

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ESTUDO DA ERODIBILIDADE DE UMA UNIDADE
GEOTÉCNICA NO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE
SANTA MARIA COMO BASE PARA O SEU
PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Adriana Diniz Corrêa

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

**ESTUDO DA ERODIBILIDADE DE UMA UNIDADE
GEOTÉCNICA NO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA
MARIA COMO BASE PARA O SEU PLANEJAMENTO
AMBIENTAL**

Adriana Diniz Corrêa

Defesa de Mestrado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGGEO), **Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial**, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

Orientadora: Prof. Dr^a. Andréa Valli Nummer

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Corrêa, Adriana

Estudo da Erodibilidade de uma Unidade Geotécnica no Campo de Instrução de Santa Maria como base para o seu planejamento ambiental / Adriana Corrêa.-2015.

115 p.; 30cm

Orientadora: Andréa Valli Nummer

Coorientador: Rinaldo Barbosa Pinheiro

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2015

1. Erosão 2. Impactos ambientais 3. Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) I. Valli Nummer, Andréa II. Barbosa Pinheiro, Rinaldo III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica de Teses e Dissertações

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Adriana Diniz Corrêa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Acadêmico Rigoberto Duarte, 345, Santa Maria, RS, 97060-030

End. Elet.: adridiniz@yahoo.com.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DA ERODIBILIDADE DE UMA UNIDADE GEOTÉCNICA NO
CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA COMO BASE PARA O
SEU PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

Elaborada por
Adriana Diniz Corrêa

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Andréa Valli Nummer, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)
(Co-Orientador)

Romário Trentin, Dr. (UFSM)

Rafael Cabral Cruz, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 14 de Agosto de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar por estar ao meu lado todos os dias desta longa caminhada e por me dar força e inspiração necessária para vencer, pois... Nele confiei, Nele esperei e com Ele conquistei!

"Lâmpada para os meus pés é a tua palavra e, luz para os meus caminhos." Salmos 119:105

Neste momento da minha vida agradeço a todos da minha família que, me incentivaram nesta jornada por tudo conquistado, por todas as palavras de inspiração, carinho e por confiarem na vitória, agradeço.

Aos meus pais, não tenho palavras suficientes para demonstrar o meu amor o meu agradecimento, vocês são meus pilares, obrigada pela paciência e incentivo por acreditarem e confiarem na minha conquista.

Aos técnicos de laboratório de Materiais de construção Civil do Centro de tecnológico da UFSM e Laboratório de laminação e do Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da UFSM, pelos bons momentos de convivência e troca de experiências. E a todos os colegas e amigos que de uma forma ou outra contribuíram e me ajudaram.

A minha Orientadora Prof^a Dr^a Andrea Valli Nummer, pelos ensinamentos dedicados, pela compreensão, incentivo, amizade que com toda atenção e carinho, aceitou o desafio pela orientação na elaboração desse trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria, instituição que viabilizou a realização deste curso de Pós-Graduação com qualidade de ensino público e gratuito.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DA ERODIBILIDADE DE UMA UNIDADE GEOTÉCNICA NO CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA COMO BASE PARA O SEU PLANEJAMENTO AMBIENTAL

AUTORA: ADRIANA DINIZ CORRÊA
ORIENTADORA: DR^a ANDREA VALLI NUMMER
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 14 de Agosto de 2015.

O Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) é uma área naturalmente frágil onde ocorrem processos de erosão e assoreamento. É utilizada para treinamentos militares com blindados e terá o seu uso intensificado pela implantação do Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul). Este estudo tem como objetivo geral aplicar ensaios de erodibilidade em uma Unidade Geotécnica no Campo de Instrução de Santa Maria sobre a qual serão instaladas as obras de construção do CAA-Sul, fornecendo subsídios para o seu planejamento ambiental. Além deste, pretende-se: compreender o uso do campo e os seus processos erosivos; avaliar o relevo e Unidade Geotécnica do local onde será o CAA-SUL e realizar a caracterização física e de erodibilidade desta Unidade (horizonte C), comparando com os resultados obtidos por POSSER (2015). Os procedimentos metodológicos incluíram uma revisão sobre a temática pesquisada, trabalhos de campo para avaliação dos aspectos físicos da área e coleta de amostras para caracterização física e avaliação indireta da erodibilidade com ensaios de desagregação, cone de laboratório e MCT (NOGAMI e VILIBOR, 1995). O perfil PC tem 3 metros de altura com horizontes A, areno-siltoso, B e B/C argilo-arenosos, e C um arenito conglomerático. O horizonte C apresentou intensa desagregação e a relação $pi/s > 52$ (erodível) somente para a condição seca ao ar, sendo considerado de alta erodibilidade pelo ensaio de cone de laboratório. Os resultados de erodibilidade são semelhantes aos obtidos por POSSER (2015) onde, com exceção do horizonte A, os demais são classificados como erodíveis, principalmente quando ensaiados na condição seca ao ar, confirmando a susceptibilidade à erosão dos materiais/horizontes destes perfis, já constatados por Maciel Filho (1990). Com base nos resultados de erodibilidade, sugerem-se algumas medidas a serem implantadas para minimizar os impactos ambientais como: a recuperação do leito das estradas que apresentam as erosões mais acentuadas; a implementação de um sistema de drenagem adequado; a construção de mais pontes para a passagem dos blindados; implementação do sistema de rotas e rodízios de estradas considerando a fragilidade ambiental da área.

Palavras-chave: Erosão, impactos ambientais, Campo de Instrução de Santa Maria (CISM).

ABSTRACT

Master'sDissertation
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal de Santa Maria

ERODIBILITY STUDY OF A GEOTECHNICAL UNIT IN SANTA MARIA IN CAMPO DE INSTRUÇÃO DE SANTA MARIA AS A BASE FOR THE ENVIRONMENTAL PLANNING

AUTHOR: Adriana Diniz Corrêa
ADVISER PROFESSOR: Andrea Valli Nummer
Date of defense: August 14, 2015

The Campo de Instrução de Santa Maria (CISM), is a naturally fragile area where there are erosion and siltation being used for military training with armored and have intensified their use because of the implementation of Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul). This study aims to evaluate the erodibility of Geotechnical Unit Formação Santa Maria where construction works of CAA-Sul will take place, providing subsidies for the environmental planning. Besides this it's intended to: understand the use of the field and the erosive processes; evaluate the relief and the Geotechnical Unit of the local where will establish the CAA-SUL and perform the physical characterization and erodibility of this Unit (C horizon), comparing the results obtained by POSSER (2015). The methodological procedures included a review of the researched subject fieldwork to evaluate the physical aspects of the area and collect samples for physical characterization and indirect evaluation of erodibility with disaggregated trials, laboratory cone MCT (NOGAMI e VILIBOR, 1979). The PC profile have 3 meters of high with horizons A, sandy-silty, B and B/C, clay-sandy, and C, a conglomeratic sandstone. The C horizon had severe disaggregation and the relation $\pi/s > 52$ (erodible) only for the condition dry on air, being considered high erodibility by the laboratory cone test. The results of erodibility are similar to those obtained by POSSER (2015), in that, except A horizon, are classified as erodible, especially when tested in the condition dry on air, confirming the susceptibility to erosion of the materials/horizons of these profiles, already verified by Maciel Filho (1990). Although it's a special area, the Brazilian army has sought to meet the environmental laws regarding environmental protection and recovery of their areas and this study contributes to the environmental diagnosis of CISM as it relates to erosive processes, providing subsidies for the environmental planning in this area.

Keywords: Erosion; environmental impacts; Campo de Instrução de Santa Maria (CISM).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Erosão por salpicamento ou splash.....	39
Figura 2 – Erosão laminar.....	41
Figura 3 – Erosão em sulcos.	41
Figura 4 – Formação de voçoroca.	43
Figura 5 – Processo erosivo em estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria.....	46
Figura 6 – Critério de erodibilidade MCT segundo Nogami e Villibor (1995). Fonte: Bastos (1999).	53
Figura 7 – Equipamento do ensaio de penetração de cone.....	54
Figura 8 – Anéis utilizados para a coleta de amostras indeformadas.....	58
Figura 9 – Local das coletadas das amostras indeformadas do horizonte C no CISM.....	59
Figura 10 – Execução do ensaio da análise granulométrica Horizontes A, B, BC e C.....	61
Figura 11 – As amostras prontas para serem ensaiadas.	63
Figura 12 – Amostras preparadas para o ensaio desagregação nas condições de umidade seca ao ar (à esquerda) e umidade natural (à direita).	64
Figura 13 – Esquema representativo, do ensaio de desagregação.....	64
Figura 14 – Esquema do ensaio de Perda por Imersão.....	66
Figura 15 – Ensaio de Perda por Imersão na condição Pré-Umedecida e seca ao ar.	66
Figura 16 – Ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT.....	67
Figura 17 – Esquema do ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT.	68
Figura 18 – Curva típica do deslocamento do menisco X tempo para o ensaio de infiltrabilidade. Metodologia MCT.....	69
Figura 19 – Equipamento de cone de laboratório com amostra preparada para ser ensaiada.....	70
Figura 20 – Localização do Campo de Instrução de Santa Maria.	72
Figura 21 – Obras do CAA-Sul em execução no CISM, no primeiro plano de implantação das vias de acesso e área a ser construída.....	73

Figura 22 – Localização da área onde está sendo implantadas as obras do CAA-Sul (CAAS), ponto amostrado por Corrêa, 2015 (PC) e por Posser, 2015(PP).....	74
Figura 23 – Mapa de unidades de relevo do CISM.	77
Figura 24 – Localização dos pontos de interesse na Carta Geotécnica de Santa Maria de Maciel Filho (1990).....	79
Figura 25 – Processos erosivos que ocorrem no CISM	81
Figura 26 – Perfil de solo (PC) com a delimitação dos horizontes.	82
Figura 27 – Detalhe da presença de seixos entre os horizontes A e B indicando transporte de material.....	83
Figura 28 – Curvas Granulométricas dos horizontes A, B, B/C e C, com e sem defloculante.....	86
Figura 29 – Ensaio de desagregação do Horizonte C.....	91
Figura 30 – Comportamento das amostras quando submetidas à inundação até a metade da amostra.....	92
Figura 31 – Fase final do ensaio (após 24 horas). A amostra na condição natural apresenta ruptura nas bordas e fissuras no topo e a amostra seca ao ar, desagrega completamente.....	92
Figura 32 – (a) volume de água infiltrada (cm ³ /cm ²) pela raiz quadrada do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras do horizonte C.....	94
Figura 33 – Aplicação do critério de erodibilidade pela Metodologia MCT (Nogami e Vilibor, 1979) para as condições de umidade natural (PC nat, PC Sa, Seca ao ar e PC pu pré umidecida).....	95
Figura 34 – Fotografias de detalhe do material ensaiado. Arenito com grânulos e lentes de material mais argiloso.....	96
Figura 35 – Gráfico de índice DP versus sorção.	97
Figura 36 – Gráfico de índice DPA versus sorção.....	97
Figura 37 – Aplicação do critério de erodibilidade pela metodologia MCT para os horizontes estudados do Perfil PC.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de amostras indeformadas coletadas e seus respectivos ensaios.....	58
Tabela 2 – Normas ABNT utilizadas.....	60
Tabela 3 – Resultados dos ensaios de peso específico real dos grãos e limite de consistência.....	89
Tabela 4 – Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (pi) para diferentes condições de umidade das amostras do Horizonte C – critério de erodibilidade da Metodologia Miniatura Compactado Tropical NOGAMI e VILIBOR,(1979)	93
Tabela 5 – Variação dos valores de penetração obtidos do ensaio de cone para o horizonte C.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos horizontes do solo do perfil PC.....	83
Quadro 2 – Resultados dos ensaios de granulometria e classificação dos solos.....	84
Quadro 3 – Resultados dos ensaios granulométricos pelo método EMBRAPA (1997).	87
Quadro 4 – Determinação dos índices físicos do horizonte C.	89
Quadro 5 – Resultado dos ensaios de desagregação	91
Quadro 6 – Resumo dos ensaios de granulometria e classificação dos solos de Posser (2015) e desta dissertação.....	99

LISTA DE ABREVIações

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

APP - Área de Preservação Permanente

A3P- Agenda Ambiental da Administração Pública

CAA/Sul- Centro de Adestramento e Avaliação – Sul

CISM- Campo de Instrução de Santa Maria

CIBLD- Centro de Instrução de Blindados

29º BIB -29º Batalhão de Infantaria Blindado.

EB- Exército Brasileiro

DEC- Departamento de Engenharia e Construção

IR-Instruções Reguladoras para o Sistema de Gestão Ambiental

ISO- Sistemas de Gestão Ambiental

MCT- Miniatura Compactado Tropical

NBR- Norma Brasileira

OM- Organização Militar

PC - Ponto Corrêa

PP- Ponto Posser

RCC - Regimento de Carros de Combate

SGA- Sistema de Gestão Ambiental

SIGAEB- Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro

SIMEB- Sistema de Instrução Militar do Exército Brasileiro

SIPLEx- Sistema de Planejamento do Exército

SISNAMA– Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNUC- Sistema Nacional de Unidades de Conservação

VBTP – Viatura blindada para transporte de pessoal, caminhões, jipes,

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	22
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
1.1 Política Nacional do Meio Ambiente	27
1.1.1 Política urbana	28
1.1.2 O Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro	30
1.1.3 Área Protegida, Unidade Geotécnica Formação Santa Maria - Arenito Basal .	34
1.2 Conceitos sobre erosão e processos erosivos	36
1.2.1 Grau de intensidade do processo erosivo	40
1.2.2 Fatores que condicionam os processos erosivos	44
1.3 Metodologias para avaliação da erodibilidade – enfoque geotécnico.....	48
1.3.1 Ensaios de caracterização física	49
1.3.2 Ensaio de Desagregação	50
1.3.3 Critérios de erodibilidade da metodologia Miniatura Compactado Tropical (MCT).....	51
1.3.4 Ensaio de cone de laboratório.....	53
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	55
2.1 Etapa de Gabinete	55
2.2 Etapa de Campo	56
2.2.1 Coleta das amostras	56
2.3 Etapa de Laboratório.....	59
2.3.1 Ensaios de caracterização física	61
2.3.2 Ensaios para avaliação indireta da erodibilidade	62
2.3.3 Ensaio de desagregação (<i>slakingtest</i>)	63
2.3.4 Ensaios pelo critério de erodibilidade MCT	65
2.3.5 Perda de massa por imersão	65
2.3.6 Infiltrabilidade	67
2.3.7 Critérios de erodibilidade baseado em ensaios de cone de laboratório	69
3 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	71
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	82
4.1 Caracterização física e determinação dos índices físicos	84
4.2 Avaliação do potencial de desagregação dos solos.....	90
4.2.1 Critério de erodibilidade baseado na Metodologia MCT: Perda de Massa por Imersão e Infiltrabilidade.....	93
4.2.2 Ensaio de Cone de Laboratório.....	95

4.3 Comparação com os resultados de erodibilidade de Posser (2015).....	98
4.3.1 Gramulometria	98
5 CONCLUSÃO.....	103
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais, advindos da contínua expansão da ação humana sobre o meio ambiente, vêm sendo abordados em relação á várias circunstâncias, entre elas, a não aplicação do planejamento ambiental e a forma como se dá a intervenção antrópica.

Isto, muitas vezes, dá origem a impactos ambientais negativos de difícil recuperação ou mitigação, que afetam, em especial, ambientes com baixa capacidade de suporte.

Conforme a Norma Brasileira (NBR) ISO 14001 (ABNT, 2004), impacto ambiental “é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais de uma organização”. Impacto ambiental é definido, assim, como sendo uma mudança sensível, nas condições de saúde e bem estar das pessoas e na estabilidade do ecossistema do qual depende a sobrevivência humana.

Para Dias (2007), impacto ambiental pode ser definido como a modificação no meio ambiente causada pela ação do ser humano. Neste sentido, há impactos de todo tipo, desde os menores, que não modificam substancialmente o meio ambiente natural, até aqueles que não só afetam profundamente a natureza, como também provocam diretamente problemas para o ser humano, como a poluição do ar, das águas e do solo.

Os modelos da intocabilidade dos recursos naturais e da exploração desses recursos a qualquer custo já estão superados. A preservação ambiental é hoje baseada no modelo de desenvolvimento sustentável, fundamentado no uso racional dos recursos naturais e tendo o dever de defendê-los e preservá-los para as gerações presentes e as futuras.

Para Camapum de Carvalho et al (2006), toda intervenção humana no meio ambiente tem como resultado um impacto ambiental, podendo ser positivo ou negativo. O estudo do impacto ambiental tem como objetivo avaliar essa intervenção na busca de um meio ambiente equilibrado.

Um dos principais impactos ambientais gerados nas áreas urbanas é o surgimento de processos erosivos capazes de destruir habitações e obras de infraestrutura.

Conforme Fendrich e Iwasa (1998), as áreas urbanas de grande parte dos municípios do Brasil apresentam problemas de degradação ambiental pela atuação de processos erosivos que geram ravinas e voçorocas, causadas principalmente pela concentração das águas de escoamento superficial que são lançadas em talvegues desprovidos de sistema adequados de drenagem.

Segundo Bigarella et al (1996), os processos erosivos podem ser acelerados por alterações espaciais relacionadas ao crescente uso e ocupação do solo e com isso modificam as suas características e as formas do relevo.

Segundo Wild (1993), *apud* Oliveira Jorge e Guerra (2013) a pressão exercida pelas atividades humanas sobre os solos é uma das principais causas da erosão. Os problemas ambientais, que aparecem numa cidade, são geralmente decorrentes do uso e da apropriação indevida do espaço pelo ser humano, que ocasionam os mais relevantes impactos ambientais por não ter uma visão sistêmica.

O que se percebe, é que as erosões urbanas expõem as comunidades a situações de risco devido ao seu grande poder destrutivo, pois são uma ameaça as habitações. Da mesma forma, os sedimentos produzidos pela erosão acelerada provocam assoreamento dos reservatórios e cursos de água, favorecendo a ocorrência de inundações e alagamentos.

Oliveira Jorge e Guerra (2013) exemplificam os problemas resultantes da erosão da seguinte forma: remoção dos nutrientes do solo, redução da penetração das raízes e do armazenamento de água; diminuição das áreas a serem utilizados pela agricultura e pecuária, aumento do assoreamento de rios, lagos e reservatórios levando muitas vezes, a grandes enchentes e poluição de corpos hídricos.

Considerando os problemas resultantes da erosão, Fendrich e Iwasa (1998) afirmam que, em determinadas regiões, este processo pode ser considerado como um dos condicionantes mais importantes para a expansão urbana e assentamentos de obras de infraestrutura.

Desta forma, embora a erosão seja considerada um processo natural, a ação antrópica por meio em especial da construção civil, tem uma grande influência na

sua origem e desenvolvimento visto que o ser humano pode ser considerado um agente ativo na modelagem e alteração da paisagem.

Toda nova edificação produz impactos sejam ambientais sociais ou econômicos, originando mudanças com reflexos que se estendem do local ao regional onde se instala a obra, causadas por suas atividades diretas ou indiretas.

Nas obras civis, os processos para obtenção do solo como material de empréstimo, por exemplo, estão sempre associados a escavações ou desmontes, gerando degradação ambiental e fazendo com que, em contraposição aos benefícios da implantação do empreendimento, sejam gerados impactos ambientais negativos.

Os principais impactos ambientais negativos causados pela construção civil são: erosão; assoreamento; instabilidade de taludes, encostas e terrenos em geral; mobilização de terra; modificação dos regimes hídricos; impactos sobre a fauna e flora; poluição das águas superficiais e subterrâneas e alteração da qualidade do solo.

No ano de 2014, foi criado o Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul), uma nova Organização Militar (OM) do Exército Brasileiro que funcionará com sua sede principal na área do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM). O CAA-Sul pretende ser uma referência na América Latina no treinamento de militares, recebendo aproximadamente 1500 pessoas para cada simulação de combate, que ocorrerão ao longo de todo o ano.

O Centro tem como objetivo contribuir no adestramento e capacitação de tropas de qualquer natureza, preferencialmente médias e pesadas (mecanizadas e blindadas), o que demandará a construção de 13 unidades de apoio, totalizando 32 novos prédios até o ano de 2030; vias de acesso; estacionamentos, sistemas de drenagens, cortes e aterros além de intensificar o uso do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) onde o centro será instalado.

O Campo de Instrução de Santa Maria CISM, está localizado no sudoeste de Santa Maria no Bairro Boi Morto, possui uma área de 5.866,9 ha, onde ocorrem os treinamentos das “tropas blindadas” da Guarnição de Santa Maria.

Sant’Ana (2012), em seu estudo intitulado “Diagnostico Ambiental do meio físico do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM)-RS”, apontou para ocorrência de diversos impactos ambientais do meio físico, dentre eles a destruição da

cobertura vegetal, compactação do solo, erosão formando campos de areias, sulcos e ravinas, tendo como consequência o assoreamento dos cursos de água. A autora identificou que os processos erosivos estão relacionados à suscetibilidade natural da área e as operações de treinamentos militares que se utilizam de blindados que pesam de 11 a 48 toneladas e outros carros relativamente pesados (3 a 5 toneladas).

As obras de instalação do CAA-Sul dependem de escavações e de terraplenagem para sua construção e, também, carecem de solo como matéria-prima, o qual geralmente é obtido de empréstimos próximos ao local da obra.

A exposição destes horizontes de solo e rocha poderá ter como consequência à erosão e o assoreamento dos cursos de água próximos como, por exemplo, o arroio Taquarichim.

Além dos processos comuns de degradação física do solo como erosão, compactação, redução do horizonte não saturado e remoção da camada agricultável que podem nas áreas onde serão instaladas as obras, as áreas de empréstimo também podem originar impactos indiretos na vegetação, na qualidade das águas e, conseqüentemente, na destinação futura de tais áreas, tornando difícil o seu aproveitamento.

De acordo com Roos (2007), qualquer interferência humana na natureza necessita de estudos que levem ao diagnóstico, ou seja, a um conhecimento do quadro ambiental que se vai atuar, pois parte-se do princípio de que toda ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum impacto em diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão ao meio ambiente.

Desta forma, este estudo tem como objetivo geral aplicar ensaios de erodibilidade em uma Unidade Geotécnica no Campo de Instrução de Santa Maria sobre a qual serão instaladas as obras de construção do Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul), como base para o seu planejamento ambiental.

Como objetivos específicos pretendem-se: I) compreender a forma de uso do CISM e os processos erosivos associados; II avaliar em termos de relevo, e Unidade Geotécnica a área onde será implantado o CAA-SUL, e onde ocorrem a maioria dos processos erosivos iii) realizar a caracterização física e de erodibilidade de um perfil típico da Unidade Geotécnica onde se encontra o Centro; iv) comparar os resultados

de erodibilidade desta dissertação com aqueles obtidos por POSSER (2015) possibilitando um diagnóstico da área a ser edificada quanto à erodibilidade.

Os estudos de impacto ambiental têm uma grande importância na prevenção e minimização de danos, na preservação dos recursos naturais que as obras civis podem vir a causar. Sabe-se que o CISM, como é uma área militar, integra os casos excepcionais de acordo com a Resolução 369 do CONAMA (2006) art.4º § 3º, e tem amparo legal quanto às questões ambientais principalmente relacionadas ao uso de Áreas de Preservação Permanentes (APP's) e independe de prévia autorização do órgão ambiental competente.

