotadas foram natural, ou seja, umidade na qual o solo foi extraído do ponto em específico, sendo que essa amostra foi mantida vedada e em ambiente adequado, até que o ensaio fosse devidamente realizado; 24 horas de exposição ao ar e, por último, com um tempo de secagem à temperatura ambiente por um período de 48 horas, assim, gerando tempo suficiente para que fosse visível observar consideravelmente as variações nas leituras que seriam realizadas.

O posicionamento dos corpos de prova durante a exposição era levado em consideração em virtude do ensaio que iria ser realizado, como na Figura 27. As amostras para o ensaio de infiltrabilidade eram mantidas na posição horizontal para homogeneização da umidade em ambos os lados.



**Figura 27** - Amostras expostas ao ar (24 e 48 horas) para variação da umidade.



**Fonte:** Autor

As amostras tiveram suas massas devidamente medidas antes da realização de cada ensaio, com o objetivo de criar mais um critério para avaliação da erodibilidade, o qual seria o aumento da massa total de cada amostra mais a água infiltrada em virtude da ação da capilaridade de cada amostra para absorção de água provinda do tubo capilar. Lembrando que os moldes também tiveram seus pesos encontrados antes da realização do ensaio.

Antes do início do ensaio, o equipamento era devidamente calibrado, observando se a interface de água permaneceria unida à pedra porosa e ajustando a altura do tubo capilar para conformação do menisco. Lembrando que a pedra devia estar devidamente saturada ao iniciar o ensaio, visando, assim, que a variação linear do menisco ocorra em virtude da falta de água do solo que infiltrará por capilaridade, e não da ausência de água na pedra porosa que poderia absorver parte do líquido.

As amostras, as quais haviam sido arrasadas para ficarem corretamente posicionadas nos moldes, são postas por cima dessa pedra porosa com granulação aberta, sendo essa o limite de encontro entre o solo nos moldes e a água, a qual estava no nível adequado para que pudesse infiltrar-se por capilaridade pela pedra porosa até atingir a amostra de solo.

Esse nível foi ajustado conforme a altura que o tubo capilar, com o diâmetro interno de 6mm, diâmetro externo de 9mm e comprimento aproximado de 75 centímetros, para a maioria dos ensaios, porém, devido à grandes variações na

infiltrabilidade de alguns solos, foi necessário o uso de outro tubo disponível, o qual possuía 8mm de diâmetro interno. Contudo, não há discrepâncias no valor encontrado para a sorção, visto que a Equação 01, apresentada pelos autores para encontrar esse coeficiente leva em consideração o diâmetro do tubo capilar.

O tubo, o qual é posicionado em um nível paralelo a superfície da pedra porosa, possibilitou observar a variação do menisco gerado pela água, conforme a ação da capilaridade.

**Figura 28** - Ensaio de infiltrabilidade em andamento.



**Fonte:** Autor

Essa alternância foi estipulada a partir de leituras realizadas nos quadrados dos tempos em minutos (1, 2, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 e sucessivamente) utilizando um cronômetro e, no andamento do menisco capilar, conforme régua posicionada adjacente ao tubo capilar, a qual foi posicionada antes do início do ensaio para calibração do mesmo, assim, gerando dados suficientes para dar devida interpretação da infiltrabilidade.

A continuidade dos ensaios variou em virtude da tendência na estabilização do menisco. Dessa forma, alguns ensaios possuem menores durações que outros e, assim, todos possuem variações não significativas para continuidade do mesmo.

A partir dos dados encontrados, foram gerados gráficos como o apresentado na Figura 11, no qual o eixo das ordenadas está disposto as leituras da régua, ou seja, a variação em centímetros do menisco capilar e, o eixo das abscissas aponta a raiz quadrada do tempo, gerando a disposição que é possível observar.

A partir desses, foi possível encontrar os coeficientes de sorção específicos para cada umidade estudada e, assim, evidenciar os impactos da variação de umidade em cada amostra. Os coeficientes de sorção foram obtidos dos dados encontrados e inseridos na Equação 01 (Pg. 31).

#### **4.2.2 Ensaio de Erodibilidade Específica Modificado (Perda de Massa por Imersão)**

Durante o procedimento de coleta para ensaios, as amostras, que foram coletadas nos mesmos pontos nas quais as de infiltrabilidade foram retiradas, possuem novamente o formato de um cilindro prismático, mas essa dispõe apenas de metade da altura do molde encontrado para o ensaio citado anteriormente. As dimensões do molde são de cinco centímetros de diâmetro interno e 2,5 de altura, esses são de um material diferente do PVC empregado no outro ensaio desse método, moldes de aço, o que de certa forma facilitou a seu posicionamento e extração do solo por ser mais rígido e não ocorrer deformação conforme inserção no solo muito seco.

**Figura 29** - Amostra e molde antes do ensaio de perda de massa por imersão.



**Fonte:** Autor

Procurando atender os critérios estabelecidos para os ensaios de infiltrabilidade, os corpos de prova foram retirados em quantidades mínimas, três amostras por ponto, levando em consideração que essas seriam ensaiadas nas mesmas condições de umidade citadas anteriormente.

Seguindo o padrão para extração dos corpos de prova, essas foram posicionadas da mesma maneira que os moldes de PVC, dispostas sobre a porção a ser extraída e, com o uso de utensílios cortantes, retirada aos poucos, forçando o molde contra o solo tentando alcançar uma massa excedente.

As amostras foram extraídas com algum volume excessivo para que, de certa forma, pudessem ser utilizados para avaliar qual seria a umidade natural dos solos coletados, caso a quantidade recolhida não fosse suficiente e, também, para adequação dos moldes à amostra durante o arrasamento. Para a realização do ensaio, foi necessário o posicionamento de uma pedra porosa em uma das extremidades dos moldes forçando uma parte remanescente em um dos lados, a qual foi novamente raspada para conformação à borda, conforme descrição do ensaio de erodibilidade específica modificado.

Os moldes possuem uma parte extra de aproximadamente um centímetro de rebaixo onde esteve disposta a pedra porosa, totalizando dessa forma mais do que os 2,5 centímetros necessários para o solo. Essa pedra, além de regular a infiltrabilidade de água por um dos lados, também não permite que ocorram perdas por uma das extremidades quando se inicie o ensaio.

**Figura 30** - Calha, filtro de papel e suporte metálico para ensaio de erodibilidade específica.



**Fonte:** Autor

Antes do início do ensaio, todas as amostras têm suas massas estipuladas com uma balança de precisão, e ao fim das 20 horas de ensaio e secagem do molde e pedra porosa, esses também tiveram sua massa estipulada para avaliação da massa perdida em relação ao total dentro do molde.

O ensaio trata-se da perda de massa por imersão da amostra de solo indeformada em água, a qual foi posicionada no que, aparentemente, é uma calha com um suporte para prover certa altura e com a água à temperatura ambiente. A amostra, em virtude da ação da água em ambos os lados, tenderá ao desprendimento de partículas de solo apenas em um das superfícies em consequência da pedra porosa limitar a perda de massa em uma das faces, fazendo com que o ensaio represente predisposições similares ao de um talude que se encontra exposto e, eventualmente, saturado.

Quando totalmente imersas em água, as amostras devem ser posicionadas cuidadosamente para evitar influências no material resultante da perda de solo

quando deixadas em repouso, as amostras devem possuir sua borda moldada coincidente com o limite do suporte inferior no qual o molde foi apoiado. Esse tipo de cuidado fará com que o material desprendido não impeça a erosão de maior quantidade de amostra.

As amostras foram imersas em três condições, a de umidade natural, com 24 horas e com 48 horas de exposição ao ar, para que dessa forma mostre as diferenças entre a desagregação de partículas em função do teor de umidade em que o solo se encontra.

A quantidade de solo que foi desagregado devido à imersão em água durante o período pré-determinado pode ser estipulada em razão do papel filtro que foi disposto abaixo do molde, facilitando a maneira com a qual seria quantificada a parte de solo que se desprendeu, e ainda reduziria as perdas com a dispersão de mais sedimentos em água.

