

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

LAILA KAUANA PACHECO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EROSIVO DE SOLOS RESIDUAIS DO MORRO DO
FINDER NA CIDADE DE JOINVILLE - SC**

Joinville

2017

LAILA KAUANA PACHECO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EROSIVO DE SOLOS RESIDUAIS DO MORRO DO
FINDER NA CIDADE DE JOINVILLE - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Infraestrutura.

Orientador: Dr. Marcelo Heidemann

Joinville

2017

LAILA KAUANA PACHECO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EROSIVO DE SOLOS RESIDUAIS DO MORRO DO
FINDER NA CIDADE DE JOINVILLE - SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville, 01 de dezembro de 2017.

Dr. Marcelo Heidemann
Orientador

Banca Examinadora:

Msc. Helena Paula Nierwinski

Msc. Simone Malutta

Dra. Vivian de Mello Cionek

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo à minha mãe e meus avós, Nilva, Olga e Egidio, por todo o carinho e apoio que sempre me deram. E também por nunca desestimularem a minha decisão de estudar longe de casa.

À minha irmã e cunhado, Raísa e Wagner, por todo o apoio e ajuda que ofereceram nestes cinco anos.

Ao Pablo por toda a compreensão neste período complicado, bem como por ter me apoiado e feito companhia durante as coletas dos corpos de prova.

Aos colegas de laboratório, Paulo Vinícius e Cássio, pelo auxílio prestado na execução dos ensaios. Ao Cássio por ter me ensinado como extrair um corpo de prova indeformado e como realizar o ensaio de densidade real dos grãos e ao Paulo por ter me ensinado a realizar os ensaios de limites de consistência.

Aos responsáveis pelos laboratórios de Mecânica dos Solos, de Materiais e de Pavimentação pela disponibilidade dos equipamentos utilizados neste trabalho.

Ao técnico do laboratório Elvis pela realização do corte dos corpos de prova.

A meus amigos pela parceria, em especial aos presentes em minha apresentação Amanda, Claudia, Paulo e Priscilla, bem como a Jessyka que não pode entrar para me assistir por ter chegado atrasada. À vocês agradeço muitíssimo pelo apoio e companhia neste momento.

RESUMO

O rápido avanço dos centros urbanos, acompanhado pela falta de planejamento, é um fator determinante para os problemas relacionados aos processos erosivos. Nesta conjuntura as áreas com maior susceptibilidade à erosão localizam-se em elevações e regiões em que há remoção de cobertura vegetal, sendo que estas situações propiciam a movimentação dos solos e, conseqüentemente, aumento da erosão decorrente de escoamentos superficiais. Os impactos decorrentes dos processos erosivos abrangem áreas de grande importância econômica e social, onde pesquisas se fazem necessários a fim de valorizar os investimentos e manter a segurança da população. O presente trabalho versa sobre o potencial erosivo dos solos residuais de uma encosta na região norte de Joinville. O município apresenta um cenário que propicia a ocorrência de erodibilidade nos solos, devido ao tipo de solo, grande volume precipitado e ao crescimento horizontal da cidade, atingindo as encostas do Morro do Finder, aqui estudadas. Para este fim, foram executados ensaios de caracterização física e ensaios que compõe a metodologia MCT (infiltrabilidade e perda de massa por imersão). Os resultados obtidos permitiram a classificação destes solos quanto à suscetibilidade à erosão utilizando os critérios de Pejon (1992) e Nogami e Villibor (1979). De forma geral os materiais estudados, em condição indeformada e remoldada, são considerados como apresentando alta susceptibilidade à erosão, sobretudo os remoldados.

Palavras-chave: Erosão, Erodibilidade, Metodologia MCT, Morro do Finder, Ensaios de Laboratório.

ABSTRACT

The quick growth of urban centers, followed by the lack of planning is a determining factor of the problems related to the erosive processes. At this juncture the areas more susceptible to erosion are located in elevations and places where the vegetation coverage has been removed, as this situation provides the movement of the soil and as such, the increase of erosion caused by superficial drainage. The recurring impacts of the erosive process include areas of great social and economic importance, where researches are needed to raise the value of investments and maintain the safety of the population. This paper studies the erosive potential of the residual soil in the north of Joinville. The Joinville city presents a scenario that favors the occurrence of soil erodibility due to the type of soil, great volume of rain and the horizontal growth of the city, reaching the "Morro do Finder" slopes, studied here. To this end, experiments of physical characterization and studies which compose the MCT Methodology (infiltrability and loss of mass by immersion). The results established allowed the classification of these soils for susceptibility to erosion using the criteria of Pejon (1992) and Nogami and Villibor (1979). In general, the studied materials, in undisturbed and remolded condition, are considered as presenting high susceptibility to erosion, especially remolded ones.

Keywords: Erosion, Erodibility, MCT Methodology, Finder's Hill, Laboratory Tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de Solo.....	20
Figura 2 – Esquemática dos Tipos de Erosão.....	28
Figura 3 – Voçoroca com profundidade atingindo o horizonte C.....	28
Figura 4 – Efeito <i>splash</i>	29
Figura 5 – Erosão Fluvial.....	30
Figura 6 – Ábaco para Classificação MCT.....	33
Figura 7 – Classificação MCT.....	33
Figura 8 – Gráfico da Leitura do Menisco X Raiz do Tempo.....	35
Figura 9 – Critérios de Erodibilidade – Grandjean et al (2009).....	36
Figura 10 – Critério de Erodibilidade – Bastos (2000).....	37
Figura 11 – Carta de Plasticidade de Casagrande.....	40
Figura 12 – Classificação ASSHTO para Solos Grossos.....	41
Figura 13 – Classificação ASSHTO para Solos Finos.....	42
Figura 14 – Sistema de Classificação do HBR.....	43
Figura 15 – Localização do Município de Joinville.....	44
Figura 16 – Mapa Geológico de Joinville.....	45
Figura 17 – Legenda do Mapa Geológico de Joinville.....	46
Figura 18 – Mapa Pedológico da Região Urbana de Joinville.....	49
Figura 19 – Localização dos Pontos no Morro do Finder.....	51
Figura 20 – Encosta Localizada na Rua São Sebastião.....	52
Figura 21 – Encosta Localizada na Rua Araraquara.....	53
Figura 22 – Encosta Localizada na Rua Santos Dummont.....	54
Figura 23 – Geologia do Morro do Finder.....	55
Figura 24 – Pedologia do Morro do Finder.....	56
Figura 25 – Fluxograma da Metodologia Apresentada.....	57
Figura 26 – Extração de Corpos de Prova.....	59
Figura 27 – Arrasamento dos Corpos de Prova.....	60
Figura 28 – Execução do Ensaio de Sedimentação.....	61
Figura 29 – Compactação de Corpo de Prova Remoldado.....	63
Figura 30 – Conjunto Picnômetro e Solo.....	65
Figura 31 – Aquecimento do Conjunto Picnômetro, Solo e Água.....	65

Figura 32 - Razão entre a Densidade Relativa da Água à Temperatura (t) e a Densidade da Água a 20°C	66
Figura 33 – Esquematização das diferentes granulometrias.....	67
Figura 34 – Limites de Atterberg	68
Figura 35 – Execução do Ensaio de Limite de Liquidez.....	68
Figura 36 – Execução do Ensaio de Limite de Plasticidade	69
Figura 37 – Esquematização do Ensaio de Perda de Massa por Imersão.....	70
Figura 38 – Corpos de Prova em Imersão	71
Figura 39 – Corpo de Prova após 20 horas de Imersão.....	72
Figura 40 – Detalhe do <i>Kitassato</i>	73
Figura 41 – Execução do Ensaio de Infiltrabilidade.....	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de Agentes Erosivos.....	26
Quadro 2 – Susceptibilidade dos Solos a Erosão	31
Quadro 3 – Resumo do Sistema Unificado de Classificação dos Solos.....	40
Quadro 4 – Localização dos Pontos de Estudo.....	52
Quadro 5 – Quantidade de Amostra para Análise Granulométrica	61
Quadro 6 – Parâmetros para Realização de Remoldagem.....	64
Quadro 7 – Densidade Real dos Grãos	74
Quadro 8 – Classificação dos Solos Analisados	75
Quadro 9 – Limites de Consistência dos Pontos de Estudo.....	76
Quadro 10 – Índices Físicos antes do Ensaio (Indeformado) – Ponto 1	77
Quadro 11 – Índices Físicos antes do Ensaio (Indeformado) – Ponto 2	77
Quadro 12 – Índices Físicos antes do Ensaio (Indeformado) – Ponto 3	78
Quadro 13 – Índices Físicos antes do Ensaio (Remoldado) – Ponto 1	78
Quadro 14 – Índices Físicos antes do Ensaio (Remoldado) – Ponto 2	78
Quadro 15 – Índices Físicos antes do Ensaio (Remoldado) – Ponto 3	79
Quadro 16 – Parâmetros de Erodibilidade (Campo) – Ponto 1	90
Quadro 17 – Parâmetros de Erodibilidade (Campo) – Ponto 2	91
Quadro 18 – Parâmetros de Erodibilidade (Campo) – Ponto 3	92
Quadro 19 - Parâmetros de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 1	95
Quadro 20 – Parâmetros de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 2.....	96
Quadro 21 – Parâmetros de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 3.....	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Critério de Erodibilidade.....	34
Gráfico 2 – Distribuição Granulométrica.....	75
Gráfico 3 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Indeformados – Ponto 1.....	81
Gráfico 4 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Indeformado) – Ponto 181	
Gráfico 5 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Indeformados – Ponto 2.....	82
Gráfico 6 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Indeformados) – Ponto 2	82
Gráfico 7 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Indeformados – Ponto 3.....	83
Gráfico 8 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Indeformados) – Ponto 3	83
Gráfico 9 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Remoldados – Ponto 1.....	84
Gráfico 10 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Remoldado) – Ponto 1	85
Gráfico 11 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Remoldados – Ponto 2.....	86
Gráfico 12 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Remoldado) – Ponto 2	86
Gráfico 13 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Remoldados – Ponto 3.....	87
Gráfico 14 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Remoldado) – Ponto 3	87
Gráfico 15 – Comparativo da Infiltrabilidade entre os Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 1.....	88
Gráfico 16 – Comparativo da Infiltrabilidade entre os Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 2.....	88
Gráfico 17 – Comparativo da Infiltrabilidade entre os Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 3.....	89
Gráfico 18 – Critério de Erodibilidade (Campo) – Ponto 1.....	91
Gráfico 19 – Critério de Erodibilidade (Campo) – Ponto 2.....	92
Gráfico 20 – Critério de Erodibilidade (Campo) – Ponto 3.....	93
Gráfico 21 – Relação entre a Perda de Massa e Sorção pelo Índice de Vazios (Campo).....	93
Gráfico 22 – Relação entre a Sorção e a Variação do Grau de Saturação (Campo)	94
Gráfico 23 – Critério de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 1.....	95

Gráfico 24 – Critério de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 2.....	96
Gráfico 25 – Critério de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 3.....	97
Gráfico 26 – Comparativo de Sorção e P_i/s entre Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 1	97
Gráfico 27 – Comparativo de Sorção e P_i/s entre Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 2.....	98
Gráfico 28 – Comparativo de Sorção e P_i/s entre Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 3.....	99
Gráfico 29 – Relação entre a Perda de Massa e Sorção pelo Índice de Vazios (Remoldado).....	100
Gráfico 30 – Relação entre a Sorção e a Variação do Grau de Saturação (Remoldado).....	101

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANA	Agência Nacional de Águas;
AASTHO	American Association of State Highway and Transportation Officials;
CLA	Classificação;
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem;
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte;
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
HRB	Highway Research Board;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IP	Índice de Plasticidade;
LL	Limite de Liquidez;
LP	Limite de Plasticidade;
MCT	Miniatura de Compactação Tropical;
ME	Método de Ensaio;
PMJ	Prefeitura Municipal de Joinville;
NBR	Norma Brasileira;
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos;
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos.

LISTA DE SÍMBOLOS

A	altura da amostra [cm];
A'	área da seção da amostra [cm ²];
a	porcentagem de material passante na peneira de 0,075 mm menos 35; se a porcentagem for superior a 75, anota-se 75 e, se é menor que 35, anota-se 0;
b	porcentagem de material passante na peneira de 0,075 mm menos 15; se a porcentagem for superior que 55, anota-se 55 e, se menor que 15, anota-se 0;
c	valor do limite de liquidez, menos 40; se o limite for maior que 60% anota-se 60 e, se menor que 40, escreve-se 0;
d	valor do índice de plasticidade, menos 10; se o índice for maior que 30%, anota-se 30 e, se menor que 10, anota-se 0;
Δw	variação de umidades higroscópicas [%];
D_t	densidade real do solo à temperatura t;
D_{20}	densidade real do solo à 20°C;
e	índice de vazios;
F	porcentagem de solo passante na peneira 200 (0,075 mm);
γ_D	peso específico aparente seco [g/cm ³];
γ_s	peso específico das partículas sólidas [g/cm ³];
γ_{SAT}	peso específico saturado [g/cm ³];
γ_{SUB}	peso específico submerso [g/cm ³];
γ_N	peso específico aparente natural [g/cm ³];
γ_w	peso específico da água [g/cm ³];
k_{20}	razão entre a densidade relativa da água à temperatura (t) e a densidade relativa da água a 20°C;
La	leitura inicial no tubo capilar [cm];
Lb	leitura final no tubo capilar [cm];
Md	massa de solo seco da porção desprendida do corpo de prova [g];
Mg	massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm [g];
Ms	massa de solo seco em estufa [g];
η	porosidade [%];
Pi	perda de massa por imersão [%];

P₁	peso do picnômetro vazio e seco [g];
P₂	peso do picnômetro mais amostra [g];
P₃	peso do picnômetro mais amostra e água [g];
P₄	peso do picnômetro mais água [g];
s	coeficiente de sorção [cm/min ^{1/2}];
S	área da seção do tubo capilar [cm];
S'	absorção de água, em porcentagem da massa de material seco;
S_R	grau de saturação [%];
t_a	tempo inicial das leituras [min];
t_b	tempo final das leituras [min];
V_s	volume das partículas sólidas [cm ³];
V_T	volume do solo [cm ³];
V_v	volume de vazios [cm ³];
w	umidade higroscópica [%];
W_{atual}	umidade higroscópica após secagem [%].
W_{sw}	peso de solo úmido [g];
W_s	peso das partículas sólidas [g];
W_{sd}	peso de solo seco [g];
W_{cap}	peso da cápsula utilizada [g].
W_{nat}	umidade higroscópica de campo [%];
W_T	peso total do solo [g];

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 SOLOS.....	20
2.1.1 Solos Residuais.....	21
2.1.2 Índices Físicos.....	22
2.2 PROCESSOS EROSIVOS.....	23
2.2.1 Fatores Influenciadores da Erosão.....	23
2.2.1.1 Clima.....	24
2.2.1.2 Vegetação.....	24
2.2.1.3 Natureza do Solo	24
2.2.1.4 Ação Antrópica.....	25
2.2.1.5 Topografia.....	25
2.2.2 Mecanismos dos Processos Erosivos	26
2.2.2.1 Erosão Hídrica	27
2.2.2.2 Erosão Hídrica Pluvial.....	28
2.2.2.3 Erosão Hídrica Fluvial	29
2.3 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EROSIVO DE SOLOS.....	30
2.3.1 Erodibilidade.....	30
2.3.2 Métodos para Avaliação de Erodibilidade	31
2.3.2.1 Miniatura de Compactação Tropical (MTC)	32
2.3.2.2 Estudos Anteriores.....	34
2.4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLOS.....	37
2.4.1 SUCS	38
2.4.2 ASSHTO.....	41
2.4.3 HRB.....	42
3 ÁREA DE ESTUDO	43
3.1 ASPECTOS GERAIS DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE	43
3.1.1 Geologia	44
3.1.2 Pedologia	47

3.1.3	Vegetação	50
3.1.4	Clima	50
3.1.5	Relevo	50
3.2	PONTOS DE ESTUDO	50
3.2.1	Localização e Contextualização das Regiões das Elevações	50
3.2.2	Geologia do Local.....	54
3.2.3	Pedologia do Local	55
4	METODOLOGIA.....	57
4.1	ETAPA DE PESQUISA.....	58
4.2	ETAPA DE CAMPO	58
4.3	ETAPA DE LABORATÓRIO	59
4.3.1	Preparação das Amostras para Ensaios de Caracterização Física.....	60
4.3.1.1	Densidade Real dos Grãos	64
4.3.1.2	Granulometria	66
4.3.1.3	Limites de Atterberg.....	67
6.3.1.3.1	Limites de Liquidez.....	68
6.3.1.3.2	Limites de Plasticidade.....	69
4.3.2	Ensaios da Metodologia MCT	70
4.3.2.1	Ensaio de Perda de Massa Modificado.....	70
4.3.2.2	Ensaio de Infiltrabilidade	72
5	RESULTADOS	74
5.1	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	74
5.1.1	Densidade Real dos Grãos	74
5.1.2	Granulometria.....	74
5.1.3	Limites de Atterberg	75
5.2	ÍNDICES FÍSICOS	76
5.2.1	Solos Indeformados.....	77
5.2.2	Remoldados	78
5.3	ENSAIOS DA METODOLOGIA MCT.....	79
5.3.1	Infiltrabilidade	79
5.3.1.1	Solos Indeformados	80
5.3.1.2	Remoldados.....	84
5.3.2	Perda de Massa por Imersão e Potencial Erosivo.....	90
5.3.2.1	Solos Indeformados	90

5.3.2.2 Remoldados.....	94
6 CONCLUSÕES.....	102
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	103
REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

Erosão é um processo de degradação de materiais, especialmente do solo, que ocorre devido à ação de diversos agentes, como por exemplo hídricos e eólicos. Processos erosivos são fenômenos que ocorrem devido à ação humana ou naturalmente, tendo, como exemplo, a formação do relevo. A erosão antrópica está diretamente ligada à urbanização acelerada e ao aumento populacional desordenado, com isso ocorrendo um crescimento na demanda por novas áreas residenciais, destinadas à exploração de recursos naturais, áreas de uso industrial, entre outras (BIGARELLA, 2003).

De forma condicionante aos processos erosivos, a erodibilidade é definida como a susceptibilidade de um solo à ação erosiva atuante sobre ele. Uma das maneiras de analisar a erodibilidade dos solos é se considerar a influência qualitativa das principais características dos solos à ação erosiva (NOGAMI E VILLIBOR, 1995).

Os impactos causados pelos processos erosivos abrangem áreas de grande importância social e econômica, afetando também estradas, fato este que influencia diretamente no escoamento da produção, diminuição da produtividade, bloqueio de vias de acesso, assim como isolamento de comunidades afastadas.

Em muitos dos casos não há fiscalização ou estudo dos locais a serem utilizados para empreendimentos ou residências, sendo que os que existem são realizados de forma displicente. Dentre os estudos prévios a serem executados, o mais relevante, quando se refere à engenharia, diz respeito à análise das condições mecânicas e físicas do solo, entre as quais se podem mencionar os ensaios de caracterização física e de comportamento mecânico.

Com o intuito de analisar o potencial erosivo de solos residuais, decorrente da ação de processos hidrológicos, escolheu-se o município de Joinville, localizado na região norte do estado de Santa Catarina. Esta escolha se deu com base na significativa ocupação de áreas em solos residuais em associação aos elevados índices pluviométricos. Como a cidade tem uma ampla rede de drenagem e sofre com cheias, o assoreamento dos rios e sistemas de drenagem são críticos.

Neste contexto foram determinados pontos de estudo na área urbana do município, mais especificamente na zona norte da cidade, nos quais foram efetuadas coletas de amostras indeformadas de solos residuais.

Estas amostras foram ensaiadas seguindo a metodologia de ensaio Miniatura Compactada Tropical (MCT) – que reúne uma série de ensaios, como por exemplo os de perda de massa por imersão e infiltrabilidade – com o objetivo de promover uma comparação dos valores fornecidos por Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992).

1.1 OBJETIVOS

Delimitaram-se os seguintes objetivos, que estão subdivididos em dois grupos, geral e específico.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar e avaliar o potencial erosivo dos solos residuais no município de Joinville, Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Selecionar os pontos e realizar as coletas de amostras indeformadas de solos no Morro no Finder;
- b) Realizar a caracterização física e a determinação da erodibilidade dos materiais coletados;
- c) Verificar a suscetibilidade à erosão dos solos da região em estudo;
- d) Avaliar o grau de erodibilidade dos solos segundo a metodologia Miniatura de Compactação Tropical (MCT).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

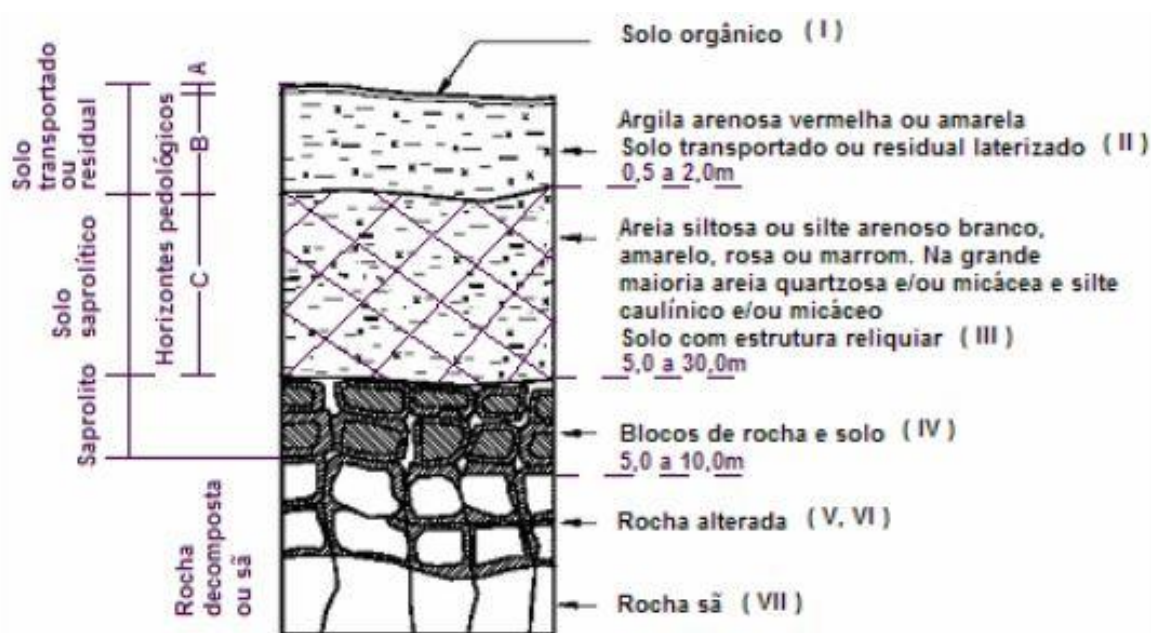
2.1 SOLOS

Segundo Caputo (1988, p.14) solos são materiais resultantes de processos de meteorização ou intemperismo das rochas, assim como desintegração mecânica ou decomposição química. A desintegração mecânica é causada pelo vento, vegetação, temperatura ou água, sendo esta o principal agente da decomposição química.

Assim pode-se afirmar que a formação dos solos é função dos diferentes agentes e da *rocha-mater* (rocha mãe), sendo que aos solos que mantêm a macroestrutura herdada de sua rocha de origem são nomeados de saprolíticos.

Caputo (1988) afirma que o perfil de alteração de solo corresponde às feições que o solo apresenta após sofrer processos de intemperismo, sendo eles químicos ou mecânicos. O perfil pode ser dividido em horizontes ou em zonas do solo, neste caso sete zonas de intemperismo, conforme Figura 1:

Figura 1 – Perfil de Solo



Fonte: Perfis... (2017)

A denominação das zonas é demonstrada nos tópicos abaixo:

- Zona I: solo orgânico, muitas vezes chamado de húmus, também classificada como horizonte A;
- Zona II: solo transportado ou residual, também chamada de horizonte B;
- Zona III: solo saprolítico, também classificada como horizonte C;
- Zona IV: rocha altamente alterada, possuindo grande parte do seu volume em solo, apresentando alta degradação da rocha de origem, também conhecido como horizonte D;
- Zona V: rocha moderadamente alterada, ainda possuindo grande parte da rocha intacta, porém apresenta maior degradação que a zona 6, também chamada como horizonte E;
- Zona VI: rocha levemente alterada, possuindo muito mais rocha do que solo em seu em torno, também conhecido como horizonte F;
- Zona VII: rocha sã, também classificada como horizonte R.

2.1.1 Solos Residuais

Segundo Fonseca (2009) solos residuais, particularmente de rochas ígneas, são formados por rochas alteradas em graus variados cobertas por uma camada de massas com expressões variáveis. De fato, processos de alteração reduzem a rocha sã a solos que podem possuir granulometria diversas (de siltes a cascalho), ponde ser graduadas ou concentradas.

Com o progresso desta meteorização, as tensões são aliviadas pela perda de peso sobrejacente acelerando a esfoliação, enquanto que os processos de umedecimento e secagem potencializam esta criação de vazios. Estes processos aumentam a área de rocha exposta à alteração química, aprofundando ainda mais os perfis de alteração (FONSECA, 2009).

2.1.2 Índices Físicos

Os índices físicos desempenham um importante papel no estudo das propriedades dos solos, uma vez que estas dependem dos seus constituintes e das proporções relativas entre eles (CAPUTO, 1988).

Para a determinação dos índices físicos de um solo, necessita-se conhecer, para um determinado corpo de prova, seu peso, quantidade de água e quantidade de parcelas sólidas onde, através de correlações destes com demais propriedades, pode-se determinar os seguintes parâmetros:

- Peso das Partículas Sólidas:

$$W_S = \frac{W_T}{1+w} \quad (1)$$

- Volume das Partículas Sólidas:

$$V_S = \gamma_S \times W_S \quad (2)$$

- Peso Específico Aparente Natural:

$$\gamma_N = \frac{W_{SW}}{V_t} \quad (3)$$

- Peso Específico Aparente Seco:

$$\gamma_D = \frac{\gamma_N}{1+w} \quad (4)$$

- Índice de Vazios:

$$e = \frac{\gamma_S}{\gamma_D} - 1 \quad (5)$$

- Porosidade:

$$\eta = \frac{e}{1+e} \quad (6)$$

- Grau de Saturação:

$$S_R = \frac{\gamma_S + w}{(e \times \gamma_W)} \quad (7)$$

- Peso Específico Saturado:

$$\gamma_{SAT} = \frac{W_S + (V_V \times \gamma_W)}{V_T} \quad (8)$$

- Peso Específico Submerso:

$$\gamma_{SUB} = \gamma_{SAT} + \gamma_W \quad (9)$$

2.2 PROCESSOS EROSIVOS

Ao desgaste da superfície do terreno, com a retirada e o transporte dos grãos minerais pela ação da água corrente, vento, gelo ou outros agentes geológicos, dá-se a denominação de erosão. Os processos erosivos ocorrem, resumidamente, em três etapas: destacamento (desprendimento), transporte e deposição das partículas do solo (BIGARELLA, 2003).

Heidemann (2008), afirma que o rápido crescimento dos centros urbanos, associado ao planejamento falho ou inexistente é um grande causador dos problemas relacionados a processos erosivos corriqueiros no Brasil. Neste contexto as áreas que possuem maior suscetibilidade à erosão localizam-se em elevações, em que a remoção da cobertura vegetal e movimentação dos solos afetam negativamente a coesão e a infiltrabilidade dos mesmos, promovendo um aumento na porcentagem de escoamento superficial nestes locais.

A erosão implica na relação de fragmentação mecânica e decomposição química das rochas, bem como na remoção superficial e subsuperficial dos produtos do intemperismo (BIGARELLA, 2003).

As consequências dessa combinação tendem a ser desastrosas, não só ao meio ambiente mas também à população e às construções. Algumas soluções são indicadas na melhoria deste cenário, onde na região Sul do País pode-se citar pesquisadores como Bastos (1999), Higashi (2004), Avila (2009), Grandó et al (2009) e Basso (2013).

2.2.1 Fatores Influenciadores da Erosão

A suscetibilidade dos solos à erosão ou à erodibilidade depende de muitos fatores, sendo que a maioria se apresenta altamente inter-relacionados. Os principais fatores que propiciam à erosão são: estrutura, estratificação, permeabilidade, teor de umidade, textura, composição, declividade do terreno, tipo e extensão da cobertura (PIRES, 2009).

2.2.1.1 Clima

Segundo Carvalho (2009) o clima é um fator determinante quando se refere aos processos erosivos, já que o volume precipitado e sua duração estão diretamente ligados ao local de ocorrência. Em locais cujo clima possui maior propensão a chuvas intensas, haverá também uma maior possibilidade de ocorrer processos de erosão hídrica.

Diante do cenário atual devem-se considerar as mudanças climáticas, ocasionadas pelo dito efeito estufa, que proporciona a elevação da temperatura do planeta. O ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação. Com o aquecimento global da atmosfera, esperam-se, entre outras consequências, mudanças nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade da precipitação), o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios, quer negativamente, quer positivamente. Em resumo: além de alterações nas disponibilidades médias, os eventos hidrológicos críticos, secas e enchentes, poderão tornar-se mais frequentes. (ANA, 2016)

2.2.1.2 Vegetação

A cobertura vegetal protege o solo contra a erosão pluvial, aumentando a evapotranspiração e a infiltração, diminuindo o escoamento. Parte da água da chuva não chega ao solo, sendo interceptada pela folhagem e evapora diretamente. Outra parte escoia pelos ramos e troncos lentamente, indo ao solo para se infiltrar (GOMES, 2001).

De acordo com Abreu (2008) as principais modificações climáticas causadas pela ausência de vegetação são: maior incidência de radiação solar direta, aumento da temperatura do ar, redução da umidade, modificação da direção dos ventos, alteração dos ciclos de precipitação.