Mesmo em se tratando de área especial, o Exército Brasileiro tem procurado atender as Leis ambientais no tocante a proteção e recuperação ambiental de suas áreas, principalmente aquelas utilizadas para os exercícios militares. Com este estudo, pretende-se colaborar com o diagnóstico ambiental do CISM no tocante aos processos erosivos, fornecendo subsídios para o planejamento ambiental da área.

Esta dissertação está estruturada em 6 Capítulos da seguinte forma: Introdução do assunto a ser discutido, objetivos e justificativa para o estudo; no Capítulo 1 apresenta-se uma revisão da literatura abordando os temas; Política Nacional do Meio Ambiente; Área Protegida, Unidade Geotécnica Formação Santa Maria -Arenito Basal, erosão: conceitos e classificações, fases/mecanismos dos processos erosivos e fatores que os condicionam, avaliação da erodibilidade- enfoque Geotécnico.

O Capítulo 2 aborda a metodologia aplicada no desenvolvimento desta dissertação, que consistiu em uma etapa de gabinete, investigação de campo e ensaios de laboratório. No Capítulo 3 é apresentada a área do CISM, assim como sua caracterização.

O Capítulo 4 apresenta a análise dos resultados da caracterização geotécnica e de avaliação da erodibilidade nos horizontes estudados e a comparação com os resultados de erodibilidade de Posser (2015). No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e no Capítulo 6 as referências bibliográficas.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão sobre os seguintes temas: (a) Política Nacional do Meio Ambiente; (b) erosão: conceitos e classificações, fases/mecanismos dos processos erosivos e fatores que os condicionam e avaliação da erodibilidade - enfoque Geotécnico.

1.1 Política Nacional do Meio Ambiente

A lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), institui a Política Nacional do Meio Ambiente no seu artigo 2º, *caput*:

Art. 2º - A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;

II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;

III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;

IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;

VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;

VIII - recuperação de áreas degradadas;

IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;

X - educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente em relação as atividade causadora de degradação ambiental. (BRASIL, 1981).

Dentre estes princípios, aqueles que se referem à temática da erosão pertencem ao inciso VIII que se refere à recuperação das áreas degradadas e o inciso IX que dá ênfase à proteção das áreas ameaçadas de degradação.

Os objetivos, diretrizes, conceitos e instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente como o zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais, o

licenciamento juntamente com monitoramento e as auditorias ambientais que estão nesta lei, instituíram o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e o Cadastro de Defesa Ambiental.

De acordo com o Decreto nº99.274, de 6 de junho de 1990, ao regulamentar as leis nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e nº6.938, de 31 de agosto de 1981, fixa em seu artigo 1º, como atribuições do Poder Público na Execução da Política Nacional do Meio Ambiente:

I – manter a fiscalização permanente dos recursos ambientais, visando à compatibilização do desenvolvimento econômico com a proteção do meio ambiente e do equilíbrio ecológico.

II- proteger as áreas representativas de ecossistemas mediante a implantação de unidades de conservação e preservação ecológica.

III- manter, através de órgãos especializados da Administração Pública, o controle permanente das atividades potencial ou efetivamente poluidoras, de modo a compatibilizá-las como os critérios vigentes de proteção ambiental.

IV- incentivar o estudo e a pesquisa de tecnologias para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais, utilizando os planos e programas regionais ou setoriais de desenvolvimento industrial e agrícola.

(...)

VI- identificar e informar, aos órgãos e entidades do Sistema Nacional do Meio Ambiente, a existência de áreas degradadas ou ameaçadas de degradação, propondo medidas para a sua recuperação.

VII- orientar a educação, em todos os níveis, para a participação ativa do cidadão e da comunidade na defesa do meio ambiente. (BRASIL, 1981).

Deste modo, os aspectos levantados na legislação vigente, mostram que a Política Nacional de Meio Ambiente contempla a prevenção, o controle e a recuperação de áreas degradadas por processos erosivos, tendo em vista que o solo (que se submete a erosão) e os cursos d'água e reservatórios (que são assoreados) são recursos ambientais indispensáveis ao equilíbrio sustentável do meio ambiente.

1.1.1 Política urbana

Devido à falta de cumprimento da legislação e da implantação de um planejamento ambiental urbano, o que comumente tem ocorrido nas cidades são a ocupação e o uso do solo urbano de forma desordenada, propiciando impactos

ambientais, o aparecimento de muitas feições erosivas dos tipos ravinas e voçorocas.

As erosões que surgem junto aos centros urbanos, se destacam pela rapidez como ocorrem, pelas dimensões que atingem e pelos problemas que geram quase que imediatamente o que demonstram a negativa do artigo 182 da Constituição Federal diz que:

Art. 182. A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei têm por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem estar de seus habitantes. (BRASIL, 1988, p. 32).

Autores como Camapum de Carvalho et al (2006) acreditam que a lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001, que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal (BRASIL,1988), denominada Estatuto da Cidade, possa contribuir para a mitigação e mesmo para o desaparecimento da erosão junto aos centros urbanos, pois mostra a preocupação do legislador com a necessidade de preservação do meio ambiente nas áreas urbanas o que pode ser constatado no parágrafo único do artigo 1º quando fixa o seu conteúdo como de normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem estar coletivo, da segurança e do bem estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.

No artigo 2º dessa lei, o inciso VI, “ordenação e controle do uso do solo” estabelece as seguintes alíneas, importantes para o não-surgimento e propagação de processos erosivos em áreas urbanas, devendo ser evitado:

- c) o parcelamento do solo, a edificação ou o uso excessivos e inadequados em relação á infra-estrutura urbana;
- (...)
- f) a deterioração das áreas urbanizadas;
- g) a poluição e a degradação ambiental. (BRASIL, 2001).

O planejamento urbano com a instalação de infra-estrutura básica permitirá o atendimento dessas três alíneas (CAMAPUM DE CARVALHO et al,2006) .

O artigo 4º, inciso III- planejamento municipal, desta lei, estabelece como instrumentos da aplicação da política urbana as alíneas b e c que garantem ao poder público a prerrogativa de planejar e assegurar o equilíbrio ambiental:

- b) disciplina do parcelamento, do uso e da ocupação do solo;
- c) Zoneamento ambiental (BRASIL, 2001).

Portanto, a propriedade pode ser privada, mas a política urbana é pública e tem de atender as diretrizes fixadas no artigo 182 da Constituição Federal, que “tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.”

Cabe aqui ressaltar que o CISM, como é uma área militar, integra os casos excepcionais de acordo com a Resolução 369 do CONAMA (2006) art.4º § 3º e tem amparo legal quanto às questões ambientais principalmente relacionadas ao uso de Áreas de Preservação Permanentes (APP's).

A Resolução 369 do CONAMA (2006) art.4º § 3º diz que:

Independem de prévia autorização do órgão ambiental competente: I - as atividades de segurança pública e defesa civil, de caráter emergencial; e II - as atividades previstas na Lei Complementar nº 97, de 9 de junho de 1999, de preparo e emprego das Forças Armadas para o cumprimento de sua missão constitucional, desenvolvidas em área militar. (CONAMA, 2006, p.96).

Mesmo em se tratando de área especial, o Exército Brasileiro, tem buscado atender as legislação ambiental no tocante á proteção e recuperação de suas áreas, principalmente aquelas utilizadas para os exercícios militares.

1.1.2 O Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro

Com a aprovação da Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pela lei Federal 6938/81 e, posteriormente, com a inclusão da temática ambiental na Constituição Federal de 1988, uma série de normas e novas leis foram editadas, estabelecendo atitudes a serem tomadas com relação à proteção ambiental.

A Constituição Federal de 1988 conferiu a responsabilidade da preservação ambiental não só ao Poder Público, como também à coletividade. Ao destinar um capítulo ao tema ambiental, evidenciou a preocupação de todos os brasileiros com

os assuntos relacionados ao meio ambiente, permitindo avanços significativos na legislação pertinente. Na Constituição no Art.23 em vigor consta o seguinte:

Art. 23. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

[...]

VI – proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

[...]

Capítulo VI, “Do Meio Ambiente”:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

[...]

VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam animais à crueldade. (BRASIL, 1988).

Procurando atender a Legislação Ambiental Brasileira, o Exército criou a Política Ambiental do Exército Brasileiro através da Portaria nº 570, de 06 de novembro de 2001, do Comandante do Exército. A Portaria nº 1138, de 22 de novembro de 2010 substituiu a Portaria no 570, com a finalidade de assegurar o aperfeiçoamento contínuo do Exército Brasileiro no tocante à preservação, proteção e melhoria da qualidade ambiental.

A legislação ambiental do Exército Brasileiro é composta por outras portarias além das já citadas que serão apresentadas em detalhe a seguir.

A Portaria nº 571, de 6 de novembro de 2001 aprovou a Diretriz Estratégica de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro cujos itens iniciais são:

a. a gestão ambiental assume importância cada vez maior no cenário mundial, tornando imprescindível, portanto, o zelo pela fiel observância de toda legislação ambiental e diretrizes vigentes, quando da realização de atividades e empreendimentos militares, principalmente dos passíveis de causar degradação ao meio ambiente;

b. a implementação e o desenvolvimento de um sistema de gestão ambiental exigem procedimentos e conscientização de todos os escalões do EB, visando o comprometimento com a qualidade ambiental e a capacitação de recursos humanos;

c. ações de caráter permanente devem ser voltadas à criação de hábitos e procedimentos que permitam um perfeito entendimento da necessidade de prevenção, preservação, conservação, melhoria e recuperação do meio ambiente;

d. as ações de prevenção, preservação, conservação e recuperação das áreas sob jurisdição do EB e também aquelas que, eventualmente, possam vir a ser utilizadas pela Força Terrestre, principalmente as definidas como

de interesse ecológico, exigem o estabelecimento de medidas preventivas, quando da realização de atividades e empreendimentos militares;

e. a educação ambiental deverá ser promovida pelo Sistema de Ensino do Exército e pelo Sistema de Instrução Militar do Exército Brasileiro (SIMEB), com a finalidade de desenvolver, junto ao público interno, a mentalidade de comprometimento com a gestão ambiental;

f. o planejamento dos programas de prevenção, preservação, conservação e recuperação ambiental deverá discriminar o montante de recursos necessários às suas execuções, ficando o desenvolvimento condicionado à disponibilidade de recursos orçamentários ou daqueles que forem alocados por órgãos públicos ou privados;

g. as atividades de cooperação devem desenvolver-se tão logo os convênios ou outros instrumentos legais firmados o permitam; e

h. as preocupações com o meio ambiente devem estar sempre presentes nas atividades e empreendimentos do Exército, mas não devem, de forma alguma, inibir ou deformar as características próprias das ações militares. (BRASIL, 2001)

- Portaria nº 050, de 11 de julho de 2003 - Orientação para a Elaboração dos Planos Básicos de Gestão Ambiental. Esta portaria tem por finalidade oferecer subsídios para a elaboração dos Planos Básicos de Gestão Ambiental e apresentar exemplos de programas voltados para a viabilização ambiental das atividades e empreendimentos militares, em consonância com o disposto na Política e na Diretriz Estratégica de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro.

- Portaria nº 934, de 20 de dezembro de 2007 - Determina a atualização do Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro.

- Portaria nº 014-DEP, de 8 de fevereiro de 2008. Normas para a Promoção da Educação Ambiental nos Estabelecimentos de Ensino e nas Organizações Militares Subordinados e/ou Vinculados ao Departamento de Ensino e Pesquisa.

- Portaria nº 386, de 09 de junho de 2008 – Aprova as Instruções Gerais para a Gestão Ambiental, no âmbito do Exército Brasileiro.

A atuação das forças armadas nas questões referentes ao meio ambiente possui amplo amparo legal e condicionantes de preparo e emprego em ações ambientais.

Daí decorre o Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro (SIGAEB), que preconiza ações de acordo com sua estrutura organizacional, envolvendo todos os comandos e unidades militares. Essas estruturas atuam desde a educação militar, passando por licenciamentos ambientais, obras e serviços de engenharia entre outros.

Os aspectos Socioambientais da Legislação Ambiental do Exército Brasileiro além dos Programas e Planos relacionados à Educação Ambiental que o EB

executa algumas outras ações socioambientais também são realizados. A mais recente é a adesão do Exército Brasileiro à Agenda Ambiental da Administração Pública (A3P).

A A3P é um programa que busca incorporar os princípios da responsabilidade socioambiental nas atividades da Administração Pública, através do estímulo a determinadas ações que vão, desde uma mudança nos investimentos, compras e contratações de serviços pelo governo, passando pela sensibilização e capacitação dos servidores, pela gestão adequada dos recursos naturais utilizados e resíduos gerados, até a promoção da melhoria da qualidade devida no ambiente de trabalho (BRASIL, 2011).

Em fevereiro de 2011, a instituição, por intermédio do Departamento de Engenharia e Construção (DEC) e da 5ª Subchefia do Estado-Maior do Exército, assinou o Termo de Adesão à Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) com o Ministério do Meio Ambiente, materializando assim, conforme o entendimento de Pontes (2012), a conscientização da Força Armada sobre a questão ambiental.

Todas as atividades previstas no Sistema de Planejamento do Exército (SIPLEX), entre as quais a instrução e o adestramento, estão em consonância com o Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro, e este, por sua vez, está correlacionado com o Sistema Nacional do Meio Ambiente- SISNAMA (PONTES, 2012).

Através da Portaria número 001-DEC, de 26 de setembro de 2011, o Boletim do Exército número 41, de 14 de outubro de 2011, aprova as Instruções Reguladoras para o Sistema de Gestão Ambiental no Âmbito do Exército (IR 50-20) e determina que entrem em vigor na data de sua publicação.

Estas Instruções Reguladoras, em seu artigo primeiro, estabelecem os procedimentos operacionais, educativos, logísticos, técnicos e administrativos do Exército Brasileiro para o gerenciamento ambiental efetivo, de modo que assegure a adequação à legislação pertinente e o cumprimento do dever de defender, preservar, melhorar e recuperar o meio ambiente para as presentes e as futuras gerações (BRASIL, 2011).

Os objetivos do Sistema de Gestão Ambiental no Âmbito do Exército Brasileiro (SIGAEB), previstos em seu artigo 2º, são os seguintes:

- I - compatibilizar as atividades do Exército Brasileiro com a legislação ambiental brasileira;
- II - definir ações com vistas à implementação, ao adequado funcionamento e ao aperfeiçoamento do SIGAEB;
- III - estabelecer um sistema de levantamento e divulgação de dados e informações ambientais;
- IV - promover a formação de uma consciência e sensibilizar sobre a necessidade de preservação da qualidade e equilíbrio ambiental;
- V - atender aos critérios e padrões de qualidade ambiental relativo ao uso e manejo de recursos naturais;
- VI - difundir técnicas e tecnologias de manejo ambiental; e
- VII - colaborar para a preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida.

Sobre a legislação ambiental, estas instruções são orientadas pelos princípios do Direito Ambiental, baseadas na Constituição Federal, na Política Nacional do Meio Ambiente, e nas demais leis, decretos, resoluções e normas afins. A aplicação da legislação ambiental não limita as ações táticas, operacionais e estratégicas necessárias à garantia da segurança nacional, bem como o cumprimento da missão constitucional, cabendo ao EB realizar as medidas e procedimentos de restauração e recuperação adequados.

1.1.3 Área Protegida, Unidade Geotécnica Formação Santa Maria - Arenito Basal

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram sob a superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras (rachaduras, quebras, descontinuidades e espaços vazios) (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007). A origem desta água deve-se, em maior parte a infiltração na superfície do solo.

Parte da chuva infiltra-se no solo quando ocorre a precipitação, preenchendo assim os espaços porosos, as fissuras e as fraturas das rochas.

Aquífero é uma formação geológica subterrânea capaz de armazenar água no subsolo, de grande importância para o abastecimento humano em todo o mundo, e sua má exploração pode causar danos irreversíveis ao mesmo (REBOUÇAS, 2002). Sua recarga se dá pela água que infiltra no solo e percola até atingir o aquífero subterrâneo.

A Resolução Nº 15 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2001) define aquífero como um corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos.

Desta forma, conforme Foster et al. (2006), qualquer atividade humana que se desenvolva na superfície da terra pode ameaçar a qualidade e quantidade da água subterrânea como lançamento de esgotos a céu aberto, lixo, óleos e graxas, agrotóxicos, etc.

As águas subterrâneas, conforme Follmann (2012) tem menor probabilidade de serem poluídas em relação aos recursos hídricos superficiais. Isto ocorre, pois as águas subterrâneas dificilmente possuem contato direto com a carga contaminante, que antes passa pelos solos, rochas e vegetação que auxiliam na sua proteção.

Para garantir a qualidade e quantidade da água subterrânea é fundamental a conservação das áreas de recarga dos aquíferos. Um dos mecanismos adotados para a proteção destes ambientes naturais são as Áreas Protegidas.

As Áreas Protegidas são instituídas por lei, legalmente protegidas por meio da legislação ambiental específica e são espaços de preservação e/ou conservação dos recursos nela contidos (CABRAL et al., 2001).

As Áreas Protegidas Públicas são as Unidades de Conservação instituídas pelo Poder Público e divididas e delimitadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000) em dois grupos, a saber: (i) Unidades de Proteção Integral, que permitem apenas o uso indireto de seus recursos naturais, não permitindo o consumo, coleta, dano ou destruição destes; e (II) As Unidades de Uso Sustentável, que compatibilizam a conservação da natureza com uma exploração ambiental que garanta a perenidade de seus recursos e processos ecológicos (BRASIL, 2000).

O Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257 (BRASIL, 2001), artigo 2º, destaca que a política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, sendo uma das diretrizes gerais a ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar:

- a) a utilização inadequada dos imóveis urbanos;
- b) a proximidade de usos incompatíveis ou inconvenientes;
- c) o parcelamento do solo, a edificação ou o uso excessivos ou inadequados em relação à infra-estrutura urbana;

- d) a instalação de empreendimentos ou atividades que possam funcionar como pólos geradores de tráfego, sem a previsão da infraestrutura correspondente;
- e) a retenção especulativa de imóvel urbano, que resulte na sua subutilização ou não utilização;
- f) a deterioração das áreas urbanizadas;
- g) a poluição e a degradação ambiental. (BRASIL, 2001, p.18)

De acordo com Follmann (2012), no município de Santa Maria existem algumas áreas protegidas consideradas primordiais para que ocorra a infiltração de água com qualidade e quantidade, como é o caso da área de recarga do Aquífero Arenito Basal Santa Maria, referente à Unidade Geotécnica Formação Santa Maria– Arenito Basal.

A Lei de Uso e Ocupação do Solo do município de Santa Maria/RS, Prefeitura Municipal De Santa Maria (2009), no Art. 10, relata que o território municipal tem áreas especiais naturais, definidas e delimitadas parte integrante da presente Lei, que estão classificadas em Áreas de Conservação Natural e Áreas de Preservação Permanente. Em seu anexo 12, prevê a instituição de três áreas de preservação permanente e nove de conservação natural no 1º distrito – sede do município e áreas adjacentes. Sendo que uma das nove áreas de conservação natural estabelecidas é a Área Especial de Conservação Natural do Aquífero Arenito Basal Santa Maria ou Área de Conservação Natural AC8, correspondente à área de recarga de aquífero (MACIEL FILHO, 1990).

Conforme Follmann e Foletto (2013), a área de conservação natural do Aquífero Arenito Basal Santa Maria tem como principal função a proteção da recarga de água para o manancial subterrâneo, que é responsável pelo abastecimento dos poços que captam água subterrânea no município. Para as autoras, os usos do solo nesta área devem contemplar o que dispõe a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Santa Maria e também as normas que regulamentam as águas em âmbito federal e estadual.

1.2 Conceitos sobre erosão e processos erosivos

A erosão hídrica constitui uma das principais formas de degradação dos recursos naturais, constituindo-se em uma grande fonte de sedimentos de uma

bacia hidrográfica. Os impactos gerados por este processo ocorrem tanto na bacia onde os sedimentos são gerados, quanto na rede de drenagem, onde os sedimentos são depositados.

Além disso, a camada superficial do solo, considerada a mais fértil, é removida por meio da ação dos agentes erosivos, ocorrendo uma redução nos teores de matéria orgânica do solo. A perda de matéria orgânica, associada às perdas de nutrientes minerais e do próprio solo, causam redução de sua capacidade produtiva, refletindo assim em diversas consequências de ordem social e econômica para a comunidade local.

A erosão é um processo geológico que ocorre independente da ação humana, sendo fundamental na dinâmica do relevo. Segundo Guerra e Guerra (1980), o fenômeno erosivo consiste na destruição das saliências ou reentrâncias do relevo, tendendo a um nivelamento. Dessa forma, o termo erosão pode significar um conjunto de ações que modelam a paisagem.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), erosão significa um conjunto de ações, incluindo o desprendimento, o arraste e a deposição das partículas de solo causada por agente como água, gelo, vento e gravidade.

Para Camapum de Carvalho *et al.* (2006), a erosão compreende um conjunto de fenômenos naturais envolvendo a formação de materiais detríticos provenientes da decomposição e desagregação das rochas e solos. Deste modo, a forma mais comum de erosão é a perda da camada superficial do solo pela ação da água ou vento, em especial pelo escoamento superficial da água, que carrega a camada superior do solo.

A erosão, que é considerada um processo natural pode ter seu equilíbrio dinâmico rompido a partir de formas inapropriadas de ocupação do solo, com ausência de técnicas conservacionistas e de planejamento urbano inadequadas, o que provoca diversas alterações na paisagem e desta forma surge à classificação da erosão quanto a sua natureza.

Para Salomão e Iwasa (1995), os processos erosivos podem ser classificados, em relação a sua natureza, em dois tipos: a erosão natural ou geológica que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo e a erosão acelerada ou antrópica, cuja intensidade é superior a da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural.

De acordo com Guerra (2005), o processo erosivo pode ser geológico ou antrópico. A erosão geológica é classificada em erosão pluvial (ação das chuvas), erosão fluvial (ação das águas dos rios), erosão por gravidade (movimentação de rochas pela força da gravidade), erosão eólica (ação dos ventos), erosão glacial (ação das geleiras).

Para Pruski (2009), a superfície da terra está em contínua modificação e encontra-se em contínua alteração ao longo do tempo. Os rios, os ventos as geleiras e as enxurradas pluviais, deslocam, transportam e depositam continuamente as partículas do solo. Esse fenômeno é denominado erosão geológica.

A erosão, quando natural, é considerada um processo geológico, que provoca a modificação das paisagens terrestres, um mecanismo lento e medido pelo tempo geológico. Já a erosão antrópica é um processo rápido e destrutivo, induzido pela ação humana, e que gera desequilíbrio nas fases da erosão geológica e sedimentação, constituindo-se em um fenômeno de alto significado, especialmente devido à rapidez com que se processa.

Para Bigarella (2003), a erosão superficial surge do escoamento da água que não se infiltra ela está associada ao transporte, seja das partículas ou agregados desprendidos do maciço pelo impacto das gotas das chuvas, seja pelas partículas ou agregados arrancados pela ação desenvolvida entre a água e o solo.

As primeiras gotas, que colidem contra a superfície do terreno, desagregam pequenas partículas dos solos, retirando sua camada mais fértil (Figura 1). O efeito *splash* (salpicamento), conforme Guerra Silva e Botelho (2005) constitui-se na etapa inicial da erosão, seguido pelo escoamento da água sobre a vertente, responsável pela retirada e transporte do material desagregado. A desagregação das partículas do solo ocorre devido à energia cinética contida nas gotas de chuva e no escoamento superficial.

Tais efeitos resultam da remoção da cobertura vegetal quando da ocupação da vertente, agravando-se com a remoção de parte dos depósitos de cobertura. (GUERRA, 2005).