**Figura 31** - Ensaio de perda de massa por imersão em andamento.



**Fonte:** Autor

Conforme Nogami e Villibor (1979), o ensaio possui tempo estimado de 20 horas. Sendo finalizado, é levada à porção erodida para uma estufa a aproximados 100°C e, por fim, mensurada a quantidade desprendida. Além disso, para

observação do andamento do ensaio, foi realizada uma análise visual da massa erodida após 20 horas de ensaio. Dessa forma, foi possível estimar, por observação visual, que o maior percentual de material erodido, em torno de 50%, é resultante dos primeiros momentos (de 1 a 2 horas) de execução do ensaio. Citam-se como exemplo as amostras ensaiadas, conforme se observa na Figura 31. Para estas amostras, os ensaios estavam sendo executados com corpos de prova com o teor de umidade natural e com 24h de secagem. Observou-se então, que nos momentos iniciais de execução do ensaio, o desprendimento de quase toda a porção que viria a erodir, decorrente das 20h totais de ensaio, foi obtido nos primeiros momentos de submersão das amostras.

#### **4.2.3 Critério de avaliação dos resultados obtidos na metodologia MCT**

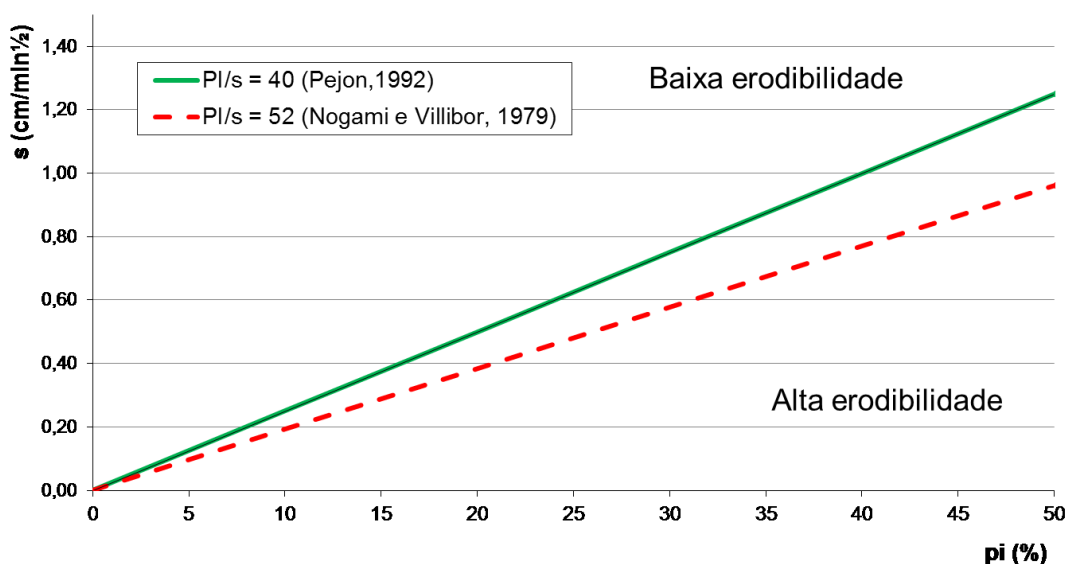
Após a realização dos ensaios seguindo a metodologia MCT, é possível aferir a suscetibilidade da ocorrência de erosão a partir dos dados coletados. Essa avaliação foi realizada com os valores de sorção ( $s$ ) obtidos através da Equação 01, na qual é possível estimar um coeficiente em virtude da variação do menisco capilar com o tempo, e com as quantidades percentuais encontradas a partir dos ensaios de erodibilidade específica ( $\pi$ ), as quais são encontradas utilizando a perda de massa que se desprende em virtude da imersão em água com relação ao valor de massa total da amostra, levando em consideração a massa seca.

Com essas duas estimativas, foi possível obter um critério de avaliação utilizando a divisão do percentual de massa desagregado sobre o coeficiente de sorção para infiltrabilidade. Conforme Nogami e Villibor (1979), essa estimativa de erodibilidade ( $\pi/s$ ) pode avaliar se determinada unidade pode estar mais suscetível à processos erosivos fazendo o uso de um limite de erodibilidade no qual  $\pi/s=52$ , ou valores superiores, são considerados solos erodíveis. Com o avanço de trabalhos científicos, avaliou-se esse limite como muito abrangente para solos não erodíveis, dessa forma, Pejon (1992) estipulou um limite mais baixo,  $\pi/s=40$ , criando, assim, uma avaliação mais restritiva, Figura 32.

Além desses critérios estabelecidos, foram realizadas análises comparativas, não apenas dos dados encontrados para a localidade, como também entre os valores provenientes de pesquisas similares.

Essas avaliações, mesmo seguindo as restrições estabelecidas pelos autores na realização da coleta e dos métodos a serem utilizados, sofrem significativa variabilidade devido às respectivas características que cada solo poderá possuir. Essa variância acontece por obra das peculiaridades de cada amostra, não apenas em razão dos diferentes teores de umidade, mas também, em virtude de sua composição, o que influencia a granulometria, porosidade etc. motivo pelo qual, há a possibilidade de inconsistências em alguns ensaios.

**Figura 32** - Critério de avaliação de erodibilidade.



Fonte: Autor



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 APLICABILIDADE DOS ENSAIOS

Este trabalho acadêmico apresenta, além de sua porção em experimentação laboratorial, um complemento teórico embasado em diversos autores com mesma a linha de abordagem. Dessa maneira, junto com os ensaios realizados seguindo a metodologia MCT, obteve-se um suporte bibliográfico com intuito de gerar análises comparativas entre os valores encontrados e dados de outras dissertações. A avaliação relativa utilizou resultados de algumas pesquisas com métodos semelhantes em análise de erodibilidade.

A consolidação desses quocientes propiciou um crescente estudo das variáveis encontradas em ponderações para a Região Sul, e, com isso, possibilitou um estudo contrastante entre os coeficientes da bacia e a alternância de resultados de acordo com o tipo de unidade geotécnica das demais pesquisas.

Primeiramente, é importante salientar que as pesquisas foram escolhidas de acordo com o foco de suas análises, locais de atuação e, por último, em virtude da época na qual foi realizada, para que, assim, não houvesse grandes discrepâncias temporais nas características do solo e nos processos erosivos de algumas regiões.

Acerca dos agentes exógenos, houve um enfoque com relação aos procedimentos para análise da erosão hídrica. Voltando-se, dessa maneira, a alguns ensaios, os quais foram abordados no capítulo 2.

### 5.2 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA MCT APLICADA PARA A UNIDADE GEOTÉCNICA MAJORITÁRIA DA BACIA DO ITACORUBI

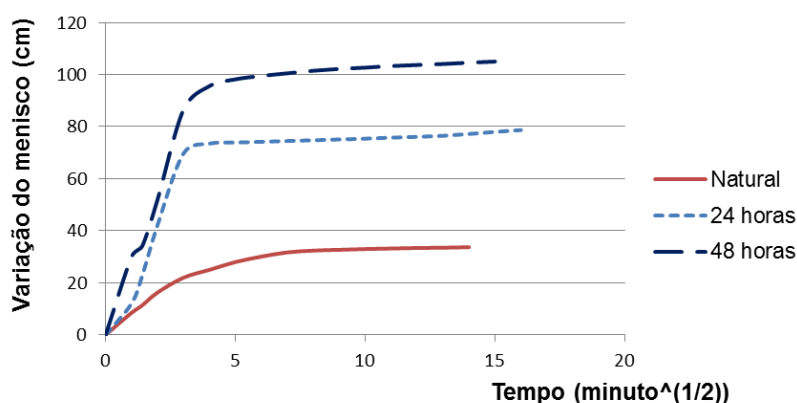
Como é possível aferir dos resultados, os valores para sorção e perda de massa por imersão, decorrentes dos ensaios realizados para os taludes da Bacia do Itacorubi, apresentaram predisposições à variação em função da proximidade de ações antrópicas, camadas expostas e grau erosivo que o solo encontrava-se submetido.