2.2.1.3 Natureza do Solo

A natureza do solo é um dos fatores que exerce maior influência sobre a quantidade e qualidade do material erodido. Essa influência depende das

características físicas (permeabilidade), morfológicas (textura e estrutura) e químico-mineralógicas (natureza dos componentes) (MENDES, 1984).

Segundo Pires (2009) os solos que possuem maior susceptibilidade à evolução dos processos erosivos são os do tipo arenoso, secos e ácidos, em sua maioria de cores claras e pertencentes aos horizontes mais superficiais.

2.2.1.4 Ação Antrópica

De acordo com Faria (2003) a ação antrópica é um fator decisivo na aceleração dos processos erosivos, devido ao desmatamento sem controle, o cultivo inadequado de terras, implantação de estradas sem estudos adequados e aumento desenfreado de cidades.

É sabido que a cobertura vegetal compacta – caso de floresta – protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva. Há, portanto, menos erosão num solo florestado. Todavia, desde que a floresta é retirada para utilização do solo em atividades agrícolas ou para obras de engenharia (estradas de ferro e de rodagem, campos de aviação etc.) tem que estar presente, sempre, as limitações do uso do solo em face aos graus de susceptibilidade à erosão. (MENDES, 1984)

Áreas de encostas cujos solos sofreram e sofrem por ações antrópicas apresentam riscos de erosão do solo. Tal risco varia de acordo com os níveis de instabilidade ambiental e o grau de erodibilidade do solo. O rápido processo de erosão do solo pode ser ampliado por um conjunto de fatores (chuva, escoamento, solo, encosta, cobertura vegetal e práticas conservacionistas) (FARIA, 2003).

2.2.1.5 Topografia

A erosão ocorre tanto em terrenos levemente ondulados, como em terrenos com topografia acidentada. Os locais que apresentam maior densidade de drenagem, devido à quantidade de talwegues, sulcos e valetas sofrem maior influência da velocidade na formação e evolução da erosão (PIRES, 2009).

Segundo Bertoni (1959) a topografia possui grande influência nas perdas de solo por erosão, especialmente quando se refere à relação entre o grau de declive e o comprimento da rampa. O grau de declive tem grande importância devido à influência que exerce no volume e velocidade das enxurradas. Quanto maior o declive

existente no local, maior será a velocidade do escoamento, conseqüentemente haverá menor infiltração de água na porção de solo atingida, resultando assim em um maior volume de enxurrada.

2.2.2 Mecanismos dos Processos Erosivos

Os mecanismos dos processos erosivos, ou seja, aos agentes causadores de erosão podem ser divididos em duas categorias: aqueles que atuam de forma ativa ou direta e aqueles que se manifestam de maneira indireta ou passiva (Quadro 1).

Quadro 1 – Tipos de Agentes Erosivos

Categoria	Agente Erosivo	Danos
Ativo	Água	Causadora de erosão fluvial e pluvial, sendo esta última agravada em períodos de precipitação intensa e curta duração.
	Temperatura	Causa, devido à oscilação de temperatura, dilatação e contração no solo provocando seu enfraquecimento.
	Vento	Transporta as partículas de menores dimensões, não há escoamento.
	Microrganismos	Promovem o intemperismo de rochas e minerais.
	Antrópica	Ações humanas, relacionadas ao uso inadequado do solo (desmatamentos, queimadas, agropecuária etc.), aumento da população e a ocupação territorial.
Passivo	Topografia	Características do solo como declividade, comprimento dos taludes e rugosidade de sua superfície.
	Gravidade	Favorecida pela inclinação da superfície.
	Solo	Conforme o tipo de solo altera-se a textura e a estrutura, influenciando em sua permeabilidade.

continua

continuação

Passivo	Cobertura Vegetal	Quando existente auxilia na proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva, aumentando sua infiltrabilidade, diminuindo assim o escoamento superficial.
	Formações Superficiais	Estruturas mais acentuadas (elevadas), sendo mais passíveis a erosão superficial.

Fonte: Adaptado de GOMES (2001)

2.2.2.1 Erosão Hídrica

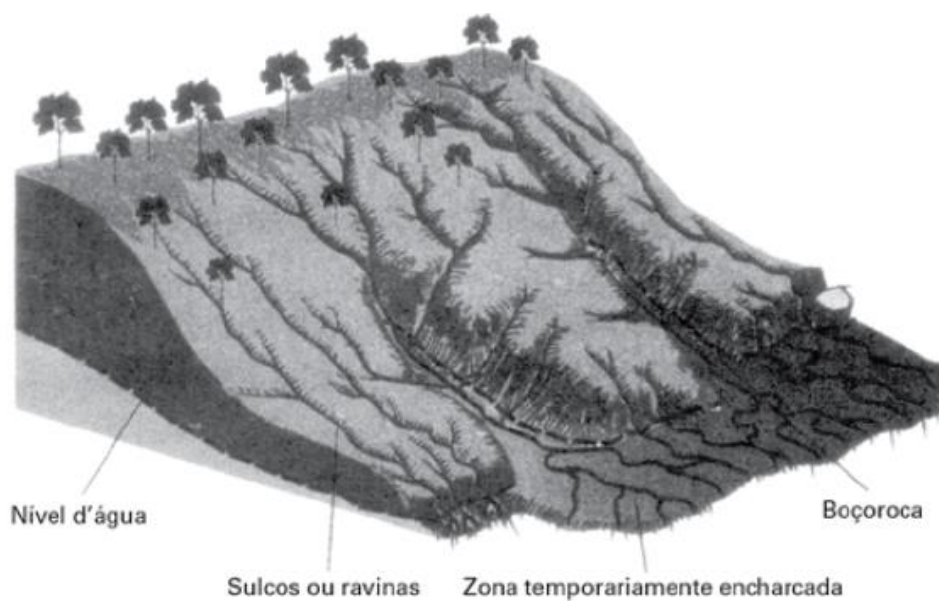
Erosão hídrica (Figura 2) é aquela, cujo agente desagregador é a água, podendo existir devido à ocorrência de chuvas, erosão pluvial, ou estar relacionado com as correntezas dos cursos d'água, chamada de erosão fluvial. Segundo Magalhães (2001) os processos erosivos provenientes das chuvas podem causar muitos danos, em especial deslizamentos de encostas, enquanto os originados nos rios podem ocasionar o assoreamento dos mesmos.

A erosão hídrica manifesta-se, de modo geral, de três formas: erosão laminar, ravinamentos e voçorocas (sulcos). Erosão laminar caracteriza-se pelo desgaste e transporte, das partículas de solo, de forma suave e uniforme na área sujeita a ação do agente. Na fase de desprendimento, as primeiras porções a se destacarem são as partículas de matéria orgânica e argila. Sendo essas parcelas do solo que possuem as maiores quantidades de nutrientes, com o destacamento pode ocorrer à diminuição do potencial de cultivo das terras e econômico (MAGALHÃES, 2001).

Já a erosão em sulcos, de acordo com Lepsch (2010, p.194), é proveniente de irregularidades nas camadas de solo, devido ao elevado fluxo das águas em determinados locais. Conforme a ocorrência de chuvas e caso não sejam efetuados controles os sulcos tendem a aprofundar-se, tornando-se um caminho preferencial para o escoamento das chuvas, podendo se agravar para voçorocas.

Voçorocas (Figura 3), também chamadas de boçorocas, são causadas pela concentração de escoamento em regiões já afetadas pela erosão. Segundo Gomes (2001) é uma forma de erosão semelhante a que forma sulcos ou ravinas, porém neste caso formam-se crateras, atingindo maiores profundidades quando comparada com os demais tipos de erosão.

Figura 2 – Esquematização dos Tipos de Erosão



Fonte: Geografia Hoje (2012)

Figura 3 – Voçoroca com profundidade atingindo o horizonte C



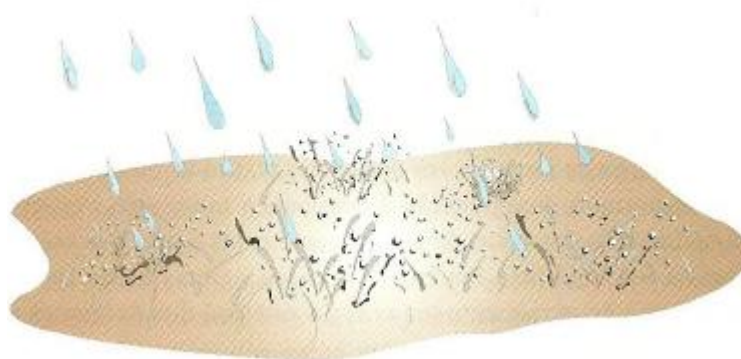
Fonte: LEPSCH (2010)

2.2.2.2 Erosão Hídrica Pluvial

Erosão hídrica pluvial (Figura 4) é aquela causada pela precipitação, quando o efeito *splash* (erosão por salpicamento) faz com que haja a desagregação das partículas do solo, em que a erosão pluvial ocorre pelo transporte através do

escoamento superficial. A ruptura ocorre devido à energia cinética dos pingos (gotas) de chuva. Há também o preenchimento dos vazios entre os grãos por água, nas camadas mais superficiais, fazendo com que haja a saturação. (MAGALHÃES, 2001).

Figura 4 – Efeito *splash*



Fonte: LEPSCH (2010)

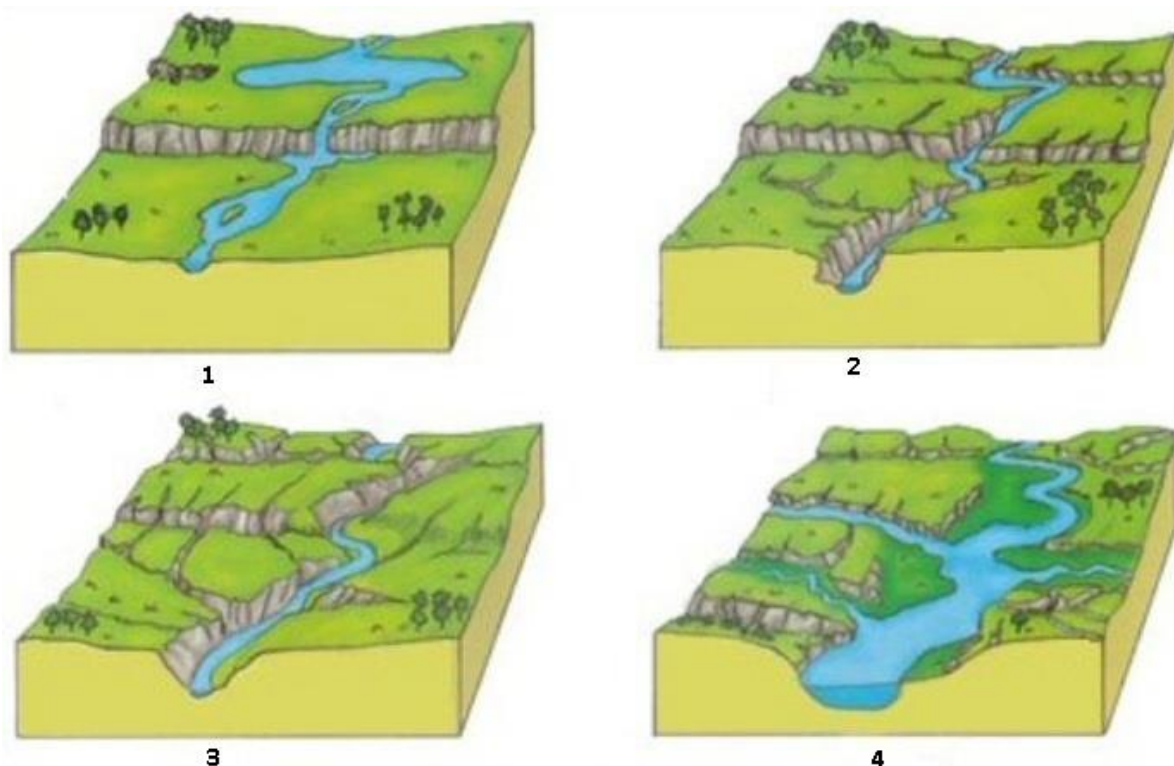
A maior ou menor resistência dos solos à ação desagregadora das chuvas resulta de sua composição, principalmente no que diz respeito ao teor de matéria orgânica, aliada a outros atributos, como granulometria, densidade aparente e porosidade. Dependendo da combinação desses atributos, o solo poderá facilitar ou dificultar o trabalho da chuva como agente desagregador, revelando sua erodibilidade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993).

2.2.2.3 Erosão Hídrica Fluvial

Dá-se o nome de erosão hídrica fluvial (Figura 5) ao processo erosivo que ocorre de forma contínua e natural pela ação das correntes dos cursos d'água que pode causar o aprofundamento, alagamento e assoreamento dos leitos dos rios.

No Brasil, localizado em grande parte na região tropical, a erosão hídrica apresenta maior interesse por ser de ocorrência mais frequente, processa-se com maior rapidez e causa grandes prejuízos não só ao setor agrícola, como também a diversas outras atividades econômicas e ao próprio meio ambiente (PEREIRA et al., 2003).

Figura 5 – Erosão Fluvial



Fonte: Evolução de uma Bacia (2017)

2.3 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL EROSIVO DE SOLOS

2.3.1 Erodibilidade

Segundo Bastos (1999) a erodibilidade é uma propriedade dos solos, condicionante dos processos erosivos, que pode ser definida como a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas de um ponto a outro pela ação de um agente erosivo, que pode ser a água, o gelo, o vento ou a gravidade. Assim se trata de um fator de grande complexidade, pois é função de um grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos.

A erodibilidade de um solo é diretamente proporcional à ocorrência de erosão do mesmo, isto é, quanto maior seu valor mais passível à erosão. A erodibilidade relacionada com a chuva e o vento é uma medida direta em ambas devido às propriedades físicas do solo ou da rocha, e de difícil quantificação (GOMES, 2001).

A propensão de um solo sofrer com a erosão está ligada, além de muitos fatores, a granulometria, ou seja, ao tamanho das partículas de solo (Quadro 2).

Quadro 2 – Susceptibilidade dos Solos a Erosão

Símbolo	Descrição do Solo	Erodibilidade
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia, bem graduados, com poucos ou sem finos.	MENOS ERODÍVEL
GP	Pedregulhos e mistura de pedregulho e areia, mal graduados, com poucos ou sem finos.	
SW	Areias e areias pedregulhosas, bem graduadas, com poucos ou sem finos.	
	Cascalho siltoso, misturas de cascalho, areia e silte.	
GM	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada.	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas.	
CL	Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa.	
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos.	
SC	Areias argilosas, mistura de areia e argila.	
SM	Areias siltosas, misturas de areia e silte.	
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, e siltes argilosos pouco plásticos.	MAIS ERODÍVEL

Fonte: Adaptado de GOMES (2001)

2.3.2 Métodos para Avaliação de Erodibilidade

Na década de 1970 intensificou-se pesquisas a respeito de testes realizados em laboratório que tinham como finalidade simular a ação dos agentes erosivos (HIGASHI, 2011). Estes ensaios permitem averiguar as alterações sofridas pelo solo, como plasticidade, permeabilidade, entre outras.

Devido ao grande número de ensaios, torna-se inviável a realização de todos os existentes. Com o objetivo de estabelecer o mapeamento geotécnico da região em estudo, optou-se por utilizar os ensaios de Critério de Erodibilidade MCT (NOGAMI; VILLIBOR, 1979), associado a algumas modificações no procedimentos, com resultados que permitem a análise indireta do potencial erosivo.

2.3.2.1 Miniatura de Compactação Tropical (MTC)

A Miniatura Compactada Tropical (MCT) é baseada na determinação das propriedades de solos tropicais (principalmente lateríticos e saprolíticos), em moldes com 50 mm de diâmetro (dimensões reduzidas) e em casos especiais 26 mm de diâmetro.

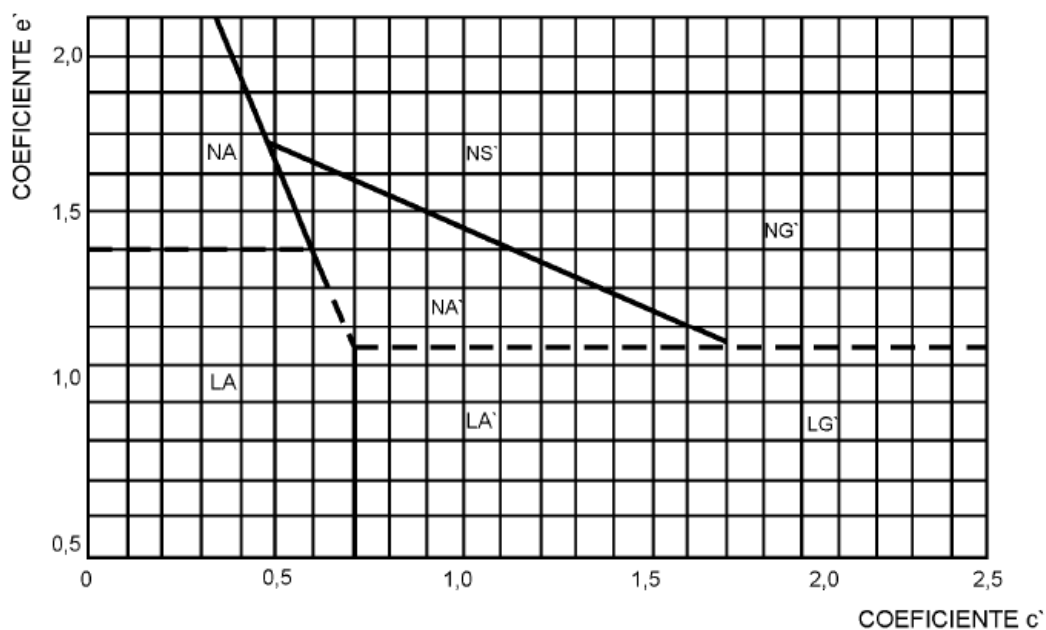
De acordo com o DNIT (2006), a metodologia de compactação tropical possibilita avaliar propriedades dos solos relacionadas à contração, expansão, permeabilidade, coesão, coeficiente de penetração da água, curvas de compactação e capacidade de suporte.

Segundo Nogami e Villibor (1979), a classificação MCT supre as lacunas deixadas pelas classificações geotécnicas tradicionais e pela isolada associação de pedologia e geologia na previsão do comportamento dos solos tropicais frente à erosão.

O princípio geral que norteia a metodologia MCT é de que para uma menor utilização de solos compactados, principalmente para obras rodoviárias (que envolvem grande variação de solos) há necessidade de determinar, de forma rápida, suas propriedades mecânicas e hidráulicas, em corpos de prova devidamente compactados.

A metodologia MCT permite retratar as peculiaridades dos solos quanto ao comportamento laterítico ou saprolítico, quantificando propriedades importantes para uso em serviços rodoviários. Considera duas classes distintas de solos, ou seja, de comportamento laterítico (L) e de comportamento não laterítico (N) e sete subclasses correspondentes, conforme Figuras 6 e 7 (DNIT, 2006).

Figura 6 – Ábaco para Classificação MCT



N - Solos de comportamento não laterítico

A - areias

L - Solos de comportamento laterítico

A' - arenosos

S' - siltosos

G' - argilosos

Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

Figura 7 – Classificação MCT

CLASSES			N - SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"				L - SOLOS DE COMPORTAMENTO "LATERÍTICO"		
GRUPOS			NA AREIAS	NA' AREIAS	NS' SILTOSOS	NG' ARGILOSOS	LA AREIAS	LA' ARENOSOS	LG' ARGILOSOS
GRANULOMETRIA TÍPICA (MINERAIS)			Areias, areias siltosas e siltes (quartzo)	Areias siltosas e argilosas	Silte (mica e caulinita), siltes arenosos e argilosos	Argilas, argilas arenosas e siltosas	Areias com pouca argila	Areias argilosas e arenosas	Argilas e argilas arenosas
CAPACIDADE DE SUPORTE	Sem imersão (%)	Muito alto >30	Alto a médio	Alto	Médio a alto	Alto	Alto	Alto a muito alto	Alto
		Alto 12-30							
	Média 4-12								
Perda de massa por imersão (%)	•	Alta >3	Média a baixa	Baixa	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
		Média 40-70							
		Baixa <40							
EXPANSÃO	•	Alta >3	Baixa	Baixa	Alta	Alta e média	Baixa	Baixa	Baixa
		Média 0,5-3							
CONTRAÇÃO	•	Alta >3	Baixa a média	Baixa a média	Média	Alta e média	Baixa	Baixa a média	Média a alta
		Média 0,5-3							
PERMEABILIDADE	•	Alta >(-3)	Média a alta	Baixa	Média a baixa	Baixa a média	Média a baixa	Baixa	Baixa
		Média (-3) a (-6)							
		Baixo <(-6)							
PLASTICIDADE	•	IP	Baixa a NP	Média a NP	Média a alta	Alta	NP a baixa	Baixa a média	Média a alta
		LL							
		>30 >70							
Média	07/30	30-70							
Baixo	<7	<30							

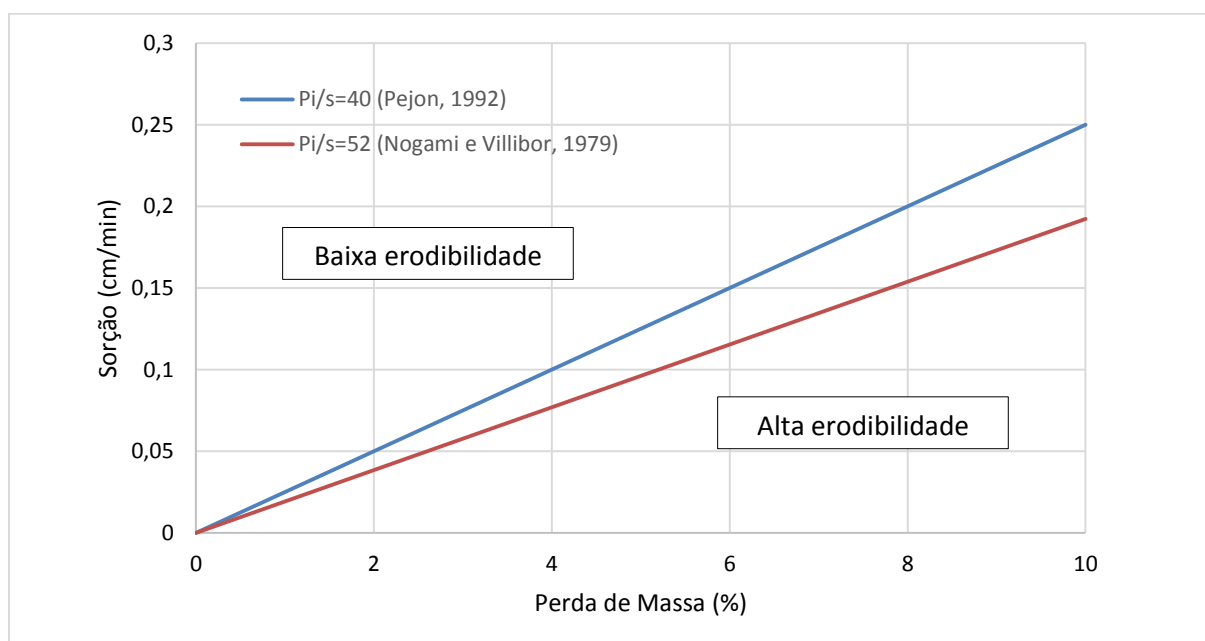
*Corpos de prova compactados na umidade ótima da energia "normal", sem fração retida na peneira 2mm de abertura

Fonte: Adaptado de Manual de Pavimentação (DNIT, 2006)

A realização dos ensaios da metodologia MCT possibilita aferir a susceptibilidade da ocorrência de erosão a partir dos dados de sorção, obtidos após análise dos resultados do ensaio de infiltrabilidade, e pelos valores de perda de massa, os quais representam as massas desprendidas do corpo depois deste ser imerso em água.

Com os valores de sorção e perda de massa é possível avaliar o potencial de erodibilidade do solo, podendo ser alto ou baixo. 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 (Gráfico 1) (SILVA, 2016).

Gráfico 1 – Critério de Erodibilidade



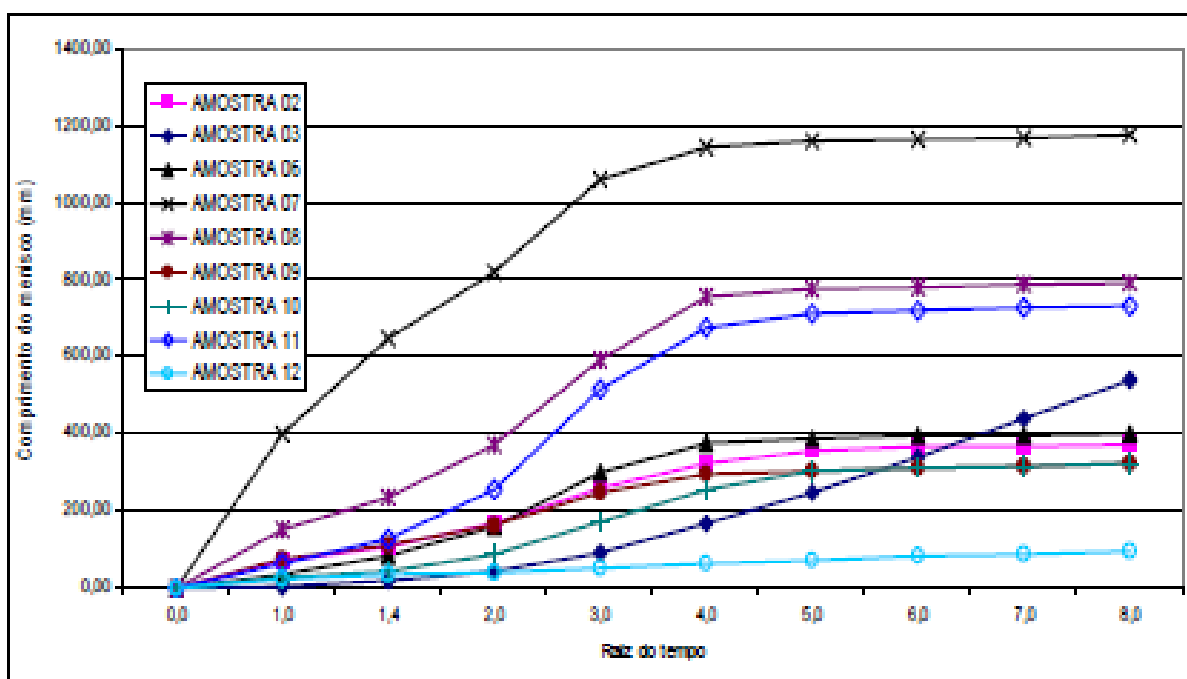
Fonte: Autora (2017)

2.3.2.2 Estudos Anteriores

Higashi e Dias (2004), Grando et al (2009) e Bastos (2000) realizaram pesquisas para avaliar o grau de erodibilidade do solos residuais de diversas localidades na região sul do Brasil.

O estudo de Higashi e Dias (2004) teve como objetivo principal avaliar o potencial erosivo de solos residuais de granito no município de Tubarão no estado de Santa Catarina. Os autores concluíram que todos os pontos apresentaram alta probabilidade de ocorrência de processos erosivos, ou seja, foram caracterizados como de alta erodibilidade diante dos resultados obtidos para os coeficientes de sorção de todos os pontos. A Figura 40 demonstra alguns dos valores obtidos pelos autores. O estudo também ressaltou a necessidade de que, para cada localidade a ser estudada, deve-se criar um critério de erodibilidade, devendo-se realizar maior número de ensaios com o intuito de corrigir, para cada região, os valores estipulados pela Metodologia MCT.

Figura 8 – Gráfico da Leitura do Menisco X Raiz do Tempo

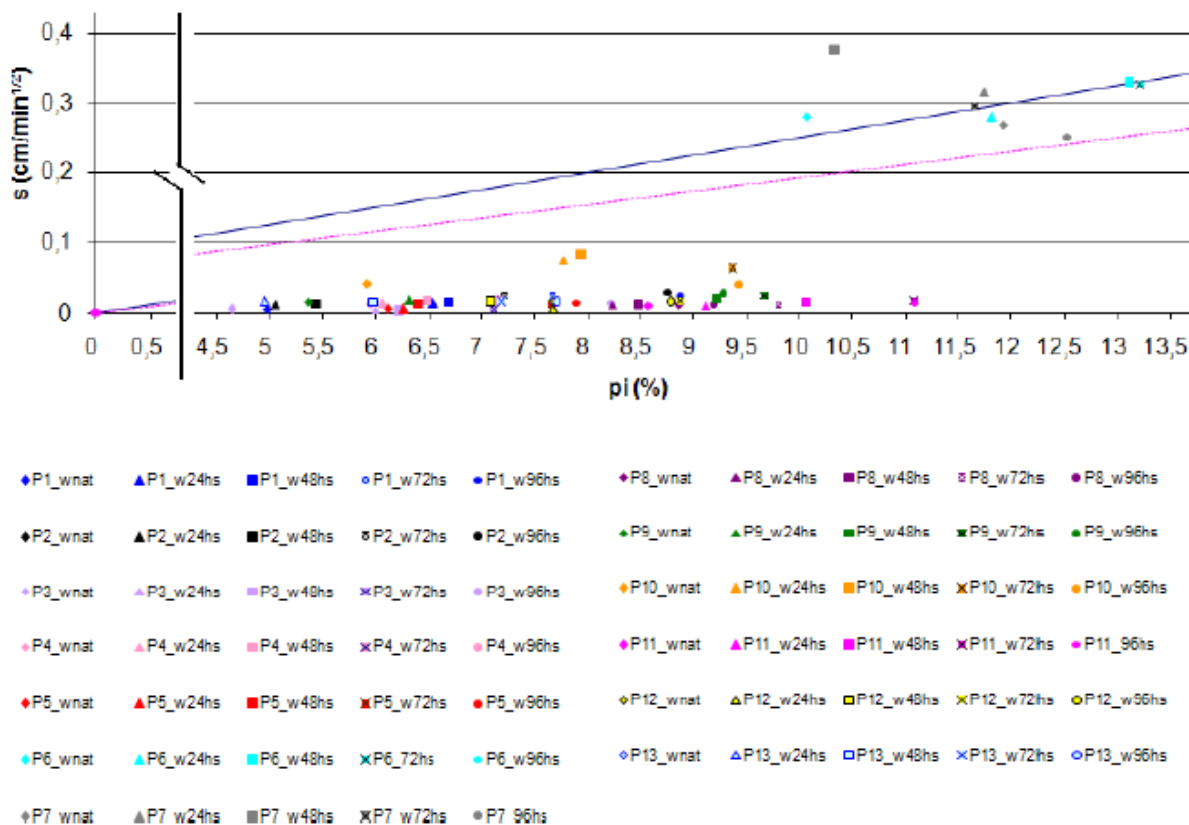


Fonte: Higashi e Dias (2004)

Posteriormente, Grando et al (2009) estudou a susceptibilidade à erosão dos solos do município de Rio Negrinho, onde encontram-se cambissolo háplico e nitossolo háplico. Por meio de ensaios laboratoriais observou-se que as características dos solos possuem grande influência na erodibilidade. O autor também concluiu que, apesar de terem sido coletadas em diferentes locais, as amostras extraídas apresentam significativa homogeneidade em seu comportamento frente à

erosão. Por fim, estabeleceu que as amostras analisadas, em sua maioria, indicaram alto grau de erodibilidade, com exceção de dois pontos, Figura 41.