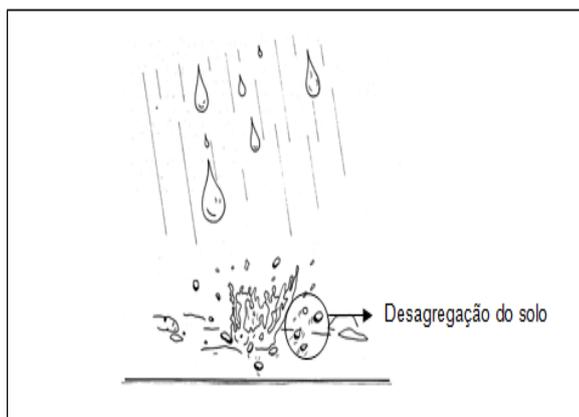


Figura 1 – Erosão por salpicamento ou splash.

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1999).

Para Bigarella (2003), quando a gota de chuva impacta sobre a superfície do solo, a energia cinética desta gota realiza o trabalho de desagregar o solo, lançando gotículas de água e fragmentos em todas as direções, num processo chamado de erosão por salpicamento, chegando a atingir 0,80 m de altura e até um metro de distância. Quanto maior o volume das gotas, maior será o impacto e, em consequência, maior será o volume de partículas minerais e orgânicas soltas.

De acordo com Pruski (2009), o desprendimento das partículas tem início com o umedecimento dos agregados, o que reduz as suas forças coesivas, enfraquecendo-os e tornando-os menos resistentes ao desprendimento, que somente ocorre quando as forças externas, de natureza cisalhante, superam as forças internas. Os principais agentes externos, responsáveis pelo desprendimento dos agregados em condições agrícolas, são aqueles associados ao impacto das gotas de chuva e ao escoamento superficial.

No transporte feito pelas águas observa-se que as partículas menores (argila fina) são levadas em solução, as partículas médias (argila grossa, limo e areia fina) são transportadas em suspensão, não se dissolvendo na água e as partículas mais grossas (seixos, areia grossa, cascalho) são empurradas ou roladas.

Neste tipo de transporte pela água ocorre a seleção do material, sendo que o material mais grosso, ao ser movimentado ao nível do terreno, provoca a desagregação de outros materiais. Algumas partículas poderão se depositar a uma distância de poucos milímetros de onde foram removidas, outras poderão ser

transportadas por centenas de quilômetros até se depositarem nos rios, lagos e oceanos.

A deposição é a última fase do processo erosivo, é o fim do transporte. Segundo Camapum de Carvalho (2006), isto acontece quando o agente perde a sua força (diminui a velocidade ou volume). Assim, por exemplo, a enxurrada traz partículas grossas arrastadas ao nível do solo, partículas médias em suspensão e finas em solução. As partículas grossas param tão logo encontrem um obstáculo (uma pedra, uma árvore), as partículas suspensas depositam-se quando a água perde a velocidade.

Quanto maior o tamanho das partículas, mais rapidamente elas assentam, e quanto maior a velocidade da água, mais demorado é o assentamento a argila só assentará com a água parada.

1.2.1 Grau de intensidade do processo erosivo

A erosão hídrica pode ocorrer em diferentes graus de intensidade: pela ação do fluxo laminar ou pelo fluxo concentrado. O fluxo concentrado pode dar origem a feições do tipo sulcos, ravinas e voçorocas, todas definidas a partir da concentração da progressiva de enxurrada na superfície.

Para os autores como Salomão e Iwasa (1995), Maciel Filho (1997), Bertoni e Lombardi Neto (1999) e Bigarella (2003), as erosões podem ser classificadas quanto ao grau de intensidade em superficial ou laminar e linear ou concentrada, esta última dando origem aos sulcos, ravinas e voçorocas.

A erosão laminar depende da ação das precipitações e do escoamento superficial difuso laminar. Autores como Bastos (1999), Salomão (2007) e Guerra et al (2007) interpretam a erosão causada por fluxos laminar difuso, como consequência de diversos fatores relacionados às condições naturais dos terrenos. Destaque para as chuvas que provocam impacto com as gotas sobre a superfície do solo, caindo com energia e velocidades variáveis e escoamento da enxurrada.

A Figura 2 mostra como ocorre a erosão laminar, que é considerada a forma mais comum e impactante de erosão onde ocorre a perda da camada superficial do

solo pela ação da água. Neste caso, a cobertura vegetal, é de relevante importância uma vez que atua como defesa natural do terreno, minimizando o impacto direto das gotas com o solo, dispersando a energia do escoamento superficial e aumentando a capacidade de retenção e infiltração.



Figura 2 – Erosão laminar.

Fonte: Silva, 2009. Adaptado por IIRR: Instituto Internacional de Reconstrução Rural (2008).

Já a erosão linear ou concentrada é resultante da concentração da enxurrada em alguns pontos do terreno, atingindo volume e velocidades suficientes para formar sulcos mais ou menos profundos (Figura 3). Na sua fase inicial, os sulcos podem ser desfeitos com as operações normais de preparo do solo, porém em estágio mais avançado, podem atingir profundidades que interrompem o trabalho de máquinas. Os sulcos podem evoluir para ravinas e voçorocas que são as formas mais avançadas do processo erosivo

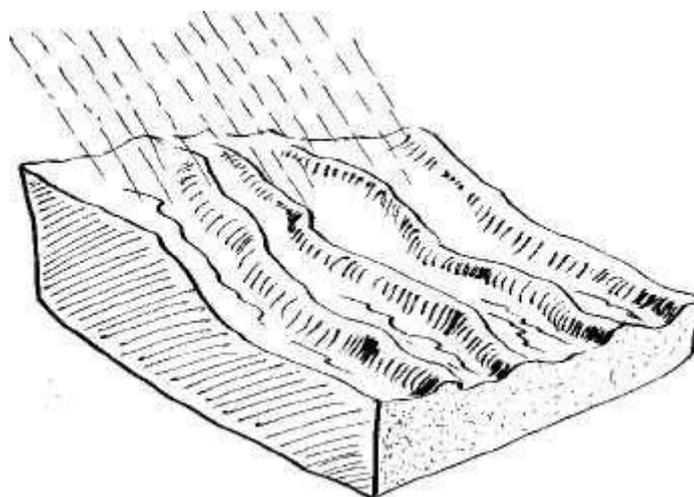


Figura 3 – Erosão em sulcos.

Fonte: Silva, 2009. Adaptado por: IIRR). Instituto Internacional de Reconstrução Rural (2008).

Os conceitos de sulcos, ravinas e voçorocas diferem de acordo com a área de formação do pesquisador. A diferenciação dos conceitos pode se apresentar com relação às dimensões da incisão, geometria da feição, afloramento do lençol freático e com o tipo de fluxo do escoamento, no entanto, as classificações mais utilizadas internacionalmente são aquelas relacionadas às dimensões das incisões erosivas.

Desta forma, Bigarella (2003) adota uma terminologia de acordo com a profundidade das incisões considerando como ranhura até 5 cm; sulco de 5 a 30 cm; vala de 30 a 100 cm e ravina maior que 100 cm.

Para Camapum de Carvalho *et al.* (2006), sulcos são pequenos canais de até 10cm de profundidade, gerados pela concentração do escoamento superficial; e ravinas são canais com profundidade entre 10 e 50 cm, onde começa a haver instabilidade dos taludes. Já Guerra *et al* (2007) consideram sulcos ou ravinas incisões com menos de 50 cm, e voçorocas incisões com largura e profundidade superiores a 50 cm. Onde o volume de enxurrada é mais concentrado, o fluxo de água corta mais profundamente dentro do solo, aprofundando os sulcos em canais maiores chamados de voçorocas.

O Instituto de Pesquisa Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1991), define voçoroca como o estágio mais avançado da erosão, sendo caracterizada pelo avanço em profundidade das ravinas até estas atingirem o lençol freático ou o nível d'água do terreno, sendo este o conceito adotado nesta pesquisa.

Villar e Prandi (1993) definem voçorocas como ravinas de grandes dimensões, geralmente formadas por grandes concentrações de fluxo e refere-se à sua formação como o estágio menos frequente, mas provavelmente o mais espetacular do processo erosivo. São feições erosivas mais complexas e destrutivas no quadro evolutivo da erosão linear e são originadas por dois tipos de escoamento, que podem atuar em conjunto ou separadamente: o superficial e o subsuperficial.

Lepsch (2002) ressalta que a erosão em voçorocas é ocasionada por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, o qual vai se ampliando pelo deslocamento de grandes massas de solo, formando grandes cavidades em extensão e profundidade.

Para Pruski (2009), a erosão em voçorocas possui profundidade superior a 30 cm e largura superior a 1m. Consiste no deslocamento de grande quantidade de solo, de modo a formar canais de consideráveis dimensões, que impedem o trânsito de máquinas. Essa forma de erosão consiste, portanto, na fase mais avançada do processo erosivo, sendo que no seu processo de ocorrência estão envolvidas forças que regem a estabilidade de taludes e os processos de movimento de massa (Figura 4).

Para Pereira et al. (2003), a erosão em entressulcos é descrita como o processo de desprendimento das partículas de solo pelo impacto das gotas da chuva, seguido do transporte das partículas pelo escoamento superficial e pela deposição dos sedimentos nos pequenos sulcos ou canais. Desta forma, a presença de resíduos vegetais no solo aumenta a rugosidade da superfície do terreno, reduzindo a velocidade de escoamento e possibilitando o aumento da infiltração da água no solo.

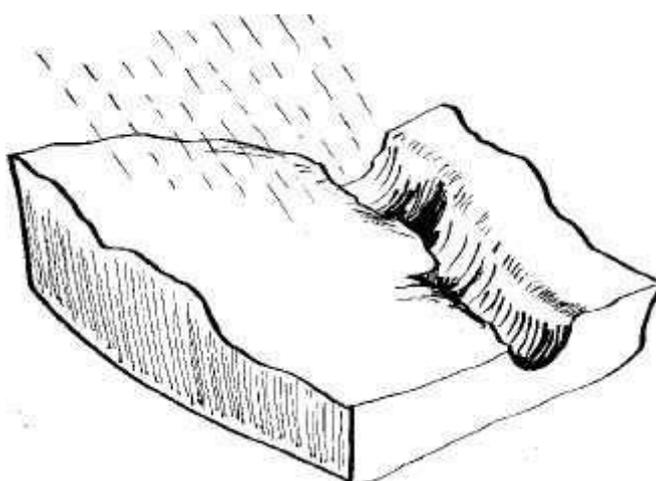


Figura 4 – Formação de voçoroca.

Fonte: Silva, 2009. Adaptado por IIRR: Instituto Internacional de Reconstrução Rural (2008).

Além dos conceitos e classificações sobre erosão, é preciso que se compreendam os fatores que interferem no processo erosivo, pois somente assim é que se podem promover ações de proteção e recuperação das áreas degradadas.

1.2.2 Fatores que condicionam os processos erosivos

Bertoni e Lombardi Neto, (2005) ressaltam que a erosão é um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitude variáveis, dependendo do local de ocorrência.

Autores como Guerra e Mendonça (2004), Bertoni e Lombardi Neto (2005), Camapum de Carvalho *et al.* (2006), Guerra *et al.* (2007), Pruski (2009) entre outros apontam, os seguintes fatores como condicionantes da erosão: clima, relevo, vegetação, ação antrópica e natureza do solo.

Segundo Bigarella *et al.* (1996), a gênese dos processos de erosão linear pode ser atribuída primeiramente à predisposição física da área ao seu desencadeamento, estando envolvidos principalmente os atributos geológicos, pedológicos, a cobertura vegetal e o clima.

O clima é um importante fator controlador do desenvolvimento dos processos erosivos atuando na desagregação\ decomposição da rocha e formação do solo. Para Fendrich *et al.* (1991), locais de clima úmido, tropical quente e temperado com inverno seco e verão chuvoso são mais propícios de serem afetados pelos processos erosivos. Já para Salomão e Antunes (1998), os aspectos climáticos mais importantes no desenvolvimento pedogenético são representados pela precipitação pluviométrica e a temperatura.

Segundo Guerra e Mendonça (2004), fatores como a intensidade, duração, frequência, particularidades das gotas de chuva (velocidade de queda, diâmetro da gota e efeito *splash*) e a energia cinética da chuva, influenciam diretamente na erosão. Conforme os autores, as chuvas de maior intensidade e com alta frequência possuem uma grande energia cinética armazenada durante a sua queda e, conseqüentemente, um grande poder erosivo.

A capacidade dos agentes como a água da chuva em causar erosão é conhecida como erosividade (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2006). A intensidade da chuva é o parâmetro mais importante para predizer as perdas de solo, pois quanto maior a intensidade e o tempo da precipitação, maior será o escoamento superficial e, conseqüentemente, maior a erosão.

As formas do relevo, a declividade do terreno, a regularidade e extensão dos declives (comprimentos de rampa) são características que também têm influência direta na erosão. Bellinazzi Jr (1992) considera o comprimento da rampa como um fator importante no estudo da erosão, uma vez que o volume e a velocidade da enxurrada aumentam à medida que aumenta o comprimento da rampa, elevando o desagregamento e arraste de grande quantidade de partículas do solo.

Para Nishiyama (1995), o comprimento de rampa é um dos mais importantes fatores na erosão do solo, pois com o aumento do comprimento da rampa, ocorre um aumento no volume de escoamento superficial, produzindo um aumento na intensidade de erosão, principalmente sob a forma de sulcos.

Outras características das encostas como o tipo de solo e a cobertura vegetal, devem ser consideradas juntamente com os demais fatores controladores do processo.

A cobertura do solo é um fator importante para a sua proteção e para a diminuição das suas perdas. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005), a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão, pois os efeitos da cobertura vegetal no solo são:

- a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva;
- b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;
- c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água;
- d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água e diminuição da velocidade de escoamento das enxurradas pelo aumento do atrito na superfície. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005).

Embora a cobertura vegetal seja um fator de proteção do solo, não significa que um grande percentual de cobertura vegetal tenha total eficiência na proteção do mesmo, isso pode ocorrer se o solo estiver desprotegido, sem serrapilheira, e neste caso haverá desprendimento e carregamento de sedimento (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2005).

Desta forma, pode-se dizer que quanto mais alta a proporção da área de superfície coberta por resíduos vegetais, maior o controle da erosão, pois ocorre a redução da capacidade de desagregação, do escoamento e do transporte das partículas de solo.

Já os fatores antrópicos, que contribuem para a erosão, são representados por atividades como o desmatamento e formas de uso e ocupação do solo inadequado (Figura 5) tais como a agricultura sem práticas conservacionistas e obras civis que deflagram o processo erosivo imediatamente, ou após certo intervalo de tempo.



Figura 5 – Processo erosivo em estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria.

Fotografia: Corrêa, A.(2015).

Em áreas urbanas, comumente, os esgotos são lançados de forma incorreta, ocasionando erosões que se transformam em focos de doenças, tornando-as ainda mais danosas ao ambiente. As erosões lineares nas cidades, muitas vezes, resultam das alterações do escoamento superficial, que o processo de urbanização causa pela concentração do fluxo das águas pluviais, resultando em incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que podem evoluir, por aprofundamento, para ravinas e até voçorocas.

Da mesma forma, as estradas não pavimentadas, conhecidas como estradas de terra, comumente não possuem drenagem e, muitas vezes, são escavadas em terrenos muito erodíveis, o que origina intenso processo erosivo, formando sulcos e ravinas e tendo como consequência o assoreamento de corpos d'água.

Os problemas ambientais são geralmente decorrentes do uso e da apropriação indevida do espaço pelo ser humano, que ocasionam os mais relevantes impactos ambientais por não ter uma visão sistêmica.

Considerando os problemas resultantes da erosão, Fendrich e Iwasa (1998) afirmam que, em determinadas regiões, este processo pode ser considerado como um dos condicionantes mais importantes para a expansão urbana e assentamentos de obras de infraestrutura.

É importante destacar que quando se usa o termo ação antrópica no processo erosivo, o ser humano não é um agente direto. Sua participação no processo ocorre propiciando as condições favoráveis para que outros agentes, como é o caso da água, atue de modo direto. São exemplos deste tipo de atuação o desmatamento e a expansão urbana desordenada (PEREIRA, et al 2003).

Para Fendrich *et al.* (1991), as características do solo são um dos condicionantes mais importantes do processo erosivo. Estas características incluem textura, estrutura, estratificação, permeabilidade, teor de umidade, e composição mineralógica, que determinam a susceptibilidade dos terrenos à erosão. Estas e outras características retratam a maior ou menor facilidade com que as suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo, propriedade esta conhecida como erodibilidade (GUERRA, 2005).

Segundo Bastos (1999), a erodibilidade pode ser apontada como a maior ou menor facilidade com que as partículas são separadas e transportadas pela ação de um agente erosivo, em função do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.

De acordo com Camapum de Carvalho *et al.*,(2006) a determinação da erodibilidade dos solos por meio de ensaios geotécnicos tem sido uma ferramenta importante para indentificar, entender e mesmo propor soluções quando do surgimento de processos erosivos.

A erodibilidade pode ser avaliada de forma direta, por meio de ensaios específicos ou por ensaios indiretos, como os realizados durante a caracterização física, química e mineralógica, ensaios esses utilizados nos estudos geotécnicos.

Para Bigarella (2003), a erodibilidade é influenciada pela intensidade da chuva; capacidade de infiltração (permeabilidade da superfície), propriedades físicas e químicas (que controlam a desintegração do solo e determinam sua coesividade, e a vegetação que afeta diretamente a estabilidade.

A textura, que constitui a fase mineral sólida do solo, mede em porcentagem as proporções de argila, silte, areia e tem sido utilizada como sinônimo de

granulometria. Para Bertoni e Lombardi Neto (2005), a textura interfere na erosão, pois algumas frações granulométricas são mais fáceis de serem arrastadas que outras. Além disto, a relação entre o tamanho das partículas como que o solo influi na capacidade de infiltração e absorção d'água, interferindo na energia das enxurradas e na coesão dos solos.

Normalmente, solos de textura arenosa são mais porosos, permitindo rápida infiltração, entretanto, como possuem baixa proporção de partículas argilosas, que atuam como uma ligação entre as partículas maiores apresentam maior facilidade para a remoção das partículas, como se verifica mesmo em pequenas enxurradas (PRADO, 1991).

Grandes partículas de areia resistem ao transporte e solos de textura fina (argilosos) também resistem à desagregação, sendo a areia fina e o silte as texturas mais suscetíveis à desagregação e ao transporte. Assim, solos derivados de materiais originados de transporte eólico, por exemplo, são muito susceptíveis à erosão (WICANDER e MONROE, 2009).

1.3 Metodologias para avaliação da erodibilidade – enfoque geotécnico

Uma das propriedades de comportamento do solo frente à erosão, que está relacionada mais especificamente à sua natureza, é a erodibilidade, uma propriedade complexa em função do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes (BASTOS et al. 1998).

Segundo Bastos et al (2000), conceitos da Agronomia, da Hidráulica e da Mecânica dos Solos têm sido reunidos nos trabalhos mais recentes sobre erosão, na elaboração de modelo e na concepção de critérios de avaliação da erodibilidade.

De acordo com Silva et al. (2000), a erosão hídrica deve ser estudada considerando-se a erodibilidade do solo, que representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo a desagregação e transporte de partículas, ou seja, sua predisposição a erosão.

A determinação da erodibilidade dos solos por meio de ensaios geotécnicos tem sido uma ferramenta importante para indentificar, entender e até mesmo propor soluções quando do surgimento de processos erosivos.

A avaliação da erodibilidade de um solo pode se dar por métodos diretos e indiretos. Alguns ensaios como os realizados para a caracterização física, considerados ensaios de avaliação indireta da erodibilidade são os seguintes: ensaio de desagregação, perda de massa por imersão e infiltrabilidade da metodologia Miniatura Compactado Tropical (NOGAMI e VILLIBOR, 1979) e o ensaio de cone de laboratório. Para Jacintho et al. (2006), o ensaio de desagregação, juntamente com o ensaio chamado Inderbitzen, são formas diretas de avaliação da erodibilidade.

Bastos (1999) apresentou uma nova proposta metodológica com uma abordagem geotécnica para avaliação da erodibilidade de solos residuais. Tal proposta possui como base o estudo da erodibilidade, em perfis de solos residuais não saturados, realizado pelo autor em sua Tese de Doutorado. A proposta consiste em uma avaliação indireta e uma avaliação direta da erodibilidade.

1.3.1 Ensaios de caracterização física

Os ensaios de caracterização física são considerados essenciais não só para a avaliação da erodibilidade, como também para qualquer outro tipo de estudo que envolva solos e rochas sedimentares. Para Jacintho *et al.* (2006), a relação das características físicas do solo com a erodibilidade não é simples e direta. A análise textural com e sem o uso de defloculante indica o nível de agregação do solo com certa estabilidade estrutural. Solos agregados apresentam, comumente, elevada porosidade devido a presença demacroporos e, por consequencia disto, elevada permeabilidade, o que favorece a infiltração. Se o processo de infiltração prevalece, a erosão por escoamento superficial é reduzida.

Da mesma forma, a relação da erodibilidade com o índice de plasticidade não pode ser direta para solos tropicais por exemplo. Conforme Jacintho *et al.* (2006), solos com maior índice de plasticidade são menos erodíveis (com exceção das argilas dispersivas), porém, no caso dos solos tropicais, a presença de oxi-hidróxido

de ferro confere uma maior estabilidade e resistência ao solo, tornando-o menos erodível, mesmo apresentando uma baixa plasticidade. Os autores consideram ainda que as análises em termos de peso específico real dos grãos devem ser evitadas pelo fato de serem muito variáveis nos solos tropicais.

Bastos (1999) constatou que o decréscimo do teor de finos e a plasticidade aumentaram a erodibilidade dos solos analisados por ele em quatro perfis na região metropolitana de Porto Alegre, no entanto, esta relação não foi confirmada pelo estudo de solos tropicais realizados por Fácio (1991). Para este autor, esta contradição se deve ao fato da influência de características estruturais e mineralógicas dos solos, demonstrando que essas propriedades não podem ser únicas na avaliação do comportamento geomecânico dos solos.

1.3.2 Ensaio de Desagregação

O Ensaio de Desagregação, também conhecido como *Slaking Test*, tem por objetivo verificar a estabilidade de uma amostra de solo indeformada quando imersa em água destilada, independente da dispersão do material.

Os ensaios de desagregação consistem na introdução de amostras de solo em uma bandeja contendo água, observando-se, então, as reações das respectivas amostras ao processo de submersão. Com o ensaio de desagregação, pode-se prever o comportamento do solo quando inundado por água, o que possibilita a determinação da capacidade da água em desagregar o mesmo.

Segundo Bastos *et al.* (1999) este ensaio é indicado como critério preliminar na avaliação qualitativa da erodibilidade devido ao fato de ser um ensaio considerado simples e de dar bons resultados, auxiliando no direcionamento de outros ensaios de erosão.

O ensaio pode ser feito de duas formas: com inundação total ou com inundação parcial, a partir da base do corpo de prova. Em se tratando da descrição qualitativa da amostra são observadas as seguintes dinâmicas na amostra: (a) abatimento (*slumping*); (b) fraturamento no topo; (c) rupturas nas bordas; (d)

velocidade de desagregação; (e) grau de dispersão das partículas de solo; (f) velocidade de ascensão capilar; e (g) inchamento.

Os resultados deste ensaio são qualitativos. A relação entre o potencial de desagregação e a erodibilidade é evidente. Os solos considerados altamente erodíveis desagregam totalmente em água.