Para a avaliação dessas potencialidades, foram levados em consideração os limites estabelecidos por Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992) para avaliação da erodibilidade.

Antes da extração das amostras, foram realizadas análises visuais sobre as peculiaridades de cada talude a fim de verificar se os valores a serem obtidos estariam concisos e, após a experimentação, constatada as oscilações dos coeficientes em função de cada ponto e percentual de umidade. Para a maioria dos ensaios de infiltrabilidade houve a tendência progressiva à ascensão capilar (Figura 33) e perda de massa em virtude do aumento do tempo de exposição ao ar, variando da umidade natural até 48 horas, antes da realização dos ensaios.

Desse modo, optou-se pela continuidade das análises das potencialidades para os demais pontos, o que possibilitou a junção dessas variáveis em uma tabela. Outro importante aspecto notado é a convergência dos intervalos de tempo para a estabilização dos meniscos manterem-se quase constantes, ou seja, todos demonstraram duração aproximada de 16 minutos até a possível finalização do ensaio (Figura 33).

**Figura 33** - Resultados obtidos no ensaio de infiltrabilidade para o Talude 2.



Fonte: Autor

A partir das conclusões da Tabela 3, a qual apresenta os valores encontrados para sorção obtidos com base na equação 01, e os ensaios de erodibilidade específica, que são os percentuais de solo resultantes da massa desagregada pela massa total inicial, foram possíveis designar os coeficientes para

avaliação da erodibilidade, esses resultantes da fatoração entre essa porcentagem de perda de massa sobre a constante de sorção.

**Tabela 3** - Resumo dos dados encontrados para todos os pontos de coleta.

Talude	Umidade média - extração (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Condição de Umidade	Infiltrabilidades (cm/min/2)	Perda de massa pi (%)	pi/s
1	11,72%	0,395	Nat	0,0041	3,14	762,36
			24hs	0,0083	0,10	11,86
			48hs	0,0142	16,46	1159,02
2	19,13%	0,386	Nat	0,0106	42,01	3977,79
			24hs	0,0335	2,98	89,07
			48hs	0,0415	34,06	820,28
3	23,57%	0,361	Nat	0,0063	2,43	384,51
			24hs	0,0060	3,09	511,10
			48hs	0,0227	8,24	362,45
4	17,27%	0,384	Nat	0,0023	9,03	3920,91
			24hs	0,0230	3,22	139,59
			48hs	0,0195	4,39	224,79

**Fonte:** Autor

Os resultados variam com o aumento do potencial erodível de cada amostra, sendo essa elevação consequência do decréscimo da sorção, ou seja, diminuição da capacidade de infiltração, as quais são predominantemente resultantes da falta de cobertura vegetal e pouca porosidade. Concomitantemente, há também o acréscimo da perda de massa, o que ocasiona certo balanceamento dos valores totais de pi/s.

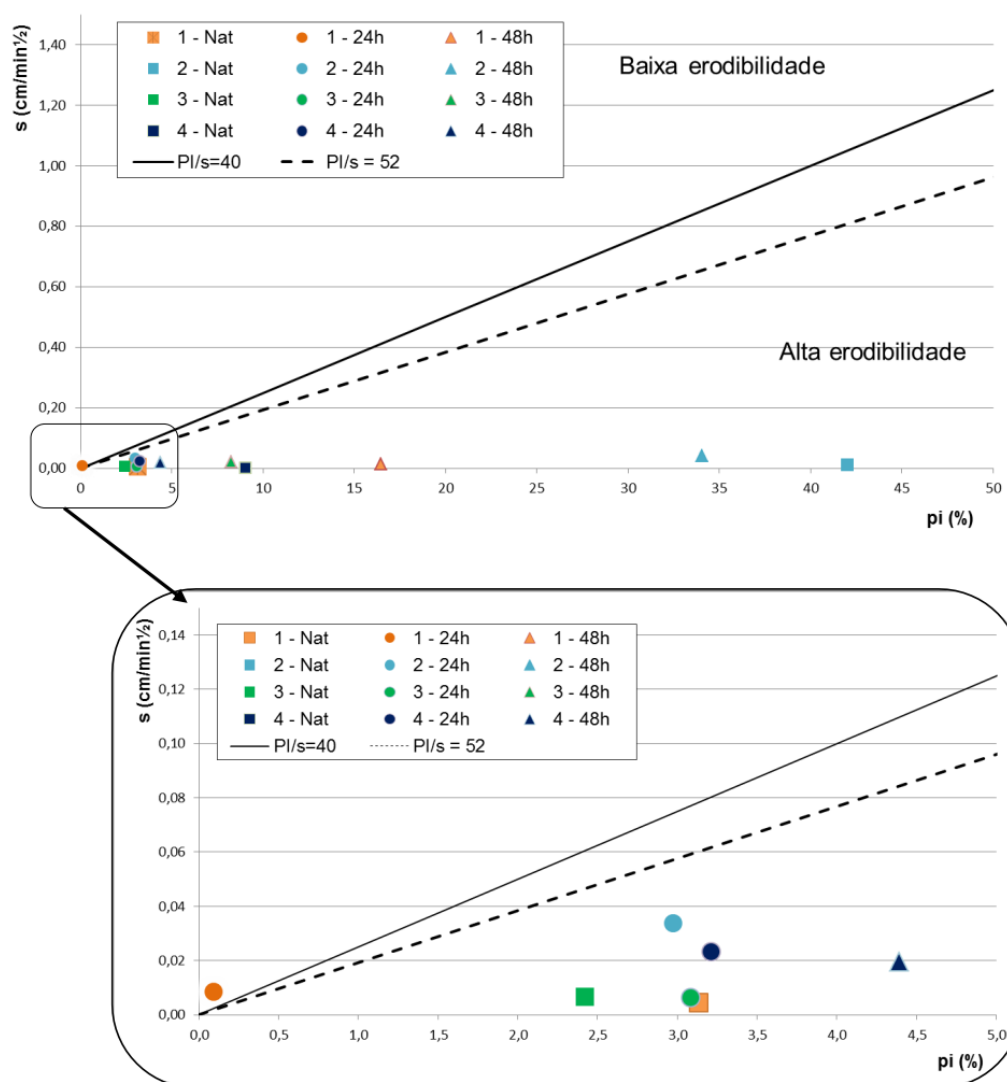
Em virtude dos procedimentos de coleta adotados para homogeneizar as características de umidade como, por exemplo, o tempo de espera para a realização da extração fosse de, no mínimo, 24 horas sem precipitações, há a possibilidade de variação do comportamento padrão de aumento gradativo dos valores em virtude da alternância de umidade, pois algumas extrações, comparação entre os pontos de coletas, foram realizadas com um maior intervalo sem a ocorrência de precipitações, assim, resultando em maiores implicações quando ensaiadas em tempos de exposição, resultado, com isso, maior relevância na perda de massa e infiltrabilidade.

Essa distinção pode ser observada na coluna de perda de massa da Tabela 3, em que a alternância de comportamento para o primeiro ponto de coleta ocorre em consequência de a extração ser realizada em uma umidade acima do que seria a umidade ótima da amostra, sendo assim, os corpos de prova, quando extraídos,

estavam com um percentual elevado de umidade e, após secas, apresentaram distintos comportamentos frente à análise de erodibilidade.

A diminuição citada anteriormente é decorrente da variabilidade de umidade para os ensaios realizados nas amostras com 24 horas de secagem em específico, as quais apresentaram esse acréscimo de coesão com a perda de água durante o período, tornando-se menos erodíveis. Sendo esse desempenho apenas pontual para essa umidade, como pode ser percebido com a não sucessão de valores para os ensaios realizados em 48 horas, os quais apresentaram o esperado aumento de percentual conforme a redução de umidade.