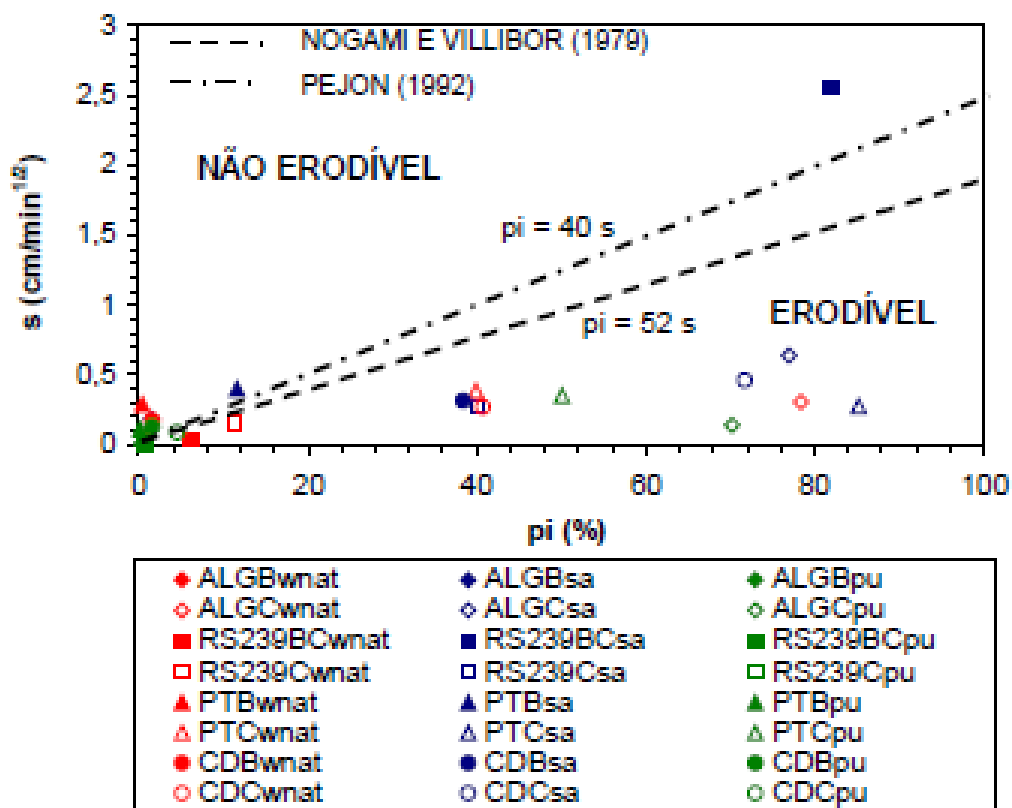
Figura 9 – Critérios de Erodibilidade – Grando et al (2009)



Fonte: Grando et al (2009)

Anteriormente a estes autores Bastos (2000) avaliou o potencial erosivo de solos residuais da cidade de Porto Alegre (Figura 42). Para tal, utilizou a Metodologia MCT, bem como Metodologia LNEC. Os resultados para os ensaios que compõe a metodologia MCT permitiram que a avaliação se apresentasse de acordo com o comportamento visto em campo concluindo que os solos classificados como NS' (solos de comportamento não lateríticos arenosos) foram considerados como de alta erodibilidade e os classificados como LG' (solos de comportamento laterítico argilosos) como de baixa erodibilidade.

Figura 10 – Critério de Erodibilidade – Bastos (2000)



Fonte: Bastos (2000)

2.4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLOS

Segundo Caputo (1988) existem diversos tipos de classificação dos solos entre elas podendo-se citar: o sistema unificado de classificação (SUCS), a Highway Research Board (HRB) e a American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO).

De acordo com Nogami e Villibor (1995), duas dessas classificações geotécnicas tem sido mais usadas em obras viárias: a HBR, também utilizada pela American Society for Testing and Materials (ASTM), e SUCS, baseada na proposta dada, em 1948, por Casagrande, também utilizada pela ASTM e por diversas instituições, geralmente com alterações.

Deve-se salientar, contudo, que estes sistemas de classificação foram desenvolvidos para classificar solos de países de clima temperado, não apresentando resultados satisfatórios quando utilizados na classificação de solos tropicais

(principalmente aqueles de natureza laterítica), cuja gênese é bastante diferenciada daquela dos solos para os quais estas classificações foram elaboradas. Por conta disto, e devido à grande ocorrência de solos lateríticos nas regiões Sul e Sudeste do país, recentemente foi elaborada uma classificação especialmente destinada à classificação de solos tropicais. Esta classificação, brasileira, denominada de Classificação MCT, começou a ser desenvolvida na década de 70, sendo apresentada oficialmente em 1980 por Nogami e Villibor (MACHADO, 1997).

2.4.1 SUCS

Este sistema de classificação foi originalmente desenvolvido pelo professor Arthur Casagrande (Casagrande, 1948) para uso na construção de aterros em aeroportos durante a Segunda Guerra Mundial, sendo modificada posteriormente para uso em barragens, fundações e outras construções. A ideia básica do Sistema Unificado de Classificação dos solos é que os solos grossos podem ser classificados de acordo com a sua curva granulométrica, ao passo que o comportamento de engenharia dos solos finos está intimamente relacionado com a sua plasticidade. Em outras palavras, os solos nos quais a fração fina não existe em quantidade suficiente para afetar o seu comportamento são classificados de acordo com a sua curva granulométrica, enquanto que os solos nos quais o comportamento de engenharia é controlado pelas suas frações finas (silte e argila), são classificados de acordo com as suas características de plasticidade (MACHADO, 1997).

Segundo Caputo (1988), de modo geral, os solos são classificados em três grandes grupos:

- Solos grossos: solos cujos diâmetros das partículas são, em maioria absoluta, maiores que 0,075 mm, sendo 50% do peso, dos grãos retidos na peneira número 200 (dimensões da malha com 0,075 mm);
- Solos finos: aqueles que possuem grãos de diâmetros, em maioria absoluta, menores que 0,075 mm;
- Turfas: solos altamente orgânicos, extremamente compressíveis e geralmente fibrilares.

No grupo de solos grossos encontram-se os pedregulhos, as areias e solos pedregulhosos ou arenosos que possuam pequenas quantidades de silte ou argila (materiais finos). Estes solos são designados como: GW, GC, GP e GM (pedregulhos

ou solos pedregulhosos); SW, SC, SP E SM (areias ou solos arenosos). As siglas representam os nomes dos tipos de solos em inglês, onde:

- G – gravel (pedregulho);
- S – sand (areia);
- C – clay (argila);
- W – well graded (bem graduado);
- P – poorly graded (mal graduado);
- M – mo, palavra sueca (silte).

Os solos grossos são separados em subgrupos dentre eles GW, SW, GP, SP, GM E SM. Os grupos GW e SW são, de acordo com Machado (1997), formados por solos bem graduados com poucos finos (siltes e argilas). Já os grupos GP e SP são compostos por solos mal graduados (curvas granulométricas uniformes ou abertas), possuindo no máximo 5% de partículas finas. São classificados como pertencentes aos subgrupos GM e SM os solos grossos nos quais existe uma quantidade de finos suficiente para afetar as suas propriedades de engenharia: resistência ao cisalhamento, deformabilidade e permeabilidade (MACHADO, 1997). Por fim são classificados como GC e SC os solos que atendam as características dos grupos GM e SM cuja fração fina represente mais de 12% do peso total do solo.

De acordo com Machado (1997) argilas e siltes são classificados como solos finos, onde sua classificação leva em consideração apenas os valores do limite de liquidez e plasticidade. Estes solos são divididos em CL, CH, ML, MH, OL E OH. Os solos classificados como argilas inorgânicas de baixa plasticidade são representantes do grupo CL e argilas inorgânicas de alta plasticidade do grupo CH. Já os solos pertencentes ao grupo de ML são compostos por siltes inorgânicos de baixa plasticidade e os do grupo MH por siltes inorgânicos de alta plasticidade. Finalmente os solos dos grupos OL e OH são compostos por matéria orgânica de baixa plasticidade e matéria orgânica de alta plasticidade (Quadro 3 e Figura 11).

Já os solos da terceira classificação, turfas (Pt), são altamente orgânicos, geralmente fibrilares e extremamente compressíveis. As turfas são solos que incorporam florestas soterradas em estágio avançado de decomposição. Na maioria dos solos turfosos os limites de consistência podem ser determinados após completo amolgamento do solo. O limite de liquidez destes solos varia entre 300 e 500%

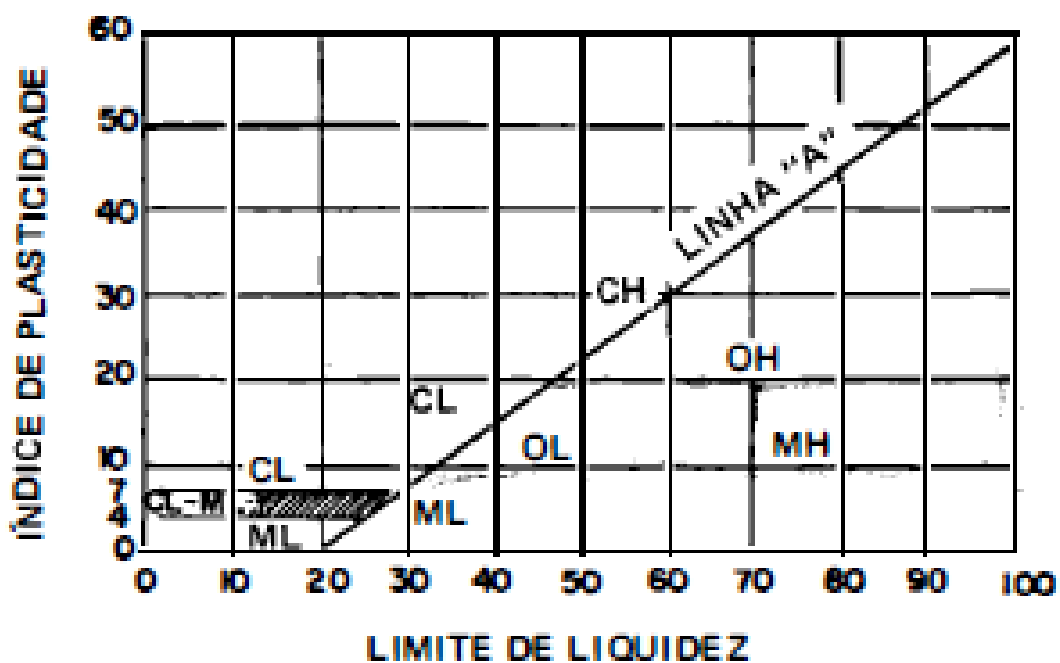
permanecendo a sua posição na carta de plasticidade notavelmente acima da linha A. O Índice de plasticidade destes solos normalmente se situa entre 100 e 200. (MACHADO, 1997)

Quadro 3 – Resumo do Sistema Unificado de Classificação dos Solos

Classificação Geral	Tipos Principais	Símbolos
SOLOS GROSSOS (menos que 50% passante na # 200)	Pedregulhos ou Solos Pedregulhosos	GW, GP, GM e GC
	Areias ou Solos Arenosos	SW, SP SM e SC
SOLOS FINOS (mais que 50% passante na # 200)	Siltosos ou Argilosos	Baixa compressibilidade (LL < 50) ML, CL e OL
		Alta compressibilidade (LL > 50) MH, CH e OH
SOLOS ALTAMENTE ORGÂNICOS	Turfas	Pt

Fonte: Adaptado de Caputo (1988)

Figura 11 – Carta de Plasticidade de Casagrande



Fonte: Caputo (1988)

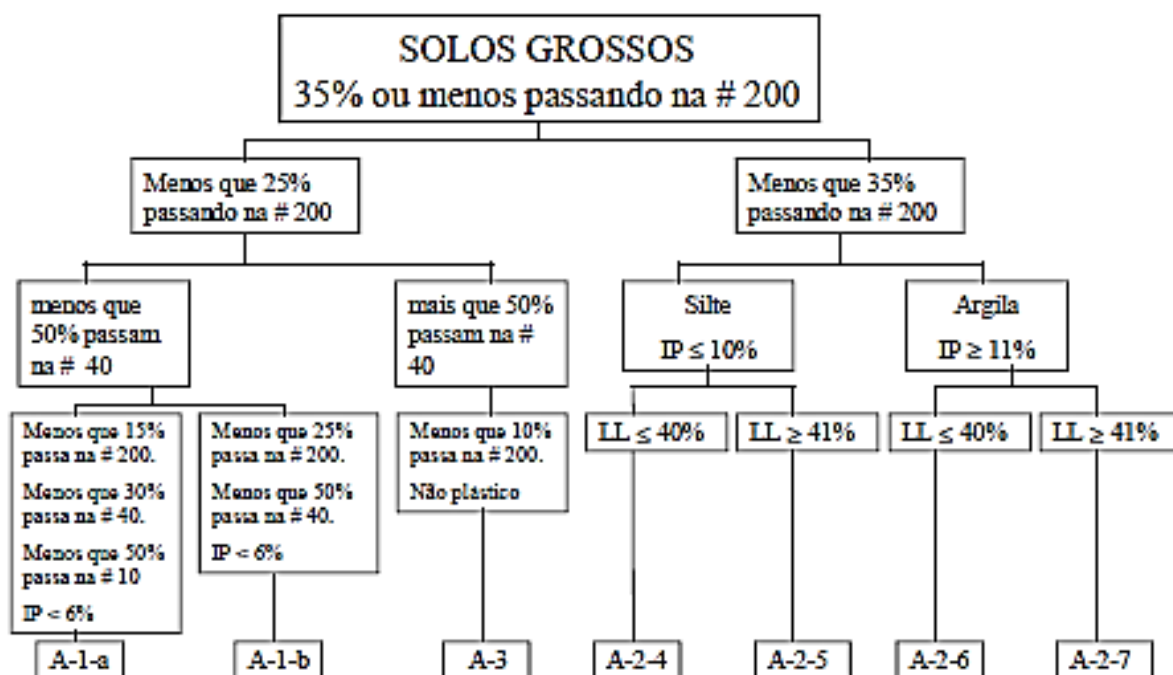
2.4.2 ASSHTO

O sistema da AASHTO classifica os solos em oito diferentes grupos: de A1 a A8 incluindo diversos subgrupos. Os solos dentro de cada grupo ou subgrupo são ainda avaliados de acordo com o seu índice de grupo, Equação 10, o qual é calculado por intermédio de uma fórmula empírica (MACHADO, 1997)

Os solos pertencentes ao grupo A1, segundo Machado (1997), são bem graduados, os do grupo A2 são granulares com significativa quantia de finos, possuindo 35% ou menos de material passante na peneira 200, já os solos do grupo A3 são areias mal graduadas. Por fim os pertencentes aos grupos de A4 a A7 são solos finos, nos quais a diferenciação dos solos é realizada analisando-se os resultados dos ensaios de limites de Atterberg. Os solos com predominância de matéria orgânica (turfas) devem ser classificados como pertencentes ao grupo A8, cuja a classificação faz-se visualmente (Figuras 12 e 13).

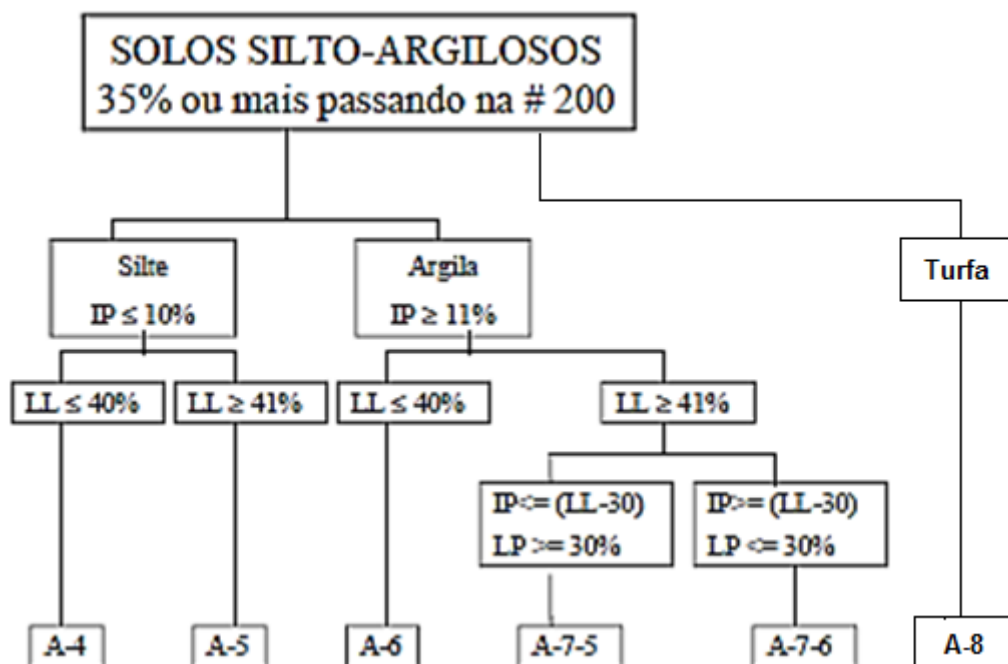
$$IG = \langle (F - 35) \times \{(0,2) + [0,005 \times (LL - 40)]\} \rangle + \{0,01 \times [(F - 15) \times (IP - 10)]\} \quad (10)$$

Figura 12 – Classificação ASSHTO para Solos Grossos



Fonte: Machado (1997)

Figura 13 – Classificação ASSHTO para Solos Finos



Fonte: Adaptado de Machado (1997)

2.4.3 HRB

Esta classificação reúne os solos em grupos e subgrupos, em função de suas granulometrias e plasticidades. Os "solos granulares" compreendem os grupos A -1, A -2 e A -3, e os "solos finos", os grupos A-4, A -5, A -6 e A -7, três dos quais divididos em subgrupos (CAPUTO, 1988, p.185), conforme Figura 14.

Para auxiliar na classificação utiliza-se um número inteiro chamado de índice de grupo (IG), o qual varia de 0 a 20. Este índice, segundo Nogami e Villibor (1995), é calculado considerando os valores de limite de liquidez, plasticidade e porcentagem de solo passante na peneira de 0,075 mm. O índice de grupo é obtido utilizando-se a Equação 11, na qual os parâmetros devem ser expressos em números inteiros e positivos.

$$IG = (0,2 \times a) + (0,005 \times a \times c) + (0,01 \times b \times d) \quad (11)$$

Figura 14 – Sistema de Classificação do HBR

Classificação Geral	Solos Granulares ($P_{200} < 35\%$)						Solos Silto-Argilosos ($P_{200} > 35\%$)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5; A-7-6
P_{10}	<50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P_{40}	<30	<50	>50	—	—	—	—	—	—	—
P_{200}	<15	<25	<10	<35	<35	<35	<35	>35	>35	>35
LL	—	—	—	<40	>40	<40	>40	<40	>40	<40
IP	<6	<6	NP	<10	<10	>10	>10	<10	<10	>10
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	<4	<4	<8	<12	<16
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas			Solos siltosos		Solos argilosos	
Classificação como subleito	Excelente a Bom						Regular a mau			

- NOTAS: (1) – P_{10} , P_{40} e P_{200} indicam, respectivamente, as porcentagens que passam nas peneiras n^os 10 (2 mm), 40 (0,42 mm) e 200 (0,074 mm)
- (2) – LL e IP referem-se a fração passando na # 40
- (3) – Para o subgrupo A-7-5: $IP < LL-30$ e para o A-7-6: $IP > LL-30$
- (4) – A identificação é feita da esquerda para direita, razão porque o A-3 é colocado antes do A-2, sem que isto signifique superioridade daquele sobre este
- (5) – $IG = \underbrace{(P_{200} - 35)}_{\substack{>0 \\ <40}} [0,2 + 0,005 \underbrace{(LL - 40)}_{\substack{>0 \\ <20}}] + 0,01 \underbrace{(P_{200} - 15)}_{\substack{>0 \\ <40}} \underbrace{(IP - 10)}_{\substack{>0 \\ <20}}$

Fonte: Caputo (1988)

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 ASPECTOS GERAIS DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE

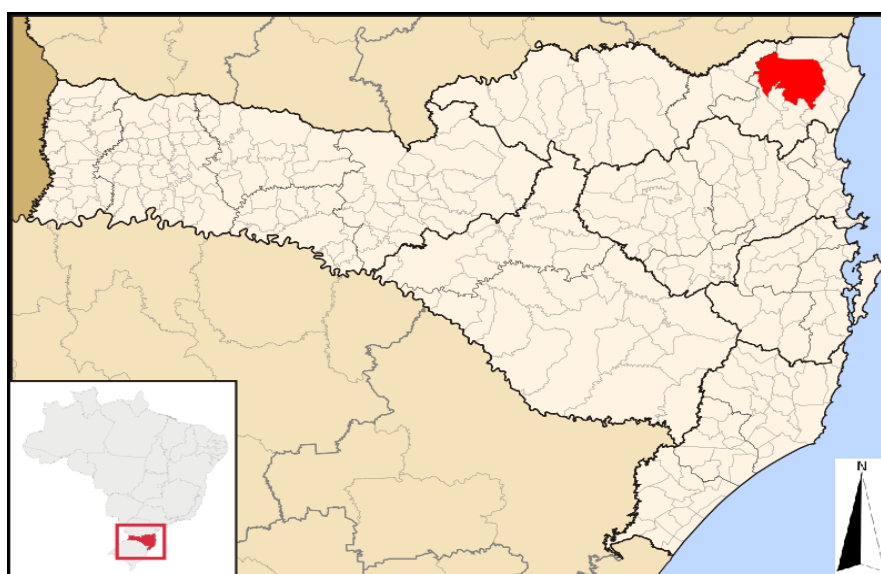
O município de Joinville localiza-se na região nordeste do estado de Santa Catarina (Figura 15), encontrando-se na latitude 26° 18' 05" S e longitude 48° 50' 38" W de acordo com dados da prefeitura. Sua porção litorânea constitui, juntamente com o município de São Francisco do Sul e Itapoá, a baía da Babitonga.

Sua localização distancia-se cerca de 180 km da capital do estado, Florianópolis, 125 km da cidade de Curitiba e 635 km da capital do estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Possui como principal acesso rodoviário a BR 101. Já o

acesso aéreo ocorre por meio do aeroporto Lauro Carneiro de Loyola e o acesso aquaviário pela utilização de barcas ou balsas, como a balsa que liga o município a cidade de São Francisco da Sul.

Segundo dados de 2016 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o maior município catarinense em número de habitantes, possuindo uma área territorial de 1126,106 km², população estimada de 569.645 habitantes, configurando em uma densidade demográfica de 457,58 habitantes/km².

Figura 15 – Localização do Município de Joinville



Fonte: Wikipedia (2006)

3.1.1 Geologia

De acordo com Oliveira (2010) a geologia da região de Joinville (Figura 16 e 17) é composta de forma geral por gnaisses, rochas sedimentares e vulcânicas, diques de rocha metabásica e diabásio, assim como sedimentos quaternários.

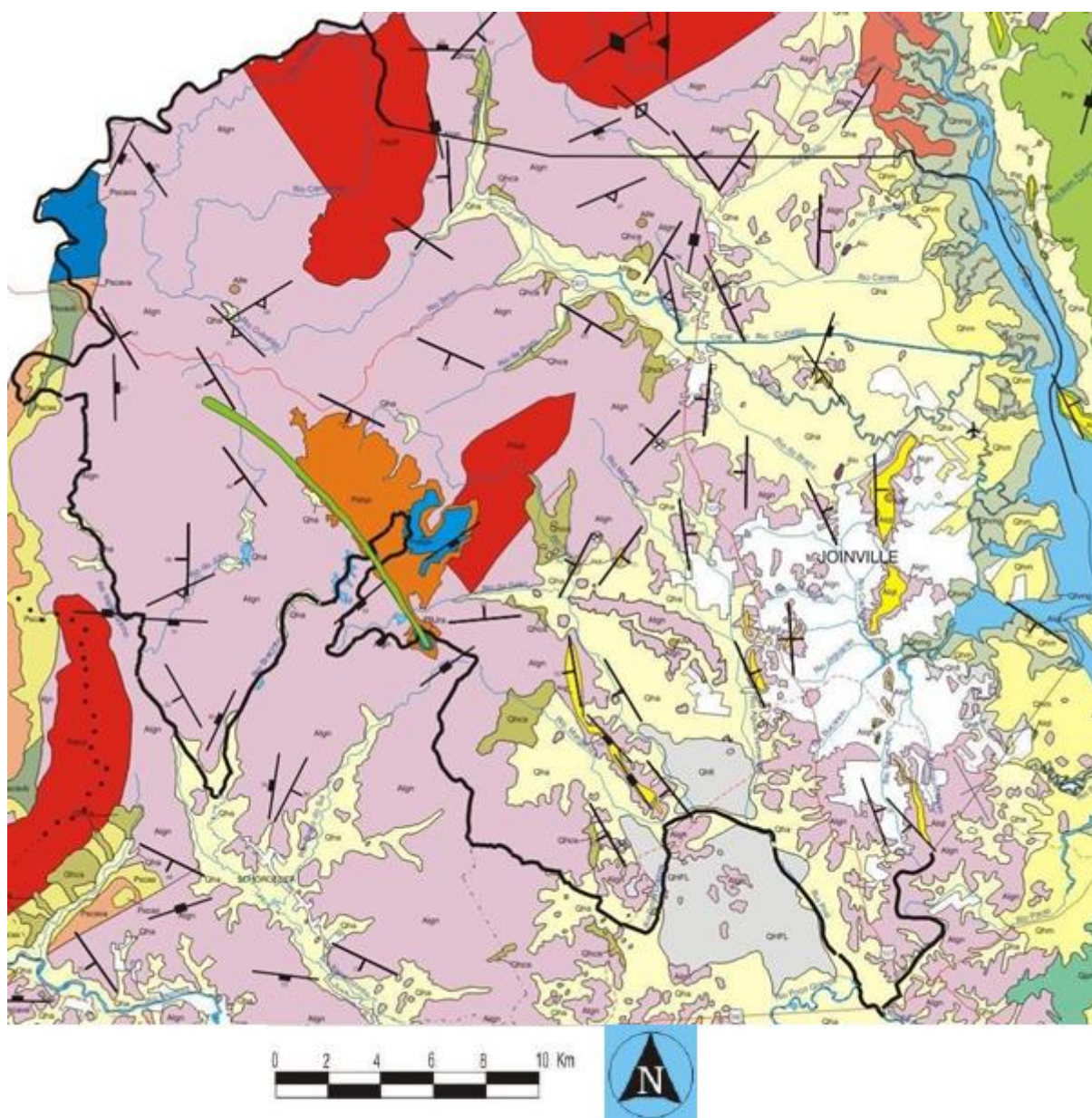
As rochas mais antigas, como os diques de rocha metabásica e diabásio, pertencem ao “Complexo Granulítico de Santa Catarina”, também conhecido como “Luiz Alves”. Estas formações possuem cerca de 2,6 bilhões de anos, sendo pertencentes ao período arqueno/proterozoico.

Já os granitos alcalinos compõem a “Suíte Intrusiva Serra do Mar”, e são também chamados de Morro Redondo, Dona Francisca e Piraí. São oriundos de

atividades magnéticas ocorridas no período proterozoico/paleozoico cerca de 570 milhões de anos.