Por exemplo, os ensaios realizados por Lima (1999 *apud* JACINTHO et al., 2006), ao realizar o ensaio de desagregação em amostras de erosão da cidade de Manaus, coletadas em profundidade variando entre 5,0 m e 8,5m com a submersão total durante sete dias, verificou-e que as mesmas mantiveram intactas, indicando assim a estabilidade estrutural do solo em presença de água.

Santos (1997 *apud* BASTOS et al., 2000) ao ensaiar amostras de solo de voçorocas no município de Goiânia, concluiu que a desagregação verificada nas amostras ocorreu pelo processo de abatimento causado pela hidratação e desagregação geradas na fase de inundação das amostras, sendo que o processo de saturação das amostras anula a sucção matricial e gera poro pressão positiva capaz de desestruturar e desagregar o solo.

Entretanto, não é verificada uma relação direta do potencial de desagregação com os níveis intermediários e baixos de erodibilidade (BASTOS, 1999).

1.3.3 Critérios de erodibilidade da metodologia Miniatura Compactado Tropical (MCT)

A metodologia MCT (NOGAMI e VILIBOR, 1979) envolve um conjunto de ensaios em solos tropicais e subtropicais, que foi desenvolvido para o uso em rodovias e estradas vicinais, substituindo métodos propostos para solos de países de climas frios e temperados. Esta avaliação é fundamentada em dois parâmetros: o coeficiente de sorção (s) obtido no ensaio de infiltrabilidade, e o coeficiente (π) obtido pelo ensaio de perda de massa por imersão modificado (ensaio de erodibilidade específica).

O ensaio de infiltrabilidade busca simular a infiltração de água no solo através da ascensão capilar. A sua execução busca reproduzir uma condição natural,

submetendo uma amostra indeformada de solo à ação de uma carga hidráulica provocada através de um menisco gerando assim por ascensão capilar infiltração da água nesta amostra.

Desta forma, mede-se o deslocamento do menisco em relação ao tempo de exposição da amostra, geralmente 1, 2, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, 121, 144 minutos e 24 horas e assim sucessivamente, até que ocorra a estabilização do processo. Os dados obtidos são então inseridos em um gráfico e, através deste gráfico, é determinado o coeficiente de sorção (s).

O ensaio de perda de massa por imersão modificada, também chamada de ensaio de erodibilidade específica, tem por objetivo avaliar o comportamento do solo quando submetido à inundação. Consiste, segundo Nogami e Villibor (1979), em submergir em água, durante 20 h, amostras indeformadas de solo, confinadas pelo anel. Recolhe-se o solo desprendido do anel e determina-se a sua massa seca. A perda de massa por imersão π (%) é calculada através da relação entre o peso do solo seco desagregado e o peso do solo seco total da amostra.

Através da relação π/s , é possível a classificação dos solos em relação ao grau de erodibilidade, sendo considerados solos erodíveis quando esta relação for superior a 52. O mesmo critério de classificação foi proposto de maneira gráfica por Nogami e Villibor (1995) conforme a Figura 6, sendo baseado em um número maior de ensaios. Para Pejon (1992 apud VILAR e PRANDI, 1993) a relação π/s deve ser superior a 40, para que os solos sejam classificados como erodíveis.

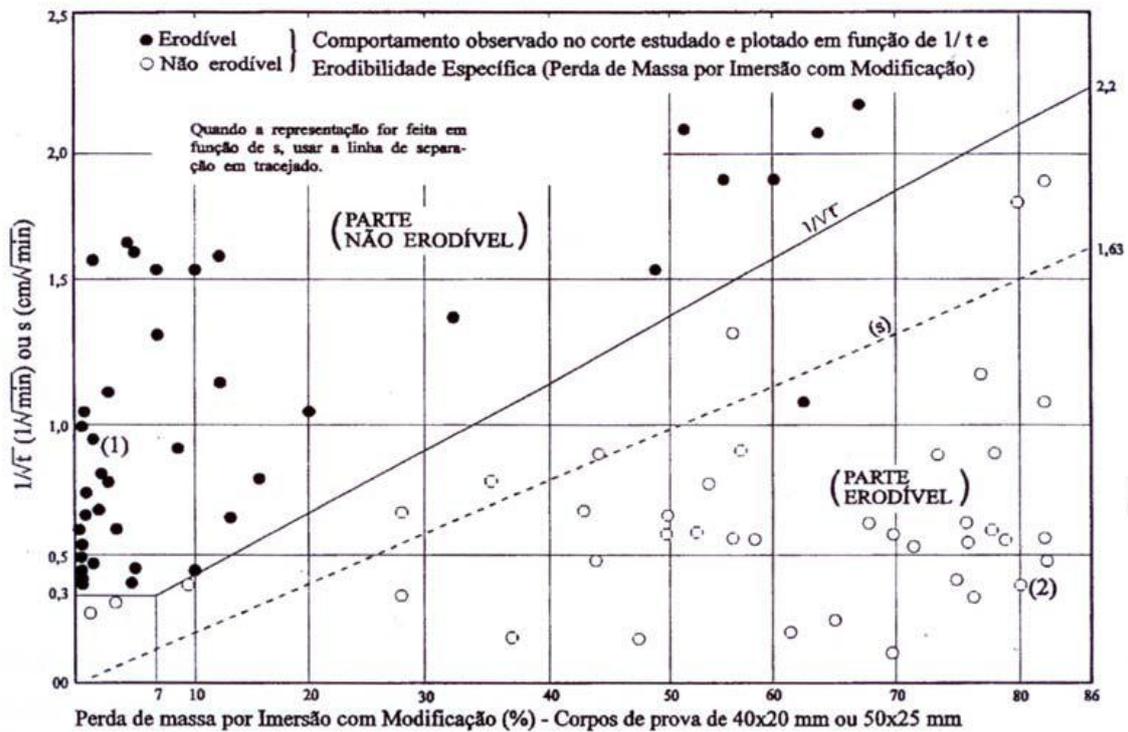


Figura 6 – Critério de erodibilidade MCT segundo Nogami e Villibor (1995). Fonte: Bastos (1999).

Os critérios de erodibilidade baseados na metodologia MCT foram confirmados por Bastos (1999), no estudo da erodibilidade de solos residuais não saturados na região metropolitana de Porto Alegre.

1.3.4 Ensaio de cone de laboratório

O ensaio de penetração de cone foi proposto por Alcântara (1997) com o objetivo de determinar a erodibilidade dos solos. Segundo o autor, a diferença de penetração em amostras saturadas e não saturadas apresenta boa correlação com a erodibilidade. O ensaio estuda o comportamento de amostras indeformadas com altura de 40 mm e diâmetro de 73 mm, perante a penetração de um cone com ângulo de abertura de 30° e altura de 35 mm, em amostra de solo nas condições natural e saturada. A saturação da amostra é obtida por capilaridade pelo período de uma hora.

O ensaio mede em cada teste a altura de penetração alcançada pela ponta do equipamento (Figura7) em nove pontos diferentes na superfície de cada amostra.

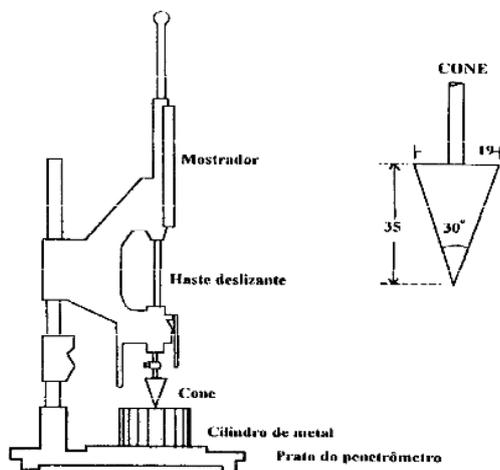


Figura 7 – Equipamento do ensaio de penetração de cone.
Fonte: Alcântara e Vilar (1998).

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa consistiram em três etapas: Gabinete, Campo e Laboratório.

Etapa de Gabinete na qual foram levantados dados bibliográficos sobre o tema estudado, teve como base uma revisão em livros, publicações, congressos, simpósios, teses e dissertações de temas relacionados com a erosão, metodologias para avaliação da erodibilidade, estudos realizados sobre o Campo de Instrução de Santa Maria, bem como as análises dos resultados dos ensaios e elaboração do texto da dissertação.

Na etapa de campo foram realizadas as observações dos processos erosivos e da área a ser construída para escolha do local a ser amostrado. Nesta etapa, foram realizadas as amostragens (deformadas e indeformadas) para a posterior realização dos ensaios geotécnicos.

Na etapa de laboratório foram realizados os ensaios de caracterização física e ensaios para avaliação indireta da erodibilidade.

2.1 Etapa de Gabinete

Esta etapa compreende basicamente no levantamento bibliográfico, em livros, artigos, teses, dissertações e materiais publicados em eventos de temas relacionados com os aspectos geográficos, de geotecnia, geografia e geologia referentes à temática para a elaboração do referencial teórico-metodológico. Foram realizadas pesquisas referentes aos processos erosivos, envolvendo seus conceitos, dinâmica, classificação, fatores de influência e sua atuação. Também se buscou assuntos referentes os ensaios de caracterização geotécnica e avaliação da erodibilidade mais comumente usados no meio geotécnico.

2.2 Etapa de Campo

Na etapa de campo foram realizadas visitas ao Campo de Instrução de Santa Maria – CISM, foram observados os processos erosivos atuantes na área, e forma de utilização do campo, identificando os principais processos erosivos que ocorrem nesta área, avaliação dos problemas ambientais, observação do local onde será implantado o Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul) que funcionará com sua sede principal na guarnição de Santa Maria - RS, em área do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM).

Nesta etapa foi escolhido o perfil de solo para coleta das amostras para posterior realização dos ensaios geotécnicos. A escolha do perfil considerou o tipo de material (solo e rocha semelhante ao local das futuras edificações e a facilidade de acesso). Para auxiliar nos trabalhos de campo foram utilizados: caderneta de campo, máquinas fotográficas, fotografias aéreas 1:20.000 e receptor GPS.

2.2.1 Coleta das amostras

Os trabalhos de campo foram realizados em de Janeiro de 2015, onde neste houve participação de alunos do grupo de pesquisa LAGEOLAN, Laboratório de Geologia Ambiental da UFSM, formado por alunos de graduação e mestrado, orientados pelos professores Rinaldo Pinheiro e Andrea Nummer.

O perfil escolhido para amostragem, denominado PC (Ponto Corrêa), está localizado num corte em solo e rocha, na Avenida do Exército no sistema de coordenadas UTM (Fuso 22 S), DATUM: SIRGAS 2.000 com aproximadamente 3,5 metros de altura do topo até a base da estrada (junto à canaleta de drenagem da mesma).

O local foi identificado por coordenadas geográficas com o auxílio de um receptor GPS, descritos em caderneta de campo e fotografados com máquina digital. Posteriormente, foi localizado em uma imagem do Google Pro, na Carta Geotécnica de Santa Maria (Maciel Filho, 1999) e nos mapas temáticos de Sant'Ana

(2012), (mapa de Hipsometria, mapa de Declividade, mapa de Solos, mapa de Uso do Solo, mapa de Áreas de Preservação Permanente (APPS), para posterior caracterização física da área.

Também foram realizados trabalhos de campo para reconhecimento de geologia, solos, vegetação, geomorfologia e avaliação dos problemas ambientais.

A coleta de amostras deformadas¹ e indeformadas² (Figura 8) para a realização dos ensaios de caracterização e erodibilidade respectivamente, foi realizada de acordo com a norma (ABNT, 1986), NBR 6457 (Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização).

As amostras deformadas foram coletadas em sacos plásticos enquanto que as amostras indeformadas foram coletadas em dois tipos de anéis de PVC: conforme a figura 8 a seguir, (i) anéis de 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura, utilizados para os ensaios de desagregação e de cone de laboratório (ii) anéis de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura utilizados para os ensaios da metodologia MCT (infiltrabilidade e perda de massa por imersão). Essas amostras foram parafinadas a fim de manter a sua umidade natural para a realização dos ensaios em laboratório. Dessa forma, o solo permanece com a mesma umidade que se encontra em campo, diferentemente das amostras deformadas, que são obtidas com a desagregação do solo.

Além destas, foram coletadas amostras deformadas para caracterização granulométrica dos Horizontes do perfil de solo de acordo com a figura 8.

A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação por densitometria foi realizada com base na norma (ABNT, 1984) NBR 7181 (Solo – Análise granulométrica) e os demais ensaios realizados de acordo com as normas.

Determinação do peso específico real dos grãos (ABNT, 1984/NBR 6508).
Determinação do limite de liquidez (ABNT, 1984/NBR 6459), Determinação do limite de plasticidade (ABNT 1984/NBR 7108).

¹ Amostras Deformadas refere-se ao solo solto, coletado com pá ou trado.

² Amostras Indeformadas refere-se à coleta de um "pedaço" ou porção do solo extraída com equipamento espátula e coletada em anéis de PVC.

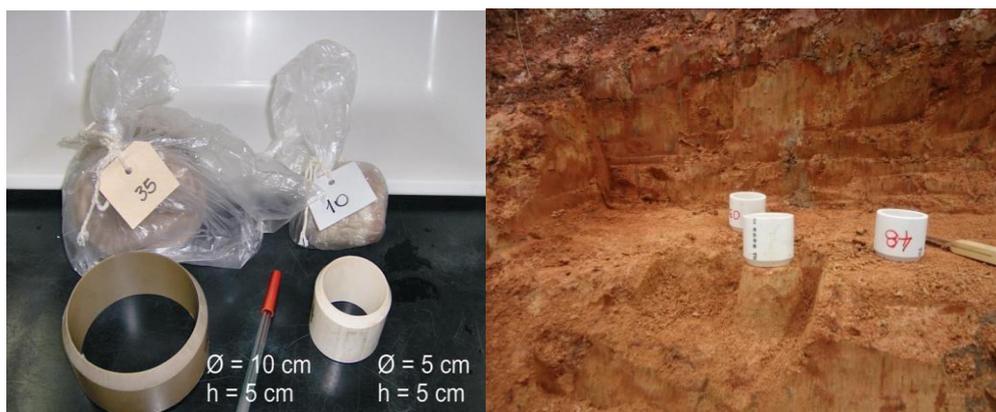


Figura 8 – Anéis utilizados para a coleta de amostras indeformadas
Fotografia: Corrêa. A. 2015.

O perfil amostrado, pertencente à Unidade Geotécnica Formação Santa Maria- Arenito Basal, onde foram coletadas amostras deformadas para caracterização física de todos os horizontes (A, B, B/C e C), e também foram coletadas amostras indeformadas somente do horizonte C, para os ensaios de erodibilidade.

O número de amostras indeformadas coletadas para a realização dos ensaios de avaliação indireta de erodibilidade do horizonte C, do Perfil de solo esta apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Número de amostras indeformadas coletadas e seus respectivos ensaios

Dimensão dos anéis (cm) (Φ = diâmetro, h = altura)	Ensaio	Nº de Amostras Coletadas do Horizonte C
$\Phi = 10$ h = 5	Desagregação	2
$\Phi = 5$ h = 5	Infiltrabilidade	9
$\Phi = 5$ h = 5	Perda de massa por Imersão	9
$\Phi = 10$ h = 5	Cone de laboratório	3

Fonte: Corrêa. A. (2015).

Foi escolhido o horizonte C para a realização dos ensaios de erodibilidade, pois, em se tratando de obras civis, no CISM relacionadas ao Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul), os horizontes superficiais geralmente

são retirados para conformação do terreno, o que deixaria este horizonte exposto e sujeito aos processos erosivos. Da mesma forma, a abertura de acessos, arruamentos, cortes e aterros (durante a fase de implantação das obras), expõem este material à erosão.



Figura 9 – Local das coletadas das amostras indeformadas do horizonte C no CISM.
Fotografia: Corrêa. A. (2015).

2.3 Etapa de Laboratório

Na etapa de Laboratório foram realizados os ensaios geotécnicos para a caracterização física, análise granulométrica, ensaios de avaliação indireta da erodibilidade perda de massa por imersão, infiltrabilidade da metodologia MCT, ensaio de desagregação e ensaios de cone de laboratório das amostras coletadas.

Os ensaios foram conduzidos, adotando-se a mesma metodologia de Tatto (2007), Fernandes (2011), Sant'Ana (2012), Pittelkow (2013) e Posser (2015) baseados no trabalho de Bastos (1999). Os ensaios foram realizados em três condições de umidade inicial das amostras: umidade natural, seca ao ar e pré-umedecidas.

Os ensaios de caracterização física e de avaliação indireta da erodibilidade foram executados no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de

Geociências da UFSM. Os ensaios efetuados foram limites de consistência, determinação dos índices físicos como umidade, peso específico natural, peso específico seco, peso específico real dos grãos, índice de vazios, grau de saturação e porosidade.

Para a realização da caracterização geotécnica dos materiais amostrados, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSM os seguintes ensaios:

A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação com e sem o uso de defloculante foi realizada de acordo com a ABNT NBR 7181/1984. A escala adotada para separação das frações do solo é a recomendada pela ABNT NBR 6502/1995 (Terminologia – Rochas e Solos). A Figura 10 mostra a execução do ensaio da análise granulométrica.

A caracterização dos solos foi realizada através dos ensaios de peso específico real dos grãos foi realizado com base na norma ABNT NBR 6508/1984 (Grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica) através do método do picnômetro.

O ensaio de limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) foi realizado de acordo com as normas ABNT NBR 6459/1984 (Determinação do limite de liquidez) e norma ABNT NBR 7108/1984 (Determinação do limite de plasticidade).

A Tabela 2 resume os ensaios para avaliação dos índices físicos que foram realizados e as normas técnicas utilizadas.

Tabela 2 – Normas ABNT utilizadas

Norma	Especificação
ABNT NBR 6502/95 e EMBRAPA	Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação
ABNT NBR 6508/84*	Determinação do peso específico real dos grãos
ABNT NBR 6459/84	Determinação do limite de liquidez
ABNT NBR 7108/84	Determinação do limite de plasticidade

Obs.:*Grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Método do picnômetro.

2.3.1 Ensaios de caracterização física

Os ensaios de caracterização física são considerados primordiais na análise, não só da erodibilidade, como também em qualquer outro tipo de propriedades dos solos.

Os ensaios de granulometria foram realizados pelos métodos descritos na (ABNT,1984) NBR 7181. Para caracterizar os solos utilizou-se a análise granulometria por peneiramento e sedimentação conforme a figura 10.



Figura 10 – Execução do ensaio da análise granulométrica Horizontes A, B, BC e C.
Fotografia: Corrêa, A., (2015).

Na fase de sedimentação as amostras de solo foram ensaiadas sem defloculante e com defloculante. O defloculante utilizado foi o hexametáfosfato de sódio. A escala granulométrica adotada é a proposta na (ABNT,1995) NBR 6502/ (Terminologia _ Solos e Rochas).

No peneiramento, determina-se a porcentagem do material que fica retido em cada peneira do conjunto, de forma decrescente, possibilitando ao mesmo tempo a determinação da parcela do solo que passa.

O peso do material que passa em cada peneira, na peneira com diâmetro 2,00, 0,84, 0,42, 0,25, 0,15, 0,075 mm é considerado como a "porcentagem que passa", e representado graficamente (em escala logarítmica) em função da abertura

da peneira. A abertura nominal da peneira é considerada como "diâmetro" das partículas.

A análise por peneiramento tem como limitação a abertura da malha das peneiras. Quando há interesse no conhecimento da distribuição granulométrica da porção mais fina dos solos, emprega-se técnica da sedimentação.

A sedimentação é baseada na Lei de *Stokes*, a qual diz que: a velocidade (v) de queda de partículas esféricas num fluido atinge um valor limite que depende da massa específica do material da esfera (γ_s), da massa específica do fluido (γ_w), da viscosidade do fluido (μ), e do diâmetro da esfera (D), conforme a equação1:

$$V = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot D^2}{18 \cdot \mu} \quad (1)$$

O teor de umidade é obtido pela diferença de peso de amostra de solo antes e após a secagem em estufa com temperatura de 110°C, mantidas por no mínimo 24 horas ou até a obtenção da constância de peso.

O ensaio de peso específico real dos sólidos foi executado com o procedimento de aquecimento e vácuo para retirada das bolhas de ar.

A massa específica real é uma característica que expressa a relação entre a massa e o volume das partículas sólidas. Foi determinada em laboratório com auxílio de um picnômetro com água (destilada), no interior do qual foi colocada uma determinada quantidade de solo seco, determinando o volume de água deslocado do recipiente, que por sua vez expressa o volume do material. Com a massa e o volume do solo, calcula-se a massa específica real dos grãos.

2.3.2 Ensaio para avaliação indireta da erodibilidade

Para a avaliação indireta da erodibilidade foram realizados os ensaios de desagregação ou *slaking test*, ensaio de cone de laboratório e ensaios baseados na metodologia MCT de Nogami e Vilibor (1979).

2.3.3 Ensaio de desagregação (*slakingtest*)

É uma avaliação qualitativa e visual da estabilidade de uma amostra de solo, quando submersa em água (ensaio não normatizado). Neste ensaio observa-se a dinâmica da amostra como a ocorrência de abatimento, fraturamento do topo, rupturas nas bordas, velocidade de desagregação, grau de dispersão das partículas do solo, velocidade de ascensão capilar, inchamento. Este ensaio permite avaliar o momento de um solo diante de seu processo de saturação.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo, com anéis cilíndricos biselados de PVC, com 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura. Os ensaios foram realizados na condição de umidade natural e seca ao ar (por no mínimo 72 horas).

As amostras foram retiradas de seus anéis com a ajuda de um soquete de acrílico e posto sobre um papel filtro e uma pedra porosa (Figura 11).



Figura 11 – As amostras prontas para serem ensaiadas.
Fonte: Tatto (2007).



Figura 12 – Amostras preparadas para o ensaio desagregação nas condições de umidade seca ao ar (à esquerda) e umidade natural (à direita).

Fotografia: Corrêa, A.(2015).

As amostras permanecem sob quatro condições de submersão:

- (a) com o nível d'água na base da amostra – 30 minutos;
- (b) com o nível d'água a 1/3 da amostra – 15 minutos;
- (c) com o nível d'água a 2/3 da amostra – 15 minutos; e
- (d) com a amostra totalmente submersa – 24 horas conforme esquema da (Figura 13) onde se observa e anota o que ocorre com a mostra ao longo do ensaio.

Base - 30 min 1/3 h - 15 min 2/3 h - 15 min Submerso - 24h



Figura 13 – Esquema representativo, do ensaio de desagregação.

Fonte: Tatto (2007).

2.3.4 Ensaio pelo critério de erodibilidade MCT

Esta baseada em dois parâmetros: o coeficiente de sorção (s), obtido no ensaio de infiltrabilidade, e o coeficiente de perda de massa por imersão (pi). Através da relação pi/s, Nogami e Villibor(1979), classificamos solos em relação ao grau de erodibilidade, sendo que valores superiores a 52 são considerados solos erodíveis.

2.3.5 Perda de massa por imersão

Este ensaio determina a erodibilidade específica e consiste em submergir por 20 horas, amostras de solo confinadas em um anel cilíndrico (Figura 14). Após esse período; recolhe-se o solo desprendido deste anel e determina-se a sua massa seca, sendo o valor da perda a relação entre o peso do solo seco desagregado e o peso do solo seco total da amostra (antes do ensaio) de acordo com a equação 2:

(2)

$$Pi(\%) = (\text{peso do solo seco desagregado} \div \text{peso do solo seco da amostra}) \times 100$$

Tal procedimento (Figura 15) é realizado com amostras naturais, secas ao ar por 72 horas, e também com amostras saturadas.