**Figura 34** - Avaliação da erodibilidade para os pontos de coleta da Bacia do Itacorubi.



Fonte: Autor

Em uma classificação mais abrangente, a maioria dos fatores  $pi/s$  está acima dos limites definidos pelos autores Pejon (1992) e Nogami e Villibor (1979), com isso, levando-se em consideração a maneira com a qual a estrutura do gráfico na Figura 34 foi construída, atribuiu-se como alta erodibilidade a majoritária quantidade de pontos abaixo das retas, o que evidencia as características da unidade predominante encontrada na Bacia do Itacorubi (PVg).

Para o Talude 4, o qual apresenta significativa variação entre o mesmo ensaio para diferentes umidades, pode-se atribuir essas discrepâncias ao solo encontrado, o qual possuía visíveis disparidades entre as características mineralógicas ao longo do talude do qual foram coletadas as amostras.

Conforme análise tátil-visual, há distintos percentuais de argila e areia em cada seção, conclusões obtidas em virtude das variações na granulometria e, com isso, influências nos resultados encontrados para a perda de massa por imersão e infiltrabilidade. Em uma análise comparativa, entre o quarto talude e os demais valores na Figura 34, é possível observar que não houve abrupta diferença entre os coeficientes, porém, em compensação, os resultados das amostras não seguiram um progressivo aumento com a variação de umidade.

**Figura 35** – Disparidade entre os solos ao longo do Talude 4 .



**Fonte:** Autor

O terceiro ponto de extração foi o que apresentou maior estabilidade entre os pontos de coleta. Interpretação advinda dos valores encontrados para os percentuais de perda de massa por imersão e coeficientes de sorção, os quais podem ser considerados mais estáveis do que a variação discrepante nos ensaios de outros pontos. Como critério de análise, caso utilizado a média geral dos três fatores calculados para cada talude, o ponto de coleta 3 é o que menos apresentou variações significativas.

Os ensaios de erodibilidade específica modificado para o Talude 2 mostraram maior relevância em razão do maior percentual de massa erodida, razão pela qual, fez-se necessário a conclusão dos fatores que ocasionariam essa disparidade. Essa constatação é semelhante à citada por Bastos (1999), onde tal autor menciona que este efeito é alcançado devido à maior presença de raízes no local onde foram extraídas as amostras, tornando-o menos compacto e mais poroso (BASTOS, 1999).

Vale a ressalva para os ensaios realizados na umidade natural e de 48 horas de secagem, os quais foram coletados em pontos mais atingidos pela ação antrópica, escavações e cortes recentes, como realça a Figura 20. Sendo que, o segundo ponto foi considerado mais suscetível a problemas com erosão, em razão da retirada da cobertura vegetal e o início de construções adjacentes ao talude.

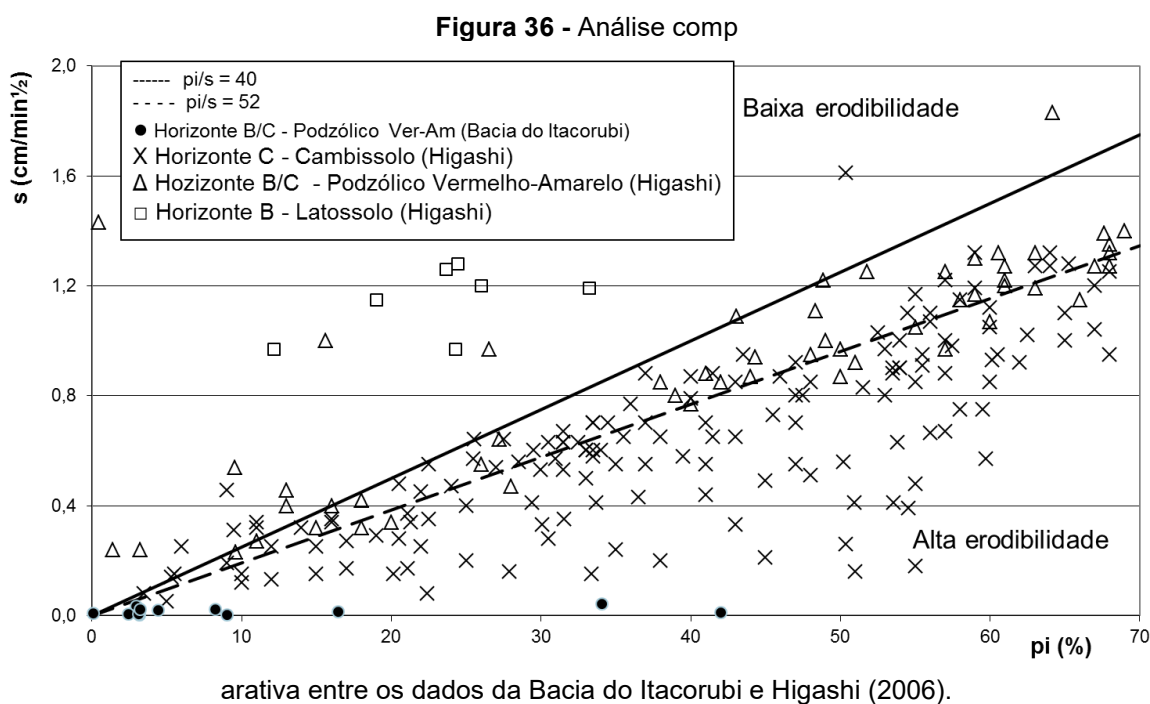
Baseado nos resultados demonstrados na Figura 34 e o critério adotado para avaliação das amostras coletadas, foi possível evidenciar as características da principal unidade geotécnica da bacia (PVg), a qual apresentou poucas variações quanto ao seu comportamento e, com exceção de um ensaio em específico, pode-se afirmar que esses possuem considerável potencial erodível.

### 5.3 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DA BACIA DO ITACORUBI E OUTROS LOCAIS DA REGIÃO SUL

Objetivando a análise comparativa, foi avaliada a existência de algumas disparidades na realização de cada ensaio devido à maneira de manuseio e extração de cada amostra, além da diferenciação de cada material utilizado. Contudo, em virtude do mesmo embasamento teórico e padrão de sequenciamento,

as diferenças não representaram significativo empecilho para essa união, comprovando a possibilidade da junção dos resultados encontrados com outras pesquisas.

Dessa maneira, em consequência da compilação dos dados anteriormente apresentados e pesquisas realizadas na Região Sul, criou-se a Figura 36, no qual os dados obtidos por Higashi (2006) para análise na região de Tubarão foram comparados com aqueles encontrados para a Bacia do Itacorubi. Segundo a imagem, há uma predominância de solos potencialmente erodíveis, o que inclui Podzólicos e Cambissolos. Além disso, caracterizando a exceção, os Latossolos, os quais possuem tendências à formação de crostas superficiais e endurecimento do solo, demonstrando, dessa forma, comportamento não erodível.



**Fonte:** Adaptado de Higashi (2006)

De acordo com a Figura 36, observa-se que há o predomínio das amostras retiradas da unidade de Podzólico Vermelho-Amarelo em manterem-se entre os limites estabelecidos para classificação da erodibilidade, realçando suas tendências ao alto potencial erodível.

A disposição dos valores resultantes dos ensaios para a Bacia do Itacorubi confirma a convergência dos indicadores de erodibilidade ao eixo das abscissas,

revelando as deficiências quanto à perda de massa da unidade e alguns fatores relevantes para a variação do coeficiente de erodibilidade, cortes, perda de cobertura vegetal etc. Em compensação, os Latossolos possuem características extremamente distintas dos Podzólicos e Cambissolos, devido à sua composição, pois, com o aumento do tempo de exposição ao ar, esses geram maior resistência à perda de massa e acréscimo dos coeficientes de sorção.