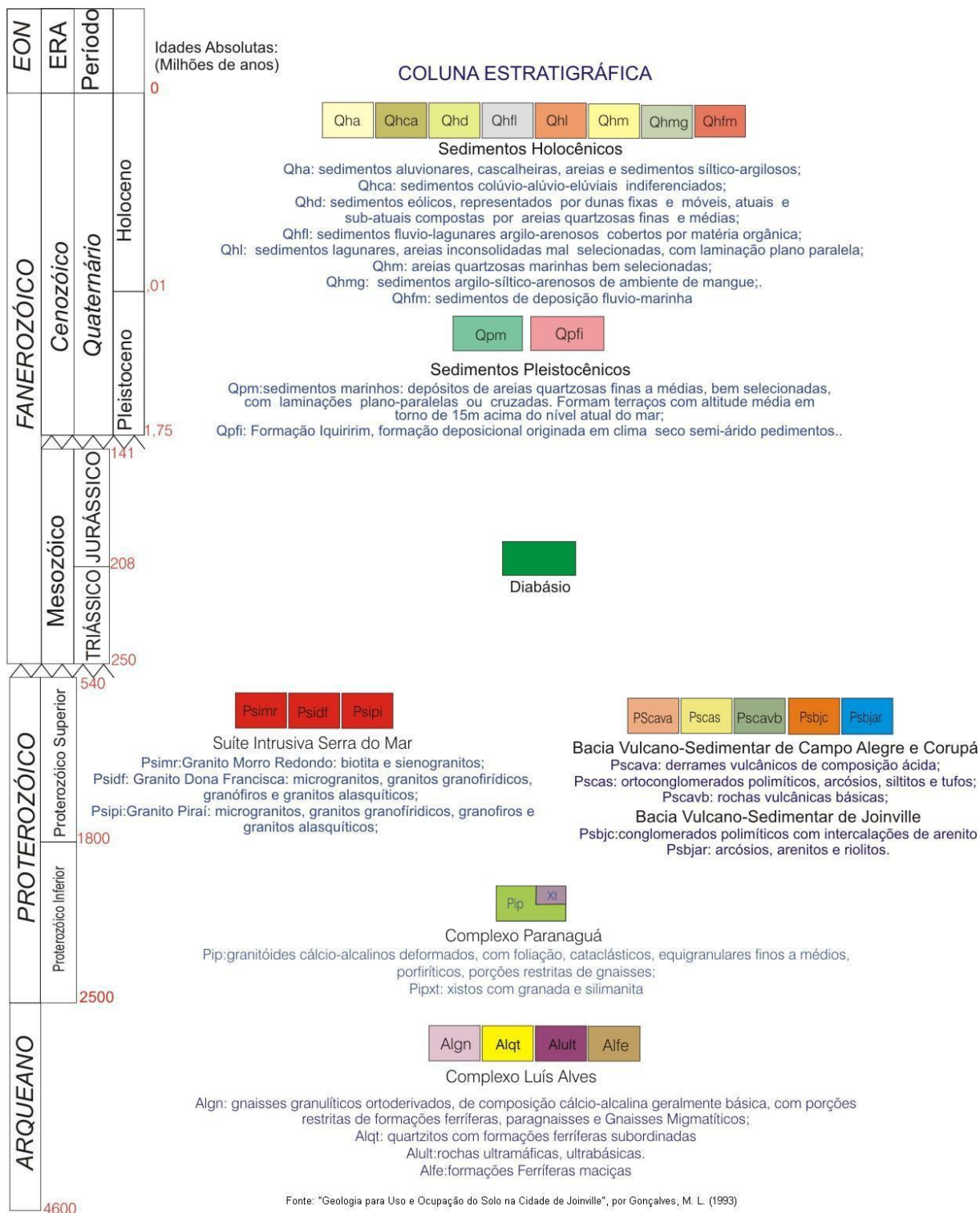
Segundo Oliveira (2010) geraram-se tufos vulcânicos, quase que simultaneamente aos granitos, provenientes de deposições ocorridas em depressões de sedimentos grosseiros, posteriormente em sedimentos mais finos, sendo intercalados por derrames de basaltos e explosões de riolitos. Estas formações constituem as “Bacias Vulcano-sedimentares de Joinville”, assim como das bacias de Corupá e Campo Alegre.

Figura 16 – Mapa Geológico de Joinville



Fonte: Adaptado de Oliveira (2010)

Figura 17 – Legenda do Mapa Geológico de Joinville



Fonte: Oliveira (2010)

3.1.2 Pedologia

Segundo Ribeiro (p.18, 2014), a distribuição de solos na região da Baía da Babitonga é marcada pelas características do relevo e expressiva amplitude topográfica. Os mapeamentos pedológicos elaborados para a região de Joinville, em escala pequena (Figura 18) e média (Figura 24), indicam que ocorrem predominantemente cambissolos.

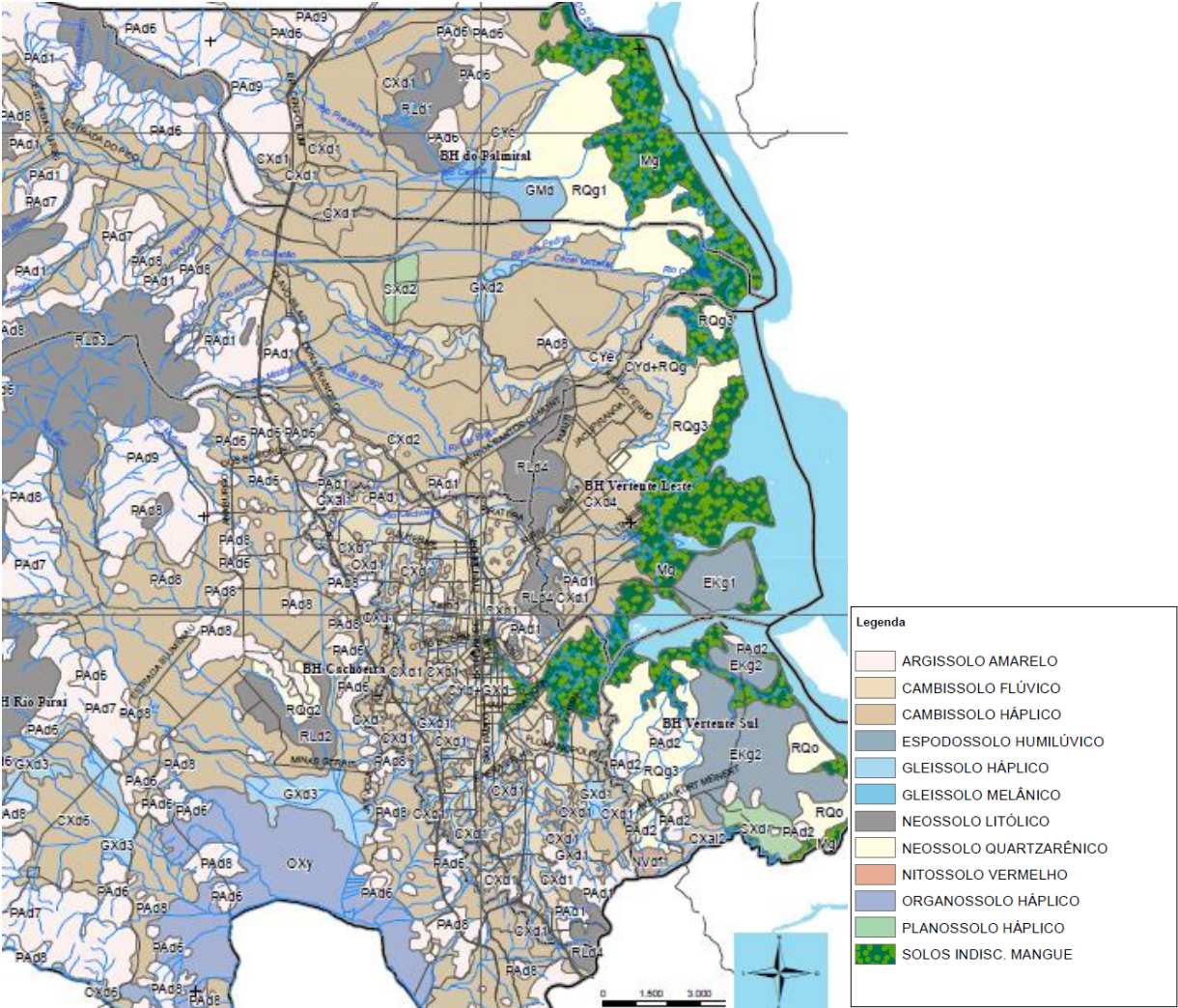
O novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), publicado pela Embrapa em 1999, organiza os diferentes tipos de solos em classes de seis níveis categóricos. Do primeiro ao sexto nível, os solos são organizados em Ordens, Subordens, Grandes Grupos, Subgrupos, Famílias e Séries, respectivamente (Ribeiro, 2014).

Conforme a classificação da Embrapa (1999) são encontrados os seguintes solos na região:

- Argilossolos: tipo de solo marcado pela ocorrência de um horizonte B com argila de baixa atividade, tendo uma clara transição, abrupta ou gradual, entre os horizontes A e B. Esse solo possui profundidade variável e textura variando de arenosa à argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B;
- Cambissolos: solos pouco desenvolvidos possuem horizonte B que inicia juntamente a qualquer horizonte superficial. Suas características variam de local para local, possuindo textura arenosa ou mais argilosa;
- Espodossolos: Desenvolvidos sob condições de umidade elevada, em relevo plano a suavemente ondulado ou em áreas de depressões. Tipo de solo que apresenta profundidade variável, geralmente sendo pobre e de acidez moderada à forte com desenvolvimento de horizonte B espódico juntamente ao horizonte E eluvial ou horizonte A, possuindo nítida diferença entre eles.
- Neossolos: solos pouco desenvolvidos, com ausência de horizonte B, possuindo um pouco menos de 30 cm de espessura e possui baixa modificação dos materiais que os originaram, incluindo litossolos, regolossolos, solos aluvionais e areias quartzosas;

- Nitossolos: são solos constituídos de material mineral, apresenta horizonte B nitidamente abaixo do A. O horizonte B apresenta argila de baixa atividade sendo que as camadas não possuem variação de cores acentuadas;
- Organossolos: solos constituídos por material orgânico, com espessuras variando de acordo com a quantidade de matéria orgânica (a partir de 60 cm de espessura), saturação por água por um período de 30 dias (a partir de 20 cm quando possui fragmentos de rochas ou a partir de 40 cm) e por um período de um ano (a partir de 40 cm);
- Planossolos: são solos constituídos por material mineral com horizonte A ou E seguido de horizonte B;
- Solos Indiscriminados de Mangue: solos que possuem influência da maré, constituídos por grande quantidade de matéria orgânica.

Figura 18 – Mapa Pedológico da Região Urbana de Joinville



Fonte: Adaptado de Uberti (2012)

3.1.3 Vegetação

Segundo a Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ), o município possui porções pertencentes à Floresta Atlântica e aos manguezais. A cobertura vegetal no território consiste predominantemente por dois tipos de vegetações, sendo 640 km² cobertos pela Mata Atlântica e 40 km² cobertos por manguezais.

3.1.4 Clima

O clima joinvilense, segundo a classificação Köppen-Geiger, classifica-se como úmido à super úmido, mesotérmico, com pouco ou nenhum déficit de água. A temperatura média anual fica em torno de 22° C, sendo a máxima 32,24° C e a mínima 11,87 °C (GUIA... 2002).

3.1.5 Relevo

Segundo dados da Fundação IPPUJ o relevo encontrado em Joinville pode ser dividido em cinco unidades geomorfológicas. A porção do território encontrado ao oeste da formação Serra do Mar é associada à unidade de Serras Cristalinas Litorâneas e aos Planos e Rampas Coluvio-aluviais. Já na porção ao leste predominam as planícies marinhas e entremeando-se às unidades da Serra do Mar e a Baía da Babitonga, encontram-se as unidades de Planícies Aluviais e as Colinas Costeiras, formação que abriga a área urbana do município.

3.2 PONTOS DE ESTUDO

3.2.1 Localização e Contextualização das Regiões das Elevações

Na busca por pontos de análise excluíram-se os pontos com vegetação que protegesse o solo e também pontos onde o trabalho de campo realizado pudesse interferir na vivência dia a dia das pessoas da região.

Assim, optou-se pela escolha de pontos com solo exposto e em terrenos não utilizados, onde também a coleta de corpos de prova seria de fácil execução não havendo necessidade de pará-lo para passagem de veículos ou restrição de horários.

A concentração dos pontos em uma pequena área da elevação se deu ao fato de, além dos motivos já citados, não serem encontradas encostas com solos naturais expostos, apenas solos de aterro ou já protegidos pela vegetação.

Os pontos estudados situam-se na cidade de Joinville, no entorno das elevações conhecidas como Morro do Finder, compreendido nos bairros Iririú, Bom Retiro e Aventureiro onde todos pertencem ao mesmo grupo pedológico, neossolo litólico (Figura 19).

Figura 19 – Localização dos Pontos no Morro do Finder



Fonte: Google Maps (2017)

Foram determinados três pontos no referido local, os quais se localizam nos seguintes lugares, conforme disposto no Quadro 4.

Quadro 4 – Localização dos Pontos de Estudo

Ponto	Elevação	Localização
1	Morro do Finder	Rua São Sebastião – Bairro Iriú
2	Morro do Finder	Rua Araraquara – Bairro Aventureiro
3	Morro do Finder	Avenida Santos Dummont, 4540 – Bairro Santo Antônio

Fonte: Autora (2017)

O primeiro ponto, localizado na Rua São Sebastião próximo ao número 130, nas coordenadas geográficas -26.268941, -48.828151, foi escolhido por tratar-se de uma encosta retalhada onde existe uma área de plantio e uma residência em seu em torno (Figura 20). Este ponto não apresentava indícios de erosão devido à vegetação plantada pelo dono do terreno em razão de antigos processos erosivos e não há indícios de corpo hídrico.

Figura 20 – Encosta Localizada na Rua São Sebastião



Fonte: Autora (2017)

Já o segundo ponto situado no final da Rua Araraquara, nas coordenadas geográficas -26.254508, -48.823334, chamou a atenção por ser um terreno retalhado a bastante tempo e por possuir altura considerável, por volta de 10 metros (Figura 21).

Neste ponto foram encontrados indícios de erosão já que apresenta uma série de sulcos espalhados pela encosta mas também não há indícios de corpo hídrico.

Figura 21 – Encosta Localizada na Rua Araraquara



Fonte: Autora (2017)

Finalmente o terceiro ponto, Rua Santos Dummont número 4540, destacou-se por ser um local de extrema movimentação de pedestres, ciclistas e principalmente de veículos, sendo a principal via de acesso ao aeroporto da cidade (Figura 22). Não se pode ver indícios de erosão pois, devido às obras na estrada, o retaludamento foi realizado a pouco tempo, não havendo cobertura vegetal também.

Figura 22 – Encosta Localizada na Rua Santos Dummont



Fonte: Autora (2017)

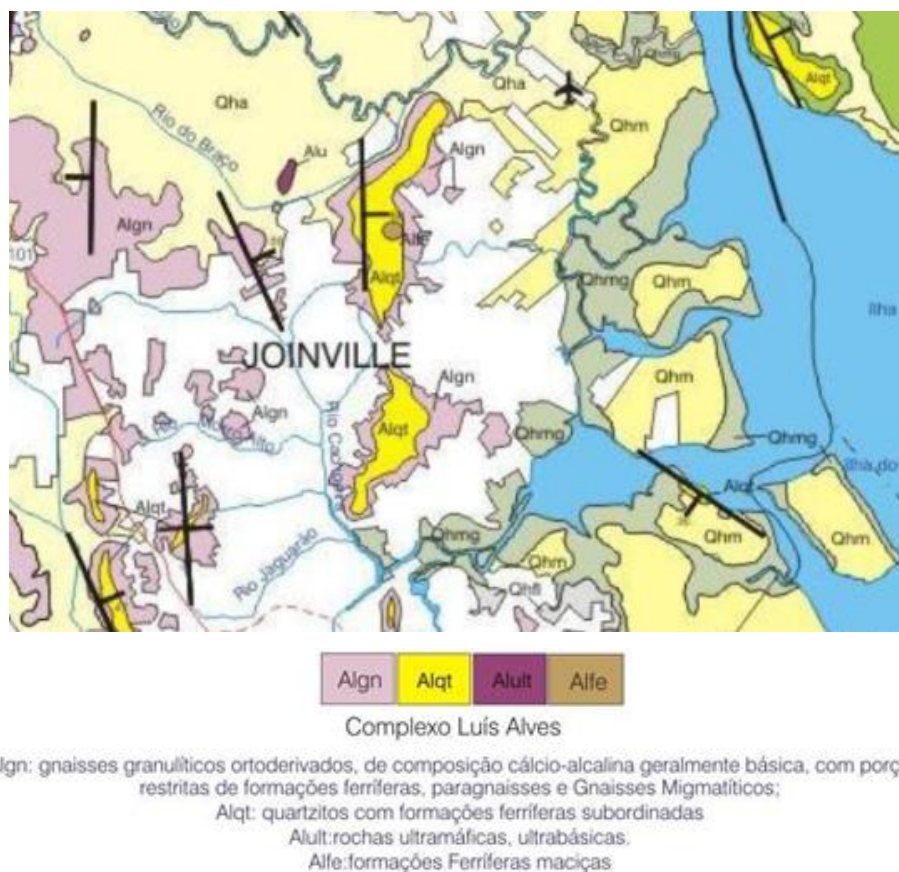
3.2.2 Geologia do Local

No Morro do Iriú aflora nos fundos de vale o gnaiss, que em geral apresenta cor cinza. No geral estas rochas encontram-se bastante intemperizadas, com seus minerais transformados em argila, com exceção do quartzo. A camada intemperizada ultrapassa, normalmente, 30 metros de profundidade (PMJ, 2010).

A localidade em estudo compõe-se, segundo Machado (2017), principalmente por quartzitos com formações ferríferas, gnaisses granulíticos ortoderivados e em menor proporção por formações ferríferas maciças (Figura 23). Sendo os quartzitos compostos principalmente por quartzo e possuindo menores porcentagens de muscovitas, biotitas, sericita, turmalina e dumortierita. Já os gnaisses possuem grande porcentagem de feldspato potássico, plagioclásio, bem como quartzo e biotita.

Quanto à geomorfologia, o Morro do Iriú está classificado como Colina Costeira, da Unidade Geomorfológica denominada Embasamento em Estilos Complexos (PMJ, 2010).

Figura 23 – Geologia do Morro do Finder



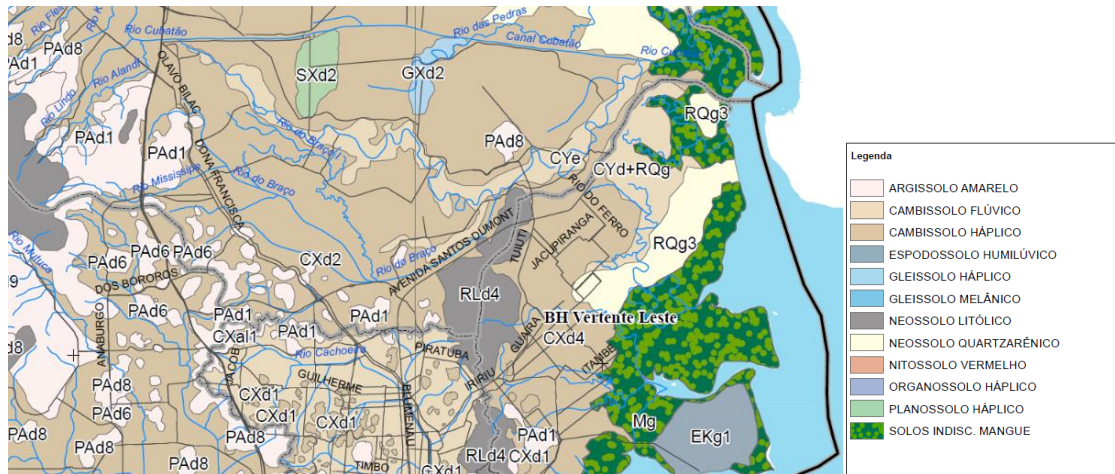
Fonte: Adaptado de Oliveira (2010)

3.2.3 Pedologia do Local

O local de estudo apresenta predominância de neossolos líticos, nas porções mais elevadas (topo do morro). Já em menores altitudes, encontram-se os cambissolos háplicos, conforme Figura 24.

A área de ocorrência de Cambissolo Háplico em relevo plano expande-se por todo território joinvillense, sempre em domínio de Terras Baixas (UBERTI, 2012). Os perfis de cambissolo háplico são encontrados em relevos com declividades máximas de 3% e não possuem pedregosidades. O solo é profundo, a textura é argilosa, garantia de ótima capacidade de armazenar umidade, sendo, simultaneamente, bem drenado.

Figura 24 – Pedologia do Morro do Finder

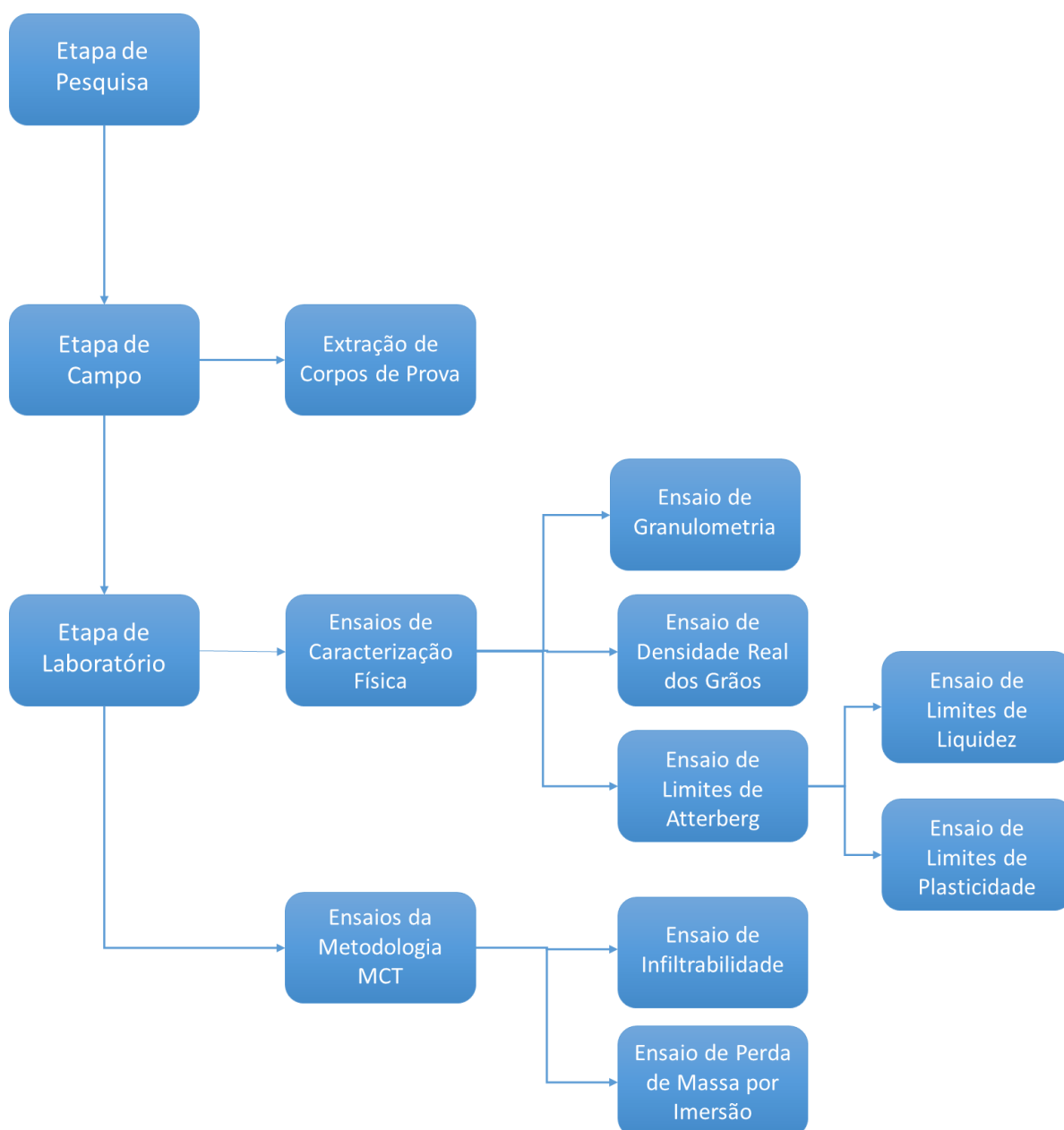


Fonte: Adaptado de Uberti (2012)

4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo divide-se em três etapas, sendo elas de pesquisa, campo e laboratório. Estas etapas são descritas neste tópico.

Figura 25 – Fluxograma da Metodologia Apresentada



Fonte: Autora (2017)

4.1 ETAPA DE PESQUISA

O referencial bibliográfico baseia-se em uma revisão realizada em livros, teses, dissertações, artigos, publicações em simpósios e congressos cujos temas sejam relacionados à erodibilidade de solos, conceitos sobre erosão e seus mecanismos, características da região em estudo, bem como ensaios da metodologia MCT e de caracterização física.

4.2 ETAPA DE CAMPO

Baseado nas características geológicas, climáticas, de ocupação, vegetação e pedológica encontradas na região de Joinville, foram determinados pontos de estudo, os quais se encontram localizados na região do Morro do Finder.

Posteriormente à escolha dos locais de análise foram preparados moldes para coleta das amostras de solo. Os moldes são constituídos por tubos de PVC com 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura, os quais foram lixados nas extremidades com o intuito de minimizar as irregularidades na moldagem dos corpos de prova.

A extração das amostras, regida pela NBR 9604/1986 consiste em retirar, com o auxílio de uma picareta, a camada mais superficial do solo, pois esta camada devido à exposição aos agentes erosivos (água, sol, vegetação e vento) pode não representar as características do maciço de solo. Após essa etapa, corta-se uma pequena porção do maciço de modo a obter uma espécie de bancada, uma superfície razoavelmente plana. Nesta superfície posiciona-se o molde, delimitando-se o local de extração, e retira-se o solo no entorno do molde possibilitando que este seja cuidadosamente forçado para baixo (Figura 26). Este processo deve ser repetido até que o solo ultrapasse em alguns milímetros o nível superior do molde, mas evitando empregar muita força ao empurrar o cilindro para baixo.

Figura 26 – Extração de Corpos de Prova



Fonte: Autora (2017)

Assim que o solo ultrapassar o molde deve-se posicionar, cerca de dois centímetros abaixo da extremidade inferior do molde, uma faca que possibilite a retirada do corpo de prova com excedente de solo. Após a coleta deve-se embalar o corpo de prova em plástico filme e armazenar em uma caixa de isopor, a fim de manter a umidade natural do solo.

Em cada local escolhido realizou-se a coleta de oito corpos de prova, totalizando vinte e quatro corpos de prova, sendo numerados de 1 a 8 para o primeiro ponto (São Sebastião), 10 a 18 para o segundo ponto (Araraquara) e 20 a 28 para o terceiro ponto (Santos Dummont). Além dos corpos de prova indeformados, foram coletados cerca de dez quilos de solo de cada ponto para os ensaios de laboratório citados a seguir, que foram armazenados em sacos fechados.

4.3 ETAPA DE LABORATÓRIO

Na etapa de laboratório foram realizados ensaios de caracterização físicas dentre eles Limites de Liquidez e Plasticidade, Granulometria (sedimentação e peneiramento), Massa Específica Real dos Grãos, assim como ensaios da metodologia MCT, que compreendem Infiltrabilidade e Perda de Massa por Imersão.

Para a realização dos ensaios acima citados prepararam-se as amostras extraídas em campo, indeformadas, e amostras remoldadas. O teor de umidade natural foi obtido a partir da secagem do solo resultante do arrasamento dos corpos de prova indeformados (Figura 27).

Figura 27 – Arrasamento dos Corpos de Prova



Fonte: Autora (2017)

4.3.1 Preparação das Amostras para Ensaios de Caracterização Física

Os ensaios de caracterização física são separados em massa específica dos grãos, granulometria e limites de Atterberg.

As amostras utilizadas nestes ensaios devem ser preparadas segundo a NBR 6457 (ABNT, 1986), devendo-se secar a amostra de solo ao ar, assim se aproximando à umidade higroscópica. Desmancham-se os torrões, evitando-se quebrar os grãos e homogeneizar-se a amostra. Separa-se uma porção de solo em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos.

Para a realização de análise granulométrica toma-se uma amostra e passa-se na peneira 76 mm, desprezando-se o material retido. Após o peneiramento toma-se uma quantidade de solo estabelecida em função da dimensão dos grãos maiores, conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Quantidade de Amostra para Análise Granulométrica

Dimensões dos Grãos Maiores (mm)	Quantidade Mínima a Tomar (kg)
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

Fonte: Adaptado de NBR 6457 (ABNT, 1986)

Para os ensaios de sedimentação, Figura 28, e peneiramento fino, devem-se tomar cerca de 120 gramas de material retido na peneira de 2,0 mm para solos arenosos ou 70 gramas para solos siltosos e argilosos. Também se separa cerca de 100 gramas para três determinações da umidade higroscópica.

Figura 28 – Execução do Ensaio de Sedimentação



Fonte: Autora (2017)

A amostra utilizada no ensaio de densidade real dos grãos, segundo a DNER-ME 041/94, deve ser seca ao ar. Separa-se cerca de 120 gramas do solo, devendo-se desagregar os torrões existentes no almofariz evitando reduzir o tamanho natural das partículas individuais do material. Passe-se o solo desagregado na peneira de 2,0 mm, promovendo a retenção apenas das partículas com maiores dimensões. Para a

determinação do teor de umidade da amostra separa-se uma pequena porção e leva-se à estufa.

Já para a realização dos ensaios de limites de liquidez e plasticidade toma-se uma porção de solo e passa-se na peneira de 0,42mm, de modo a obter 200 gramas de material passante. O material obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

Os corpos de prova remoldados foram preparados por compactação estática do solo deformado, nos mesmos cilindros utilizados para coleta do solo indeformado. Os corpos de prova foram preparados de forma que atingissem mesma densidade, teor de umidade e índice de vazios do solo indeformado (Quadro 6).

Para cada ponto calculou-se a massa de solo seco contida em cada corpo de prova moldado em campo. Esta escolha deu-se pelos resultados obtidos nos ensaios de infiltrabilidade e perda de massa por imersão.

Para a determinação da quantidade de solo total tomou-se a quantidade de solo seco contido em um único corpo de prova e multiplicou-se este valor por oito, número total de corpos de prova para cada ponto. Com o intuito de evitar falta de material para a realização das remoldagens, separou-se uma quantidade extra de solo. Este material separado foi destorroado e peneirado na peneira de 2,2 mm, sendo então retirada uma pequena amostra e armazenando-se o restante do solo em recipiente fechado.