Bastos (1999), Tatto (2007) e Avila (2009) utilizaram amostras de solo indeformadas em anéis de PVC com 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro, nas condições de umidade natural, seca ao ar (por no mínimo 72 horas) e pre-umedecidas (amostras oriundas do ensaio de infiltrabilidade), imersas em água por 20 horas.

Com o término do ensaio, a água é esgotada, cuidadosamente, do recipiente que contém o sistema berço-amostra. O solo desprendido e o solo remanescente do anel são recolhidos, levados à estufa, e posteriormente, pesados. O parâmetro “pi” (%) é determinado através da equação 3:

$$p_i = \frac{p_{seco} d}{P_{seco} t} \quad (3)$$

Onde:

P seco d = peso de solo seco desagregado

P secot = peso de solo seco total da amostra.



Figura 14 – Esquema do ensaio de Perda por Imersão
Fonte: Arquivos de Graciele Pittelkow (2013).



Figura 15 – Ensaio de Perda por Imersão na condição Pré-Umedecida e seca ao ar.
Fotografia: Corrêa, A. 2015.

2.3.6 Infiltrabilidade

Trata-se do ensaio que quantifica a ascensão capilar nas amostras de solo, sendo realizado com amostras indeformadas com umidade natural, seca ao ar e pré-umedecidas de acordo com a figura 16 a seguir.



Figura 16 – Ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT
Fotografia: Corrêa, A. (2015).

O ensaio consiste em uma superfície plana, na qual está acoplada um tubo capilar e uma régua graduada. Esse sistema é ligado a um reservatório com topo livre, sobre o qual se encontra uma pedra porosa. O tubo capilar é cheio com água, até que ela transborde no topo do reservatório, após é colocada a amostra sobre um papel filtro, sobre este reservatório. Assim, a água infiltra na amostra (Figura 17).

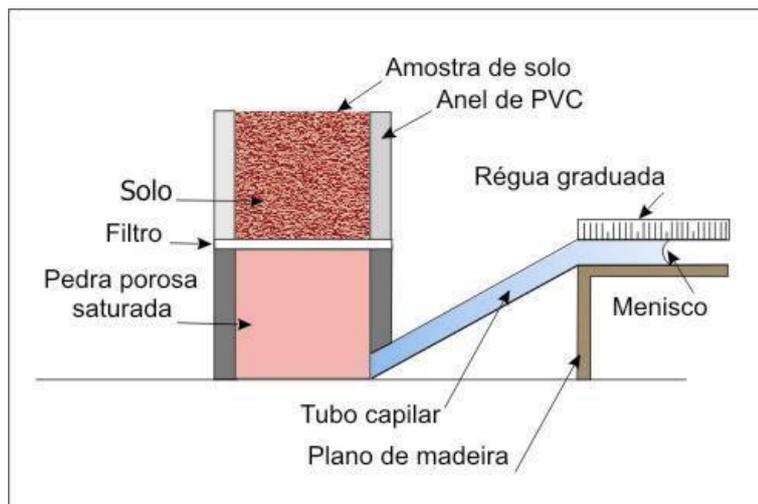


Figura 17 – Esquema do ensaio de infiltrabilidade da metodologia MCT.
Fonte: Tatto (2007).

Para medir a quantidade e a velocidade de infiltração realiza-se a leitura dos valores, obedecendo a uma escala de tempo (“15”, 30”, 45”, 1”, 1’15”, 1’30”, 1’45”, 2’, 4’, 9’, 16’, 25’, 49’, 64’, 81’, 100’, 121’, 144’ e 24 horas). Por meio dos valores coletados dentro destes intervalos de tempo, pode-se estabelecer uma relação que nos fornecerá o coeficiente de sorção do solo, representado por “s”, sendo sua grandeza $\text{cm}/\text{min}^{1/2}$ o que pode se obter do gráfico da (Figura 19). Que provem da equação 4:

$$S = [(L2 - L1)S] \div 10(t2 - t1)A \quad (4)$$

Onde:

S = área da seção do tubo capilar

A = área da seção da amostra

L1= leitura no tempo t1

L2 = leitura no tempo t2

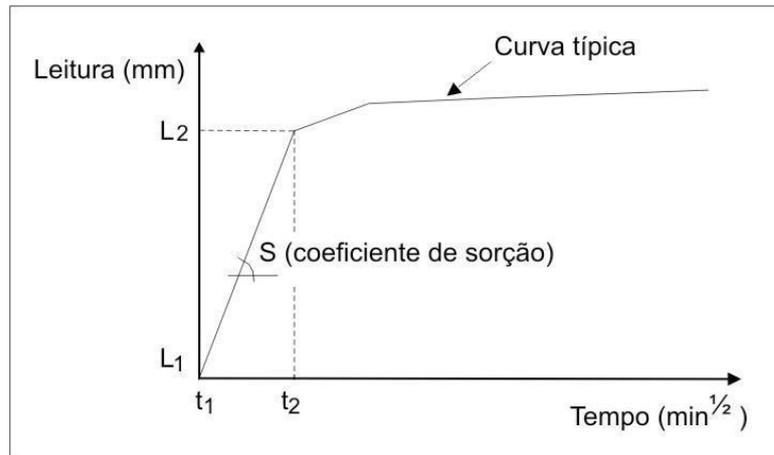


Figura 18 – Curva típica do deslocamento do menisco X tempo para o ensaio de infiltrabilidade. Metodologia MCT.

Fonte: Bastos (1999).

Os ensaios de caracterização física e de avaliação indireta da erodibilidade foram executados no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências do Centro de Ciências Naturais e Exatas e no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro de Tecnologia, ambos da UFSM.

2.3.7 Critérios de erodibilidade baseado em ensaios de cone de laboratório

Alcântara (1997 apud BASTOS, 1999) propôs a utilização do ensaio de penetração ao cone para determinar a erodibilidade de solos. Segundo este autor, a diferença de penetração em amostras saturadas e não saturadas apresentaria boa correlação com a erodibilidade.

A partir dos valores de penetração nas condições natural (P_{nat}) e saturada (P_{sat}), pode-se definir DP (variação de penetração), conforme a equação 5 a seguir apresentada:

$$DP = \frac{P_{sat} - P_{nat}}{P_{nat}}$$

$$DPA = \frac{P_{sat} - P_{nat}}{P_{sat}}$$

(5)

O ensaio de penetração de cone utilizado por Alcântara e Vilar (1998 apud SILVA e RIBEIRO, 2001) estuda o comportamento de amostras indeformadas com altura de 40 mm e diâmetro de 73 mm, perante a penetração de um cone com ângulo de abertura de 30° e altura de 35 mm.

Mede-se em cada teste a altura de penetração alcançada pela sua ponta em 9 (nove) pontos diferentes na superfície de cada amostra. A saturação é obtida por capilaridade pelo período de 1 hora. Os valores de penetração natural e saturada são obtidos através da média dos valores alcançados em três repetições, excluindo-se aqueles que apresentem valores de dispersão em relação à média acima de 5%.

A Figura 19 mostra o ensaio de penetração de cone.



Figura 19 – Equipamento de cone de laboratório com amostra preparada para ser ensaiada.

Fotografia: Corrêa, A. (2015).

3 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

O Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) é uma OM (Organização Militar) do Exército Brasileiro localizada no sudoeste da cidade de Santa Maria-RS, entre as coordenadas UTM fuso 22 Sul, DATUM SIRGAS 2000. O CISM está localizado no Bairro Boi Morto, no final da Avenida do Exército cujo acesso se dá pela BR 158 (Figura 20). Possui uma área de 5.866,9 hectares, que é utilizada, em grande parte, para treinamentos militares com blindados, e numa menor porção utilizada para agricultura e pecuária (sistema de arrendamento).

Conforme Sant'Ana (2012), em 17 de Maio de 1957 foi inaugurado pelo General Jaime de Almeida, Comandante do então III Exército, o Campo de Instrução denominado de Campo de Instrução General Teixeira Lott (CISM).

Em dezembro de 1974, sua sede foi inaugurada, recebendo a denominação de "Sede Marechal Castello Branco".

A missão do CISM é proporcionar às Grandes Unidades, Organizações Militares (OM), 3ª Divisão de Exército e Regionais, em especial as sediadas em Santa Maria, o apoio necessário à instrução e ao adestramento dos quadros e da tropa e, complementarmente, prestar idêntico apoio à Base Aérea de Santa Maria e Organizações Militares da Brigada Militar e Corpo de Bombeiros.

Em sua sede, o CISM abriga a Banda de Música da 3ª Divisão de Exército, o Centro Hípico do Círculo Militar de Santa Maria, o Centro de Aplicação de Exercícios de Simulação de Combate e o Piquete Sarandi.

Recentemente, em 16 de abril de 2014, foi criado o Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul), uma nova Organização Militar (OM) que funcionará com sua sede principal na área do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM). Com o objetivo de contribuir para o adestramento e capacitação de tropas de qualquer natureza, preferencialmente médias e pesadas (mecanizadas e blindadas), para as Operações no Amplo Espectro, com ênfase na utilização de meios de simulação.

Mapa de Localização

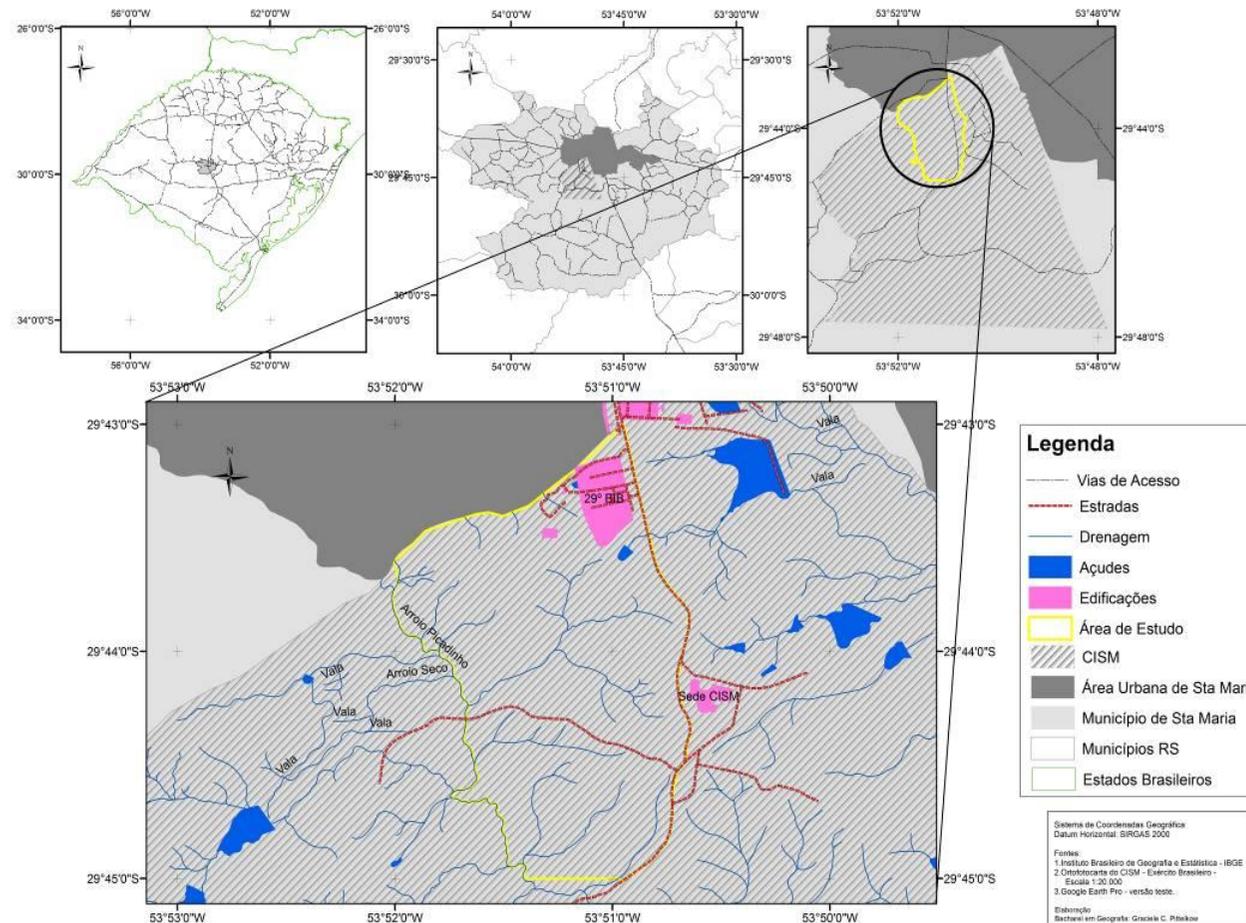


Figura 20 – Localização do Campo de Instrução de Santa Maria.

Fonte: Pittelkow (2013).

O Projeto do CAA - Sul foi concebido para viabilizar tanto econômica quanto operacionalmente uma OM inovadora para o Exército Brasileiro com tempo de implantação planejado, sendo que 27 prédios serão construídos na área do CISM, onde receberá para treinamentos, militares de todo o país e futuramente da América Latina. Atualmente já estão em fase de conclusão 4 prédios com abertura de acessos e estacionamentos

As obras do CAA-Sul estão sendo implantadas próximo a sede do CISM conforme Figura 21.



Figura 21 – Obras do CAA-Sul em execução no CISM, no primeiro plano de implantação das vias de acesso e área a ser construída.

Fonte: Corrêa, A. (2015).

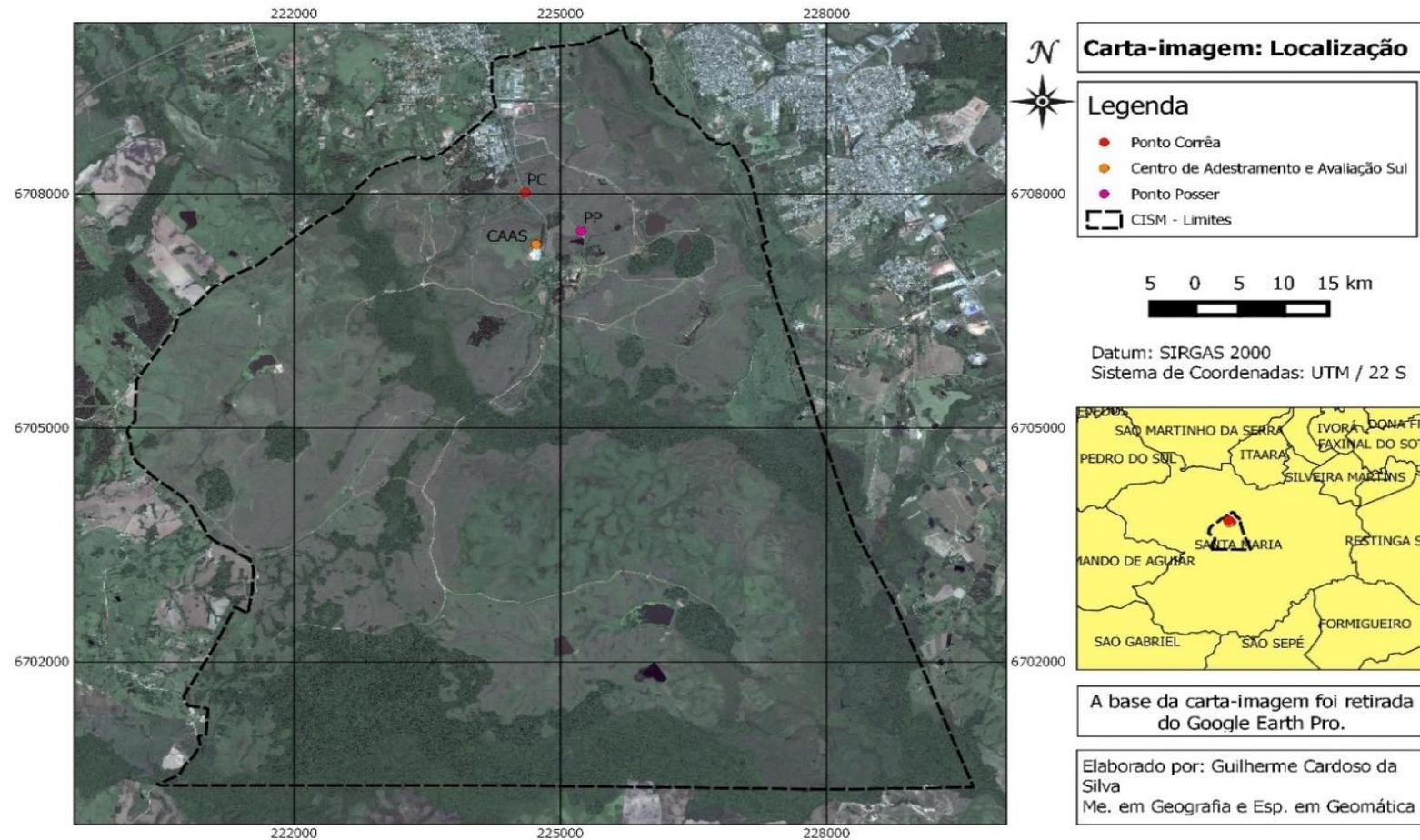


Figura 22 – Localização da área onde está sendo implantadas as obras do CAA-Sul (CAAS), ponto amostrado por Corrêa, 2015 (PC) e por Posser, 2015(PP).
Figura elaborada por Silva, G.C. (2015).

Observando a área do CISM onde ocorre a maioria dos Impactos ambientais descritos por Sant'Ana (2012) a área onde estão sendo construídos os novos prédios e considerando a intensificação do uso desta área por blindados³ sobre rodas quando da implantação e operação do CAA-/Sul, foi escolhido um ponto de amostragem (perfil de solo e rocha) que fosse representativo do material a ser mobilizado e que ficaria exposto, sujeito a erosão, durante a execução das obras e dos treinamentos Militares.

Este ponto, denominado de PC Ponto Corrêa (Figura 22) apresenta as mesmas características litológicas, de relevo e Hipsometria da área do CAAS/SUL. Da mesma forma, ele também apresenta as mesmas características daquele amostrado por Posser (2015) aqui denominado de PP (Figura 22).

Desta forma, passamos a descrever a área de abrangência dos pontos PC (foco desta dissertação) CAAS, onde está ocorrendo às obras e PP, ponto amostrado anteriormente por Posser, (2015).

O ponto CAAS está localizado entre as cotas 100-110 m, onde a declividade do terreno é menor que 2%, indicando relevo de topo plano e alto. Já os pontos PC e PP estão nas cotas 90-100 metros. O ponto PC está localizado em área plana e alta com declividade de 2% e o ponto PP em declividade um pouco mais acentuada em torno de 5 a 15%, indicando uma área mais dissecada pela proximidade dos cursos de água e pela ocorrência dos processos erosivos.

Segundo Sant'Ana (2012), a área é composta por colinas levemente onduladas e rampas alúvio/ colúvio. Na sua porção central encontra-se uma faixa de terreno mais elevada, de direção NW-SE, que divide a área em termos de energia de relevo, forma de vertente, declividade, etc. em duas partes: uma a norte e outra a sul.

O mapa de Relevo da Figura 23, de autoria de Sant'Ana (2012) mostra que no CISM predominam os relevos de colina suavemente ondulada a ondulada. Os pontos CAAS e PC encontram-se no topo plano destas colinas. Já o ponto PP encontra-se na colina demonstrando o entalhamento do relevo neste local conforme referido anteriormente. Pela conformação topográfica (altitude mais elevada e topos

³ A fim de facilitar a compreensão, entendem-se como meios mecanizados os blindados sobre rodas e como meios blindados os sobre lagartas.

planos), proximidade de cursos de água e granulometria deste material (presença de grânulos) pode-se pensar que estas áreas representem antigos terraços fluviais.

Na área ocorrem os planossolos e argisolos, predominando o último. Os planossolos encontram-se na porção oeste-sudoeste da área do Campo, junto à área de acumulação e de baixa declividade, onde também situa-se o Arroio Picadinho (limite natural do CISM).

A vegetação da área corresponde a um mosaico de fragmentos florestais e campos nativos, onde estes predominam nos interflúvios de relevo conservado e solos rasos (coxilhas), e a floresta reveste os vales encaixados e as encostas das vertentes, formadas por drenagens menores (TEIXEIRA *et al.*, 1986).

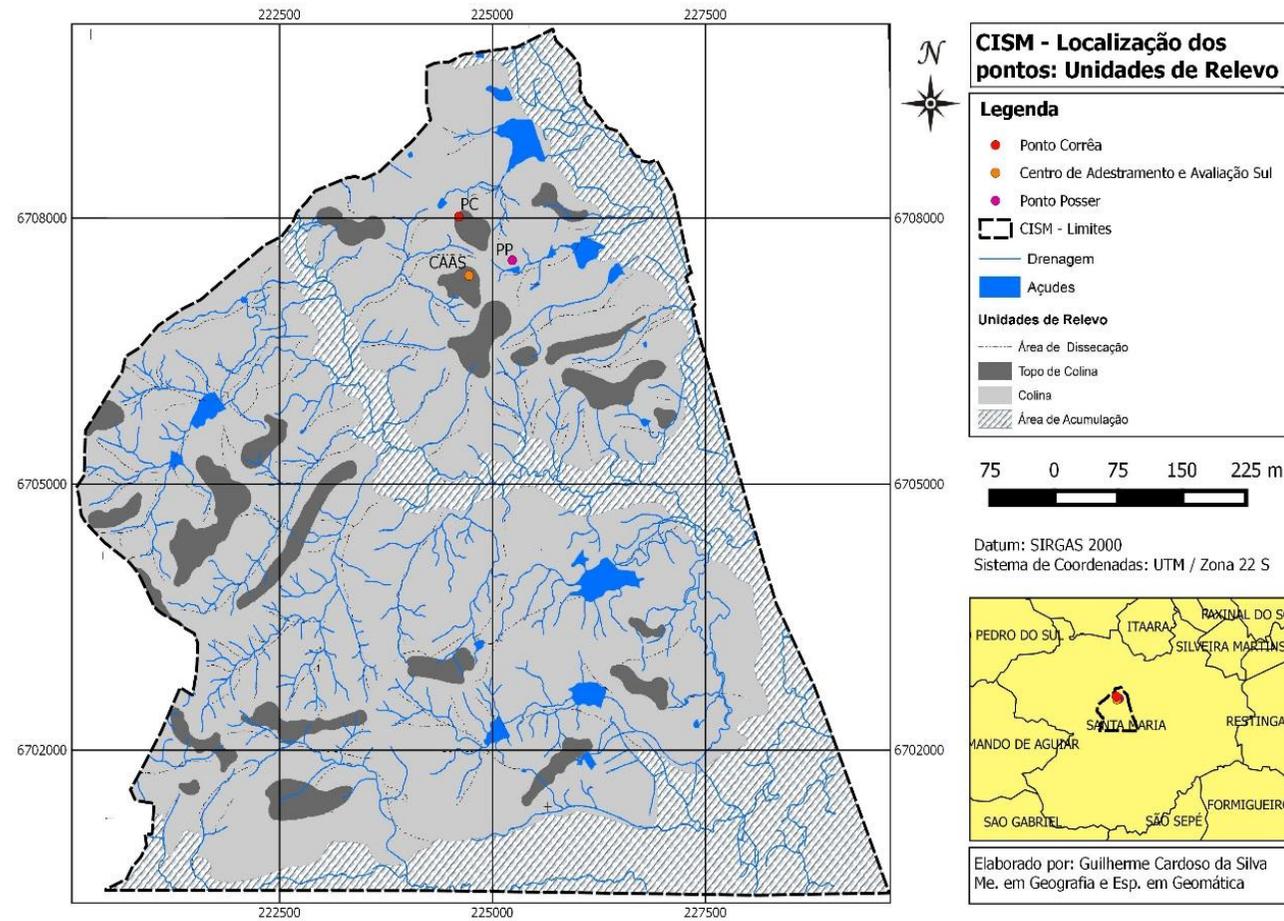


Figura 23 – Mapa de unidades de relevo do CISM.
Fonte: Sant’Ana (2012) e modificado por Silva, G.C. (2015).