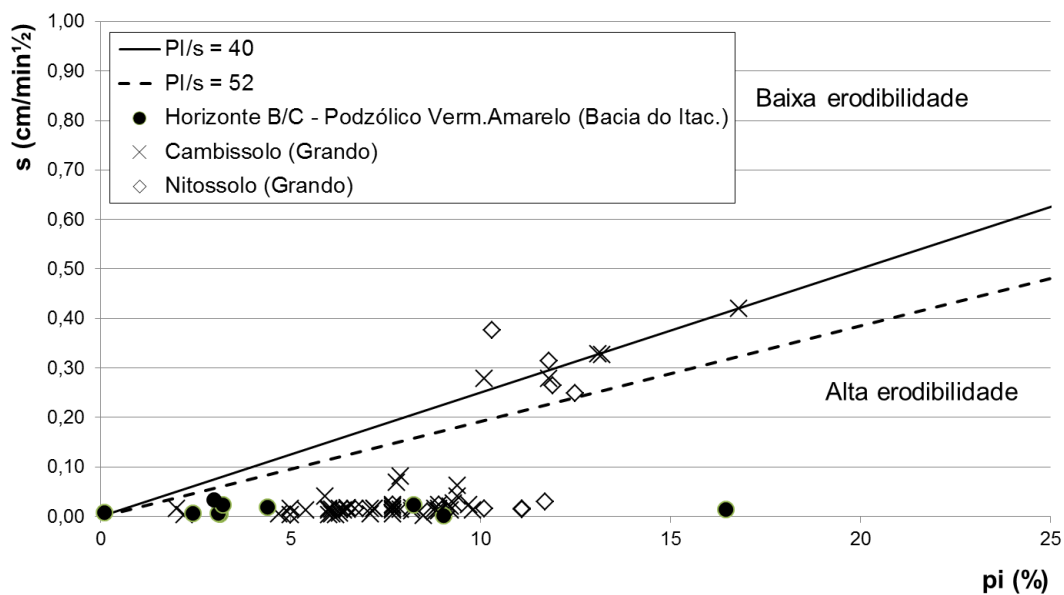
Grando (2011), a qual fez uso dos mesmos critérios para análise de erodibilidade, Pejon (1992) e Nogami e Villibor (1979), optou pelo uso de duas classificações em seus estudos utilizando a metodologia MCT, baixa e alta erodibilidade. As amostras avaliadas por Grando (2011) apresentaram baixa erodibilidade, como demonstrado na Figura 37, são as mais próximas aos limites pi/s e foram coletadas em regiões com cobertura vegetal mais antiga (4 anos), evidenciando o impacto da presença de vegetação e como essa pode influenciar no aumento do coeficiente de sorção.

No que diz respeito às análises para outros pontos, ou foram retirados em locais com cobertura vegetal recente, aproximadamente dois anos, ou em locais voltados para agricultura, revelando intenso manuseio do solo e, conseqüentemente, alto potencial erodível.

Dentre os pontos de coleta realizados na Bacia do Itacorubi, o terceiro ponto de coleta de amostras destacou-se em virtude da quantidade de área com cobertura vegetal adjacente, conseqüentemente, dificultando a extração de amostras indeformadas devido à presença de raízes, como pode ser observado nas Figuras 21 e 22.



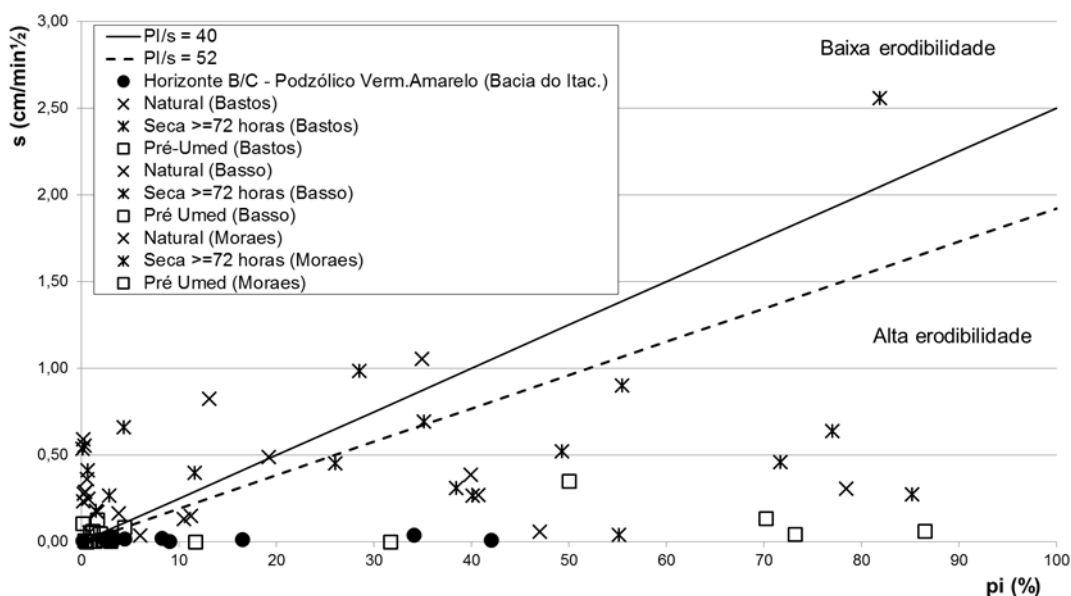
**Figura 37** - Análise comparativa dos dados da Bacia do Itacorubi e Grando (2011).



Fonte: Autor

Mesmo seguindo análises similares, houve algumas disparidades entre parâmetros adotados por alguns autores para a realização dos ensaios. Bastos (1999), Basso (2013), Moraes (2015), os quais realizaram seus ensaios predominantemente no estado do Rio Grande do Sul, desenvolveram seus estudos para três diferentes teores de umidade, natural, 24 horas e pré-umedecida, enquanto que, autores de outros estados da região como, por exemplo, Higashi (2006), Grando (2011), Heidemann (2014), optaram pela realização dos ensaios em, pelo menos, três teores de umidade, entre os quais a amostra com maior percentual de umidade era a natural, assim como, o padrão adotado neste trabalho.

**Figura 38** - Análise comparativa entre os dados da Bacia do Itacorubi, Bastos (1999), Basso (2013) e Moraes (2015).



Fonte: Autor

Os resultados das amostras provenientes de reensaio, ou seja, pré-umedecidas, apontaram grande aumento no percentual de perda de massa, Figura 38, evidenciando seu comportamento erodível. Em concordância, as amostras ensaiadas com, pelo menos, 72 horas de exposição ao ar apresentaram considerável percentual para o ensaio de erodibilidade específica. A escolha dos teores de umidade propiciou uma análise mais significativa do impacto da alternância de gradiente e, com isso, valores mais expressivos para avaliação da suscetibilidade à erosão em função da variação do percentual de água.

Levando-se em consideração o comportamento de alguns taludes quanto à variação dos resultados, em virtude da modificação dos teores de umidade, é aceitável a peculiaridade adotada pelos autores do Rio Grande do Sul para os critérios de avaliação das amostras. Dessa forma, há a possibilidade de avaliar com mais precisão as influências da elevação e diminuição do percentual de água nos ensaios da metodologia MCT.

Os limites estabelecidos para ponderar a classificação de erodibilidade do solo podem apresentar pequenas diferenças de acordo com cada autor. Grandó (2011) atribuiu para  $0 < \pi/s <= 52$ , solos com baixa erodibilidade e  $52 < \pi/s$  para solos de alta erodibilidade, seguindo o critério de Nogami e Villibor (1979). Contudo, ao

analisar os métodos classificatórios adotados por Higashi (2006) para análise MCT, esse incluiu uma margem para solos com média erodibilidade.