A amostra de solo retirada foi depositada em uma cápsula de peso conhecido, pesada e levada para estufa, em temperatura entre 105 e 110°C. Posteriormente ao período de secagem, em torno de 24 horas, pesou-se novamente a amostra, obtendo-se assim o peso do solo seco. Relacionando-se o peso de solo seco e de solo úmido, Equação 12, obteve-se o valor da umidade higroscópica após a secagem ao ar.

Com a umidade do solo, pode-se então adicionar a quantidade de água necessária para corrigir a umidade do solo seco aproximando este à umidade existente no solo natural, umidade de campo. Adicionaram-se então as massas de água calculadas, Equação 14, nas respectivas amostras de solo e posteriormente armazenou-se as mesmas em recipiente fechado.

Após a homogeneização do solo e a água adicionada toma-se a massa de solo contida em um único corpo de prova e divide-se esta quantidade por três. Coloca-se a primeira porção de solo e compacta-se (Figura 29), com o auxílio de um soquete, até que o material atinja um terço da altura do molde. Este processo deve ser realizado nas demais camadas, sendo que na última utiliza-se um anel espaçador acima do que

contém o solo a fim de evitar perdas de material. Com o intuito de evitar descontinuidade entre as camadas deve-se promover escarificação, pequenas ranhuras, na primeira e segunda camada.

Figura 29 – Compactação de Corpo de Prova Remoldado



Fonte: Autora (2017)

$$W = \frac{W_{SW} - W_{SD}}{W_{SD} - W_{CAP}} \quad (12)$$

$$\Delta w = w_{nat} - w_{atual} \quad (13)$$

$$W_{SD} = \frac{W_{SW}}{1+w_{atual}} \quad (14)$$

$$W_{SW} = \Delta w \times W_{SD} \quad (15)$$

Quadro 6 – Parâmetros para Realização de Remoldagem

Dados	Ponto - São Sebastião	Ponto - Araraquara	Ponto - Santos Dummont
Massa de solo seco em cada corpo de prova	146,59g	164,27g	164,17g
Massa de solo seco em cada camada	48,86g	54,76g	54,72g
Umidade natural	29,41%	27,05%	29,02%
Umidade atual	5,45%	4,06%	4,94%
Massa de solo úmido (umidade natural)	1200g	1400g	1400g
Massa de solo seco	1137,98g	1345,38g	1334,10g
Massa de água	272,66g	309,30g	321,25g

Fonte: Autora (2017)

4.3.1.1 Densidade Real dos Grãos

Para a realização do ensaio, regulamentado pela norma DNER-ME 093-94, inicialmente pesa-se o picnômetro vazio, coloca-se uma pequena amostra de solo (Figura 30), com o auxílio de um funil e uma espátula, dentro do recipiente. Pesa-se o conjunto picnômetro e solo. Coloca-se água destilada até cobrir, com excesso, a amostra.

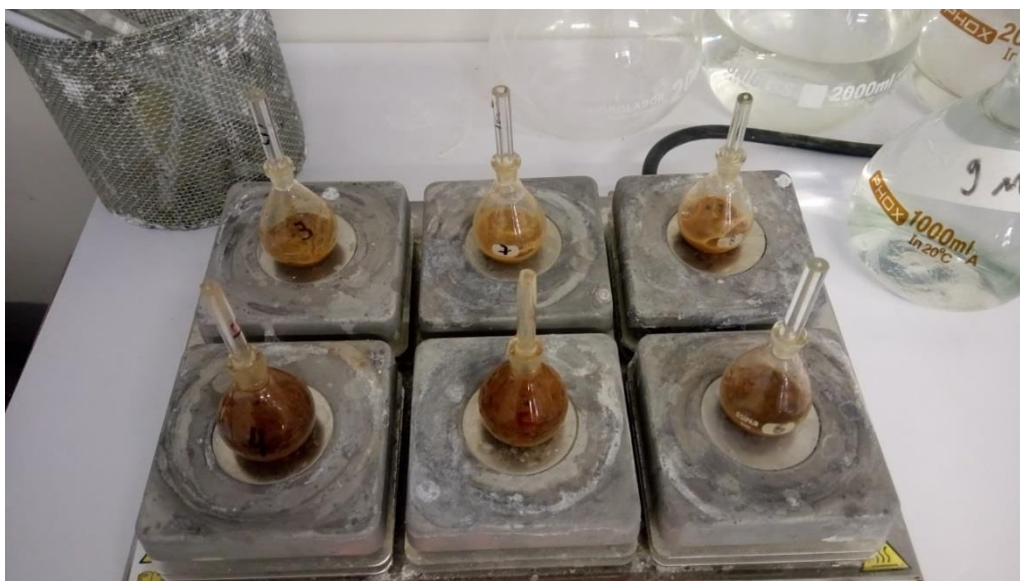
Figura 30 – Conjunto Picnômetro e Solo



Fonte: Autora (2017)

Aquece-se o picnômetro, deixando o solo ferver por no mínimo 15 minutos (Figura 31), para que todo o ar existente entre as partículas de solo, vazios da amostra, seja expulso. Após esta etapa colocam-se todos os picnômetros em um banho para que atinjam a temperatura ambiente. Quando atingirem a temperatura desejada, os picnômetros devem ser secos e pesados. Retira-se, a seguir, todo o material de dentro do recipiente, lavando-o e enchendo-o com água destilada para conhecer a massa do conjunto picnômetro mais água.

Figura 31 – Aquecimento do Conjunto Picnômetro, Solo e Água



Fonte: Autora (2017)

O ensaio resulta em um número adimensional cuja validade é dependente da média de, no mínimo, duas determinações de densidade real e quando estas não diferirem em 0,009. Para a determinação do valor de k_{20} , Equação 17, deve-se promover uma interpolação entre os valores da densidade relativa da água mostrados na Figura 32.

$$D_t = \frac{(P_2 - P_1)}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (16)$$

$$D_{20} = k_{20} \times D_t \quad (17)$$

Figura 32 - Razão entre a Densidade Relativa da Água à Temperatura (t) e a Densidade da Água a 20°C

Temperaturas t em °C	Densidade relativa da água	Fator de correção k_{20}	Temperaturas t em °C	Densidade relativa da água	Fator de correção k_{20}
4	1,0000	1,0018	19	0,9984	1,0002
5	1,0000	1,0018	20	0,9982	1,0000
6	0,9999	1,0017	21	0,9980	0,9998
7	0,9999	1,0017	22	0,9978	0,9996
8	0,9999	1,0017	23	0,9976	0,9993
9	0,9998	1,0016	24	0,9973	0,9991
10	0,9997	1,0015	25	0,9971	0,9989
11	0,9996	1,0014	26	0,9968	0,9986
12	0,9995	1,0013	27	0,9965	0,9983
13	0,9994	1,0012	28	0,9963	0,9980
14	0,9993	1,0011	29	0,9960	0,9977
15	0,9991	1,0009	30	0,9957	0,9974
16	0,9990	1,0008	31	0,9954	0,9972
17	0,9998	1,0006	32	0,9951	0,9969
18	0,9986	1,0004	33	0,9947	0,9965

Fonte: DNER-ME 093 (1994)

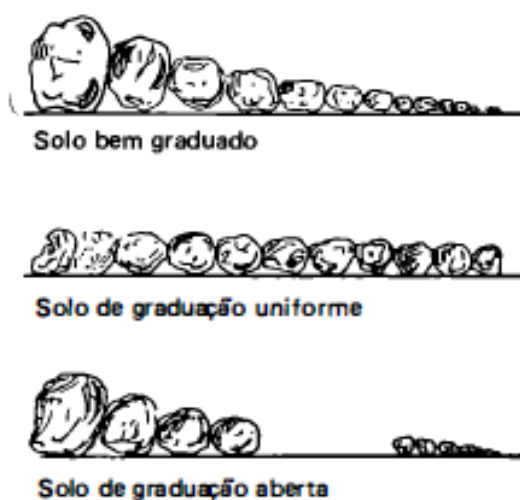
4.3.1.2 Granulometria

A análise granulométrica, ou seja, a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que elas se encontram, é representada, graficamente pela curva granulométrica. Esta curva é traçada por pontos em um diagrama semi-logarítmico, no qual, sobre o eixo das abscissas, são marcados os logaritmos das dimensões das partículas e sobre o eixo das ordenadas as porcentagens, em peso, de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada (CAPUTO, p.26 1988).

Os solos são classificados, segundo a NBR 7181 (ABNT, 1984), de acordo com os diâmetros das partículas sendo separados em:

- Pedregulhos – dimensões entre 76 e 4,8mm;
- Areias – entre 4,8 e 0,05mm;
- Siltes – entre 0,05 e 0,005mm;
- Argilas – dimensões inferiores a 0,005mm.

Figura 33 – Esquematização das diferentes granulometrias



Fonte: Caputo (1988)

4.3.1.3 Limites de Atterberg

Segundo Caputo (1988) os limites de Atterberg, também conhecidos por limites de consistência, são parâmetros relacionados à umidade existente no solo (Figura 34). Quanto mais elevada a umidade mais próximo de um fluido denso o solo estará, sendo assim chamado de estado líquido. À medida que o solo perde água por evaporação, torna-se mais duro e fácil de moldar, encontrando-se no estado plástico. A partir do momento em que o solo se desmancha ao ser trabalhado, tem-se o estado semi-sólido. Permitindo a secagem ocorre a transição para o estado sólido.

Figura 34 – Limites de Atterberg



Fonte: Caputo (1988)

6.3.1.3.1 Limites de Liquidez

A determinação do limite de liquidez (LL) é feita pelo aparelho de Casagrande, que consiste em um prato de latão, em forma de concha, sobre um suporte de ebonite; que por meio de um eixo excêntrico imprime ao prato, quedas de altura de 1 cm e intensidade constante (CAPUTO, 1988).

De acordo com a NBR 6459 (ABNT, 1984), homogeneíza-se o solo até que se obtenha uma consistência que resista no máximo 35 golpes para fechar uma ranhura efetuada no sentido radial da concha contendo solo, Figura 35. Esta ranhura é realizada passando-se um cinzel pela concha, separando a porção de solo em duas partes. Deve-se realizar no mínimo três vezes o ensaio, com o intuito de obter umidades dentro dos intervalos de 35 a 25, de 25 a 20 e de 20 a 15 golpes.

Figura 35 – Execução do Ensaio de Limite de Liquidez



Fonte: Autora (2017)

6.3.1.3.2 Limites de Plasticidade

O limite de plasticidade (LP) é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento (CAPUTO, 1988)

Segundo a NBR 6459 (ABNT, 1982), homogeneíza-se o solo e moldam-se os pequenos cilindros que são comparados a um gabarito, Figura 36, sendo as amostras são consideradas dentro dos parâmetros quando não possuírem fissuras. Devem-se obter, no mínimo, cinco cilindros, os quais devem ser levados à estufa para que se possa estabelecer a umidade considerada satisfatória.

Figura 36 – Execução do Ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: Autora (2017)

Com os resultados dos ensaios de limite de plasticidade, assim como o resultado de limite de liquidez pode-se estabelecer o valor do índice de plasticidade, Equação 18. Segundo Caputo (p. 56 1988), a partir dos valores obtidos para índices de plasticidade podem-se classificar os solos em:

- Fracamente plásticos: $1 < IP < 7$;
- Medianamente plásticos: $7 < IP < 15$;
- Altamente plásticos: $IP > 15$.

$$IP = LL - LP \quad (18)$$

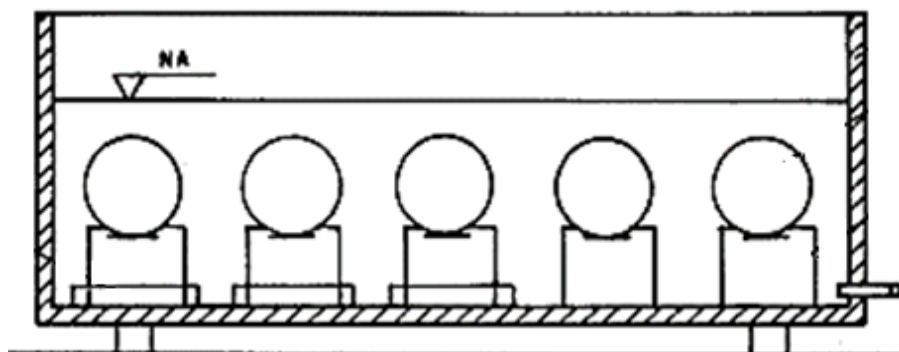
4.3.2 Ensaio da Metodologia MCT

4.3.2.1 Ensaio de Perda de Massa Modificado

Ensaio que compõe a metodologia MCT, tem como princípio a determinação da massa seca da porção desprendida de um corpo de prova, moldado com 50mm de diâmetro e 50mm de comprimento, quando este é imerso em água.

Preparou-se o corpo de prova com uma das extremidades tampada por um disco de polietileno, o qual deve possuir pequenos furos para permitir a passagem de água, e a outra exposta, abaixo desta posiciona-se uma cápsula a fim de coletar o solo que se desprenderá do molde. Coloca-se o corpo de prova em um recipiente de imersão sob um suporte que o mantenha na posição horizontal. Introduce-se água ao recipiente, de forma suave e contínua, até que a lâmina de água alcance cerca de 10 mm acima da superfície externa do molde, conforme Figuras 37 e 38.

Figura 37 – Esquemática do Ensaio de Perda de Massa por Imersão



Fonte: DNER-ME 256 (1994)

Figura 38 – Corpos de Prova em Imersão



Fonte: Autora (2017)

Após o período mínimo de 20 horas (Figura 37), deve-se retirar o corpo de prova do recipiente mantendo-o na horizontal, evitando derramamento de solo. Pesando o corpo de prova saturado e levando-o, dentro de uma cápsula anteriormente pesada, para estufa a 100°C. Posteriormente o período de secagem torna-se possível calcular a massa de solo desprendida durante o ensaio, Equação 19 segundo a norma DNER – ME 256-94. Obtendo-se um gráfico de perda de massa pelo coeficiente de sorção (Equação 20), que segundo Grandó et al, quantifica a facilidade com que a água infiltra no solo.

$$Pi = \frac{M_d \times 10 \times A}{M_s} \quad (19)$$

$$S = \frac{(L_b - L_a) \times S}{10 \times (t_b - t_a) \times A'} \quad (20)$$

Foram utilizados métodos de execução diferentes aos preconizados na norma para efeito de comparação com resultados de outros autores, como Bastos (1999) e Higashi (2004), que também realizaram ensaios de perda de massa por imersão modificados (Figura 39). Diferente do executado a norma DNER – ME 256-94 recomenda que se desloque o solo contido no molde com o uso de um extrator até que o topo do material fique cerca de 10 mm além da extremidade do molde. Retira-

se o disco de polietileno da outra extremidade do corpo de prova e então se transfere o molde para o recipiente de imersão. Após o período de realização do ensaio, retira-se a cápsula contendo o solo desprendido, secando-o em estufa para a determinação de sua massa seco.

Figura 39 – Corpo de Prova após 20 horas de Imersão



Fonte: Autora (2017)

4.3.2.2 Ensaio de Infiltrabilidade

O ensaio de infiltrabilidade compõe a metodologia MCT, onde o equipamento utilizado caracteriza-se por uma base plana de madeira com uma fita graduada e um tubo capilar. Este tubo é conectado a um pequeno reservatório de PVC (chamado de *kitassato* - Figura 40), no qual encaixe-se uma pedra porosa de granulação aberta sobre a qual é colocado um papel filtro e posteriormente insere-se água destilada. Espera-se o fluxo de água estabilizar e mede-se a posição inicial do nível da água. Após a aferição do nível de água inicial coloca-se o corpo de prova sobre o papel filtro e inicia-se a execução do ensaio (Figura 41).

O fluxo da água é determinado com base no movimento da água e pelas forças de sucção. Registram-se as distâncias percorridas, com auxílio da fita graduada, pelo menisco capilar no tubo em um período de 100 minutos. O tempo requerido refere-se ao tempo necessário para a estabilização do menisco, que ocorre

em baixas velocidades. Com os resultados obtidos pode-se estabelecer uma relação, através de um gráfico, entre o deslocamento do líquido ocorrido no menisco e a raiz do tempo decorrido.

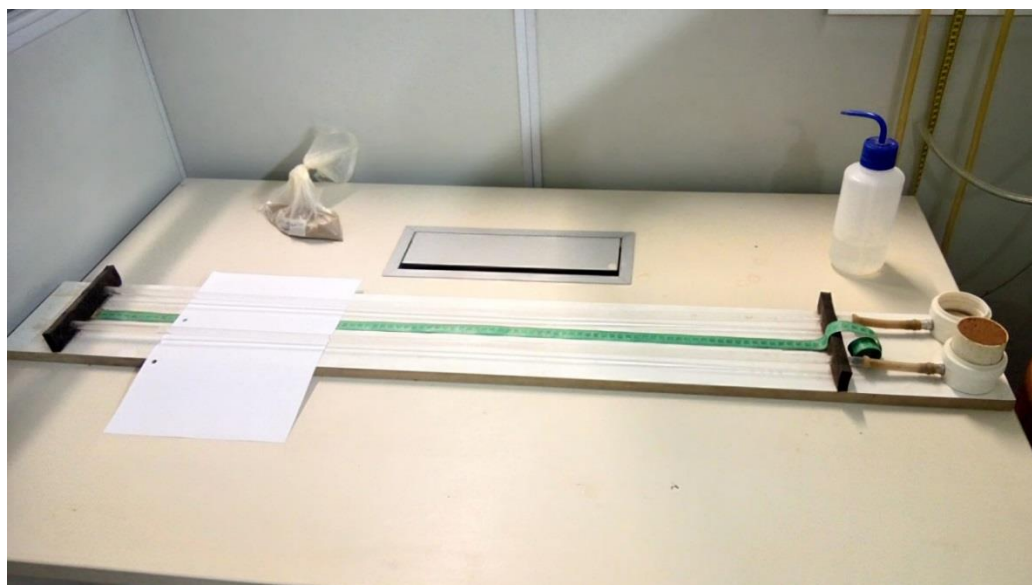
De acordo com Higashi (2004), o experimento resulta em um gráfico correlacionando tempo e leitura do menisco, a partir do qual se pode estabelecer o coeficiente de sorção representado pela inclinação inicial da reta formada.

Figura 40 – Detalhe do *Kitassato*



Fonte: Autora (2017)

Figura 41 – Execução do Ensaio de Infiltrabilidade



Fonte: Autora (2017)

5 RESULTADOS

São apresentados e analisados, neste capítulo, os resultados dos ensaios de laboratório realizados para determinar os parâmetros necessários na determinação do potencial erosivo dos solos analisados.

5.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Com o intuito de determinar as propriedades físicas dos solos foram realizados ensaios de caracterização cujos resultados são apresentados a seguir.

5.1.1 Densidade Real dos Grãos

A densidade real dos grãos para cada um dos pontos de estudo é apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 – Densidade Real dos Grãos

Densidade Real dos Grãos	
Ponto	Densidade Real Média
1	2,745
2	2,726
3	2,633

Fonte: Autora (2017)

5.1.2 Granulometria

Os resultados obtidos nos ensaios de granulometria são apresentados no Gráfico 2.

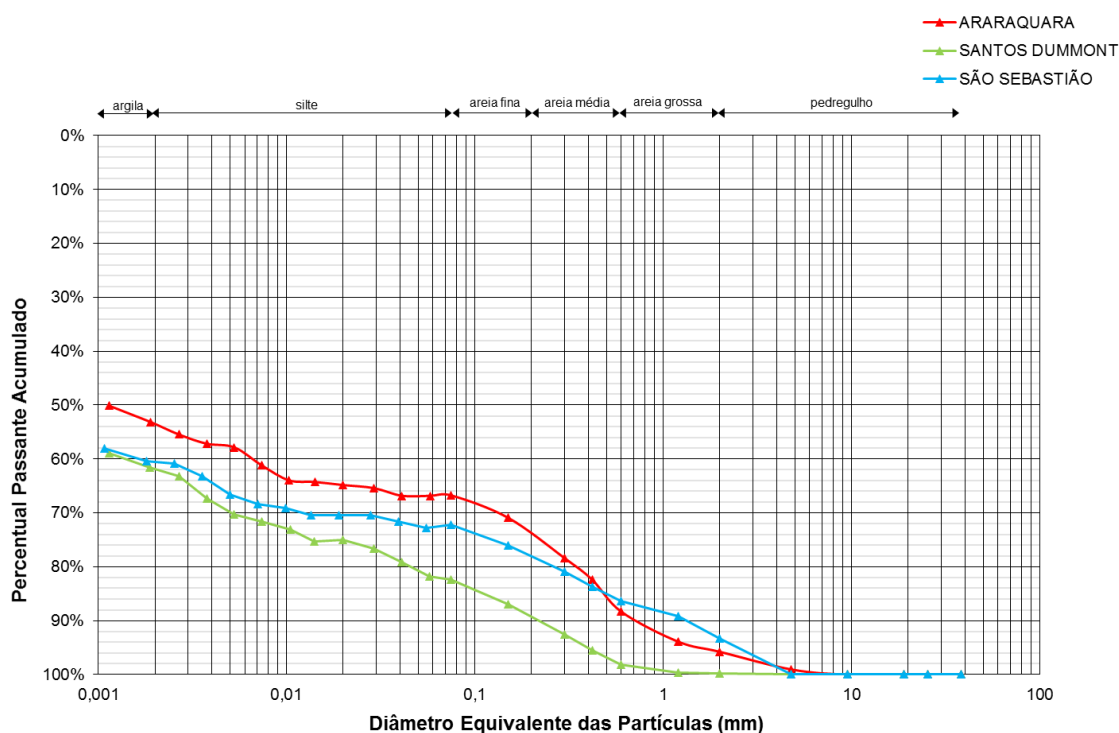
Os percentuais de massa de solo passantes e retidos nas diversas peneiras utilizadas, bem como os valores obtidos para os ensaios de limites de consistência permitem avaliar os tipos de solos encontrados nos pontos de coleta. Para tal foram utilizadas as classificações da SUCS, HRB e ASSHTO (Quadro 8).

Quadro 8 – Classificação dos Solos Analisados

Método de Classificação	Ponto 1 – São Sebastião	Ponto 2 - Araraquara	Ponto 3 – Santos Dummont
ASSHTO	A 7-5	A 7-5	A 7-5
HRB	A 7	A 7	A 7
SUCS	CH	MH	MH

Fonte: Autora (2017)

Gráfico 2 – Distribuição Granulométrica



Fonte: Autora (2017)

5.1.3 Limites de Atterberg

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos para os ensaios de liquidez e plasticidade, bem como o índice de plasticidade.

Os limites de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade determinados para os pontos de estudo são apresentados no Quadro 9.

O ponto 1 apresentou menor índice de liquidez, 68,2%, o ponto 2 possui um limite de liquidez de 77,1%. Já o terceiro ponto distou-se dos demais apresentando um alto limite de liquidez, 93,1%. Como todos os pontos estudados apresentaram

limites de liquidez elevados, maiores que 50%, caracterizando-os como pertencentes à classificação pedológica dos latossolos ou podzólicos.

Os pontos analisados apresentaram limites de plasticidade entre 56 e 61%. Dentre os valores obtidos o limite do ponto 3 distou dos demais apresentando 60,7%, enquanto para os pontos 1 e 2 obteve-se valores muito próximos, 59,6 e 56,3% respectivamente.

Em relação ao índice de plasticidade a amostra do ponto 1 mostrou média plasticidade, sendo que as amostras dos pontos 2 e 3 apresentaram alta plasticidade.

As variações encontradas nos valores obtidos para os limites de consistência dos pontos 1,2 e 3 enfatiza a heterogeneidade mesmo que estes pertençam a uma região próxima e neste caso pertencentes à mesma formação geológica e pedológica.

Quadro 9 – Limites de Consistência dos Pontos de Estudo

Ponto	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
1	68,2	59,6	9
2	77,1	56,3	21
3	93,1	60,7	32

Fonte: Autora (2017)

Segundo o estudo realizado por Bastos (2000), os teores de finos encontrados, associados aos índices de plasticidades, podem proporcionar uma avaliação indireta da erodibilidade do solo, onde os solos caracterizados como potencialmente erodíveis são aqueles cuja porcentagem de finos for maior que 55 e o índice de plasticidade se encontre acima de 10%. Neste contexto, o ponto São Sebastião é classificado como apresentando baixo grau de erodibilidade, enquanto que os pontos Araraquara e Santos Dummont indicaram alta potencialidade à erosão

5.2 ÍNDICES FÍSICOS

Neste tópico são apresentados os resultados dos índices físicos dos solos estudados, tanto para corpos de prova indeformados quanto para os remoldados.

5.2.1 Solos Indeformados

Os resultados obtidos para os índices físicos dos corpos de prova indeformados são apresentados nos Quadros 10, 11 e 12 onde os índices de vazios próximos a 1, entre 0,839 a 1,156, são valores característicos de solos residuais tropicais.

Os valores obtidos para os graus de saturação nos diferentes períodos de secagem demonstram resultados entre 0 e 100%, caracterizando os solos como não saturados. Os corpos de prova apresentam seu maior grau de saturação antes de expostos à secagem ao ar, diminuindo drasticamente após a secagem e aumento novamente após a execução do ensaio de infiltrabilidade. Sendo assim, todos os solos em todos os estágios do ensaio, bem como naturalmente, são não saturados. O peso aparente natural se comporta de forma semelhante, diminuindo com a secagem e aumentando após a execução do ensaio.

Quadro 10 – Índices Físicos antes do Ensaio (Indeformado) – Ponto 1

	Natural	24 horas	48 horas	96 horas
Teor de Umidade (%)	30,26	31,36	37,41	19,85
Índice de Vazios	1,01	1,16	1,10	1,05
Porosidade (%)	52,3	53,61	52,40	51,18
Grau de Saturação (%)	75,76	74,48	93,27	51,98
Peso Específico Aparente Natural (g/cm ³)	1,71	1,67	1,80	1,61
Peso Específico Aparente Seco (g/cm ³)	1,31	1,27	1,31	1,34
Peso Específico Aparente Saturado (g/cm ³)	1,83	1,81	1,33	1,35

Fonte: Autora (2017)

Quadro 11 – Índices Físicos antes do Ensaio (Indeformado) – Ponto 2

	Natural	24 horas	48 horas	96 horas
Teor de Umidade (%)	27,77	27,39	26,19	26,88
Índice de Vazios	0,90	0,98	0,94	1,06
Porosidade (%)	47,45	49,39	48,38	51,46
Grau de Saturação (%)	83,84	76,59	76,19	69,11
Peso Específico Aparente Natural (g/cm ³)	1,83	1,76	1,78	1,68
Peso Específico Aparente Seco (g/cm ³)	1,43	1,38	1,41	1,32

Peso Específico Aparente Saturado (g/cm ³)	1,91	1,87	1,89	1,34
--	------	------	------	------

Fonte: Autora (2017)

Quadro 12 – Índices Físicos antes do Ensaio (Indeformado) – Ponto 3

	Natural	24 horas	48 horas	96 horas
Teor de Umidade (%)	30,49	31,36	31,49	30,97
Índice de Vazios	0,91	1,09	0,87	0,84
Porosidade (%)	47,65	52,05	46,41	45,64
Grau de Saturação (%)	88,19	76,07	95,74	97,13
Peso Específico Aparente Natural (g/cm ³)	1,80	1,66	1,86	1,87
Peso Específico Aparente Seco (g/cm ³)	1,38	1,26	1,41	1,43
Peso Específico Aparente Saturado (g/cm ³)	1,85	1,78	1,88	1,89

Fonte: Autora (2017)

5.2.2 Remoldados

Os resultados obtidos para os índices físicos dos corpos de prova remoldados são apresentados nos Quadros 13, 14 e 15, onde os resultados são semelhantes aos apresentados para os corpos de prova indeformados.

Quadro 13 – Índices Físicos antes do Ensaio (Remoldado) – Ponto 1

	Natural	24 horas	48 horas	96 horas
Teor de Umidade (%)	29,2	27,07	24,82	20,77
Índice de Vazios	1,12	1,14	1,12	1,09
Porosidade (%)	52,80	53,36	52,87	52,23
Grau de Saturação (%)	71,64	64,96	60,72	52,14
Peso Específico Aparente Natural (g/cm ³)	1,67	1,63	1,61	1,58
Peso Específico Aparente Seco (g/cm ³)	1,30	1,28	1,29	1,31
Peso Específico Aparente Saturado (g/cm ³)	1,82	1,81	1,82	1,83

Fonte: Autora (2017)

Quadro 14 – Índices Físicos antes do Ensaio (Remoldado) – Ponto 2

	Natural	24 horas	48 horas	96 horas
Teor de Umidade (%)	27,05	25,54	23,07	18,83
Índice de Vazios	0,85	0,85	0,86	0,86

Porosidade (%)	45,85	45,89	46,14	46,17
Grau de Saturação (%)	87,09	82,09	73,40	59,86
Peso Específico Aparente Natural (g/cm ³)	1,87	1,85	1,81	1,74
Peso Específico Aparente Seco (g/cm ³)	1,48	1,48	1,47	1,47
Peso Específico Aparente Saturado (g/cm ³)	1,93	1,93	1,93	1,93

Fonte: Autora (2017)

Quadro 15 – Índices Físicos antes do Ensaio (Remoldado) – Ponto 3

	Natural	24 horas	48 horas
Teor de Umidade (%)	29,41	27,81	25,35
Índice de Vazios	0,82	0,82	0,83
Porosidade (%)	45,07	45,08	45,26
Grau de Saturação (%)	94,39	89,23	80,76
Peso Específico Aparente Natural (g/cm ³)	1,87	1,85	1,81
Peso Específico Aparente Seco (g/cm ³)	1,45	1,45	1,44
Peso Específico Aparente Saturado (g/cm ³)	1,90	1,90	1,89

Fonte: Autora (2017)

5.3 ENSAIOS DA METODOLOGIA MCT

São apresentados, neste tópico, os resultados obtidos para os ensaios seguindo a metodologia MCT tanto para corpos de prova indeformados quanto para os remoldados.