Com base na Carta Geotécnica de Santa Maria de Maciel Filho, (1990) os pontos de interesse desta pesquisa encontram-se sobre a unidade Geotécnica Formação Santa Maria- Arenito Basal. No caso da área em estudo, os terraços aluviais se desenvolveriam sobre esta Unidade Geotécnica (Figura 24).

A unidade Geotécnica Arenito Basal conforme Maciel Filho, (1990) corresponde a arenitos médios a grosseiros, feldspáticos e porosos de cor rosada e de origem fluvial. Em alguns lugares conglomeráticos, com grânulos de quartzo e bolas de argila. Comumente é bem estratificado, mas pode apresentar aspecto maciço em alguns locais. Geralmente apresenta-se como material de fácil escavação, com pouca resistência a erosão, formando caneluras nos barrancos e ravinas em beira de estradas, em que esse fenômeno ocorre quando a capa protetora do solo superficial foi cortada. Em raros locais esta unidade aparece como rocha dura, com cimento silicoso, tem sua resistência à erosão aumentada consideravelmente.

Pittelkow (2010) e Gomes (2010) realizaram, respectivamente, a atualização das porções SO (sudoeste) e SE (sudeste) da Carta Geotécnica de Santa Maria em termos de nomenclatura das unidades geotécnicas e da evolução ou regressão/estabilização de antigas voçorocas, bem como de novos processos que possam ter surgindo. As autoras apontaram um aumento das feições erosivas na Unidade Arenito Basal relacionadas, principalmente, por obras civis (expansão urbana).

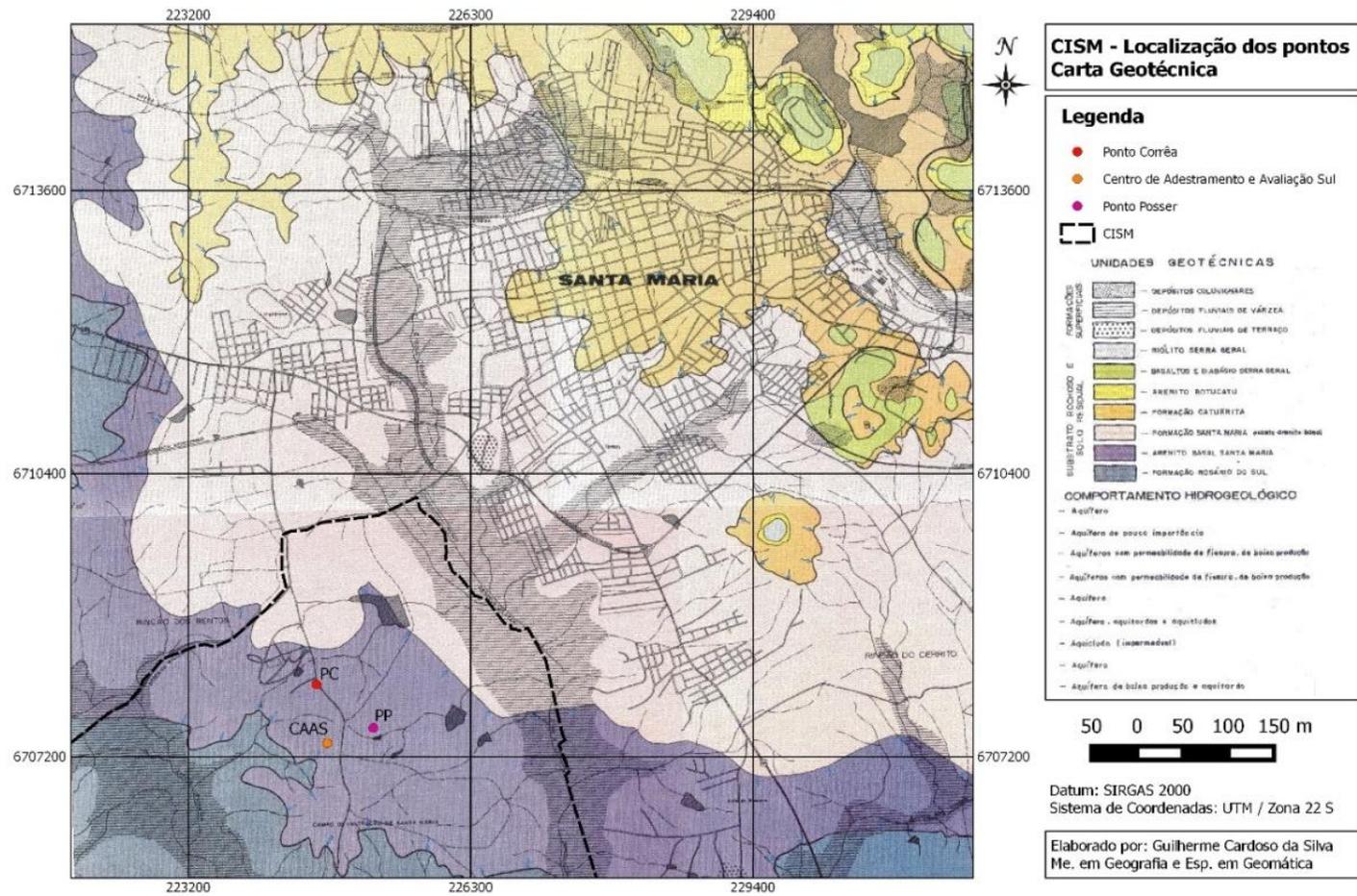


Figura 24 – Localização dos pontos de interesse na Carta Geotécnica de Santa Maria de Maciel Filho (1990).
Elaborado por Silva, G.C. (2015).

A unidade Geotécnica Formação Santa Maria - Arenito Basal, pela legislação Municipal, foi instituída como uma área protegida por se tratar de recarga de aquífero. Conforme Follmann, (2012), grande parte desta unidade está localizada em áreas de campos e florestas no Distrito de São Valentim, sendo que grande parte dela pertence aos militares. Na área do CISM é ocupada por campos, matas ciliares e fragmentos de florestas.

Follmann (2012) ressalta que a ocupação para uso militar desta área é de grande importância para a recarga do aquífero, pois corresponde a uma área extensa em relação aos demais bairros e distritos e não é urbanizada e nem está sujeita à urbanização. Nesse sentido, o CISM atua de maneira favorável para que se mantenha a qualidade e quantidade de infiltração de água. Para a autora, a área do CISM tem a função de recarga de água subterrânea, e por isso, torna-se um espaço fundamental a ser protegido.

Para compreender a forma como é utilizado o Campo de Instrução, Sant'Ana (2012), analisou os boletins de uso do campo no período de 2010 a 2011. Com base nos dados obtidos, a autora constatou que as Organizações Militares (OM's), que mais utilizaram o CISM para treinamentos com blindados foram: O CIBLD (Centro de Instrução de Blindados) seguido do 1º RCC (1º Regimento de Carros de Combate) e 29º BIB (29º Batalhão de Infantaria Blindado). Estas OMs possuem na sua frota os blindados mais pesados como M60 (48,7 toneladas), Leopard A1 sabiex (45 toneladas), Leopard 1A1 (42,4 toneladas), Leopard 1A5 (42,4 toneladas).

Além dos blindados, outros carros relativamente pesados percorrem a área do Campo de Instrução como as viaturas (VBTP – viatura blindada para transporte de pessoal, caminhões, jipes, etc.), portanto, os veículos que percorrem o CISM variam desde viaturas que pesam 3 toneladas (caminhões, jipes) a blindados pesando aproximadamente 48 toneladas (M60).

Sant'Ana *et al* (2013), de maneira geral, observou nos trabalhos de campo que os maiores impactos ambientais que ocorrem no Campo de Instrução, por ser uma área destinada ao treinamento militar de tropas blindadas, estão relacionados à destruição da cobertura vegetal, erosão e assoreamento dos cursos d'água, sendo que estão relacionados principalmente aos processos de erosão por fluxo concentrado de água.

Em vários locais do CISM pode-se verificar que a fragilidade ambiental é acentuada pela forma como a área é utilizada, que o horizonte do solo já foi retirado

por erosão principalmente nas áreas mais elevadas, onde ocorrem os materiais mais arenosos. Nesses locais ocorrem sulcos, ravinas e voçorocas relacionados, principalmente, á falta de um sistema de drenagem das estradas e pela compactação do material superficial pelos veículos pesados, dificultando assim a infiltração da água da chuva. Quando esta camada superficial é rompida, formam-se grandes sulcos, onde se pode ver inclusive, a formação de alcovas de regressão, mecanismo pelo qual a erosão avança rapidamente (Figura 25).

Um dos maiores problemas ambientais está relacionado à passagem dos blindados pelos cursos d'água. Quando a passagem se torna impossível devido à grande desagregação, os blindados procuram locais alternativos, laterais aos anteriores o que aumenta a área impactada. O material desagregado é transportado para os cursos d' água que ficam assoreados (Sant'Ana, 2012).



Figura 25 – Processos erosivos que ocorrem no CISM
Fonte: Sant'Ana, et al. (2013).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O perfil escolhido para amostragem, denominado PC (Ponto Corrêa), está localizado em um corte em solo e rocha, na Avenida do Exército nas coordenadas UTM, fuso 22 Sul, DATUM SIRGAS 2000, com aproximadamente 3,5 metros de altura do topo até a base da estrada (junto à canaleta de drenagem da mesma).

Com base na avaliação de campo observou-se um perfil de solo pouco desenvolvido (horizontes A e B) sobre um material mais espesso, composto de grânulos que foi denominado de B/C. A gênese desta camada (horizonte) pode estar relacionada ao material dos antigos terraços fluviais, mas também pode se tratar da alteração das rochas do Arenito Basal da Formação Santa Maria que também contém grânulos.

Como são poucas as áreas de exposição destes materiais e buscar a gênese deles não é o objetivo desta dissertação optou-se por chamar este horizonte de B/C e tratá-lo como alteração de rocha. Abaixo deste horizonte, e até a base do corte da estrada ocorre o horizonte C composto de arenito. Considerando esta classificação, pode-se dizer que o perfil de solo descrito é de um Argissolo. A Figura 26 mostra em detalhe o perfil amostrado e a delimitação dos horizontes. O quadro 1 descreve cada um dos horizontes.

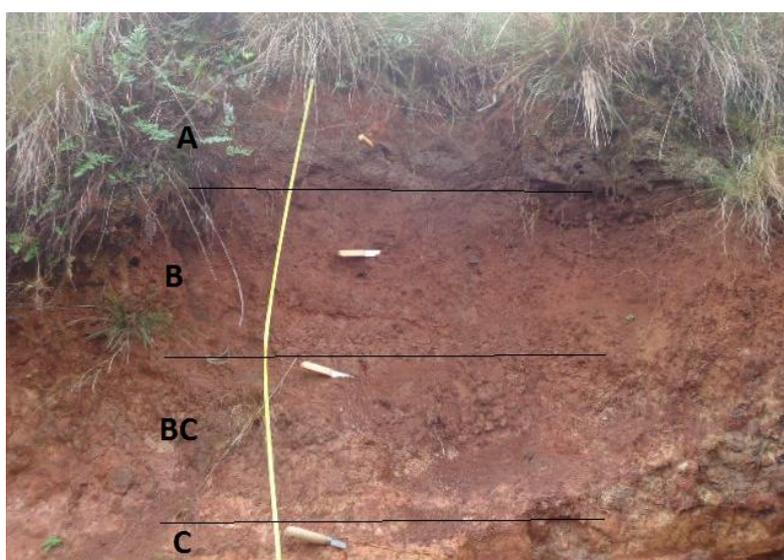


Figura 26 – Perfil de solo (PC) com a delimitação dos horizontes.

Fotografia: Corrêa, A. (2015).

PERFIL PC		
Horizontes	Profundidades	Descrição
A	0a 0,50-0,80m	Cor marrom escuro a preto horizonte mineral enriquecido por matéria orgânica com presença de vegetação percebe-se naturalmente a decomposição de raízes, solo arenoso, com espessura aproximadamente 50 cm, podendo chegar a 0,80cm solo bem drenado.
B	0,50 - 0,80m a 1,20-1,50m	Argiloso, de coloração marrom avermelhada, varia de 50 a 80 cm de espessura. Localmente, no contato dos horizontes A e B observa-se uma camada de seixos de aproximadamente 10 cm de espessura (Figura 27).
BC	1,20-1,50m a 2,20 m	Horizonte mosqueado manchas amarelas, vermelhas, rosadas, espessura de aproximadamente 1m, presença de grânulos de quartzo e calcedônia, se assemelha muito a alteração de rocha. Presença de camadas e lentes argilosas intercaladas com material mais silto-arenoso
C	>2,20m	Formado por uma rocha arenosa (arenito conglomerático) de coloração rosada a vermelha que apresenta localmente lentes de material mais avermelhado e de granulação mais fina (siltitos a siltitos argilosos). Material facilmente escavável.

Quadro 1 – Descrição dos horizontes do solo do perfil PC.

Fonte: Corrêa, (2015).



Figura 27 – Detalhe da presença de seixos entre os horizontes A e B indicando transporte de material.

Fotografia: Corrêa, A.(2015).

4.1 Caracterização física e determinação dos índices físicos

Os ensaios de caracterização física realizados foram à determinação do peso específico real dos grãos, ABNT NBR 6508/84, limites de liquidez, ABNT NBR 6459/84, índice de plasticidade ABNT NBR 7108/84e granulometria ABNT NBR 7181/84.

Os resultados dos ensaios granulométricos com e sem o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio) estão apresentados no Quadro 2.

Horiz.	Fração granulométrica % Tamanho de grão em mm						Classificação Geotécnica		Textura
	Pedr. >2	Are. Grossa 2,0- 0,6	Are. M. 0,6- 0,2	Are. F. 0,2- 0,06	Silte -0,06- 0,002	Argila <0- 002	HBR	SUCS	
Horizonte A							A4	SC	Areia siltosa
S/D	3	7	25	45	20	0			
C/D	3	7	24	25	29	12			
Horizonte B							A7-5	MH	Argila areno- siltosa
S/D	3	15	11	18	63	0			
C/D	3	11	11	18	19	48			
Horizonte B/C							A5	ML	Argila arenosa
S/D	7	2	13	31	47	0			
C/D	7	2	11	20	12	48			
Horizonte C							A6	SW	Areia silto - argilosa
S/D	1	2	22	57	18	0			
C/D	1	2	26	24	25	22			

Quadro 2 – Resultados dos ensaios de granulometria e classificação dos solos
Obs.: S/D=sem defloculante; S/C=com defloculante.

As classificações geotécnicas utilizadas são: HBR (Highway Research Board) e SUCS (Sistema Unificado de classificação de solos-índice de grupo). A nomenclatura das frações granulométricas segue a proposta pela ABNT NBR 6502.

O resultado dos ensaios granulométricos é também apresentado nas curvas granulométricas das Figuras 28.

Observa-se que este perfil apresenta partículas tamanho pedregulho em todos os horizontes em porcentagem que varia de 1 a 7%. Todos os horizontes apresentam uma porcentagem de finos (Silte + argila) superior a 40% sendo que o horizonte A e o C são mais arenosos com predomínio das frações média e fina (0,6 a 0,06mm de diâmetro). A porcentagem mais elevada da fração areia ocorre no Horizonte A e C, em torno de 77% a 81% e mais baixa nos horizontes B e B/C, podendo classificar pedologicamente este solo com argisolo.

Texturalmente o Horizonte A é uma areia siltosa, o horizonte B uma argila areno-siltosa, o B/C uma argila-arenosa e o C uma areia silto-argilosa.

Em relação à classificação HBR, os solos se enquadram na classe A de 4 a 7 que correspondem a solos finos onde mais de 35% passam na peneira #200. Pela classificação de SUCS, os horizontes A e C correspondem a solos de granulação grossa e o B e B/C a solos de granulação fina.

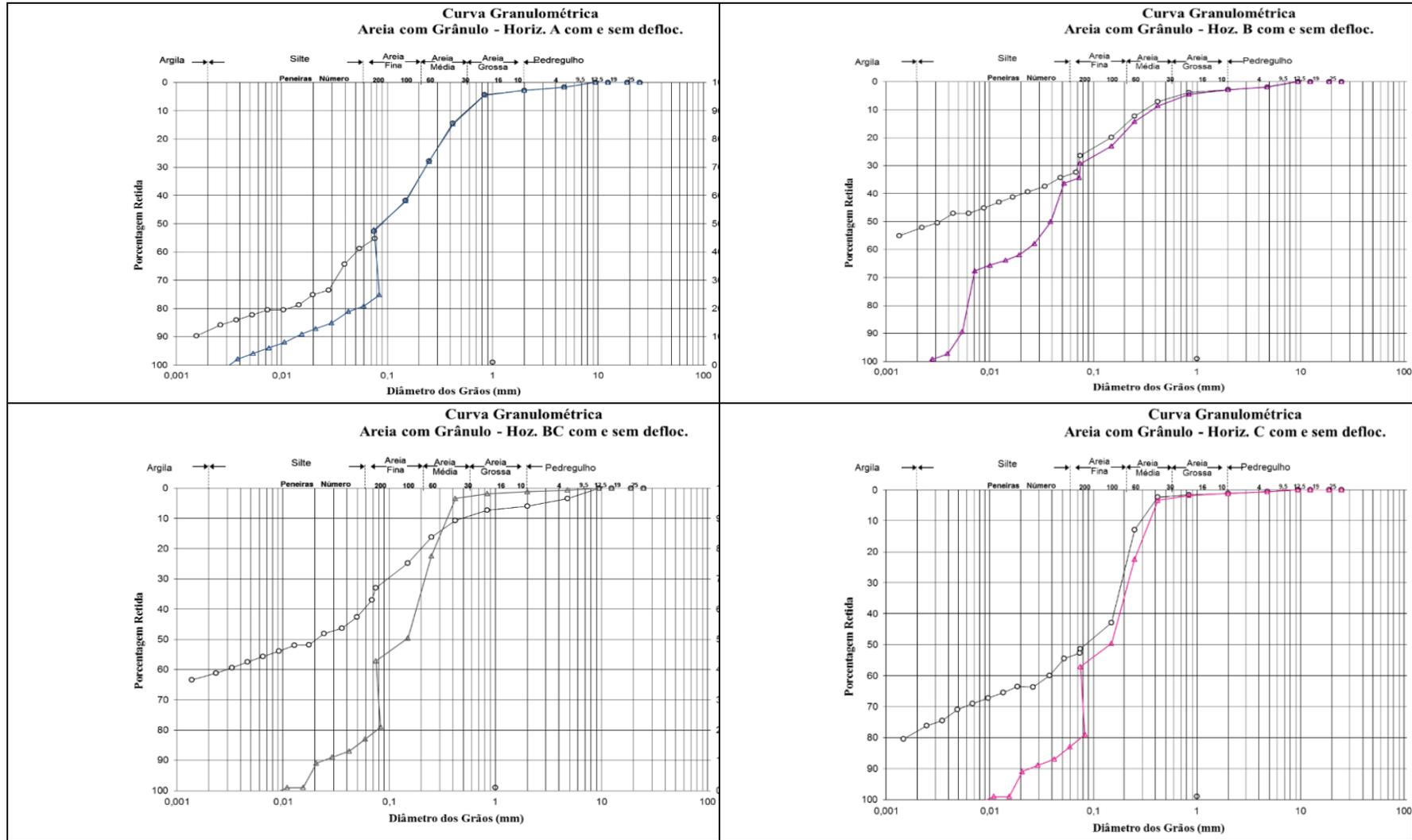


Figura 28 – Curvas Granulométricas dos horizontes A, B, B/C e C, com e sem defloculante.

Ainda pela classificação SUCS, os horizontes A e C são classificados como areias, sendo o horizonte A areia argilosa (SC) e o horizonte C areias pedregulhosas (SW), já os horizontes B e B/C são solos siltosos a arenosos (MH) e areias finas siltosas ou argilosas (ML) respectivamente.

O material do perfil foi ensaiado pelo método da EMBRAPA (1979), revista e atualizada em 1997, para análise granulométrica. Este método detalha melhor as frações mais finas como silte e argila (Quadro 3).

Identificação Fração Granulométrica (%) Método da EMBRAPA (1997).							
	Pedr	Ar. Grossa	Ar. Média	Ar. Fina	Silte	Argila	Grau de Floculação
Horizonte A							64,7%
S/D	3	9	20	25	37	6	
C/D	3	7	19	24	30	17	
Horizonte B							97,9%
S/D	3	3	7	16	70	1	
C/D	3	4	7	15	22	49	
Horizonte BC							97,5%
S/D	5	3	10	18	63	1	
C/D	5	3	9	19	24	40	
Horizonte C							75%
S/D	1	1	11	35	45	7	
C/D	1	1	12	36	22	28	

Quadro 3 – Resultados dos ensaios granulométricos pelo método EMBRAPA (1997).

Obs.:S/D=sem defloculante; S/C=com defloculante.

Observa-se que este perfil apresenta partículas tamanho pedregulho em todos os horizontes em porcentagem que varia de 1 a 5%. Todos os horizontes apresentam uma porcentagem de finos (Silte + argila) superior a 40% sendo que o horizonte A e o C são mais arenosos. A porcentagem mais elevada da fração areia ocorre nos Horizontes A e C, em torno de 50% e mais baixa nos horizontes B e B/C, podendo-se classificar pedologicamente este solo como argissolo.

Nos ensaios realizados sem o uso de defloculante observa-se uma redução significativa das percentagens da fração argila se comparado com os resultados dos ensaios que utilizaram defloculante. O menor valor encontrado para a fração argila (argila natural) sem o uso de defloculante encontra-se nos horizontes B e BC em 1% e maior valor no horizonte C. Texturalmente apesar de alguma diferenciação nas frações, estes horizontes são predominantemente areias argilosas.

Conforme foi observado, há uma diferença marcante no teor de argilas quando o ensaio foi realizado com e sem defloculante. O parâmetro grau de flocculação, como seu nome indica, dá a estimativa da flocculação das partículas argilosas coloidais. Quanto maior for seu valor, maior será a possibilidade de flocculação das partículas argilosas. Este parâmetro pode ser determinado através da diferença da argila total e a argila natural, relacionando-a geometricamente com a argila total.

A argila natural representa a fração argila determinada sem a utilização de algum elemento defloculante (capaz de provocar a individualização das partículas argilosas e siltosas por dispersão química), apenas por dispersão em água. A argila total é a fração de argila determinada com auxílio de um elemento defloculante.

Para Baser (1973 *apud Guerra et al. 2014*) a erosão aumenta proporcionalmente com a razão de dispersão e inversamente com a flocculação dos colóides. Ao estudar dois tipos de solos distintos, sob as mesmas condições, concluiu que solos mais propícios a erosão apresentam índices menores de flocculação. Para o autor, a formação de grânulos, a partir da flocculação, diminui a dispersão de sedimentos ao impacto da água e facilita a infiltração.