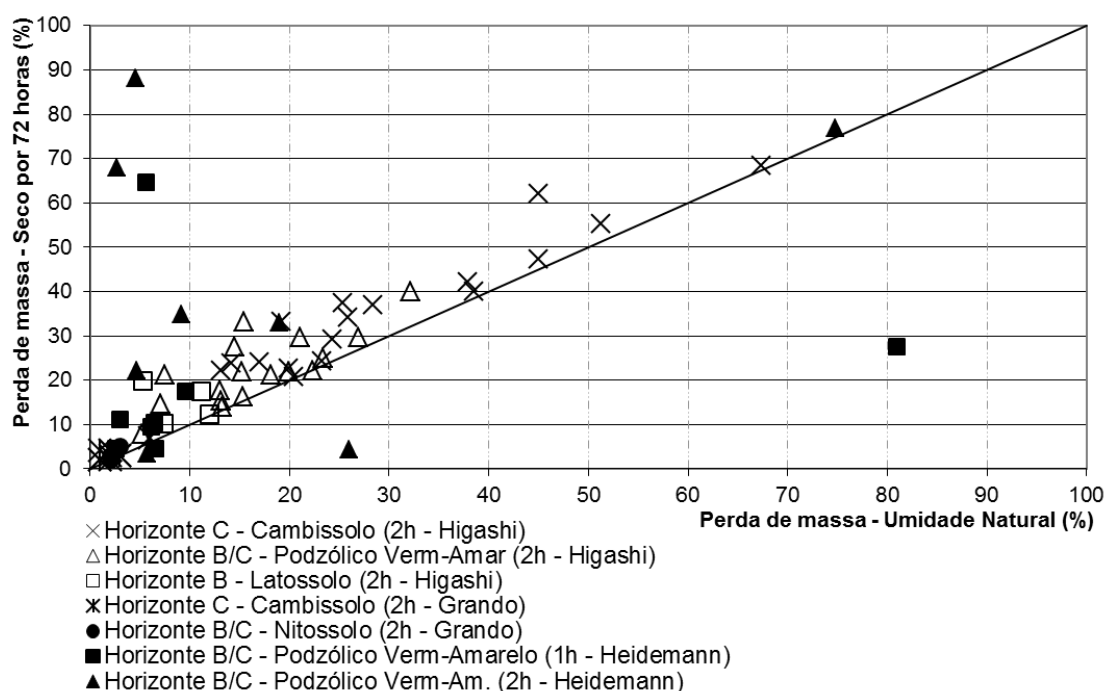
O acréscimo no número de classes facilitou a interpretação sobre as reais características de cada unidade e possibilitou a inserção de outros fatores, além da análise de infiltrabilidade e perda de massa quando imersa, para a avaliação dessas áreas.

Dentre os resultados encontrados por Higashi (2006), algumas amostras apresentaram coeficientes de erodibilidade ( $\pi/s$ ) próximos à 200. Porém, foram classificadas como média erodibilidade, em virtude do uso de outros critérios para uma avaliação complementar, entre esses, o Inderbitzen Modificado (FREIRE, 2001), seguindo o mesmo padrão de distribuição com base em diversos critérios adotados por Bastos (1999).

O método nderbitzen, o qual consiste na avaliação da quantidade de material desagregado em virtude do impacto e carreamento da água, tem como objetivo avaliar a capacidade de sustentação do solo em função da vazão e período de exposição à colisão com água. Para essa pesquisa, foram levados em consideração alguns autores que realizaram seus ensaios nessa região, entre esses, Higashi (2006), Grando (2011) e Heidemann (2014).

Higashi (2006), com o intuito de gerar um método classificatório, desenvolveu uma estrutura similar ao gráfico apresentado na Figura 39, no qual é realizado um comparativo entre o percentual de perda de solo das amostras em umidade natural e em 72 horas de secagem, com isso, propiciou a facilidade na avaliação da influência, em longos períodos de exposição, à alteração da umidade. A partir desse tipo de análise, houve uma inclinação em demonstrar, além dos valores encontrados por Higashi (2006), essa classificação comparativa entre dois teores de umidade distintos para os demais autores citados, resultando no gráfico a seguir.

**Figura 39** - Análise comparativa entre os Métodos Inderbitzen realizados pelos autores Higashi (2006), Grando (2011) e Heidemann (2014).



**Fonte:** Autor

Além da análise de percentual de solo desprendido que cada unidade geotécnica está sujeita, há um comparativo sobre os impactos em razão da alternância de umidade para cada tipo de unidade geotécnica. Conforme a Figura 39, os Podzólicos apresentam majoritariamente um percentual de perda de solo pouco similar para diferentes teores de umidade, evidenciando, assim, as consideráveis variações que esses solos possuem em função da mudança da quantidade de água intrínseca, e de que forma isso pode ser relevante aos ensaios realizados pela metodologia MCT.

A partir dessa análise, não apenas o Podzólico Vermelho-Amarelo apresenta perda semelhante, mas os outros solos estudados também mostraram comportamento análogo. Contudo, algumas amostras de Cambissolos, devido à extensa quantidade de resultados, demonstraram predominantemente valores seguindo percentuais similares de perdas de solo, dispondo-se próximas à linha central.

Em virtude do grande questionamento sobre o tempo de duração que uma amostra de solo deve estar sujeita para que seja realizada uma análise mais criteriosa sobre seu comportamento frente à erosão, Heidemann (2014) elaborou

duas frentes de ensaio, a primeira com tempo de duração de uma hora, e a segunda, com duas horas, adotando as mesmas condições de umidade natural e 72 horas de exposição ao ar, comprovando, fora os impactos da diferença de umidade, a influência do intervalo de tempo.

Como resultado, as amostras submetidas aos ensaios com duração de duas horas apresentaram maior perda de massa com a exposição de 72 horas. Em contrapartida, para os ensaios realizados para amostras com teor de umidade natural, em resumo, não houve expressivas alterações de desprendimento entre os tempos de duração de uma ou duas horas quando comparadas na Figura 39.

#### 5.4 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO MAIS ABRANGENTES

A fim de gerar estimativas de erodibilidade mais fundamentadas para avaliar cada tipo de talude, Basso (2013), a qual seguiu os mesmos critérios de avaliação utilizados por Bastos (1999), dividiu os níveis de suscetibilidade à erosão em três categorias, 1, 2 e 3, sendo a terceira mais frequente em virtude dessa ser correspondente à alta erodibilidade, levando em consideração a problemática dos locais apresentados.

Com o uso dessas categorias, possibilitou-se uma melhor ponderação sobre cada nível e, ainda, sobre a confiabilidade de cada método em distinguir as potencialidades de cada solo.

A estimativa da suscetibilidade à erosão tornou-se mais evidente a partir da Tabela 4, a qual foi utilizada por Bastos (1999 apud Basso, 2013) para discriminar as potencialidades em cada método utilizado. Com isso, foi estabelecida uma classificação mais concisa sobre as respectivas tendências que cada talude possui para erosão.

**Tabela 4** - Critério de classificação gerado por Bastos (1999)

<b>Erodibilidade</b>	<b>K (10<sup>-2</sup>g/cm<sup>2</sup>/min/Pa)</b>	<b>RD (%)</b>	<b>% P<sub>p</sub> 200</b>	<b>IP (%)</b>	<b>K<sub>USLE</sub></b>	<b>pi/s</b>	<b>Δc</b>
Baixa	< 0,1		> 55	> 10			
Média a baixa, média e média a alta	< 0,1 e <10	< 60	>35 e <55	>5 e <10	< 0,20	< 52	< 85
Alta	>10	> 60	< 35	< 5	> 0,20	> 52	> 85

K = coeficiente de erodibilidade do ensaio Inderbitzen na condição de umidade natural

K<sub>USLE</sub> = Coeficiente de erodibilidade da equação universal de perda de solo

RD = Razão de dispersão

% P<sub>p,200</sub> = porcentagem passante na peneira # 200

IP = índice de plasticidade

pi/s = relação entre a perda de massa por imersão e o coeficiente de sorção (NOGAMI e VILLIBOR, 1987)

Δc = variação do coesão

**Fonte:** Adaptado de Bastos (1999) por Basso (2013)

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

A Bacia do Itacorubi, a qual está sujeita às diversas alterações impostas pelo avanço urbano, sofre com a excessiva quantidade de pessoas que circulam por esse espaço diariamente e, também, com os imperceptíveis problemas provenientes da erosão.