Os ensaios de infiltrabilidade e perda de massa por imersão foram realizados em corpos de prova em umidade natural e submetidos à secagens durante 24, 48, e 96 horas. Estes intervalos de tempo são justificados para que haja uma melhor caracterização dos efeitos da secagem na erodibilidade do solo

5.3.1 Infiltrabilidade

Neste tópico são apresentados os resultados dos ensaios de infiltrabilidade dos solos estudados, tanto para corpos de prova indeformados quanto para remoldados.

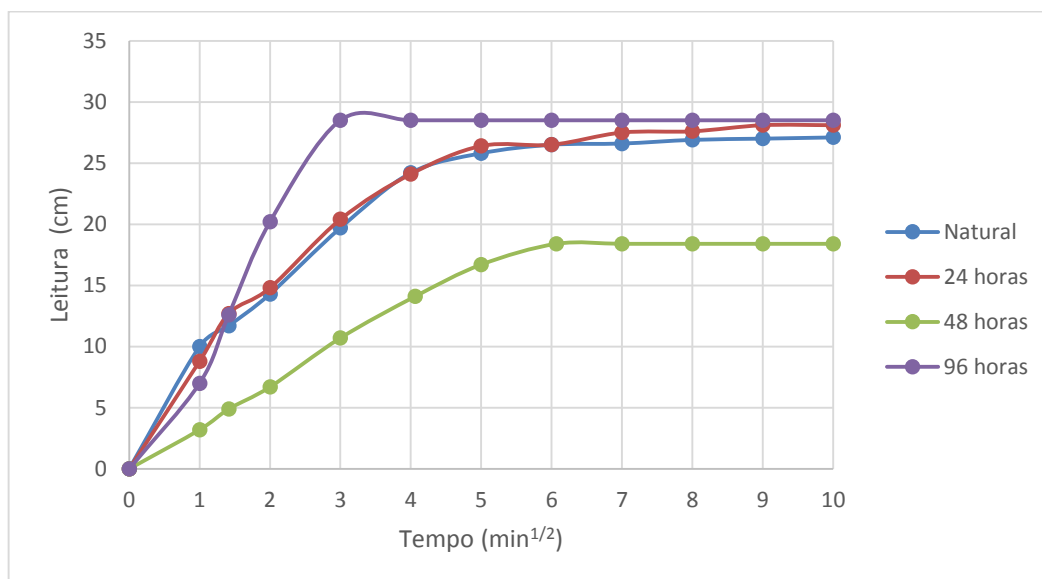
5.3.1.1 Solos Indeformados

Os resultados dos ensaios de infiltrabilidade, para os corpos de prova indeformados nos tempos estabelecidos são apresentados nos Gráficos 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

O ponto São Sebastião, número 1, apresentou variações entre as curvas, porém a partir do tempo de 81 minutos todos os corpos de prova (naturais, secagem ao ar por 24, 48, 96 horas) apresentaram variação nula na inclinação do Gráfico. Esta estabilidade no Gráfico indica que após este período não há mais infiltração de água nos corpos de prova, indicando uma rápida infiltrabilidade. O corpo de prova exposto ao ar por 96 horas apresentou estabilidade na infiltração no tempo de 16 minutos, já o corpo de prova sem exposição somente apresentou esta mesma situação ao atingir 81 minutos demonstrando que quanto mais seco ao ar o solo estiver menor será sua capacidade de infiltração.

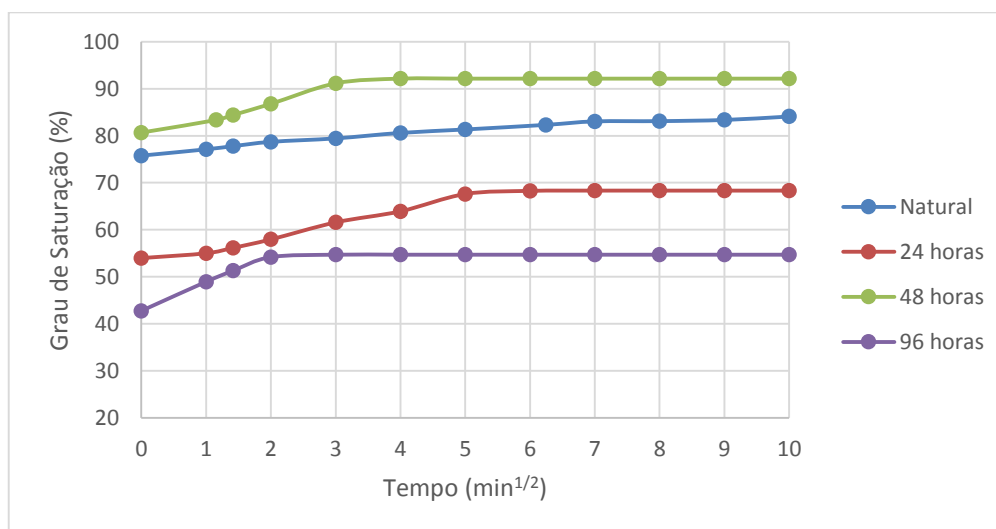
Ao correlacionar-se as curvas de infiltrabilidade com o grau de saturação pelo tempo percebe-se que estas relações são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a variação da leitura do menisco, menor será o grau de saturação inicial. Sendo assim, diferente do ocorrido, onde o corpo de prova com 48 horas de secagem apresentou o maior valor de grau de saturação, esperava-se que este corpo apresentasse um valor de grau de saturação inicial entre os valores obtidos para os corpos de prova com secagem de um e quatro dias.

Gráfico 3 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Indeformados – Ponto 1



Fonte: Autora (2017)

Gráfico 4 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Indeformado) – Ponto 1



Fonte: Autora (2017)

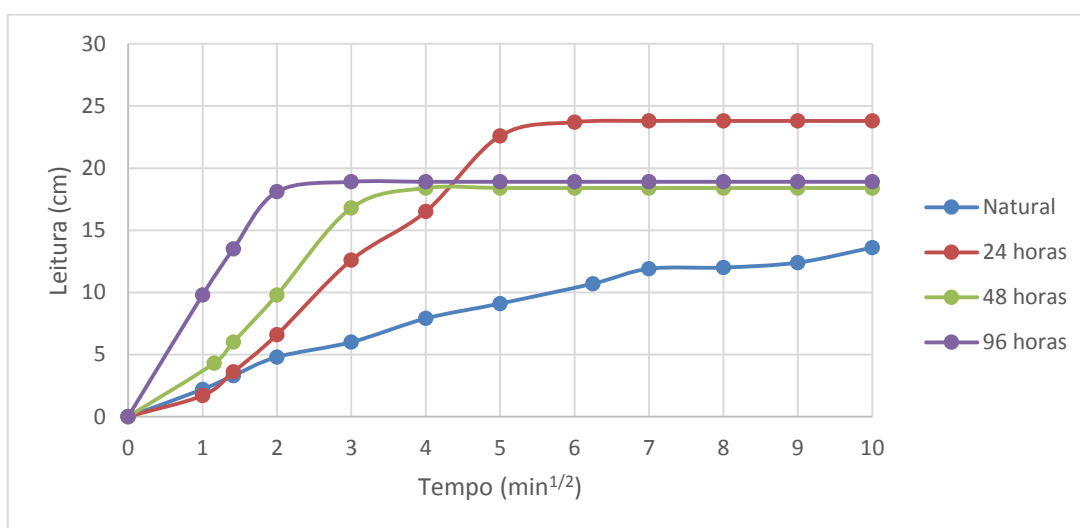
Diferentemente do ponto 1, o ponto Araraquara, número 2, apresentou constância nas leituras apenas nos solos expostos à secagem ao ar. O corpo de prova sem exposição não indicou estabilidade na infiltração, continuando a infiltrar até o término do ensaio. Os demais corpos de prova deixaram de absorver água após 49 minutos, e o corpo de prova exposto ao ar por 96 horas apresentou constância na infiltração no instante 9 minutos. O corpo de prova exposto por 24 horas apresentou maior valor de infiltração, indicando uma heterogeneidade no solo devido à distância

espacial entre os locais de coleta dos corpos, mesmo estando próximos uns aos outros.

Comparando-se os Gráficos 5 e 6, pode-se verificar que quanto maior a variação do grau de saturação maior foi a diferença entre a leitura final e inicial efetuada no ensaio de infiltrabilidade.

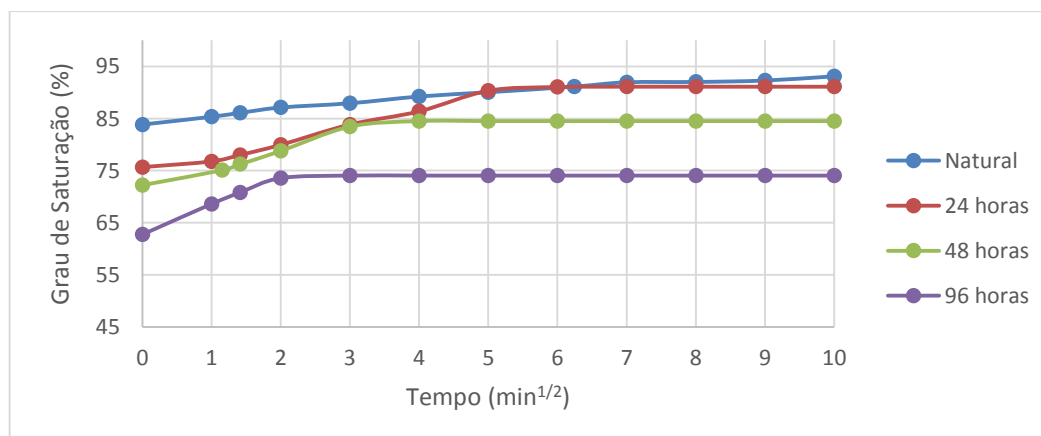
Os valores obtidos para os graus de saturações demonstraram que quanto maior o tempo que o corpo de prova foi exposto ao ar, menor se demonstrou seu grau de saturação inicial. Este aspecto se deu devido à evaporação da água presente no corpo de prova a qual foi substituída por ar.

Gráfico 5 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Indeformados – Ponto 2



Fonte: Autora (2017)

Gráfico 6 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Indeformados) – Ponto 2

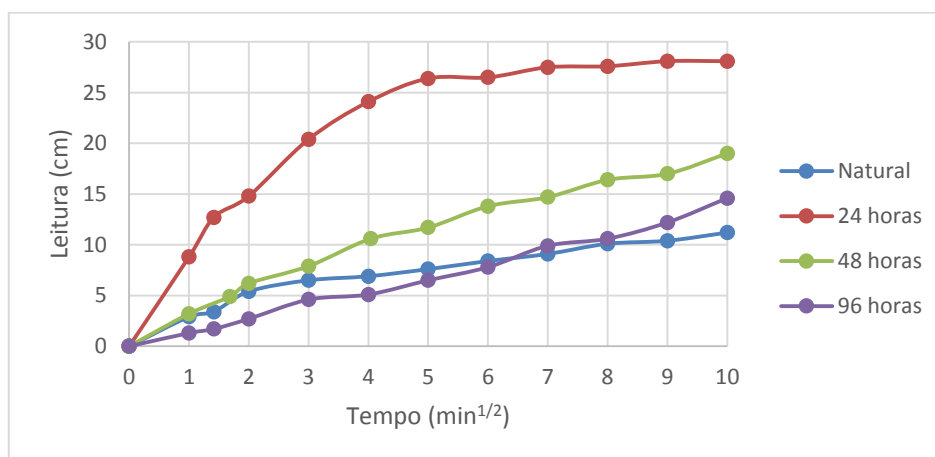


Fonte: Autora (2017)

Por fim o terceiro ponto, Santos Dummont, apresentou constância em um único corpo de prova, exposto por 24 horas, e apenas dos dois últimos tempos de leitura, 81 e 100 minutos. Podendo mostrar uma inconstância nos corpos de prova analisados, o que pode ocorrer por serem retirados do mesmo local, mas distantes entre si por alguns metros, ou até mesmo demonstrar a heterogeneidade do solo estudado.

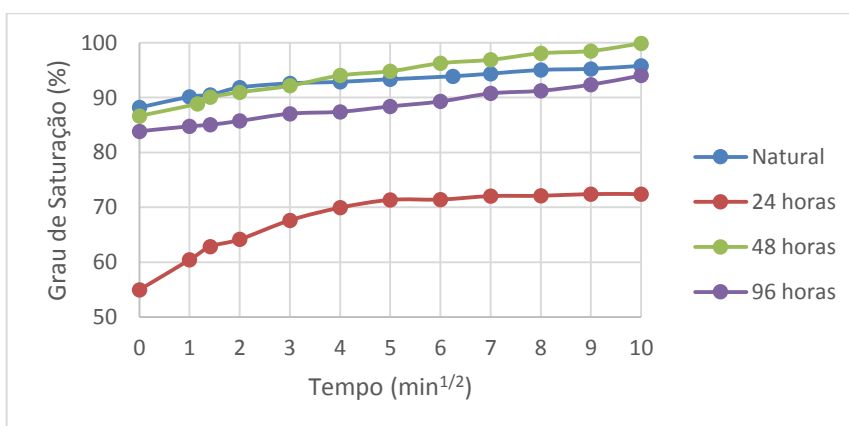
Diferentemente do segundo ponto, o ponto 3 apresentou o menor valor de grau de saturação inicial para o corpo de prova após secagem de 24 horas. Já para os demais pontos o menor valor deste grau era correspondente ao corpo exposto ao ar por 96 horas. O corpo de prova com um dia de secagem também apresentou maior variação entre os graus de saturação finais e iniciais, bem como maior variação nas leituras efetuadas no ensaio de infiltrabilidade.

Gráfico 7 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Indeformados – Ponto 3



Fonte: Autora (2017)

Gráfico 8 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Indeformados) – Ponto 3



Fonte: Autora (2017)

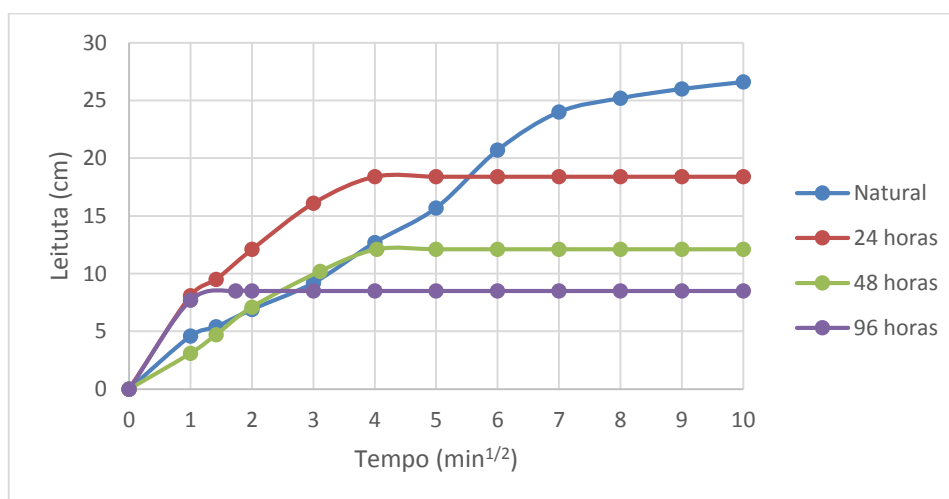
5.3.1.2 Remoldados

Os resultados dos ensaios de infiltrabilidade, para os corpos de prova remoldados em laboratório, nos tempos pré-determinados são apresentados nos Gráficos 9, 10, 11, 12, 13 e 14.

O primeiro ponto, São Sebastião, expôs variação entre curvas, entretanto a partir do instante de 16 minutos todos os corpos de prova, exceto aquele sem exposição ao ar, apresentaram constâncias nas leituras. Esta condição do gráfico indica que após este tempo não ocorre mais infiltração de água nos corpos, indicando alta capacidade de infiltração por parte deste solo. O corpo de prova exposto ao ar por 96 horas indicou estabilidade na infiltração no tempo de 3 minutos, por outro lado o corpo sem exposição não apresentou constância nas leituras, indicando que quanto maior o período de secagem do solo menor será sua capacidade de infiltração.

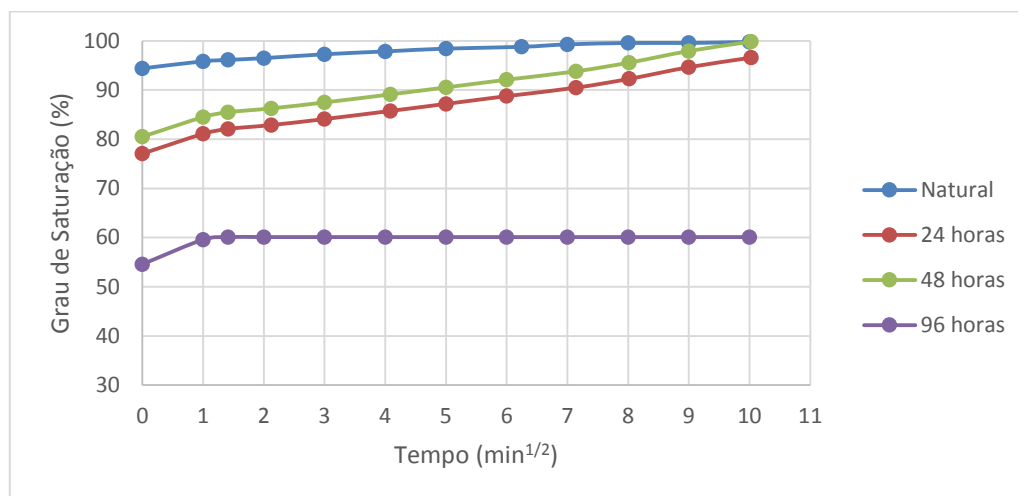
Comparando-se os Gráficos 9 e 10, pode-se verificar que nos corpos remoldados, assim como para os corpos de prova indeformados, quanto maior a variação do grau de saturação maior foi a diferença entre a leitura final e inicial efetuada no ensaio de infiltrabilidade. Sendo assim, ficou demonstrado que quanto maior o tempo de exposição ao ar, menor foi o grau de saturação inicial do corpo de prova.

Gráfico 9 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Remoldados – Ponto 1



Fonte: Autora (2017)

Gráfico 10 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Remoldado) – Ponto 1

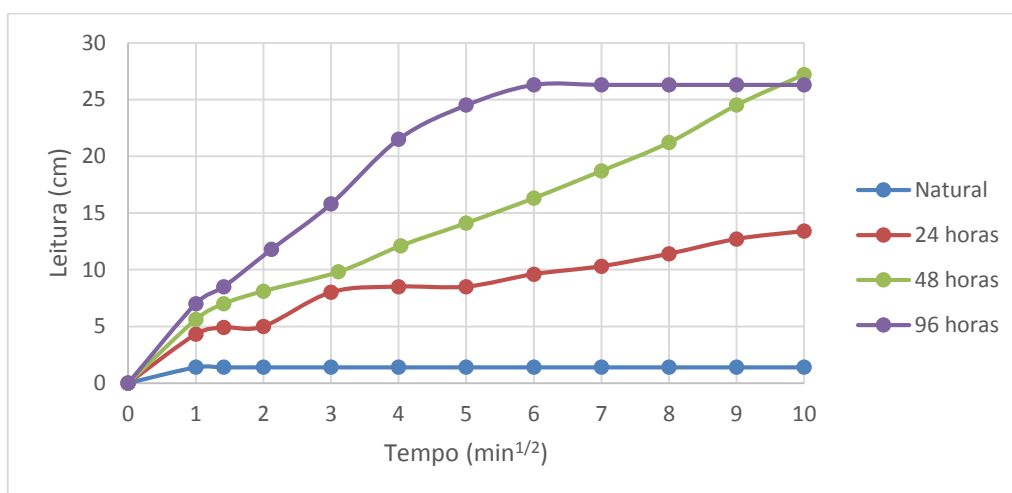


Fonte: Autora (2017)

Já o segundo ponto, Araraquara, apresentou variação nula nas curvas dos Gráficos, posteriormente ao período de 36 minutos, apenas nos corpos de prova sem secagem e secagem após 96 horas. Contudo os corpos de prova expostos ao ar por 24 horas e 48 horas não indicaram estabilidade na infiltração, ocorrendo infiltração até o término do ensaio. O corpo de prova sem secagem, diferentemente dos demais, apresentou constância nas leituras, sugerindo uma baixa permeabilidade quando o solo se encontra na umidade natural.

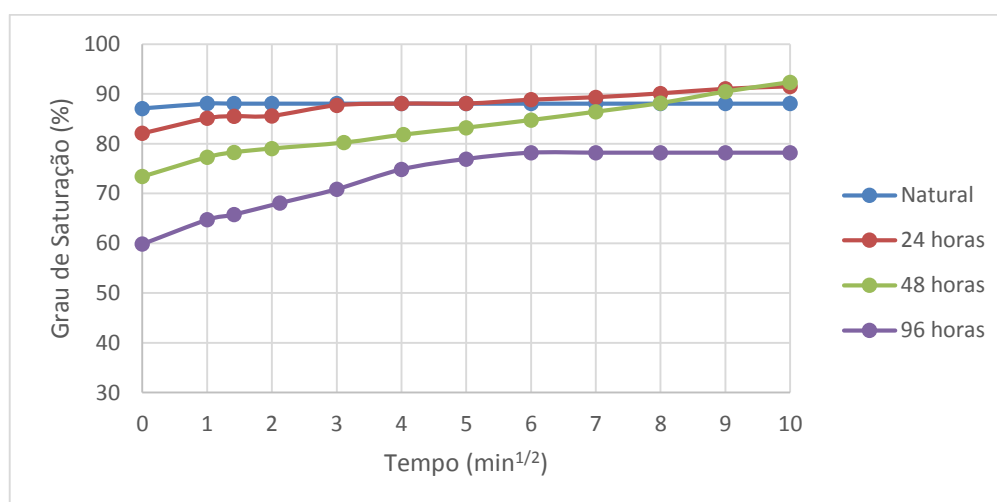
De forma similar ao ponto 1, o segundo ponto também apresentou, para os corpos de prova com maior exposição ao ar, valores menores para os graus de saturação inicial. Ainda, o corpo de prova de secagem de 48 horas, que obteve maior variação em suas leituras no início e término do ensaio de infiltrabilidade, também apresentou maior variação entre os graus de saturação final e inicial.

Gráfico 11 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Remoldados – Ponto 2



Fonte: Autora (2017)

Gráfico 12 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Remoldado) – Ponto 2

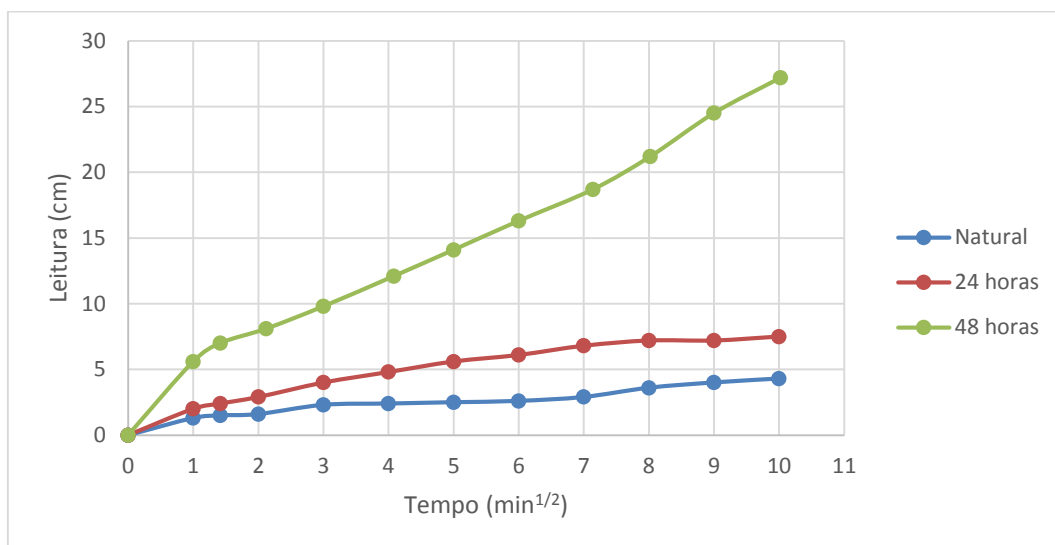


Fonte: Autora (2017)

Finalmente o terceiro ponto, Santos Dummont, indicou constância em um único corpo de prova, exposto ao ar por 96 horas, sendo assim o resultado obtido para não será considerado por não representar as características do local estudado.

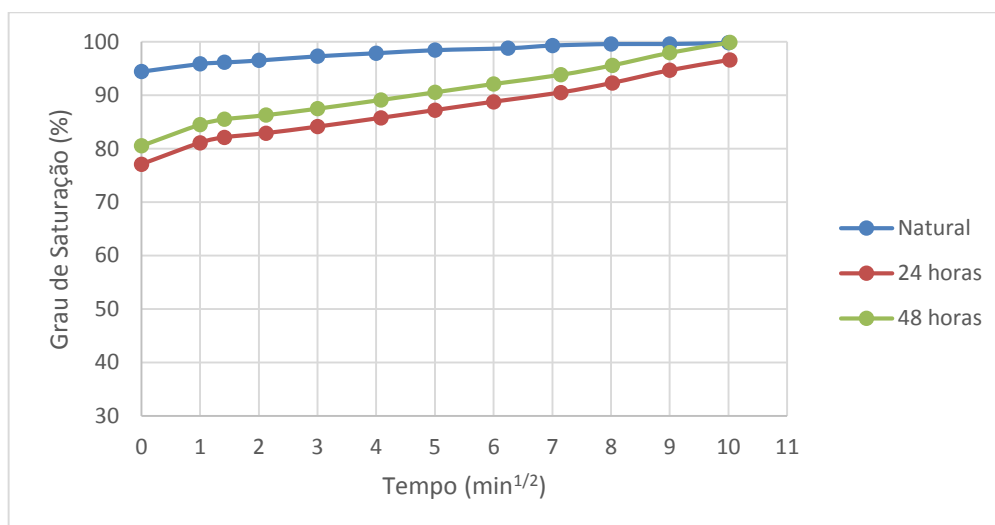
Diferentemente dos demais pontos, o ponto Santos Dummont apresentou o segundo maior valor do grau de saturação para o corpo de prova de 48 horas ao invés do corpo de prova com um dia de secagem. O corpo de prova de 96 horas apresentou inconsistências em seus resultados por este motivo não foi contabilizado.