Ao analisar os dados do Quadro 3 pode-se verificar, que o grau de flocculação para o horizonte A foi de 64,7%, para o horizonte B foi de 97,9%, o valor do horizonte B/C foi 97,5% e o valor obtido para o horizonte C foi 75%. Os horizontes B e BC apresentaram os mais altos graus de flocculação o que conforme Baser (1973 *apud Guerra et al.,2014*), indicaria horizontes menos sujeitos a erosão.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos Índices de Consistência para os horizontes amostrados.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de peso específico real dos grãos e limite de consistência

Identificação	γ_s (kN/m ³)	wL (%)	wP (%)	IP (%)	FINOS IP>LL- 30	TEXTURAS
Horizonte A	25,28	26	16	10	41	Areia siltosa
Horizonte B	25,72	50	35	15	67	Argila areno-siltosa
Horizonte BC	26,19	48	38	10	60	Argila arenosa
Horizonte C	26,20	37	25	12	47	Areia silto-argilosa

Obs.: γ_s = peso específico real dos grãos; wL = limite de liquidez; wP = limite de plasticidade; IP = índice de plasticidade.

O peso específico dos grãos apresentou valores entre 25,3 e 26,2 kN/m³. O Horizonte A e C apresentaram média a baixa plasticidade, com um limite de liquidez inferior a 40% e um índice de plasticidade entre 10% e 12%. Já o horizonte B apresentou Índice de plasticidade mais elevado e um limite de liquidez próximo a 50 % o que confirma o caráter mais argiloso do material.

Desta maneira, a forma mais comum de analisar e estimar a erodibilidade dos solos tem sido por meios de características físicas e de alguns condicionantes externos.

O Quadro 4 apresenta os demais índices físicos analisados somente para o horizonte C, pois este material foi escolhido para os ensaios de erodibilidade.

Valores	W (%)	γ P.Esp. Nat.	γ_d P. E. Ap. Seco	e	S	n
MEDIA	18,59	1,95	1,64	0,60	82,65	37,26
Máximo	21,52	2,14	1,88	0,75	94,65	42,76
Mínimo	13,86	1,71	1,50	0,39	49,53	28,26
Desvio Padrão	2,43	0,11	0,10	0,10	12,50	3,92
Coef. Variação	13,10	5,56	6,25	16,02	15,13	10,51

Quadro 4 – Determinação dos índices físicos do horizonte C.

Obs.: P.e.realGr: Peso Especifico Real dos Grãos, w = teor de umidade; γ = peso específico natural; γ_d = peso específico aparente seco; e = índice de vazios, S = grau de saturação e n = porosidade.

Verificou-se que os maiores coeficientes de variação foram obtidos para os valores de umidade, grau de saturação e índice de vazios. Contudo este coeficiente de variação foi inferior a 25%, que é considerado um valor aceitável na área de geotecnia. O teor de umidade variou de 13,8 a 21%; o índice de vazios entre 0,39 e 0,75; o grau de saturação entre 49,5 a 94,6 e a porosidade entre 28,2 e 42,7%.

De acordo com a classificação da IAEG (1974), o horizonte C apresenta porosidade e índices de vazios de médio a baixo. O grau de saturação pode ser classificado como muito úmido a altamente saturado. De acordo com Fácio (1991), a erodibilidade dos solos tende a ser inversamente proporcional ao grau de saturação sem mostrar, no entanto, qualquer tendência com os demais parâmetros geotécnicos estudados isoladamente.

Segundo Jacintho et al.(2006), a porosidade e a distribuição dos poros são consideradas as propriedades físicas mais relevantes na inter-relação com a erodibilidade, pois os fenômenos de sucção, coesão e permeabilidade são afetados devido a concentração de macroporos interconectados.

4.2 Avaliação do potencial de desagregação dos solos

O ensaio de desagregação é o primeiro a ser executado, pois, além de ser fácil dá uma iniciação das condições do material frente ao processo erosivo.

O ensaio foi realizado com amostras do horizonte C na umidade natural (nas condições de campo quando da coleta) e seca ao ar por um período de no mínimo 72 horas. O comportamento das amostras foi avaliado visualmente, quando da inundação, descrevendo-se os efeitos do avanço da frente de ascensão capilar, tais como: abatimento, inchamento, velocidade de desagregação, formação de fissuras no tipo e ruptura nas bordas das amostras.

A descrição do comportamento das amostras pode ser visto no Quadro 5.

Camada	Condição	Comportamento
Horizonte C	Natural	Ascensão capilar completa aos 26 minutos do início do ensaio, após 45 minutos do início do ensaio, a amostra começou a desagregar. A amostra com 1/3 submersa depois de decorridos 2 minutos ocorreu ruptura nas bordas e formação de fissuras no topo. Houve inchamento da amostra. Ao 2/3 da amostra submersa a amostra apresenta uma grande fissura no topo e observa-se desagregação. Ao término do ensaio, a amostra não desintegrou completamente, somente nas bordas.
	Seca ao ar	A amostra se mostrou com rápida ascensão capilar em (4 minutos) decorrido do início do ensaio, a amostra já se mostrava com aproximadamente metade da amostra úmida e sem ruptura nas bordas, Rápida ascensão capilar aos (6min), a unidade se aproxima do topo da amostra e (12min) depois de 1/3 da amostra submersa começou apresentar fissuras, rupturas na base e houve desagregação e abatimento, sem fissuração no topo. Rápida ascensão capilar (15min) depois de 2/3 da amostra submersa a amostra apresenta fissuras, ruptura nas bordas e rápida desagregação. Amostra 24h a amostra desagrega completamente.

Quadro 5 – Resultado dos ensaios de desagregação

As fotografias das figuras 29, A e B mostram o ensaio em andamento.

À esquerda da bandeja está a amostra na condição natural e à direita, seca ao ar. A Fotografia A mostra o ensaio na fase inicial, com água na base das amostras. Em B as amostras submersas 1/3, onde se observa o início de uma fissura na condição natural e da desagregação da base de ambas, sendo maior na condição seca ao ar.

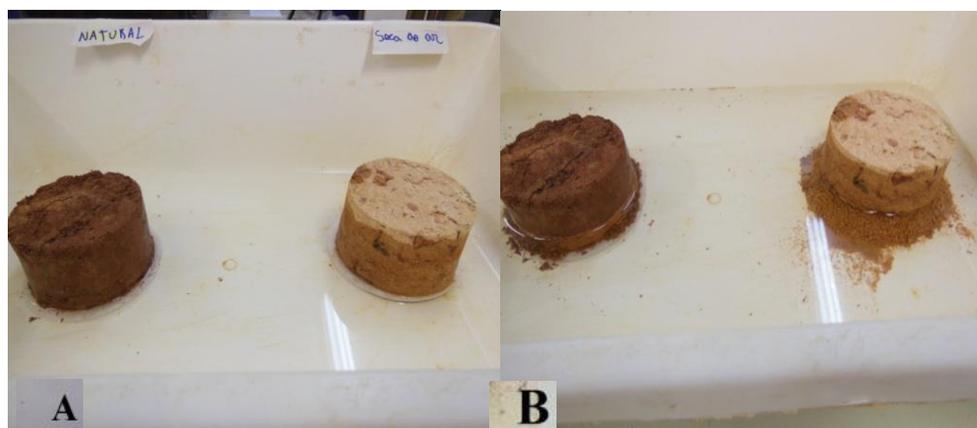


Figura 29 – Ensaio de desagregação do Horizonte C.
Fotografia: Corrêa, A. (2015).

Na Figura 29 observa-se o comportamento das amostras durante o ensaio no tempo 45 minutos do seu início, com água pela metade da amostra. Vê-se rápida ascensão capilar nas amostras, rupturas nas bordas e no topo, desagregação mais acentuada na amostra seca ao ar. Na Figura 31 completo abatimento da amostra seca ao ar ao final do ensaio com inundação completa.

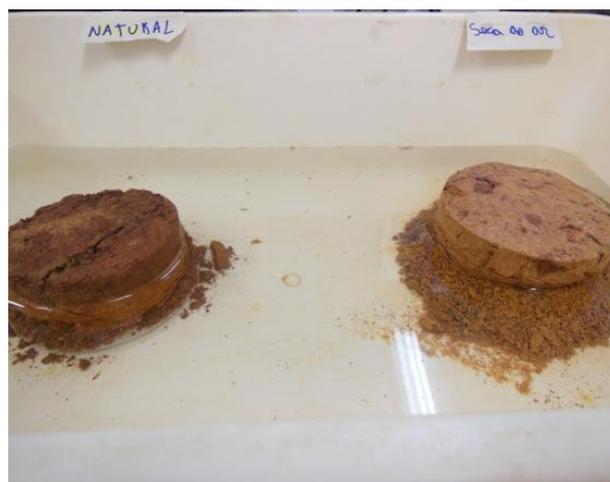


Figura 30 – Comportamento das amostras quando submetidas à inundação até a metade da amostra.

Fotografia: Corrêa, A. (2015).



Figura 31 – Fase final do ensaio (após 24 horas). A amostra na condição natural apresenta ruptura nas bordas e fissuras no topo e a amostra seca ao ar, desagrega completamente.

Fotografia: Corrêa, A. (2015).

O resultado do ensaio mostra que ocorre acentuada desagregação nas amostras do horizonte C, porém, é mais acentuada quando ensaiada na condição seca ao ar, portanto, a condição de umidade inicial da amostra interfere no resultado dos ensaios do horizonte C. O que pode explicar este comportamento é a presença de argilominerais expansíveis que ao passarem da condição de seca ao ar para saturada expandem, acelerando o processo de desagregação.

Para Bastos (1999), somente solos de alta erodibilidade desagregam completamente durante este ensaio o que aponta para a erodibilidade do horizonte ensaiado.

4.2.1 Critério de erodibilidade baseado na Metodologia MCT: Perda de Massa por Imersão e Infiltrabilidade

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de infiltrabilidade e erodibilidade específica, através do coeficiente de sorção (s) e da perda por imersão (pi), respectivamente. Os ensaios foram realizados com três condições de umidade inicial das amostras: umidade natural, seca ao ar e pré umedecidas.

Tabela 4 – Valores do coeficiente de sorção (s) e perda por imersão (pi) para diferentes condições de umidade das amostras do Horizonte C – critério de erodibilidade da Metodologia Miniatura Compactado Tropical NOGAMI e VILIBOR, (1979)

NATURAL			SECA AO AR			PRÉ-UMEDECIDAS		
s(cm/min^{1/2})	pi(%)	pi/s	s(cm/min^{1/2})	pi(%)	pi/s	s(cm/min^{1/2})	pi(%)	pi/s
0,028	0,66	22,00	0,17	31,22	183,6	0,003	0,14	46,67
0,033	0,44	14,66	0,23	13,59	59,1	0,004	0,07	17,50
0,0218	0,68	34,00	0,17	63,04	370,8	0,004	0,27	67,50
MÉDIA								
0,0276	0,59	23,55	0,19	35,95	204,5	0,004	0,16	43,64

Verifica-se a tendência de aumento da velocidade de ascensão capilar (s) e da perda por imersão (pi) nas amostras secas ao ar em comparação com as demais. A perda por imersão nas amostras secas ao ar foi sempre mais elevada em torno de 35,95% em relação às amostras na umidade natural e pré-umedecidas sendo que nesta última a perda por imersão foi muito baixa (em torno de 16%).

Verificou-se uma tendência de um aumento concomitante na velocidade de ascensão capilar (s) e na perda por imersão para amostras secas ao ar. Tendência oposta é observada para amostras pré-umedecidas.

As Figuras 32 a e b apresentam as curvas médias do volume de água infiltrado (cm^3/cm^2) pela raiz quadrada do tempo e a velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) nas condições Natural (nat), seca ao ar (sa) e pré-umedecidas (pu).

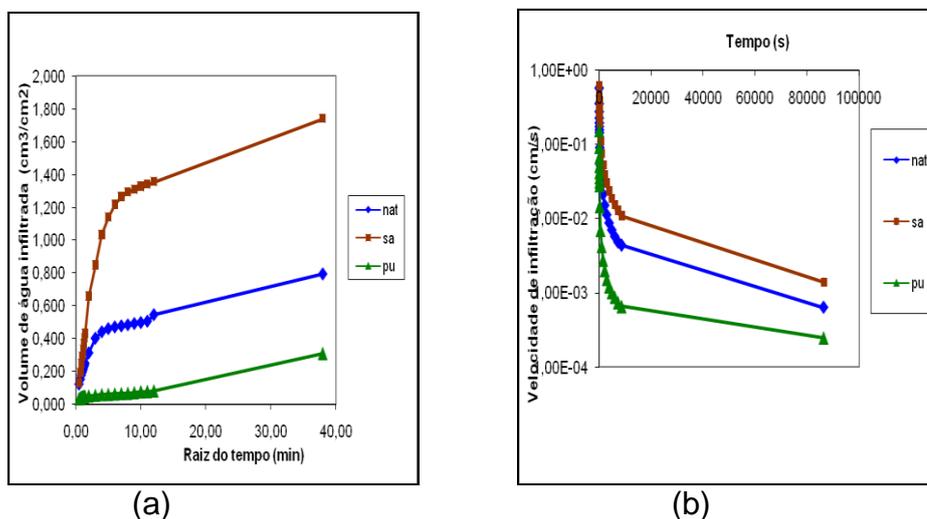


Figura 32 – (a) volume de água infiltrada (cm^3/cm^2) pela raiz quadrada do tempo (min) e (b) velocidade de infiltração (cm/s) pelo tempo (s) para as amostras do horizonte C.

A variação da razão entre as grandezas que representam estas propriedades (π/s) é que determina a avaliação de erodibilidade pelo critério proposto por Nogami e Villibor (1979) sendo que este valor deve ser maior que 52 para que o material seja considerado erodível conforme mostra a Figura 33.

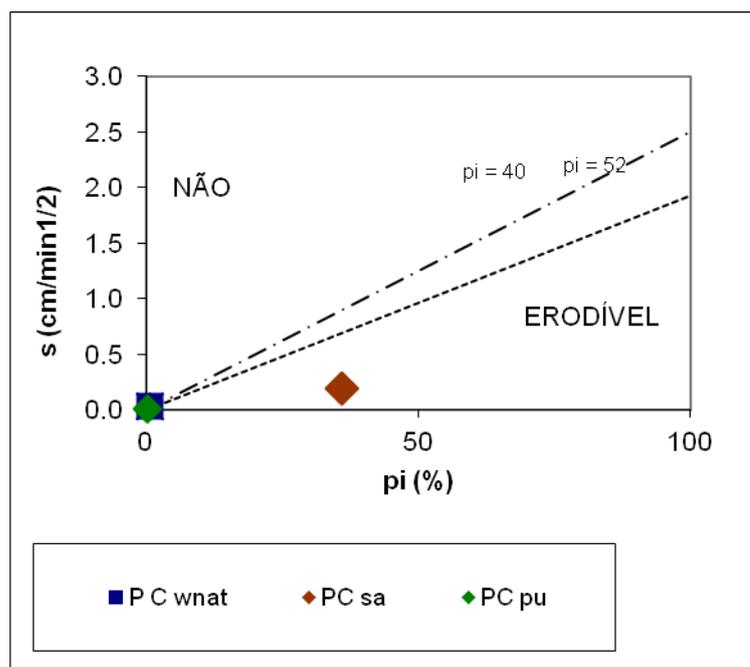


Figura 33 – Aplicação do critério de erodibilidade pela Metodologia MCT (Nogami e Vilibor, 1979) para as condições de umidade natural (PC nat, PC Sa, Seca ao ar e PC pu pré umidecida).

Nas amostras do horizonte C a relação $pi/s > 52$ foi verificada somente para condição seca ao ar, principalmente, devido alta sorção e também á alta perda por imersão. Os resultados apresentados destacam a maior susceptibilidade à erosão deste horizonte quando na condição seca ao ar.

Em termos de meio ambiente, isto ocorreria na exposição deste horizonte, devido a cortes e aterros nas obras de engenharia o que o colocaria na condição de “seca ao ar”. Nesta condição, o material quando atingido por chuvas e águas lançadas estaria mais sujeito a erosão e perdas maiores.

4.2.2 Ensaio de Cone de Laboratório

Mede-se em cada teste a altura de penetração alcançada pela ponta do cone em 9 (nove) pontos diferentes na superfície de cada amostra. Os valores de penetração natural e saturada são obtidos através da média dos valores alcançados em três repetições, excluindo-se aqueles que apresentem valores de dispersão em relação à média acima de 5%.

Os resultados estão na Tabela 5 e são expressos em função das profundidades de penetração do cone, medida em amostras na condição de umidade natural (Pnat) e saturada (Psat). Assim, foram obtidos os parâmetros de variação de penetração DP e DPA (ALCÂNTARA, 1997).

Tabela 5 – Variação dos valores de penetração obtidos do ensaio de cone para o horizonte C

Horizonte C	P (nat)	P(sat)	DP	DPA
	1,63	3,08	88,44	46,93

As fotografias da Figura 34 mostram o material analisado. No detalhe percebe-se que a variação da penetração se dá pela presença de grânulos e lentes de material mais argiloso.



Figura 34 – Fotografias de detalhe do material ensaiado. Arenito com grânulos e lentes de material mais argiloso.

Fotografia: Corrêa, A. (2015).

Os resultados obtidos de penetração para o Horizonte C foram combinados (DP e DPA) com os respectivos coeficientes de sorção e plotados nos gráficos das Figuras 35 e 36. O horizonte C foi classificado como de alta erodibilidade conforme demonstram os gráficos.

O ensaio de cone é de fácil execução e dá bons resultados para avaliação indireta da erodibilidade.

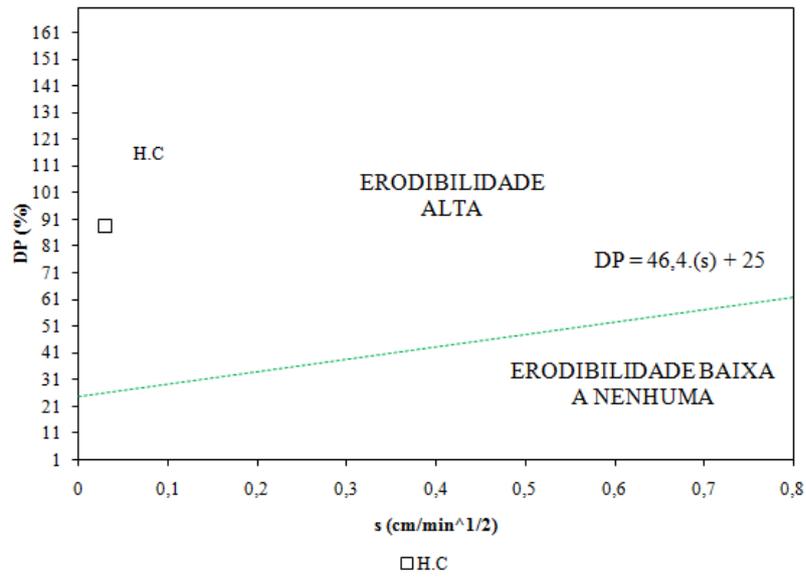


Figura 35 – Gráfico de índice DP versus sorção.

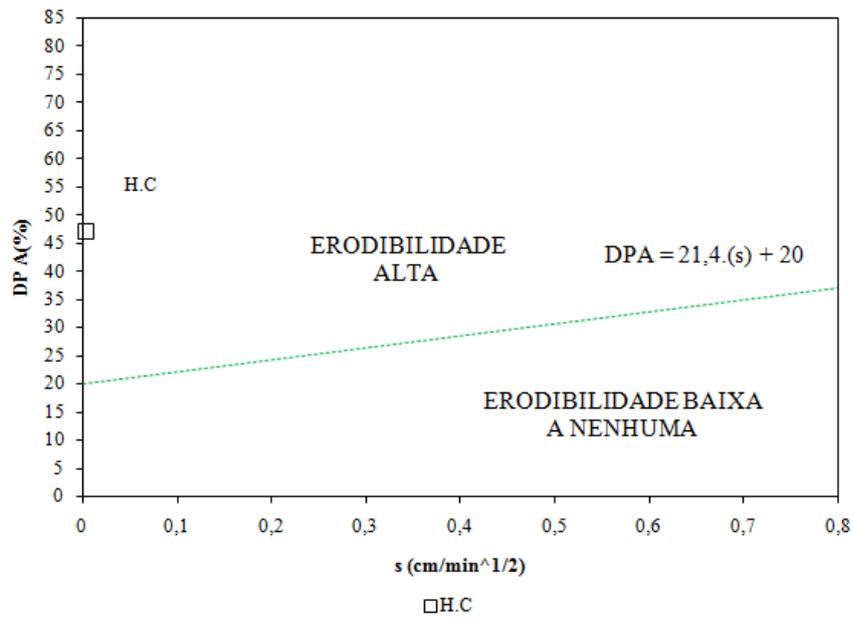


Figura 36 – Gráfico de índice DPA versus sorção.

4.3 Comparação com os resultados de erodibilidade de Posser (2015)

Posser (2015), em sua dissertação de mestrado, avaliou a erodibilidade por métodos diretos e indiretos de um perfil de solo típico da área do Campo de Instrução de Santa Maria – RS, indicado na Figura 22 como ponto PP.

Por se tratar de uma área localizada na mesma Unidade Geotécnica e de relevo, pela semelhança dos materiais amostrados por Posser e por essa pesquisa e pelo fato de, na área de Posser ocorrer intenso processo erosivo associado a estradas de terra, este item apresentará uma comparação dos resultados obtidos por ambas as autoras.

O perfil PP de Posser (2015) está localizado em uma jazida de empréstimo junto a uma estrada de terra com feições erosivas do tipo sulcos, ravinas, alcovas de regressão, etc. O perfil tem 4 metros de altura, o horizonte A, tem cerca de 1 m de profundidade, de cor marrom escuro, abaixo o horizonte B, mais argiloso de cor mais avermelhada também tem aproximadamente 1 m de espessura. Em seguida, ocorre o horizonte C ou material de alteração.

4.3.1 Gramulometria

No quadro 6 está apresentado o resumo dos ensaios de granulometria e classificação dos solos de Posser (2015) e desta dissertação.

A classificação de SUCS para os materiais de Posser (2015) são: os horizontes A e B são areias argilosas (SC) e o horizonte C uma argila pouco plástica arenosa (CL). Na classificação do Highway Research Board estes horizontes se enquadram como solos siltosos e argilas siltosas de baixa compressibilidade. Já a classificação de SUCS para os horizontes A e C do perfil analisado nesta dissertação, correspondem a solos de granulação grossa como areias argilosas e pedregosas e os horizontes B e B/C a solos de granulação fina como Silte a areias finas a argilosas. Em relação à classificação HBR, os solos se enquadram na classe

A de 4 a 7 que correspondem a solos finos, semelhante à classificação dos solos do perfil PP.

Horiz.	Fração Granulométrica %						Class. Geotec.		Class. textural
	Pedr	Ar Gros	Ar Med	Ar Fin	Silte	Arg	HRB	SUCS	
PP									
A									
S/D	0	12	35	39	14	0	A6	SC	Areia argilo- siltosas
C/D	0	12	32	24	14	18			
B									
S/D	0	10	25	27	13	25	A4	SC	Areia argilosa
C/D	0	10	25	44	19	2			
C									
S/D	0	11	30	12	42	5	A6	CL	Areia siltosa
C/D	0	9	15	33	12	31			
PC									
A									
S/D	3	7	25	45	20	0	A4	SC	Areia siltosa
C/D	3	7	24	25	29	12			
B									
S/D	3	15	11	18	63	0	A7-5	MH	Argila areno-siltosa
C/D	3	11	11	18	19	48			
B/C									
S/D	7	2	13	31	47	0	A5	ML	Argila arenosa
C/D	7	2	11	20	12	48			
C									
S/D	1	2	22	57	18	0	A6	SW	Areia silto - argilosa
C/D	1	2	26	24	25	22			

Quadro 6 – Resumo dos ensaios de granulometria e classificação dos solos de Posser (2015) e desta dissertação

Obs.: HRB = HighwayResearchBoard; SUCS = Sistema Unificado de Classificação dos Solos; C/D = com defloculante; S/D = sem defloculante; CL = argila inorgânica de baixa compressibilidade.