Essa possui considerável variabilidade em seu relevo, sendo que, majoritariamente é composta pela unidade Podzólico Vermelho-Amarelo, o que representa 65,93% da unidade, localizada em locais com maior declividade, combinando com áreas de solos Glei e Orgânicos (Mangue), os quais caracterizam relevos mais planos e com baixa declividade, motivo pelo qual, houve a predominância de estudos sobre a primeira unidade.

O desenvolvimento dessa área deu-se a partir da metade do século 20, quando se iniciaram atividades voltadas ao ensino e comércio local. Sendo que, a resiliência desse espaço foi pouco questionada, gerando oportunidades para o avanço da mancha urbana sobre Áreas de Preservação Permanente e outras zonas não apropriadas.

A presente pesquisa mostrou validade sobre os objetivos propostos, em razão da avaliação das metodologias apresentadas para ponderação da suscetibilidade à erosão e, por conseguinte, a determinação da que melhor se adaptaria às peculiaridades do local.

A metodologia proposta para análise do grau de erodibilidade apresentou de maneira satisfatória resultados para caracterização das amostras coletadas quanto à erosão nos diversos pontos estipulados aleatoriamente ao longo da unidade.

Concomitantemente, fora realizado a determinação sobre a confiabilidade do ensaio e elucidação sobre os potenciais fatores que poderiam ocasionar discrepâncias nos resultados obtidos.

E, finalmente, um estudo comparativo entre diversos autores a fim de gerar uma complementação teórica e análise relativa sobre os dados gerados na Bacia do Itacorubi.

Os ensaios que apresentariam maior confiabilidade, de acordo com o embasamento teórico, seriam os de Dispersão e da Metodologia MCT, portanto, optou-se pelo desenvolvimento da segunda opção. Durante a estruturação do ensaio, foram levados em consideração características para análise de solos tropicais, com isso, os ensaios compreendidos nessa alternativa representam coeficientes mais significativos para classificação desses solos, perda de massa por imersão e infiltrabilidade.

Para os ensaios de infiltrabilidade, há algumas peculiaridades a serem discriminadas. O coeficiente obtido a partir desse varia conforme a proximidade de áreas com significativa cobertura vegetal, sendo esse, um dos fatores mais relevantes para a diminuição da suscetibilidade à erosão, pois há o decréscimo nos potenciais empoçamentos superficiais, os quais poderiam ocasionar aumento do teor de umidade e, conseqüentemente, aumento da erosão sobre o solo.

Durante a realização dos ensaios, foi possível aferir que devido à maneira com a qual é construído o gráfico para extração do coeficiente de sorção, não há necessidade de continuidade dos ensaios quando as variações não se mostram consideravelmente expressivas. A maioria dos pontos extraídos na unidade Podzólico Vermelho-Amarelo apresentaram similaridades no intervalo de tempo necessário para alcançar o típico formato dos gráficos que foram utilizados para extração dos coeficientes de sorção, entre 9 a 36 minutos. Dessa forma, não haveria obrigatoriedade da realização desse tipo de ensaio até a estagnação do menisco capilar, possibilitando outras análises. Outra conclusão, a qual poderia ser utilizada como critério de finalização do ensaio, é o cálculo percentual entre as duas últimas leituras da régua graduada, em que, caso valor seja menor que 5%, não seria necessária dar continuidade do procedimento.

Para os ensaios de erodibilidade específica modificado, os quais sofrem o arrasamento superficial para adequação aos moldes, há considerável influência nos resultados em razão da maneira com a qual essa adequação é realizada. Conseqüentemente, geraram-se formas de evitar essa conformação ao molde de forma expressiva, fazendo com que essa adequação fosse realizada apenas com movimentos paralelos à superfície da amostra, a fim de evitar pressões perpendiculares e, com isso, variação da porosidade superficial.

Amostras próximas à cobertura vegetal tendiam a apresentar maior percentual de perda em virtude da maior porosidade, porém, há a compensação em



razão da infiltrabilidade da mesma sobre os resultados de  $\pi/s$ . Dentre os ensaios realizados, apenas uma amostra apresentou resultado considerado não erodível, sendo que, durante o intervalo de 20 horas, o percentual de massa desagregada era equivalente à uma espessura menor que 1mm. Com isso, foi possível gerar uma caracterização visual sobre a erodibilidade da amostra antes finalização do processo.

De acordo com os gráficos, os taludes provenientes de cortes recentes apresentaram menor estabilidade de valores, justificado pela falta de similaridade de dados ao longo desse. Dessa forma, conclui-se a necessidade de extração das amostras em pontos visivelmente similares.

Essa discrepância em algumas características do solo pode resultar em dados menos concisos como, por exemplo, para o ponto 4, o qual teve disparidade ao longo de sua superfície exposta, deixando de apresentar valores equivalentes à variação de umidade. Com isso, para esses exemplos, há a necessidade de extração dos dois tipos de solo, para que, dessa forma, sejam realizadas as corretas análises para cada ensaio da metodologia MCT.

A representatividade dos potenciais erodíveis dos solos em ensaios Inderbitzen mostram-se mais significativos durante a realização dos procedimentos para amostras com exposição ao ar de 72 horas, mostrando dessa forma a influência da diminuição do teor de umidade. Além disso, os resultados obtidos através deste tipo de ensaio demonstram ainda a necessidade de mais análises comparativas além da estipulação dos dois teores, natural e 72 horas.

Em resumo, todos os pontos de coletas apresentaram potencialidade à ocorrência de problemas oriundas da erosão, sendo que podem ser considerados como locais de restrição para o avanço da mancha urbana em virtude da excessiva perda de cobertura vegetal e cortes nas localidades ou a realização de estudos sobre macro e micro drenagens a fim de diminuir os impactos desses avanços. Dessa forma, todos foram classificados como de alto grau de erodibilidade.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em virtude da deficiência em algumas análises desta pesquisa, mostrou-se necessário elucidar algumas sugestões para a continuidade das linhas de estudo deste trabalho acadêmico, entre essas:

- a) Adquirir mais pontos de coleta a fim de gerar uma diminuição no erro de classificação dos solos durante a homogeneização das áreas quanto a sua suscetibilidade à erosão;
- b) Gerar um mapa ilustrando as peculiaridades de cada solo em virtude da classificação MCT, criando polígonos para cada tipo de comportamento e abrangendo áreas adjacentes que possuem características semelhantes;
- c) Avaliar as amostras em teores de umidade mais espaçados, com o objetivo de gerar discrepâncias mais significativas nos valores de infiltrabilidade e perda de massa por imersão;
- d) Extração de amostras mais homogêneas para classificação de um talude, caso seja constatado a variabilidade do tipo de solo ao longo desse, a melhor opção é a realização de ensaios distintos para os dois pontos. Assim, irá gerar uma maior precisão sobre o comportamento de cada alternância de solo frente à erosão;
- e) Analisar as correlações entre os ensaios realizados e outros métodos para avaliação da suscetibilidade à erosão, assim como realizado por alguns autores, os quais fizeram uso de diversas metodologias para avaliação;
- f) Executar, no mínimo, mais dois critérios de análise para de erodibilidade a fim de gerar uma classificação mais abrangente sobre os solos estudados;
- g) Analisar pontos mais suscetíveis à erosão em função do avanço da mancha urbana, determinando implicações econômicas e sociais para essa expansão, e realizar coletas mais específicas para esses locais;
- h) Realizar os ensaios de caracterização para os pontos descritos a fim de justificar as particularidades de cada solo durante os ensaios para análise da erodibilidade.
- i) Expandir essas análises de erosão para outras bacias do mesmo município, levando em consideração a necessidade de análise da erodibilidade, a fim de alimentar um banco de dados, o qual restringirá excessivos avanços sobre APP e outras áreas problemáticas.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14114:** Solo - Solos argilosos dispersivos - classificação por meio do ensaio do furo de agulha (pinhole test). Rio de Janeiro, 1998.