Gráfico 13 – Infiltrabilidade de Corpos de Prova Remoldados – Ponto 3



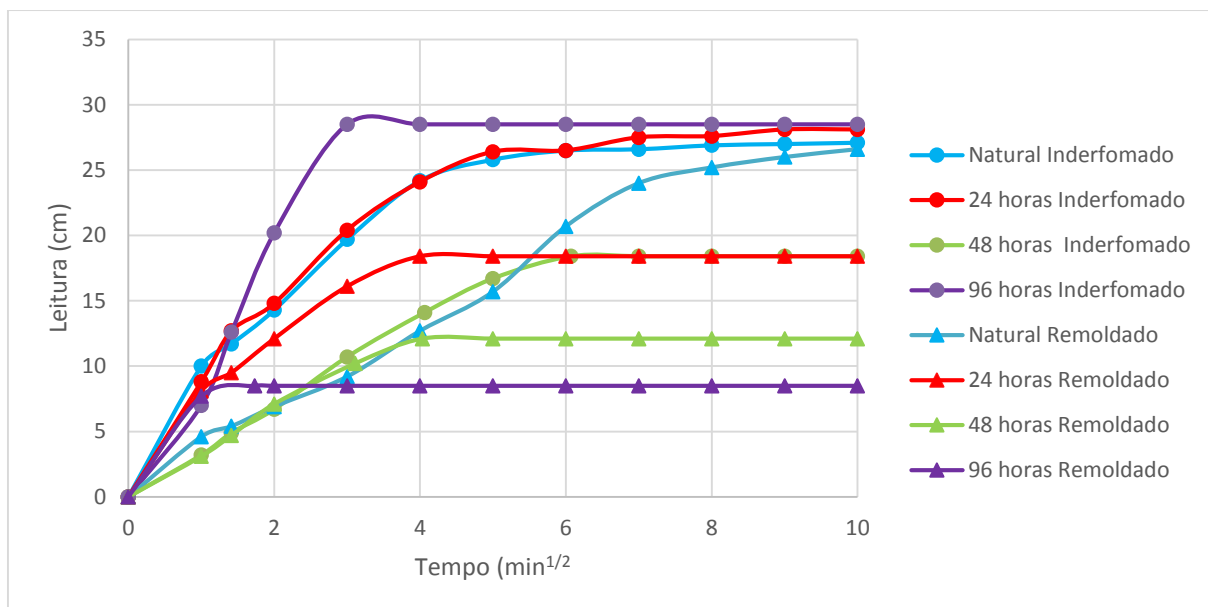
Fonte: Autora (2017)

Gráfico 14 – Correlação entre Grau de Saturação e Tempo (Remoldado) – Ponto 3



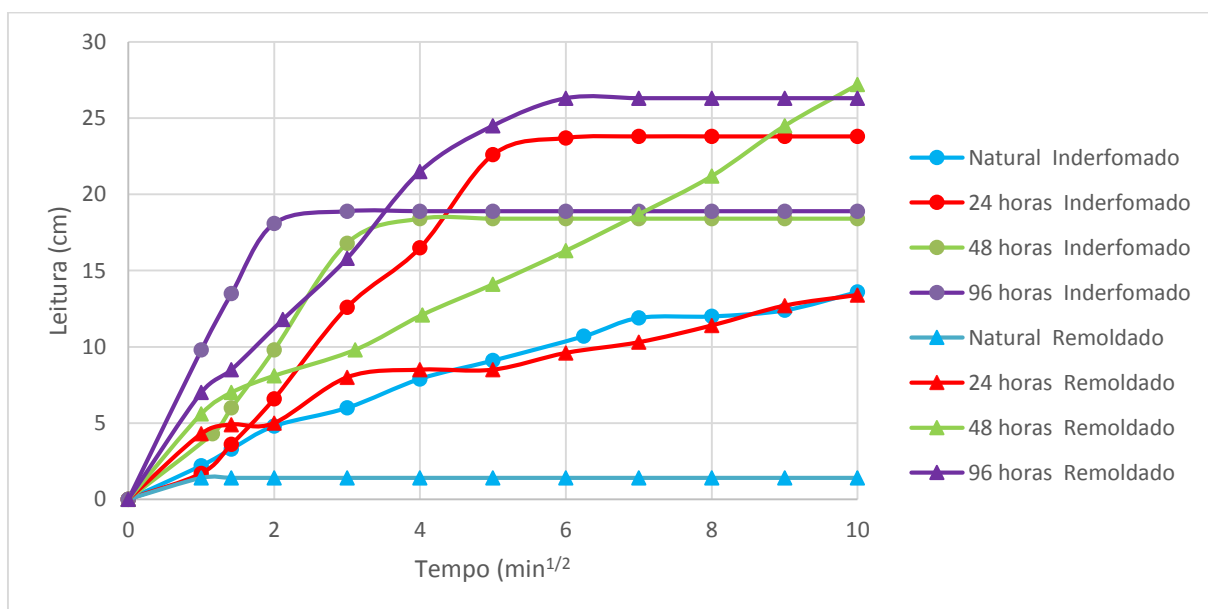
Fonte: Autora (2017)

Gráfico 15 – Comparativo da Infiltrabilidade entre os Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 1



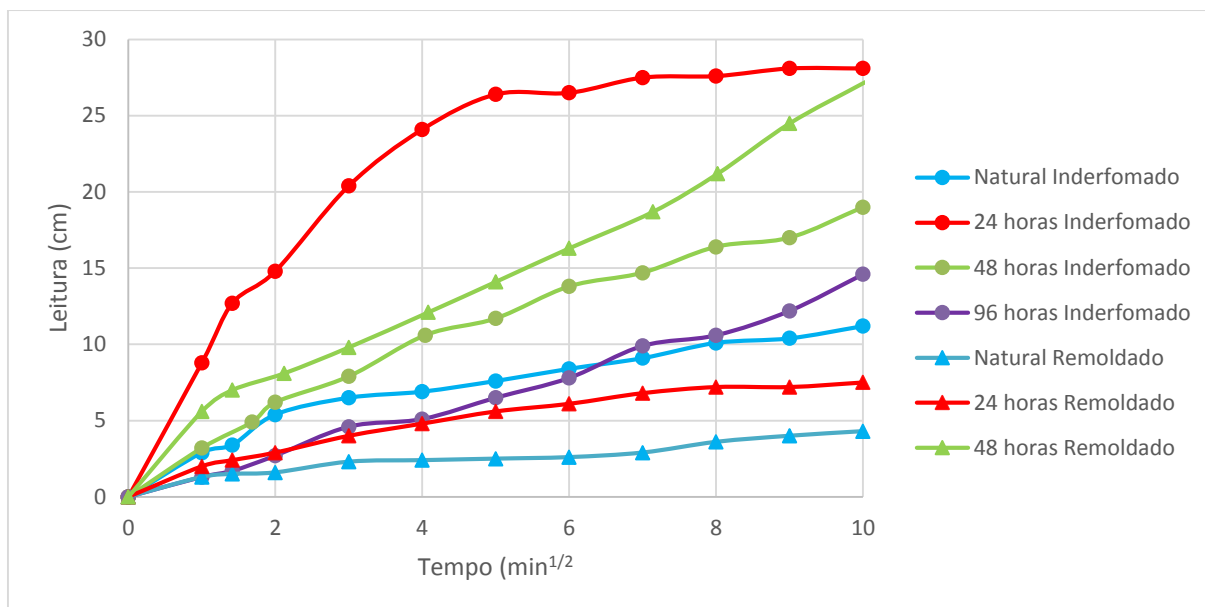
Fonte: Autora (2017)

Gráfico 16 – Comparativo da Infiltrabilidade entre os Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 2



Fonte: Autora (2017)

Gráfico 17 – Comparativo da Infiltrabilidade entre os Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 3



Fonte: Autora (2017)

Ao comparar-se os Gráficos de infiltrabilidade do ponto 1 (Gráfico 15), para os corpos de prova indeformados e remoldados pode-se perceber que houve uma tendência de estabilização para menores infiltrações exceto onde não ocorreu secagem. Indicando que a remoldagem pode promover uma diminuição na infiltrabilidade, conseqüentemente maior susceptibilidade a escoamentos superficiais.

Já no ponto 2 (Gráfico 16) observa-se que ocorreu uma mudança significativa no comportamento dos corpos de prova onde as amostras que apresentavam estabilidade em suas leituras, agora indicam instabilidade e o corpo de prova que apresentava instabilidade (amostra sem secagem) agora apresenta-se estável com uma baixa leitura de infiltrabilidade. O único corpo de prova que se manteve sem grandes variações entre remoldado e indeformado foi o de 96 horas, que apresentou constância nos instantes finais do ensaio.

Para o ponto 3 (Gráfico 17), nota-se que também houve grandes variações de comportamento diante da remoldagem onde se observa que ocorreram menores leituras de infiltração nos corpos de prova remoldados, com exceção do corpo de prova com 48 horas de secagem que apresentou maior leitura para o remoldado, indicado uma alteração no comportamento do solo que pode ser originada da compactação realizada.

5.3.2 Perda de Massa por Imersão e Potencial Erosivo

São apresentados, neste tópico, os resultados dos ensaios de perda de massa por imersão para os corpos de prova indeformados e remoldados.

Com o intuito de distinguir solos com alto potencial erosivo, daqueles com baixo potencial erosivo, foram adotados os critérios propostos por Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992).

5.3.2.1 Solos Indeformados

Os resultados dos ensaios de perda de massa por imersão, para os corpos de prova moldados em campo, nos tempos estabelecidos de secagem são apresentados nos Quadros 16, 17 e 18 e Gráficos 18, 19 e 20.

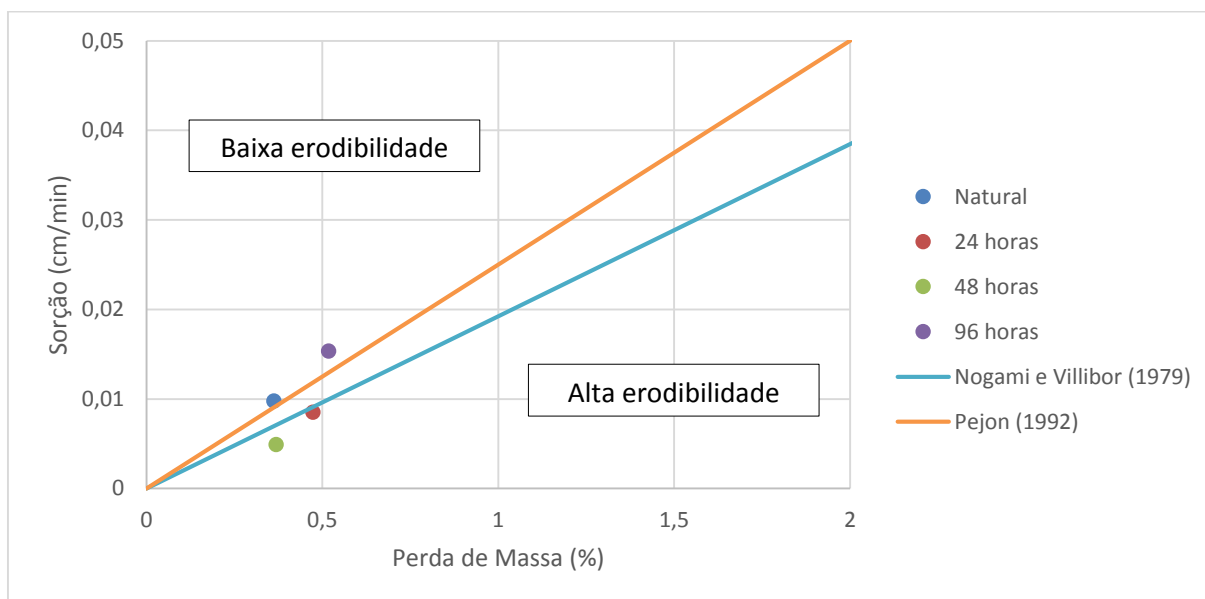
Para o ponto 1, São Sebastião, os resultados obtidos demonstram que os corpos de prova sem exposição ao ar e após secagem de 96 horas, quando comparados às retas estabelecidas por Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992), encontram-se acima delas, ou seja, possuem valores maiores para a razão de perda de massa pela sorção do que os estabelecidos pelos autores. Este aspecto demonstra que os solos nestas condições, segundo os autores, possuem baixa erodibilidade. Já os corpos de prova depois de 24 e 48 horas de secagem apresentaram alta erodibilidade. Diante destes resultados esperava-se que o corpo de prova exposto por 96 horas deveria se apresentar abaixo das retas Porém, como o valor obtido indicou que encontram-se à cima delas, isto pode indicar uma heterogeneidade na composição dos solos entre os pontos coletados.

Quadro 16 – Parâmetros de Erodibilidade (Campo) – Ponto 1

Tempo de Exposição ao Ar	Perda de Massa (%)	Sorção (cm/min^{1/2})
Natural	0,362	0,010
24 horas	0,473	0,008
48 horas	0,369	0,005
96 horas	0,518	0,015

Fonte: Autora (2017)

Gráfico 18 – Critério de Erodibilidade (Campo) – Ponto 1



Fonte: Autora (2017)

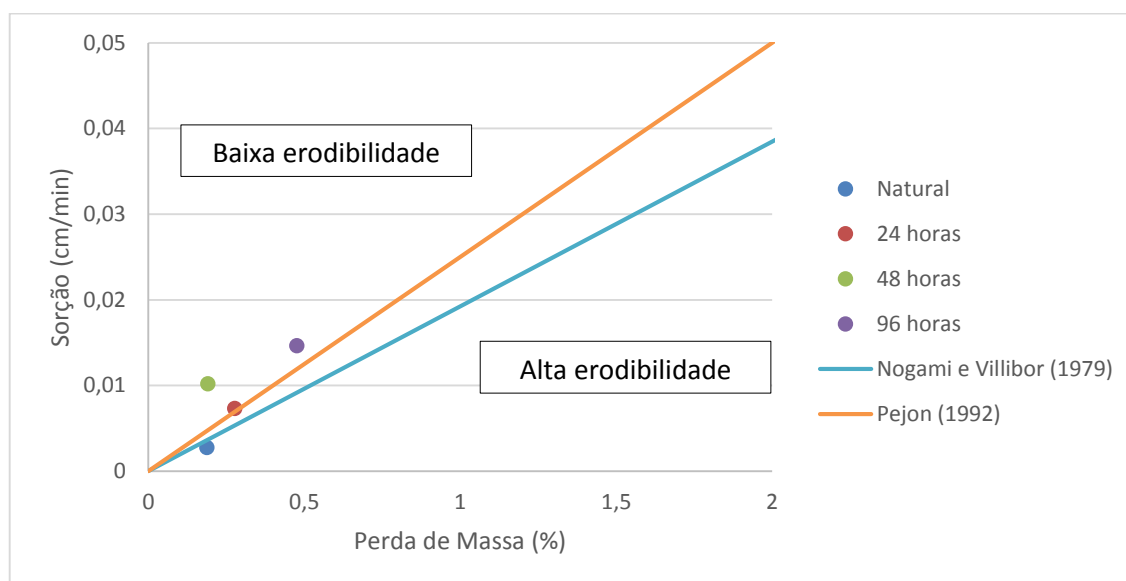
Quando analisado o ponto 2, os valores obtidos demonstram que os corpos após secagem de 48 e 96 horas, se comparados às retas estabelecidas pelos autores, encontram-se acima das mesmas, possuindo assim baixa erodibilidade. Já o corpo sem secagem apresentou alta erodibilidade, enquanto que o corpo de prova exposto por 24 horas encontra-se em cima da reta estabelecida por Pejon (1992), indicando média erodibilidade para este autor e baixa erodibilidade para Nogami e Villibor por estar à cima da reta destes autores. Os resultados obtidos indicam que quanto maior o tempo de exposição à secagem maior será seu valor se sorção e menor será seu potencial erosivo.

Quadro 17 – Parâmetros de Erodibilidade (Campo) – Ponto 2

Tempo de Exposição ao Ar	Perda de Massa (%)	Sorção (cm/min ^{1/2})
Natural	0,188	0,003
24 horas	0,277	0,007
48 horas	0,190	0,010
96 horas	0,476	0,015

Fonte: Autora (2017)

Gráfico 19 – Critério de Erodibilidade (Campo) – Ponto 2



Fonte: Autora (2017)

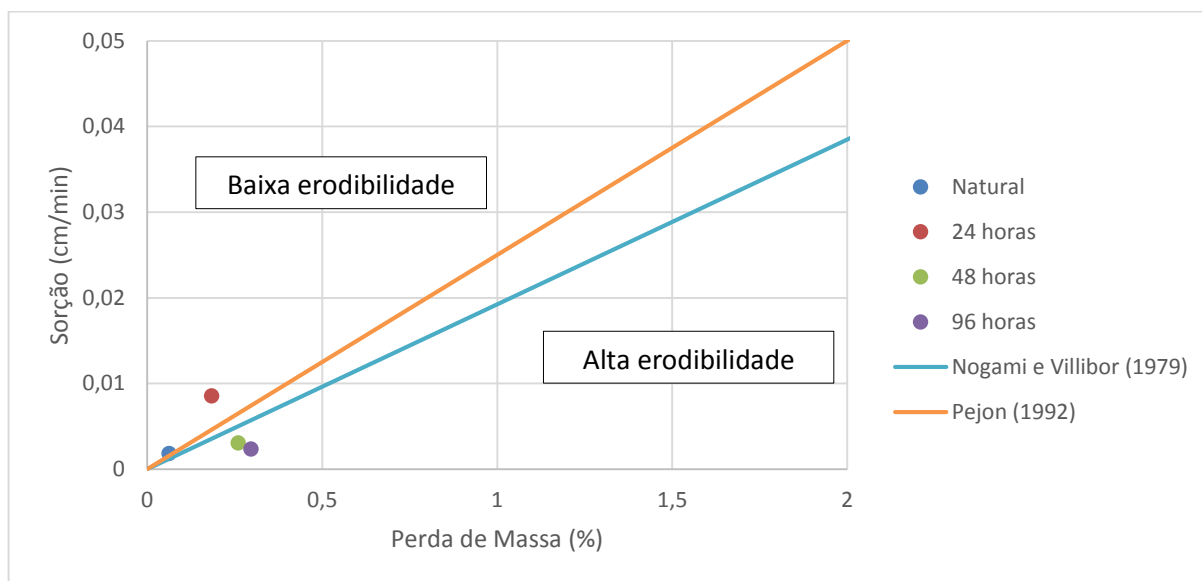
Para o terceiro solo, Santos Dummont, os resultados obtidos demonstram que os corpos de prova em sua maioria apresentam alta erodibilidade, quando comparados às retas estabelecidas pelos autores. Os corpos de prova correspondentes aos tempos de secagem de 48 e 96 horas apresentam alto grau de erodibilidade, enquanto que o corpo de prova sem secagem encontra-se sob as duas retas dos autores, indicando que para ambos o ponto possui média erodibilidade. Já para o ponto de 24 horas a relação entre sorção e perda de massa indica que o ponto possui baixa erodibilidade, esta condição deve-se ao fato de que o corpo de prova possui um índice de vazios mais elevado que os demais corpos de prova.

Quadro 18 – Parâmetros de Erodibilidade (Campo) – Ponto 3

Tempo de Exposição ao Ar	Perda de Massa (%)	Sorção (cm/min ^{1/2})
Natural	0,062	0,002
24 horas	0,184	0,008
48 horas	0,259	0,003
96 horas	0,296	0,002

Fonte: Autora (2017)

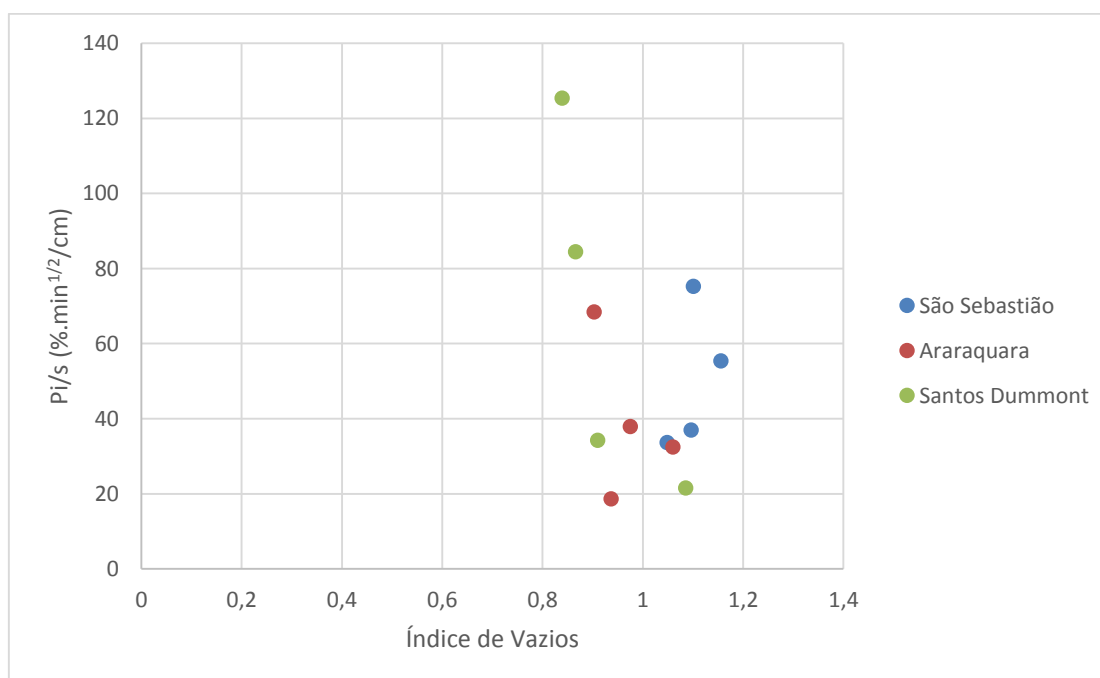
Gráfico 20 – Critério de Erodibilidade (Campo) – Ponto 3



Fonte: Autora (2017)

Os índices de vazios (Gráfico 21) para todos os pontos são muito próximos, orbitando próximo a 1, e a relação entre a perda de massa e a sorção também se mantiveram relativamente próximas, em sua maioria entre 20 e 80 $\text{min}^{1/2}/\text{cm}$. Apenas um ponto, correspondente a 96 horas de secagem, se destacou dos demais apresentando uma relação de Pi/s de aproximadamente 125 $\text{min}^{1/2}/\text{cm}$.

Gráfico 21 – Relação entre a Perda de Massa e Sorção pelo Índice de Vazios (Campo)

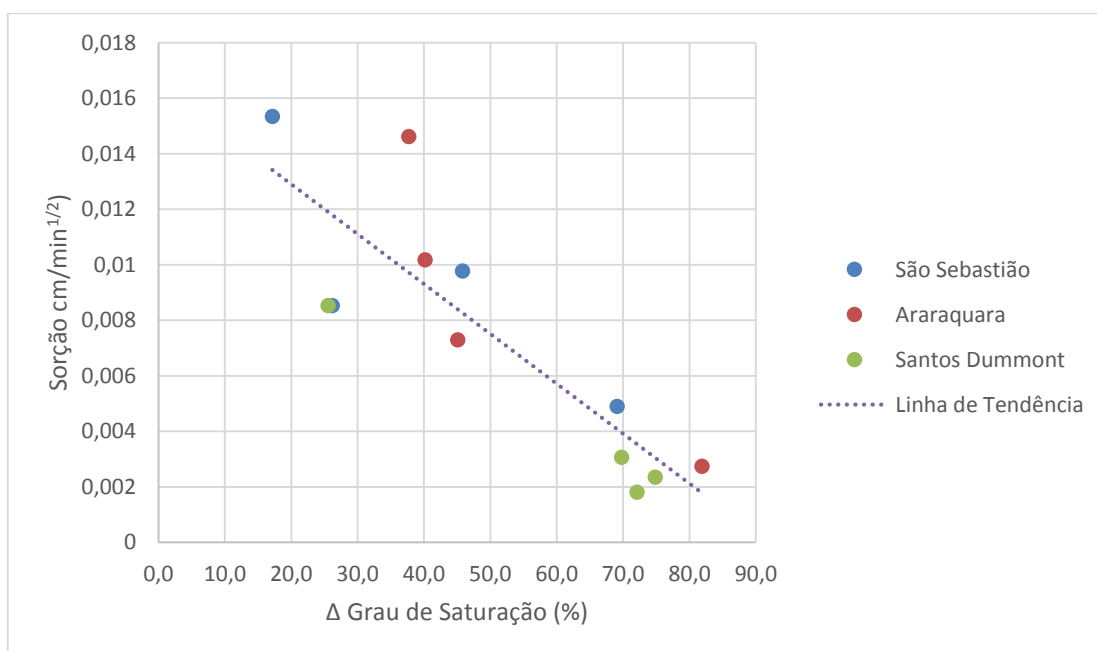


Fonte: Autora (2017)

Dentre os pontos estudados, como pode ser visto no Gráfico 22, o terceiro apresentou menor variação entre os graus de saturação, valores muito próximos a 70%, apresentando um único ponto inferior ao demais cujo valor obtido aproxima-se de 25%, correspondente a 24 horas de secagem. De forma diferente, os dois outros pontos apresentaram grande variação entre os diferentes graus de saturação, bem como os diferentes valores de sorção.

Os maiores coeficientes de sorção obtidos são correspondentes aos corpos de prova expostos ao ar pelo período de 96 horas, tanto para o ponto Araraquara quanto para o ponto São Sebastião, apresentando valores próximos a $0,015 \text{ min}^{1/2}/\text{cm}$. Já para o ponto Santos Dummont o maior valor obtido refere-se ao corpo de prova após secagem de 24 horas, cerca de $0,008 \text{ min}^{1/2}/\text{cm}$.

Gráfico 22 – Relação entre a Sorção e a Variação do Grau de Saturação (Campo)



Fonte: Autora (2017)

5.3.2.2 Remoldados

Os resultados dos ensaios de perda de massa por imersão, para os corpos de prova remoldados em laboratório, nos tempos pré-determinados de secagem ao ar são apresentados nos Quadros 19, 20 e 21 e Gráficos 23, 24 e 25.

Diferentemente dos resultados obtidos para os corpos de prova indeformados, todos os corpos de prova do ponto São Sebastião, quando comparados à reta

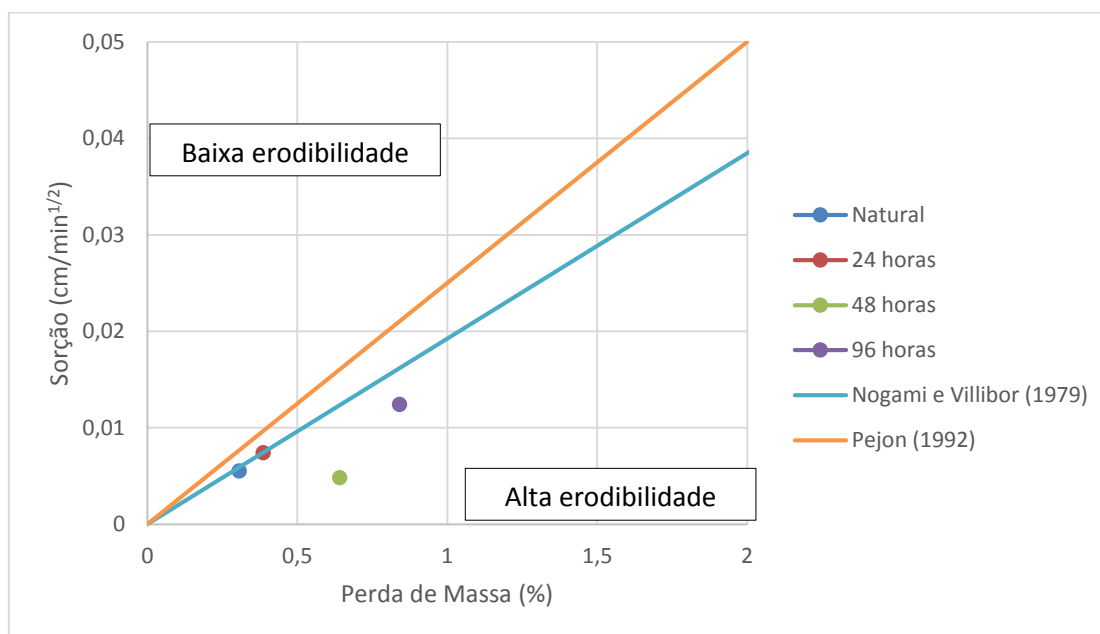
estabelecida por Pejon (1992), encontram-se abaixo da linha, indicando que para este autor os pontos possuem alta erodibilidade. Entretanto, para Nogami e Villibor (1979) o corpo de prova com 24 horas de secagem apresentou-se sob a reta de erodibilidade, indicando um médio grau de susceptibilidade à erosão. Os demais corpos de prova também são de alta erodibilidade por estarem todos abaixo de ambas as retas.

Quadro 19 - Parâmetros de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 1

Tempo de Exposição ao Ar	Perda de Massa (%)	Sorção ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)
Natural	0,306	0,005
24 horas	0,387	0,007
48 horas	0,642	0,005
96 horas	0,841	0,012

Fonte: Autora (2017)

Gráfico 23 – Critério de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 1



Fonte: Autora (2017)

Para o ponto Araraquara, os valores obtidos demonstram que, assim como os corpos de prova indeformados, o ponto após secagem de 96 horas encontra-se à cima das retas indicando que este ponto apresenta baixa erodibilidade, enquanto que os demais pontos apresentam-se abaixo das retas, ou seja, alta erodibilidade. Diante dos resultados, esperava-se que o corpo de prova de 96 horas apresentasse-se abaixo das retas, mas como não ocorreu isto também pode sugerir uma heterogeneidade na

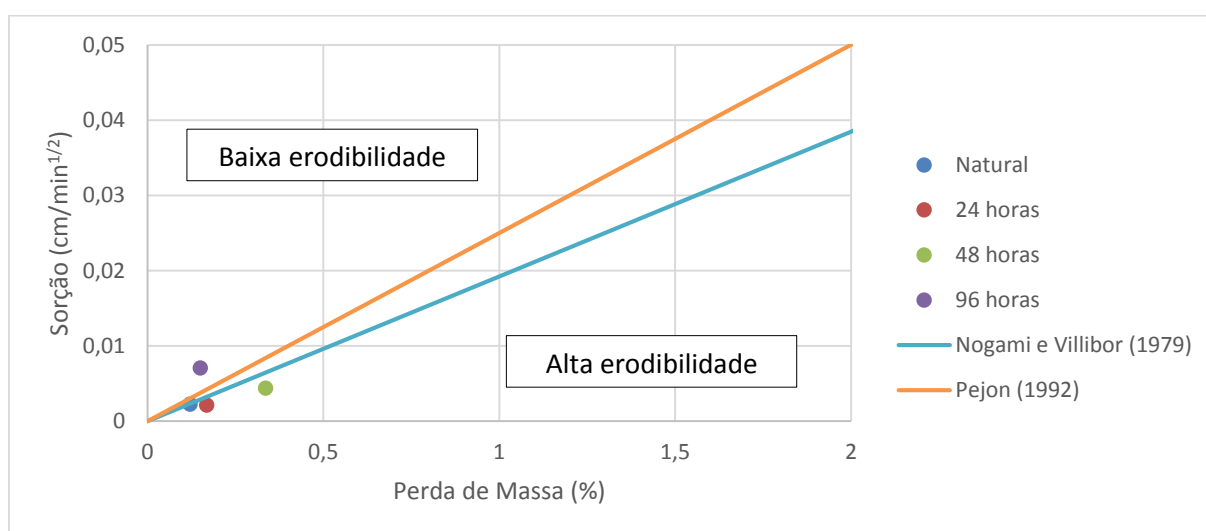
composição do solo entre os pontos coletados, mesmo que os pontos possuam pequena distância entre eles.