Os ensaios de desagregação do perfil PP (POSSER, 2015) mostraram que o horizonte A foi mais resistente frente á inundação, tanto para umidade natural como quanto seco ao ar. Já os horizontes B e C não resistiram á inundação completa, desagregando completamente. A condição de umidade (natural ou seca ao ar) não influenciou nos ensaios do horizonte B que se desagregou completamente em ambas as condições.

O horizonte C ensaiado nesta dissertação mostrou acentuada desagregação, principalmente quando ensaiado na condição seca ao ar.

O Quadro 6.1 apresenta os valores médios de perda de massa por imersão (π) e sorção da metodologia MCT (NOGAMI e VILIBOR,1979) para o perfil PP (POSSER, 2015) e PC(CORRÊA).

Hor.	NATURAL			SECA AO AR			PRÉ-UMEDECIDAS		
	s(cm/min ^{1/2})	π (%)	π /s	s(cm/min ^{1/2})	π (%)	π /s	s(cm/min ^{1/2})	π (%)	π /s
PP									
Hor.A	0,17	2,57	15,12	0,29	0,47	1,62	0,007	2,07	296
Hor.B	0,28	20,23	73,25	0,47	48,70	103,62	0,006	28,59	4765
Hor.C	0,37	1,77	4,78	0,49	2,27	47,49	0,005	28,86	5772
PC									
Hor.C	0,0276	0,59	23,55	0,19	35,95	204,5	0,004	0,16	43,64

Quadro 6. 1 – Valores médios de π e s para os perfis PP (POSSER, 2015) e PC (CORRÊA).

Tanto para o perfil PP (POSSER, 2015) quanto para o PC, verificou-se na condição de umidade seca ao ar, a sorção (s) e a perda de massa por imersão (π) foi maior que na condição natural e saturada. Para as amostras pré-umedecidas, devido a baixa sorção, a relação π /s foi superior a 52, principalmente para o horizonte B e C do perfil PP que classifica estes solos como erodíveis também nesta condição de umidade. Já o horizonte C do perfil PC, nas condições de umidade o π /s alcançou a média de 43,64% não sendo considerado erodível nesta condição (baixa sorção e baixa perda por imersão).

O horizonte B do perfil PP indicou elevada perda por imersão nas três condições de umidade inicial, resultando uma relação π /s superior a 52 para as três condições de umidade caracterizando este horizonte como erodível independente da condição inicial das amostras.

O horizonte C do Perfil PP demonstrou elevada sorção nas três condições de umidade quando comparado aos demais horizontes, porém, a perda por imersão é alta somente nas condições seca ao ar e pré umedecidas.

O horizonte C do perfil PC mostrou elevada perda por imersão nas amostras secas ao ar, em torno de 35,95 em relação às amostras na umidade natural e pré-umedecidas sendo que nesta última a perda por imersão foi muito baixa (em torno de 16%). O Quadro 6.1 mostra os resultados dos ensaios para os horizontes dos Perfil PP e PC que resumem os ensaios da metodologia MCT.

A Figura 37 apresenta a aplicação do critério de erodibilidade pela metodologia MCT para os horizontes estudados. Os resultados apresentados pelos horizontes A, B e C do (Perfil PP), sendo que se destacam a maior susceptibilidade a erosão dos horizontes B e C (Perfil Posser, 2015) e Horizonte C (perfil PC) para as amostras secas ao ar e pré-umedecidas.

Embora nesta dissertação não se tenham executados os ensaios de erodibilidade para todos os horizontes do Perfil PC, na comparação com os dados obtidos por Posser (2015), vê-se que com exceção do horizonte A, os demais horizontes podem ser classificados como erodíveis, principalmente quando ensaiados na condição seca ao ar.

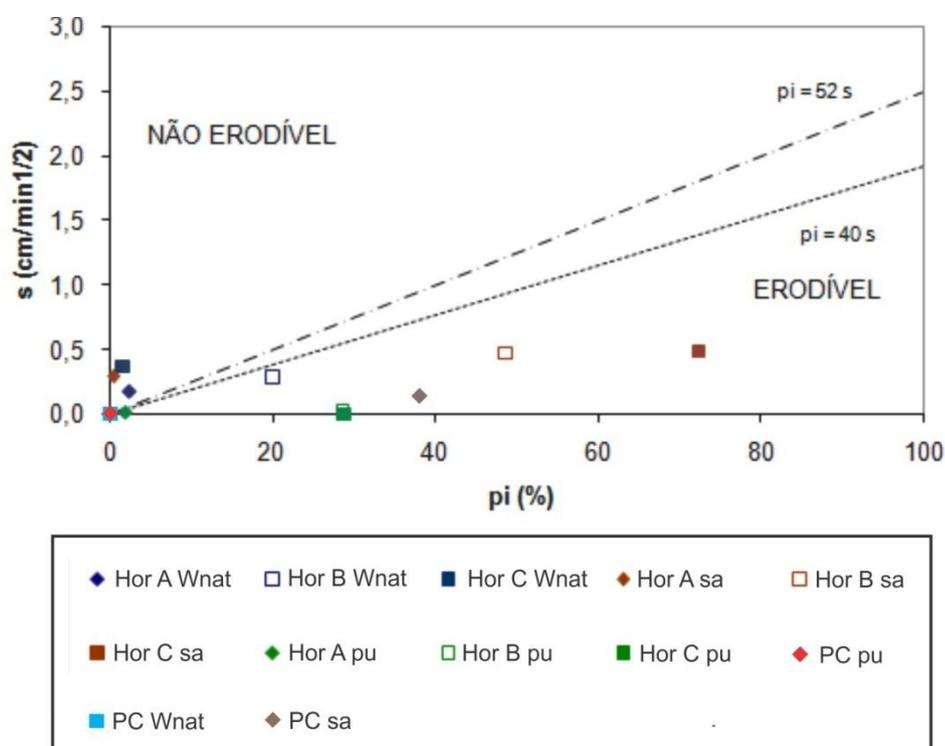


Figura 37 – Aplicação do critério de erodibilidade pela metodologia MCT para os horizontes estudados do Perfil PC.

Fonte: PC - Corrêa (2015); Perfil - Posser (2015).

Estes dados confirmam de forma quantitativa (por meio de ensaios) o que Maciel Filho (1990), na Carta Geotécnica de Santa Maria, descreveu para Unidade Geotécnica Formação Santa Maria-Arenito Basal. O autor considerou esta unidade como um material de fácil escavação, com pouca resistência a erosão que origina sulcos e ravinas em taludes de corte e nas laterais das estradas quando a capa protetora do solo superficial foi cortada.

5 CONCLUSÃO

O Campo de Instrução de Santa Maria (CISM) é uma área utilizada para treinamentos Militares, onde foram identificados por Sant'ana (2012) inúmeros impactos ambientais, em determinados locais do Campo de Instrução relacionados à destruição da cobertura vegetal, compactação do solo, erosão formando campos de areias, ravinas e voçorocas tendo como consequência o assoreamento dos cursos d'água, principalmente a forma como o campo é utilizado. Dentre estes impactos os de maior magnitude são os processos erosivos que se dão em uma área já identificada, por sua geologia, como frágil ambientalmente.

Neste local está em fase de instalação o Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul) que irá implantar aproximadamente 27 prédios para treinamentos com simuladores e aonde irão se intensificar os treinamentos com blindados na área do campo.

Esta dissertação avaliou um perfil de solo localizado próximo a área do centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul) avaliando a erodibilidade do material a ser escavado e sobre o qual serão implantadas as obras civis, isto é, o horizonte C.

O perfil PC se desenvolve num relevo de terraço aluvial sobre a Unidade Geotécnica Formação Santa Maria-Arenito Basal onde também se localiza o CAA-Sul e o perfil PP de Posser (2015). Tem aproximadamente 3 m de altura cuja composição textural dos horizontes é: A, areno-siltoso, B e B/C argilo-arenosos, e C areia silto-argilosa. O horizonte C é um arenito conglomerático de coloração rosada a vermelha que apresenta localmente lentes de material mais avermelhado e de granulação mais fina (siltitos a siltitos argilosos).

Os resultados dos ensaios de erodibilidade indireta mostraram que ocorreu acentuada desagregação das amostras do horizonte C, principalmente quando ensaiadas na condição de umidade seca ao ar. Este fato pode ser explicado pela presença de argilominerais expansíveis que ao passarem da condição de seca ao ar para saturada expandem, acelerando o processo de desagregação. O ensaio de desagregação é de fácil execução e se mostrou apropriado para uma avaliação

inicial do material, pois, somente solos com erodibilidade alta desagregam completamente ao final deste ensaio.

Os resultados dos ensaios da Metodologia MCT apontaram uma tendência de aumento da velocidade de ascensão capilar (s) e da perda por imersão (pi) nas amostras secas ao ar em comparação com as demais. A perda por imersão nas amostras secas ao ar foi sempre mais elevada em relação às amostras na umidade natural e pré-umedecidas. Nas amostras ensaiadas a relação $pi/s > 52$ (classificadas como erodíveis) foi verificada somente para condição seca ao ar, principalmente, devido a alta sorção e também à alta perda por imersão.

Os resultados obtidos do ensaio de penetração de cone em laboratório também apontaram o horizonte C como de alta erodibilidade.

Comparando os dados de erodibilidade obtidos por Posser (2015), para o Perfil PP vê-se que, com exceção do horizonte A, os demais horizontes podem ser classificados como erodíveis, principalmente quando ensaiados na condição seca ao ar.

Os resultados apresentados confirmam a susceptibilidade à erosão dos materiais/horizontes destes perfis, já constatados por Maciel Filho (1990). Em termos de impacto ambiental, a maior perda de material por erosão, tendo como consequência o assoreamento dos cursos de água próximos (Cadena e Taquarichim) ocorreria quando da exposição destes horizontes.

A exposição por longos períodos se daria devido a cortes e aterros durante a implantação das obras civis o que colocaria os materiais na condição de umidade “seca ao ar”. Nesta condição, o material, quando atingido por chuvas e águas lançadas, conforme os resultados dos ensaios seria mais erodível e, portanto sujeito às maiores perdas.

Deve-se considerar também a proteção do Arenito Basal quanto ao lançamento de efluentes, esgotamento sanitários óleos e graxas, pois podem contaminar diretamente o aquífero.

Cabe lembrar que o CISM é uma área militar que integra os casos excepcionais de acordo com a resolução 369 do CONAMA (2006) art.4º § 3º e tem amparo legal quanto às questões ambientais principalmente relacionadas ao uso de Áreas de Preservação Permanentes (APP's), porém, o que se vê é que o Exército Brasileiro tem buscado atender a Legislação ambiental no tocante a proteção e

recuperação de suas áreas, principalmente aquelas utilizadas para os exercícios militares.

Dessa forma, tendo em vista que a utilização dessa área é imprescindível aos treinamentos militares e que serão intensificados a partir da implementação do CAA-SUL o Exército poderia, dentro de seu planejamento ambiental considerar algumas medidas a serem implantadas para minimizar ou até mesmo recuperar tais impactos como:

- A recuperação do leito das estradas que apresentam as erosões mais acentuadas com a utilização de materiais mais resistentes ao processo erosivo e também implementando um sistema de drenagem adequado;

- Implementar as demais pontes para a passagem dos blindados pelos cursos de água visto que nem todas foram construídas;

- Implementar o sistema de rotas e rodízios de estradas a serem utilizadas para os treinamentos considerando a fragilidade ambiental da área já apontada nos diagnósticos do meio físico apresentados por este e outros estudos anteriores;

- Considerar a necessidade de recuperação e monitoramento ambiental durante e logo após períodos de intenso uso da área (épocas de treinamentos militares)

- Procurar manter as áreas já preservadas junto ao arroio Taquarichim, evitando desmatamentos.

No local das obras e áreas de influência direta destas, promover um sistema de drenagem adequado e evite a formação de sulcos e ravinas no terreno. Da mesma forma, promover o recobrimento com vegetação adequada dos taludes de corte e aterros no material da Unidade Geotécnica Formação Santa Maria – Arenito Basal pois os estudos indicam a elevada erodibilidade deste material quando seco ao ar, isto é, expostos por longos períodos.

Espera-se que as obras do Centro de Adestramento e Avaliação – Sul (CAA-Sul) leve em consideração a erodibilidade do material a ser movimentado e procurem fazer a proteção adequada de seus taludes de corte e aterro com o objetivo de minimizar os processos erosivos que certamente ocorrerão.

Da mesma forma considerem a importância da preservação da unidade Geotécnica Arenito Basal para a recarga dos aquíferos da região.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental. NBR1401- Especificação e Diretrizes para Uso.** 2004

ALCÂNTARA, M. A. T. **Aspectos geotécnicos da erodibilidade de solos.** 1997, 128p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9 p. Origem: MB-27

_____. **NBR 6459:** Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6p. Origem: MB-30.

_____. **NBR 6508:** Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 8p. Origem: MB-28

_____. **NBR 7181:** Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13p. Origem: MB-32.

_____. **NBR 7180: solo determinação do limite de plasticidade:** NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984. 6p.

ÁVILA, L.O. **Erosão na Microbacia do Arroio Sarandi: Voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria/RS.** 2009. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria.

BASTOS, C. A. B.; GEHLING, W. Y. Y. e DIAS, R. D. **Avaliação da Erodibilidade de Perfis de Solos Residuais da Grande Porto alegre.** XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, XI COBRAMSEG, Vol. I, pg. 557 – 563. (1998).

BASTOS, C.A.B.; MILITITSKY,J.; GEHLING, W.Y.Y. **A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico-pesquisas e tendências.** Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande/RS, v. 1, p. 17-26, 2000.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999, 303f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Rio Grande.

BELLINAZZI JR, R. **Controle da erosão em estradas rurais**. Campinas, SP: CATI, 1992.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ed. Ícone, 1999.

_____. **Conservação do solo**. São Paulo. Ed. Ícone, 2005. 5 ed. p. 355.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Ed. UFSC. V. 2, 1996. 875 p.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, v. 3, 2003.

Boletim do Exército 41/2011, de 14 Out 2011-Portaria 001-DEC, de 26 Set 2011-**Instruções Reguladoras para o Sistema de Gestão Ambiental no Âmbito do Exército (IR 50-20)**. Disponível em: <<http://www.dmat.eb.mil.br/arquivos/BE%2041-2011%20IR%2050-20.pdf>>. Acesso em 22 de Agosto. 15.

BRASIL. **Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 15**, de 22 de janeiro de 2001. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/>>. Acesso em: 25 junho. 2015.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil** de 1988, Título VIII - Da Ordem Social - Capítulo VI- Do Meio Ambiente.

_____. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm>. Acesso em: 13 jun. 2014.

_____, Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição estabelecem diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. *Diário Oficial*, Brasília, DF, 11 de julho de 2001. Seção 1, p. 1.

_____. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981 - **Política Nacional do Meio Ambiente.**

_____. Portaria no 570-EME, de 6 de novembro de 2001. Política de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro.

_____. Portaria nº 571-EME, de 6 de novembro de 2001. Diretriz **Estratégica de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro.**

_____. Portaria nº 050-EME, 11 de julho de 2003 - Orientação para a Elaboração dos Planos Básicos de Gestão Ambiental.

_____. Portaria nº 014-DEP, de 8 de fevereiro de 2008. Normas para a Promoção da Educação Ambiental nos Estabelecimentos de Ensino e nas Organizações Militares Subordinados e/ou Vinculados ao Departamento de Ensino e Pesquisa.

_____. Portaria nº 934-Cmt Ex, de 20 de dezembro de 2007 - Determina a atualização do Sistema de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro.

_____. Portaria nº 386, de 9 de junho de 2008 - Aprova as Instruções Gerais para o Sistema de Gestão Ambiental no Âmbito do Exército (IG 20-10).

_____. Portaria no 1.138, de 22 de novembro de 2010. Aprova a Política de Gestão Ambiental do Exército Brasileiro.

CABRAL, J.; et al. Recursos Hídricos Subterrâneos. In: PAIVA J. B. D. de PAIVA, M. C. D. de. **Hidrologia Aplicada à gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH, 2001, p. 237 – 277.

CAMAPUM DE CARVALHO, et al. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO. M.T.S. (Org.). **Processos erosivos no centro oeste brasileiro.** Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. p. 39-91.

DECRETO Nº 99.274, DE 6 DE JUNHO DE 1990 *Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.* Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br/> >. Acesso em: 13 Agosto. 2014.

DIAS, R. **Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 1 v.

_____. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 2 ed. rev. Atual. EMBRAPA, 1997. 212p.

FENDRICH, R.; et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 3 ed. São Paulo: IBRASA. Curitiba: Ed. Universitária Champagnat, 1991. 442 p.

FENDRICH, R.; IWASA O. Y. Controle de Erosão Urbana. In: Geologia de Engenharia, São Paulo. **Associação Brasileira de Engenharia de Engenharia (ABGE)**, 1998. p. 271-281.

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

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. GW.MATE: 2006. 104 p. (trad.) Servmar, São Paulo.

FOLLMANN, F. **Identificação de incompatibilidade legal na Área Especial de Conservação Natural do Aquífero Arenito Basal Santa Maria, Santa Maria, RS.120 f**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FOLLMANN, F. M; FOLETO, E.M. **importância das áreas com vegetação na área de conservação natural do Aquífero arenito basal Santa Maria, Santa Maria, Rs**. Bol. Goia. Geogr. (Online). Goiânia, v. 33, n. 1, p. 37-51./jan/abr. 2013.

FÁCIO, J.A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. 1991. 107f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1991.

GUERRA, A.J.T.; GUERRA, I.A.L.T. Dicionário Geológico – Geomorfológico. - 6 Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1980.

GUERRA, A.J.T.; MENDONÇA, G.K.S. Erosão dos solos e a questão ambiental In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 225 p.

GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A. J. T.; Encostas e a Questão Ambiental. *In*: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T(orgs.) **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A.J.T.. et al. O início do Processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. da; BOTELHHO, R.G.M. (org). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p.17-50.

GUERRA, J.T.; JORGE, O.M. **Degradação dos Solos no Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

GOMES T. C. **Cadastro de Feições Erosivas – Quadrante Sudeste da Carta Geotécnica DE Santa Maria/RS** (Trabalho de Graduação), Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2010.

IAEG. Comission Engineering Geological Mapping. **Classification of rocks and soils for engineering geology mapping**. Part 1: rock and soil materials. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld, v. 19, p. 364-371, 1979.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Manual de ocupação de encostas**. CUNHA, M.A. (Coord). São Paulo: IPT, 1991, n. 1831, 216 p.

JACINTHO, E.C. et al. Solos Tropicais e o Processo Erosivo. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO. M.T.S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. p. 93-156.

LEI COMPLEMENTAR Nº 97, DE 09 DE JUNHO DE 1999. Dispõe Sobre as Normas Gerais para a Organização, o Preparo e o Emprego das Forças Armadas. . Disponível em <http://www.planalto.gov.br/>. Acesso em 27 Dez, 2014.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária UFSM, 1990.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia**. 2 ed. Santa Maria: UFSM; Brasília: CPRM, 1997.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas sub-terrâneas, um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: MMA, 2007.

_____. **Resolução do CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006**. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente APP. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 13 mar. 2014.

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, 1979.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Pavimentação de baixocusto com solos lateríticos. São Paulo: Ed. Villibor, 1995. p. 169-196.

NISHIYAMA, L. **Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento**. 1995. São Carlos. 95p. Revisão Bibliográfica, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 1995.

OLIVEIRA JORGE M.C.; GUERRA A.J.T. Erosão dos solos e movimento de massa-recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA A.J.T.; OLIVEIRA JORGE M.C (org). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de textos, 2013. p.7-30.

PRADO, H. do. **Manejo dos solos**. São Paulo: Nobel, 1991.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.423-429, 2003.

PITTELKOW, G. C. **Cadastro de ocorrências erosivas – quadrante sudoeste da carta geotécnica de Santa Maria/RS**. (Trabalho de Graduação), Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2010.

_____. **Erosão em estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria (CISM)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria.

PONTES, Antonio Airton Rocha. **Instrução e adestramento das grandes unidades militares operacionais em consonância com a legislação ambiental**. Rio de Janeiro: ECEME, 2012.

POSSER, L. F. **Avaliação da erodibilidade de um perfil de solo típico da área do Campo de Instrução de Santa Maria – RS**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria.

REBOUÇAS, A. C. A inserção da água subterrânea no sistema nacional de gerenciamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, n. 4, out./dez. 2002, Disponível em: <http://www.abrh.org.br/novo/arquivos/artigos/insercaofinal.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. **Lei de Uso e Ocupação do Solo**. Santa Maria, 2009.

_____. **Projeto ambiental para o Distrito Industrial de Santa Maria: estudos e avaliações dos impactos ambientais e projeto urbanístico**. Santa Maria, 2010.

PRUSKI, F. F. **Conservação de Solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 279p.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH/USP São Paulo, Geomorfologia: ambiente e planejamento. 8 Ed. São Paulo: Contexto, 2007.84p.

SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O.Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: 4º **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo, ABGE/IPT, 1995.

SALOMÃO, F. X. T. e ANTUNES, F. S. Solos em Pedologia. In: OLIVEIRA, A. M. S.& BRITO, S. N. A. (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE-Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, p. 87-99.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos
In: Guerra et al. **Erosão e conservação dos solos; conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil. Cap. 7, 2007.

SANT'ANA, K. D. A. **Diagnóstico ambiental do meio físico do Campo de Instrução De Santa Maria (CISM)**. (Dissertação de Mestrado), Santa Maria, RS.2012.

SANT'ANA, K. A. et al. **Diagnóstico ambiental do meio físico do campo de instrução de Santa Maria (CISM)**. In: 14º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 2013. **Anais...**Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2013.

SILVA, M.L.N. et al. Avaliação de métodos indiretos e determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.

SILVA, J.R.B; RIBEIRO, S.L. Estudo de Boçorocas e Métodos Expeditos. In: SEMINÁRIO: CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DE SOLOS E ROCHAS ATRAVÉS DE MÉTODOS EXPEDITOS. **Estudo de Boçorocas e Métodos Expeditos Aplicados**. Unesp. Rio Claro: 2001.

SILVA, R. C. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do arroio pelotas (Rs), com auxílio do geoprocessamento**.(Dissertação de Mestrado), Rio Grande, RS. 2009.

TATTO, J. **Análise dos Parâmetros Geológicos-Geotécnicos que Condicionam Erosão por Voçoroca no Município de São Francisco de Assis**. 2007, 84f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria.

TEIXEIRA, M. B.; COURA-NETO, A. B.; PASTORE, U.; RANGEL-FILHO, A. L. (1986). **Vegetação: As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos**. Estudo fitogeográfico. In Veloso, H. P. & Goés-Filho, L. (Eds.), Projeto RADAM BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais (pp. 541-632). v. 33. Rio de Janeiro, IBGE.

VILAR, O.M.; PRANDI, E.C. Erosão dos solos. In: CINTRA, J.C.A.; ALBIERO, J.H. (Org.). **Solos do interior de São Paulo**. São Carlos: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; USP, v.1, 1993. p. 177-2006.

WICANDER R.; MONROE, J.S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo, Cengage Learning, 2009. 508p.