ALMEIDA FILHO, Gerson Salviano de. **Diagnóstico de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no município de Bauru, SP. 2000. 221 f.** Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, São Paulo, 2000.

AVILA, Luciele Oliveira de. **Erosão na microbacia do Arroio Sarandi: voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria/RS.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

BASSO, Luciana. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas sedimentares de uma voçoroca na cidade Desão Francisco de Assis-RS,** 2013.

BASTOS, Cezar Augusto Burkert. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados.** Porto Alegre. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 298 f, 1999.

BASTOS, Cezar Augusto Burkert. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

BASTOS, Cezar Augusto Burkert; Bortoli, C. R.; Jungblut, M.; Antunes, R. B. & Miranda Junior, G. X. D. **Avaliação da susceptibilidade e do potencial à erosão laminar dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar (SC),** 2003.

BLOISE, Gabriela de Lima Freitas; CARVALHO JUNIOR, Osmar Abílio de; REATTO, Adriana; GUIMARÃES, Renato Fontes; MARTINS, Éder de Souza; CARVALHO, Ana Paula Ferreira de. **Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da Bacia do Olaria-DF**, 2001.

BRADY, Nyle; WEIL, Ray. **Elements of the nature and properties of soils**. Upper Saddle River, NJ, USA, Prentice Hall, 2000.

CHAMECKI, Paulo Roberto. **Metodologias de laboratório para estudos da erosão hídrica em solos: aplicação a uma argila da Formação Guabirotuba**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, 2002.

CIVIL, Glossário de Defesa. **Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**, 2009.

DIAS, José Eduardo; GOMES, Olga Venimar de Oliveira; GOES, Maria Hilde de Barros. Áreas de riscos de erosão do solo: uma aplicação por geoprocessamento. **Floresta e Ambiente, Seropédica**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2001.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão: o problema mais que o processo**. Florianópolis: Ed. da UFSC, p. 131, 1999.

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, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ, CNPq, ABMS, p. 646-667, 1981.

FONTOURA, Leandro Nazareth Jerônimo. Planejamento urbano-ambiental: o uso e ocupação do solo no Distrito Federal. **Revista Especialize On-line IPOG-Goiânia-5ª Edição**, n. 005, 2013.

FREIRE, E.P. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: **Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7. Relação de trabalhos**. Goiânia: ABGE, [s.n.], 2001.

GEMURB, Grupo de Estudos de Mobilidade Urbana e Sustentável, 2015. Disponível em: < <https://gemurb.wordpress.com/> >. Acesso em: 16 nov. 2016.

GRANDO, Angela; MACIEL, Camila Belleza; CORSEUIL, Cláudia Weber; MACCARINI, Marciano; HIGASHI, Rafael; GODOI, Cesar. Erodibilidade dos solos de uma microbacia experimental determinada por ensaios geotécnicos de infiltrabilidade e perda de massa por imersão. In: **V Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas. Anais... ABMS (Vol. 1)**.

GRANDO, Ângela. **Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental**, 2011.

GREGÓRIO, Maria Das Neves; ALVES, Flávio Porfirio; CARNEIROS, Márcia C. de S. Matos; SILVA, Dyego Lins da; SOUZA, Jânea C. Lopes de. **Utilização do SIG no controle de erosão em áreas susceptíveis a instabilidade de encostas: Barragem Serro Azul – Palmares (PE)**, 2014.

GUERRA, A. J. T. **A contribuição da geomorfologia no estudo dos recursos hídricos**. Bahia Análise & Dados Salvador, v. 13, n. Especial, p. 385-389, 2003.

HEIDEMANN, Marcelo. Mapa Geotécnico de Potencial Erosivo de uma Área de Expansão Urbana de Tubarão-SC. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 1, n. 1, p. 3-10, 2014.

HIGASHI, Rafael Reis. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**, 2006.

HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis; FIGUEIREDO, L. F. Análise Geotécnica Preliminar de São Francisco do Sul como Subsídio ao Estudo de Impactos Ambientais Utilizando Sistema de Informações Geográficas. In: **XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte, MG, 2003.**

HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis; GUESSER, Luiz Henrique; STEFFENS, Aline Helena Delfino; SAKAMOTO, Miryan Yumi; OLIVEIRA, Mônica C. Generini de; CONTESSI, Rodolfo Joaquim; ABREU, Rodrigo Paulo de. **Mapeamento geotécnico da suscetibilidade a movimento de massa na bacia do Itacorubi, 2014.**

KUYPERS, Hil; MOLEMA, Anne; TOPPER, Egger. **Luta contra a erosão nas regiões tropicais, 2005.**

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/> >. Acesso em: 16 nov. 2016.

IMESON, Anton; CURFS, Michiel. Erosão do solo. **Lucinda, Land Care in Desertification Affected Areas, From Science Towards Application, série do fascículo B, nº1, 2006.**

INDERBITZEN, A L. **An erosion test for soils.** Materials Research & Standards, Philadelphia, v. 1, n. 7, p. 553-554, 1961.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

MAGALHÃES, Ricardo Aguiar. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão.** Goiânia- GO, 03 a 06 de maio de 2001.

MARANDOLA JUNIOR, Eduardo; MARQUES, Cesar; PAULA, Luiz Tiago de; CASSANELI, Letícia Braga. Crescimento urbano e áreas de risco no litoral norte de

São Paulo. **Revista Brasileira de Estudos da População**, v. 30, n. 1, p. 35-56, 2013.

MIDDLETON, H.E. **Properties of soils which influence soil erosion**. Washington, USDA, p. 16, 1930,

MINELLA, Jean Paolo Gomes; MERTEN, Gustavo Henrique; REICHERT, José Miguel; CASSOL, Elemar Antonino. Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**, 2010.

MITCHELL, J.K. **Fundamentals of soil behavior**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, USA, p. 437, 1993.

MORAES, Daniel Vaine da Silva. **Avaliação do uso do ensaio de cone de laboratório para estimativa da erodibilidade**, 2015.

NOGAMI, Job Shuji; VILLIBOR, Douglas Fadul. Identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais. In: **X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, ABMS, Foz do Iguaçu, PR**. v. 4, p. 1293-1300, 1994.

NOGAMI, Job Shuji; VILLIBOR, Douglas Fadul. Soil Characterization of Mapping Units for Highway Purposes in Tropical Areas. **Bul. of the Inter. Associ. of Engineering Geology**, Krefeld, n.19, p.196-199, 1979.

PEJON, O. L. **Mapeamento Geotécnico de Piracicaba. 1:100.000: Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação dos Atributos**. Tese de Doutorado, EESC/USP, São Carlos, SP, 1992.

PITTELKOW, Graciele Carls. **Erosão em estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria (CISM)**, 2013.

RÉGIS FILHO, Daniel. **Mapas temáticos interativos da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi Florianópolis-SC**, 2008.

SHERARD, J.L., DUNNIGAN, L.P. and DECKER, R S. Identification and nature of dispersive soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, ASCE, vol. 102, no. GT4, p. 287-301, April 1976 (a).

SHERARD, J.L., DUNNIGAN, L.P., DECKER, R.S and STEELE, E.F. Pinhole test for identifying dispersive soils. **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, ASCE, vol. 102, no. GT1, p. 69-85, Jan. 1976 (b).

SILVA, Ana Paola do Nascimento; MELO, Maria Tereza da Silva; "Análise do Histórico de Desenvolvimento de Modelos de Aparelho de Inderbitzen para a Confecção de Tabelas Comparativas", p. 51-64 . In: **NEVES, Adriana Freitas; PAULA, Maria Helena de; ANJOS, Petrus Henrique Ribeiro dos; SILVA, Amanda Gabrielle da. Estudos Interdisciplinares em Ciências Biológicas, Saúde, Engenharias e Gestão**. São Paulo: Blucher, 2016.

VALLE JUNIOR, Renato Farias do. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP, 222 f, 2008.