Quadro 20 – Parâmetros de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 2

Tempo de Exposição ao Ar	Perda de Massa (%)	Sorção ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)
Natural	0,121	0,002
24 horas	0,168	0,002
48 horas	0,335	0,004
96 horas	0,150	0,007

Fonte: Autora (2017)

Gráfico 24 – Critério de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 2



Fonte: Autora (2017)

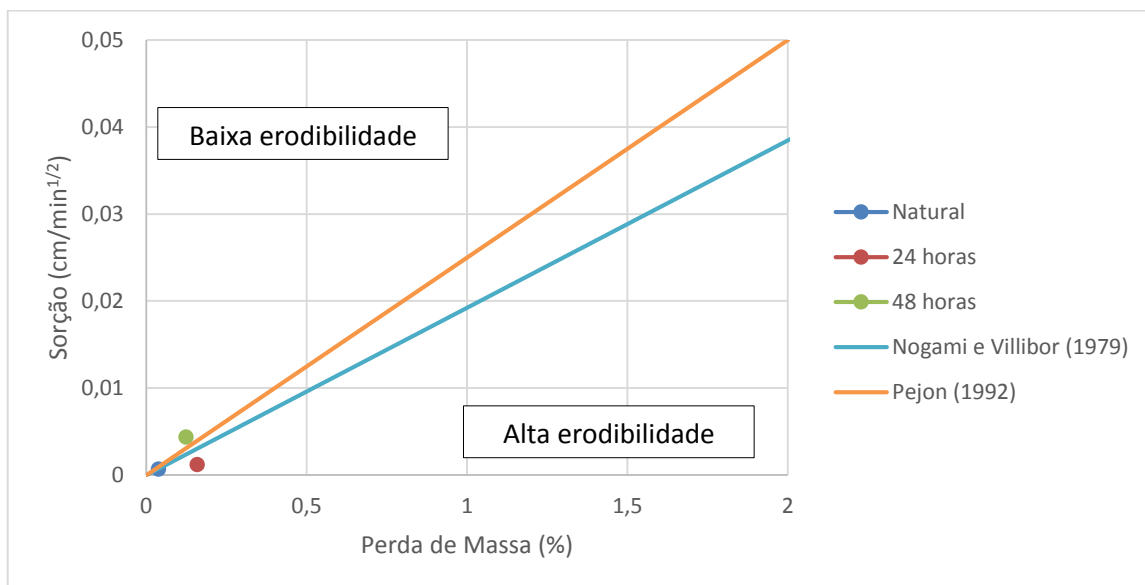
Nos corpos de prova remoldados do ponto 3, com base nos resultados obtidos e comparando-os às retas estabelecidas pelos autores, alguns corpos de prova apresentam-se acima das retas enquanto outros apresentam-se abaixo. Os corpos de prova sem secagem e exposto à secagem de 24 horas encontram-se abaixo das retas dos autores, indicando alta erodibilidade. Já o corpo de prova que foi exposto a 48 e horas ao ar, apresentou-se acima das retas indicando sua baixa erodibilidade.

Quadro 21 – Parâmetros de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 3

Tempo de Exposição ao Ar	Perda de Massa (%)	Sorção ($\text{cm}/\text{min}^{1/2}$)
Natural	0,038	0,001
24 horas	0,158	0,001
48 horas	0,124	0,004

Fonte: Autora (2017)

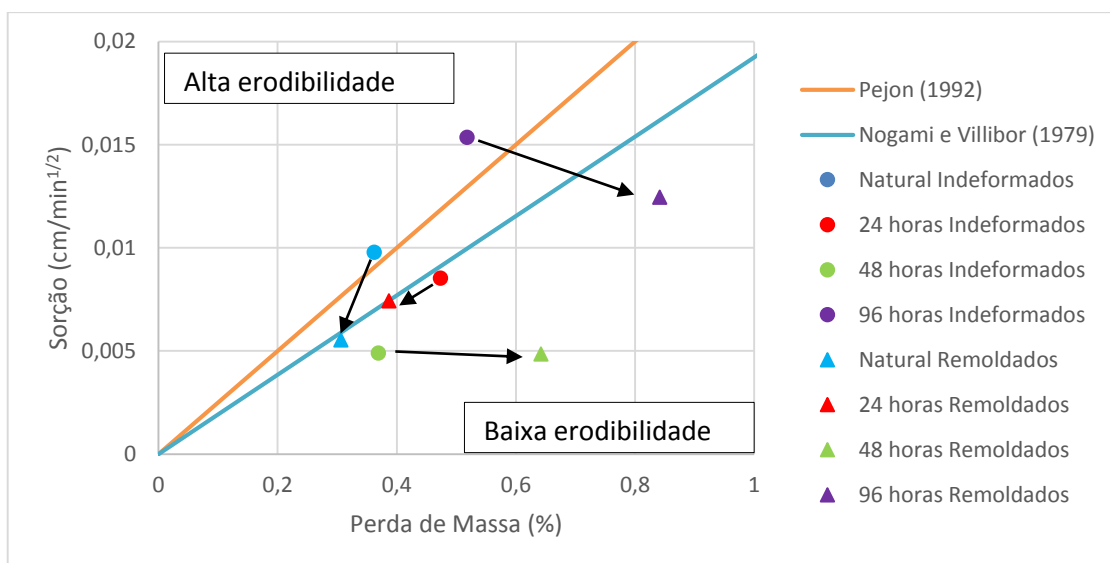
Gráfico 25 – Critério de Erodibilidade (Remoldados) – Ponto 3



Fonte: Autora (2017)

De acordo com os dados do Gráfico 26, a remoldagem promoveu um aumento no grau de erodibilidade, exceto para o corpo de prova com 24 horas de secagem, onde houve uma redução. Já os valores de perda de massa não demonstram uma relação entre os corpos de prova remoldados e indeformados.

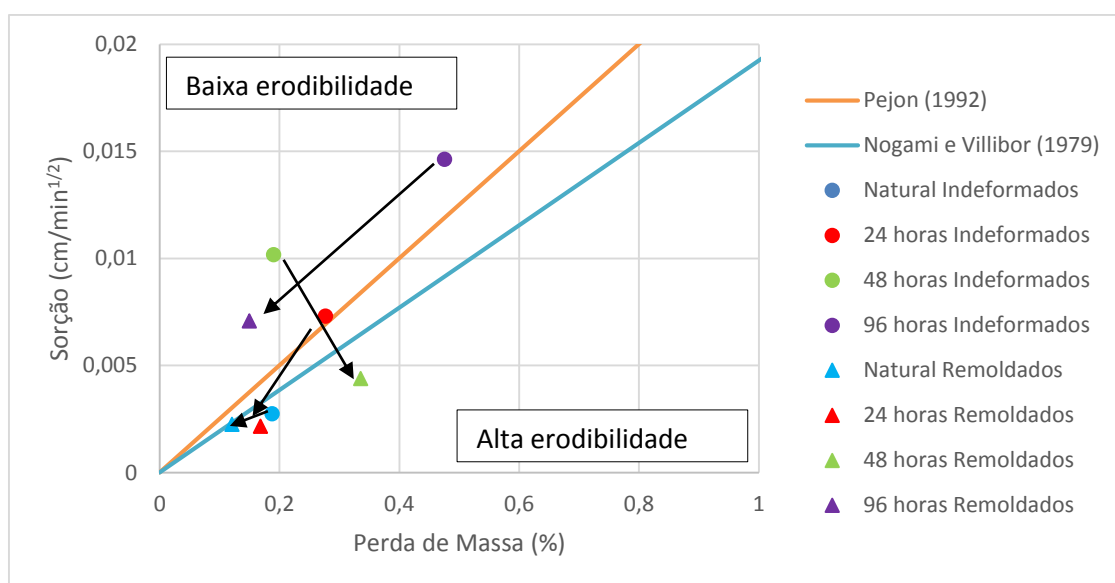
Gráfico 26 – Comparativo de Sorção e Pi/s entre Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 1



Fonte: Autora (2017)

Para o ponto Araraquara, ocorreu aumento nos graus de erodibilidade em dois dos corpos de prova com 24 e 48 horas de secagem. Enquanto que para o corpo de prova de 96 horas de secagem não ocorreu diferença significativa no grau de erodibilidade. Já o corpo de prova sem secagem saiu de um estado de alto grau de erodibilidade quando indeformado para médio grau de erodibilidade quando remoldado.

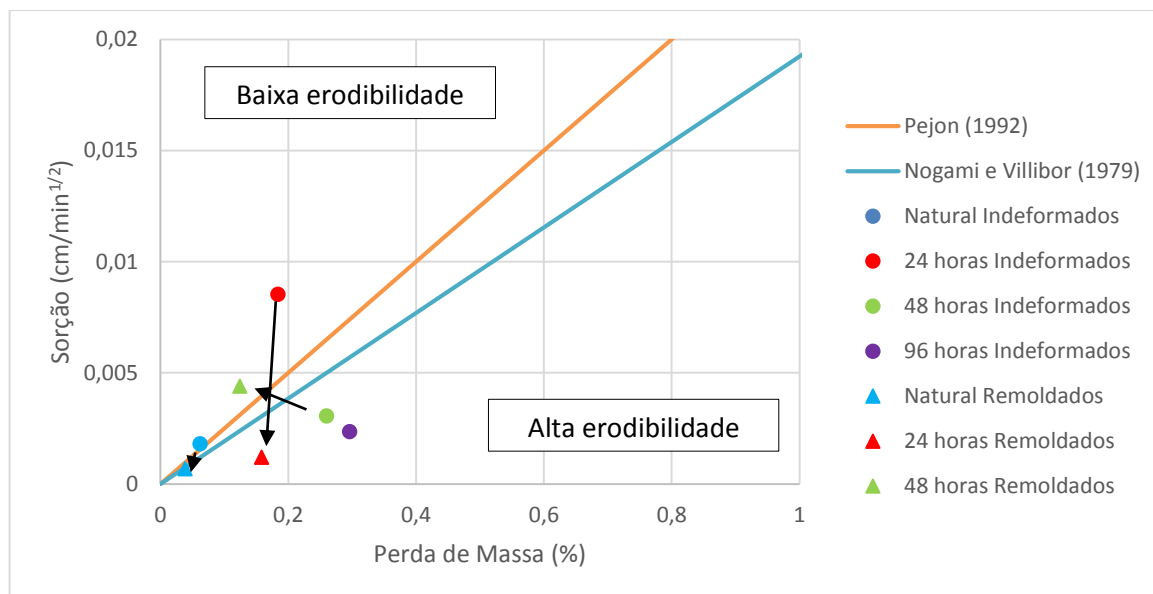
Gráfico 27 – Comparativo de Sorção e Pi/s entre Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 2



Fonte: Autora (2017)

Já para o ponto Santos Dummont, apenas os corpos de prova sem secagem e com secagem de 24 horas apresentaram aumento no grau de erodibilidade, enquanto que o corpo de prova exposto ao ar por 48 demonstrou uma variação de alto para baixo grau de erodibilidade, para os corpos indeformados e remoldados, respectivamente.

Gráfico 28 – Comparativo de Sorção e Pi/s entre Corpos de Prova Indeformados e Remoldados – Ponto 3



Fonte: Autora (2017)

Os valores obtidos permitem estabelecer que, assim como para os corpos de prova indeformados, os três pontos estudados possuem ensaios cujos resultados encontram-se abaixo e acima das retas sugeridas pelos autores, existindo então uma relação da erodibilidade com a secagem dos mesmos. Assim sendo, como se pode verificar em campo e com auxílio dos pesquisadores Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992), os ensaios apontam que os pontos de São Sebastião e Araraquara apresentam alta susceptibilidade à erosão, enquanto que o ponto Santos Dummont apresentou quatro corpos de prova indicando alto grau de erodibilidade e quatro indicando baixo grau.

Assim como para os corpos de prova indeformados, os remoldados (Gráfico 29) apresentaram valores de índice de vazios próximos a 1. Já os valores de perda de massa por sorção apresentaram-se muito dispersos, apresentando significativa variação entre corpos de prova de um mesmo ponto.

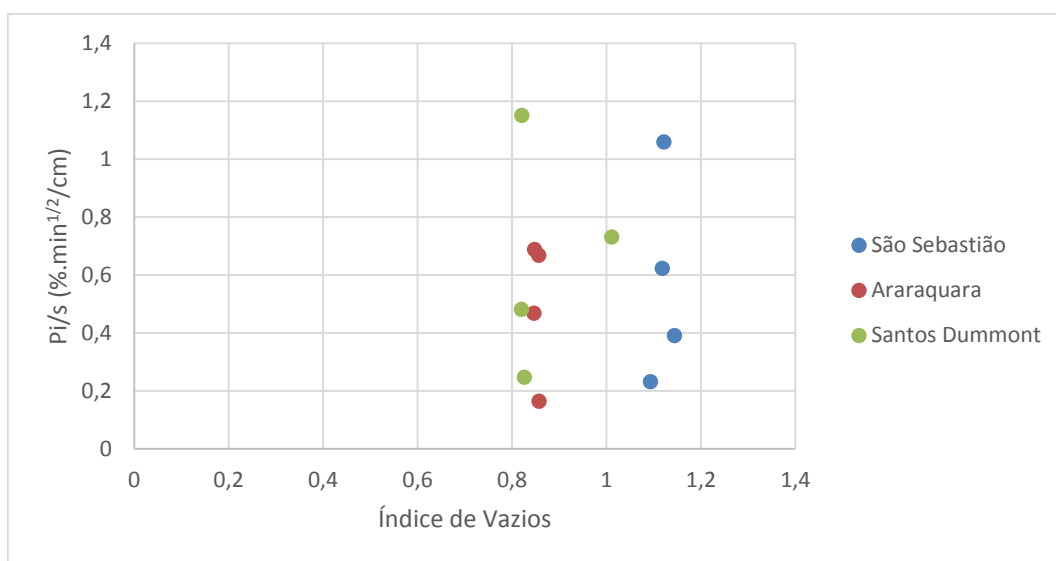
Quando se comparam os resultados obtidos nos ensaios de erodibilidade com as características encontradas em campo percebe-se uma possível incoerência nos pontos São Sebastião e Santos Dummont, pois estes não apresentavam indícios de processos erosivos mesmo os valores encontrados indicando alta erodibilidade.

De forma contrário, o ponto Araraquara, para os corpos de prova indeformados, demonstrou baixa erodibilidade mesmo o local de extração apresentando indícios de

erosão. Para os remoldados, três dos quatro corpos de prova indicaram alto grau de erodibilidade.

Estes resultados podem demonstrar que para uma melhor classificação da susceptibilidade dos solos à erosão, deve-se utilizar critérios de erodibilidade específicos para a região em estudo, bem como executar um maior número de ensaios.

Gráfico 29 – Relação entre a Perda de Massa e Sorção pelo Índice de Vazios (Remoldado)



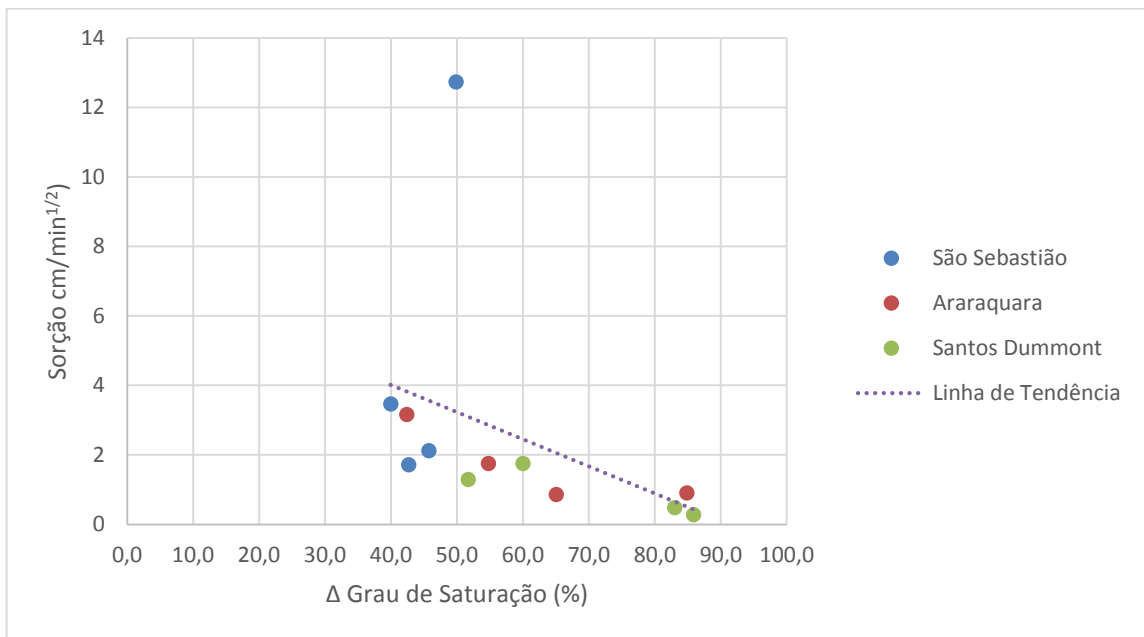
Fonte: Autora (2017)

O grau de saturação para os corpos remoldados (Gráfico 30), em sua grande maioria, apresentam-se bem próximos a 40% e 60% enquanto que a sorção apresentou-se no intervalo entre 0 e 4. A exceção está no corpo de prova exposto à secagem de 96 horas de um dos corpos de prova do São Sebastião, que apresentou elevada sorção quando comparado aos demais, 12,73 min^{1/2}/cm,

De maneira diferente dos corpos de prova indeformados, os remoldados apresentaram menor variação entre os valores de sorção obtidos, assim como os valores de grau de saturação que apresentaram menor dispersão.

Os maiores coeficientes de sorção obtidos são correspondentes aos corpos de prova expostos ao ar pelo período de 96 horas para o ponto Araraquara e São Sebastião, apresentando valores de 3,17 min^{1/2}/cm e 12,73 min^{1/2}/cm, respectivamente. Já para o ponto Santos Dummont o maior valor obtido refere-se ao corpo de prova após secagem de 48 horas, cerca de 1,76 min^{1/2}/cm.

Gráfico 30 – Relação entre a Sorção e a Variação do Grau de Saturação (Remoldado)



Fonte: Autora (2017)

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho abordou o estudo sobre o potencial erosivo da localidade conhecida como Morro do Finder, pertencente ao município de Joinville, cujo objetivo foi determinar as características físicas dos solos, bem como avaliar seu grau de erodibilidade.

A metodologia proposta para a análise da susceptibilidade dos solos à erosão – ensaios de infiltrabilidade e perda de massa por imersão, associados a ensaios de limites de Atterberg, densidade real dos grãos e granulometria – apresentou resultados satisfatórios para caracterização das amostras coletadas quanto à erodibilidade nos três pontos estudados.

Através do ensaio de granulometria, observou-se que todos os pontos possuem grande porcentagem de finos. Em relação ao índice de plasticidade, a amostra do ponto 1 mostrou média plasticidade, sendo que as amostras dos pontos 2 e 3 apresentaram alta plasticidade. A associação destes dois resultados aos ensaios de caracterização física, que estão associados ao potencial erosivo, segundo Bastos (2000), o ponto São Sebastião é classificado como sendo de baixo grau de erodibilidade, enquanto que os outros dois pontos indicaram alta potencialidade à erosão. Ainda, fortalecendo esta correlação, foi possível classificar os solos como pertencentes aos grupos A7-5 na classificação ASSTHO e A7 na classificação HRB. Para a classificação SUCS, o ponto 1 foi considerado CH (argila de alta plasticidade) e os pontos 2 e 3 classificados como MH (silte de alta plasticidade).

Já para os ensaios da metodologia MCT os resultados obtidos para os corpos de prova indeformados e remoldados demonstraram que para o ponto São Sebastião a remoldagem promoveu um aumento na susceptibilidade à erosão. Já o ponto Araraquara apresentou aumento no grau de erodibilidade para os corpos de prova com secagem de um e dois dias, enquanto que, para o corpo de prova com 96 horas de secagem observou-se a estabilidade no grau de erodibilidade, e o corpo sem secagem indicou diminuição na susceptibilidade à erosão. Por fim os corpos de prova do ponto Santos Dummont apresentaram diminuição no grau de erodibilidade para os corpos de prova após secagem de dois, enquanto que para os corpos de prova sem

secagem e com 24 horas de secagem ocorreu um aumento no grau de erodibilidade. Estes resultados indicam que os graus de erodibilidade estão diretamente ligados ao tempo de secagem dos corpos de prova, bem como sua remoldagem ou não. Todavia, não foi possível estabelecer um padrão nos resultados que indicasse uma tendência dos corpos de prova indeformados apresentarem um menor grau de erodibilidade enquanto que os corpos de prova remoldados deveriam indicar um maior grau de erodibilidade quando comparados aqueles.

Em resumo, para a avaliação direta da erodibilidade dos solos (ensaio da metodologia MCT), utilizaram-se os valores obtidos nos ensaios de perda de massa por imersão associados aos coeficientes de sorção, obtidos nos ensaios de infiltrabilidade. Com isto, pode-se estabelecer, comparando-se a valores fornecidos por outros autores, o grau de erodibilidade, apontando-se que os pontos de coletas, em sua maioria, apresentaram potencialidade à ocorrência de problemas associados a processos erosivos.

Por fim, mesmo havendo divergência entre os resultados do potencial erosivo para os métodos indiretos (granulometria e limites de consistência) e diretos (ensaio da metodologia MCT), optou-se por aceitar os resultados dos ensaios de perda de massa e infiltrabilidade (métodos diretos) como mais precisos. Isto se dá devido a estes ensaios levarem em consideração não apenas as características físicas do solo, mas também seu comportamento quando ensaiados corpos de prova que simulam o comportamento do solo original.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que, em estudos futuros, sejam desenvolvidos os seguintes aspectos:

- Elaborar um mapeamento geotécnico da área estudada;
- Aumentar o número de amostras estudadas, expandindo a área de análise para outros locais;
- Ampliar os estudos das amostras com ensaios de compactação e ensaios de resistência;
- Correlacionar os ensaios realizados com outros métodos para avaliação da susceptibilidade à erosão;

- Ampliar os estudos de erodibilidade, propondo a execução de ensaios de *Inderbitzen*.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457**. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, RJ - 1986.

_____. **NBR 6458**. Método de ensaio – grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, RJ - 1984.

_____. **NBR 6459**. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, RJ - 1982.

_____. **NBR 7180**. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ - 1982.

_____. **NBR 7181**. Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro - RJ, 1984.

_____. **NBR 9604**. Procedimento – Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro - RJ, 1986.

ABREU, L. V. de. **Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas**. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Mudanças climáticas e recursos hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação** / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, GGES, 2016

ALMEIDA, J. G. R. et al. **Proposta metodológica para execução e análise dos resultados do ensaio de Inderbitzen no estudo de erodibilidade laminar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14. 2013, Rio de Janeiro. Goiânia: Cbge, 2013. p. 1 – 8.

AVILA, L. O. de. **Erosão na Microbacia do Arroio Sarandi: Voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria/RS**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Centro de Ciências Naturais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

BASSO, L. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas sedimentares de uma voçoroca na cidade se São Francisco de Assis-RS**. 2013. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

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

BERTONI, J. **O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. 10. ed. São Paulo: Bragantia, 1959. 28 p. 18 v.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1993. 355 p.

BIGARELLA, J. J. **Estruturas e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: EdUFSC, 2003.

BRASIL. EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos/ordens/organossolos>>. Acesso em: 20 out. 2017.

BRASIL. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@**. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=420910&search=santa-catarina|joinville>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988. 244 p.

CARVALHO, J. C. de. **Erosão: origens, soluções e responsabilidades**. Brasília. 2009

DEBUS, L. R. **Avaliação da erodibilidade por métodos indiretos e diretos em solos e rochas do estado do Rio Grande do Sul**. 2015. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

Departamento Nacional de Estradas de Estradas de Rodagem. **Classificação CLA 256-96: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura**. 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **IPR - 719: Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006. 278 p.

_____. Método De Ensaio **ME 041-94: Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização**. 1994.

_____. **093-94: Solos – determinação da densidade real**. 1994.

_____. Método De Ensaio **ME 162-94: Solos – ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas**. 1994.

_____. Método De Ensaio **ME 213-94**: Solos – determinação do teor de umidade. 1994.

_____. Método De Ensaio **ME 256-94**: Solos compactados em equipamento miniatura - determinação de perda de massa por imersão. 1994.

DIRCKSEN, J. H. S. **Estabilização de encosta localizada no morro do Iririú, em Joinville, por meio de solo grampeado com faceamento com telas metálicas de alta resistência**. 2016. 157 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016

Evolução de uma bacia. Disponível em:

<http://www.prof2000.pt/users/elisabethm/geo8/rio3_ficheiros/prios.jpg>. Acesso em: 20 out. 2017.

FERNANDES, J. A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS**. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FARIA, A. L. L. de et al. **Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG)**. Caminhos da Geografia, Uberlândia, v. 9, n. 4, p.50-65, jul. 2003. Disponível em: <www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html ISSN 1678-6343>. Acesso em: 24 set. 2017

FONSECA, A. V. da. **Caracterização de solos residuais em projecto geotécnico assistido por ensaios**. Porto, 2009. 90 p.

FREIRE, E.P. **Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 7, 2001, Goiânia, GO. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.

FUNDEMA. **Diagnóstico socioambiental do morro do Iririú e entorno imediato**: Subsídios à proposta de criação da área de relevante interesse ecológico (ARIE) do morro do Iririú. [2011?]. Disponível em:
<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjG9tyM_NbLAhVIG5AKHd9gCOMQFggcMAA&url=https://www.joinville.sc.gov.br/arquivo/download/codigo/717-Proposta+de+cria%C3%A7%C3%A3o+da+ARIE+do+Iriri%C3%BA++diagn%C3%B3stico+socioambiental+3.html&usg=AFQjCNFbAr7V1rCe7sEDO9Ewd-vq1qWQ1w&sig2=_D_2oDFQ4eJQqcNPEtjqbA&bvm=bv.117218890,d.Y2I>.
Acesso em: 20 out. 2017.

GOLÇALVES, M. L. **Caracterização - aspectos físicos**: Geologia. Disponível em: <<http://www.cubataojoinville.org.br/index.php?site=caracterizacao&tipo=fisicos>>. Acesso em: 20 out. 2017

GOMES, F. S. **Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo**. 2001. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001

GOOGLE Maps: Morro do Finder. 2017. Disponível em:
<<https://www.google.com.br/maps/@-26.2587032,-48.8322323,14z?hl=pt-BR>>.
Acesso em: 16 jul. 2017

GRANDO, A et al. **Erodibilidade dos solos de uma microbacia experimental determinada por ensaios geotécnicos de Infiltrabilidade e Perda de massa por imersão**. Florianópolis.2009

GUIA Santa Catarina. 2002. Disponível em:
<<http://www.guiasantacatarina.com.br/joinville/cidade.php3>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

HEIDEMANN, M. **Mapeamento geotécnico de um vetor de expansão urbana do município de Tubarão - SC**. 2008. 179 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2008.

HIGASHI, R. R.; DIAS, R. D. **Erodibilidade dos solos residuais de granito do município de Tubarão**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 144-158.

HIGASHI, R. A. R.; DIAS, R. D.; MACCARANI, M. **Potencial erosivo dos solo**. 1º Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, Florianópolis SC: GEDN/UFSC, p. 144 – 158, 2004.

IBEIRO, J. M. G.; OLIVEIRA, T. M. N. de (Org.). **Cartilha geográfica: Bacias hidrográficas dos rios Cubatão (norte) e Cachoeira**. Joinville: Mercado de Comunicação, 2014. 40 p.

JOINVILLE. Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento Para O Desenvolvimento Sustentável de Joinville. **Joinville em Números**. 2011. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/04/Joinville-Cidade-em-Números-2011.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

_____. OLIVEIRA D. D. Secretaria de Administração (Org.). **Diagnóstico do meio físico, biótico, econômico e social**. 2010. Disponível em:
<http://sistemaspmj.joinville.sc.gov.br/documentos_vivacidade/1022-PMJ-PMS-RT-P003-R1.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2017.

_____. Unidade Pesquisa e Documentação. Ippuj - Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento Para O Desenvolvimento Sustentável de Joinville. **Joinville Bairro a Bairro**. 2015. Disponível em:
<<https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/Joinville-Bairro-a-Bairro-2015.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

_____. 2017. Disponível em: <<http://pt-br.topographic-map.com/places/Joinville-3550419/>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

MACHADO, F. B. **Rochas: Metamórficas**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/rochas/metamorficas/gnaisse.html>>. Acesso em: 20 out. 2017.

MACHADO, S. L.; MACHADO, M. F. C. **Mecânica dos solos 1: conceitos introdutórios**. Salvador: Setor de Geotecnia, 1997?. 114 p.

MAGALHÃES, R. A. **Erosão: definições, tipos e formas de controle** In: 7º In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSIÃO, 5, 2001, Goiânia, GO. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.

MARCULINO, E. **Geografia hoje**. 2012. Disponível em: <<http://geografianovest.blogspot.com.br/2012/10/questao-da-terra-solo-e-agropecuaria-no.html>>. Acesso em: 14 jun. 2017.

MENDES, W.; CASTRO, A. F de. **Limitações do uso dos solos do estado do Paraná por susceptibilidade à erosão**. 19. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1984. 14 p.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area**. Bulletin of International Association of Engineering Geology, Krefeld, n. 19, p.196-199, 1979.

_____. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, p. 240, 1995.

ON THE EROSION potential of some weathered soils from southern Brazil. International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 34, n. 3, p. 219-224, 2011. São Paulo.

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.

PEREIRA, S. B. et al. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 3, p. 423-429, 2003. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

PERFIS de Intemperismo. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9174/9174_3.PDF>. Acesso em: 15 jul. 2017.

PIRES, M. A. F.; SILVA, P. J. da. 8º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 8. 2009, São Paulo. **A contribuição do aporte de sólidos no rio Paraguai devido ao**

processo erosivo na sua bacia hidrográfica, dando origem a um processo de anastomose. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2009. 12 p.

PMJ. Parque municipal do morro do Finder. Estudo ambiental simplificado. OAP Consultores Associados. 2010.

RIBEIRO, J. M. G; OLIVEIRA, T. M. N. Bacias hidrográficas dos rios Cubatão (norte) e cachoeira Joinville. Mercado de Comunicação.2014. 1ª edição.40p.

SILVA, A. E. da. Análise da erodibilidade de solos residuais da bacia do Itacorubi - SC. 2016. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SOUZA, R. A. de. Estudo comparativo dos ensaios de CBR e MINI-CBR para solos de Uberlândia - MG. 2007. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

TOMASI, L. F. Ensaio de Inderbitzen para avaliação da erodibilidade dos solos e rochas: aplicação nas regiões de Santa Maria, São Francisco de Assis e Porto Alegre/RS. 2015. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

UBERTI, A. A. A. Boletim técnico do levantamento da cobertura pedológica e da aptidão agrícola das terras das bacias hidrográficas da vertente leste. Boletim técnico. Joinville: PMJ, 2011. 87 p.

UBERTI, A. A. A.; SARTOR, L. R. Cobertura pedológica do município de Joinville. Prefeitura Municipal de Joinville, 2012. Escala 1:10.000.

WIKIPÉDIA. Joinville. 2006. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Joinville>>. Acesso em: 14 jun. 2017.