

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

**ANÁLISE PEDOLÓGICA EM TOPOSSEQUÊNCIA
ATRAVÉS DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E
A PERDA DE SEDIMENTOS NA ENCOSTA ITAGIBA,
ZONA NORTE DE SANTA MARIA -RS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rodrigo Diniz Marques

Santa Maria, RS, Brasil
2010

**ANÁLISE PEDOLÓGICA EM TOPOSSEQUÊNCIA
ATRAVÉS DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E
A PERDA DE SEDIMENTOS NA ENCOSTA ITAGIBA,
ZONA NORTE DE SANTA MARIA -RS.**

Por

Rodrigo Diniz Marques

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Área de Concentração Meio Ambiente e Sociedade, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia e Geociências**

Orientador: Prof. Dr. Mauro Kumpfer Werlang

Santa Maria, RS, Brasil
2010

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências

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

**ANÁLISE PEDOLÓGICA EM TOPOSSEQUÊNCIA ATRAVÉS DA
RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E A PERDA DE SEDIMENTOS
NA ENCOSTA ITAGIBA, ZONA NORTE DE SANTA MARIA - RS.**

elaborado por
Rodrigo Diniz Marques

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia e Geociências

COMISSÃO EXAMINADORA:

Mauro Kumpfer Werlang, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

José Luiz Silvério da Silva, Dr. (UFSM)

Elsbeth Léia Spode Becker, Dr^a. (UNIFRA)

Andrea Valli Nummer, Dr^a. (UFSM)
(Suplente)

Santa Maria, RS, Brasil

2010

*A superfície da Terra apresenta uma variedade infinita de lugares.
Deves fugir de uns e buscar outros.
Todavia, deves conhecer todos os terrenos com perfeição.*

Sun Tzu (A Arte da Guerra)

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realizar este curso de pós-graduação de forma gratuita e de qualidade

À coordenação do Programa de Pós-graduação em Geografia e Geociências que contribuiu administrando e coordenando as atividades de forma organizada e inteligente restando ao discente somente a preocupação acadêmica.

Ao Professor Mauro Kumpfer Werlang que de orientador transformou-se em um irmão amigo que soube corrigir, discutir, refletir e principalmente nos momentos mais difíceis fomentar o sonho da realização do trabalho. De nossas conversas, amizade e trabalho só poderia gerar algo que não termina com a apresentação da dissertação, mas que fica para toda vida: o carinho ao mestre.

À minha esposa Kétlen pelo amor e companheirismo ao longo desta jornada repleta de obstáculos. Pois seu incentivo e orgulho impulsionaram meu desejo de chegar até o fim nos momentos em que pensei em fraquejar.

À minha mãe Lucinda, irmã Sabrina e irmão Mateus, pelo amor e estrutura familiar que fazem de mim um ser privilegiado e grato a Deus de tê-los em minha vida.

Ao meu sobrinho Kauã, “iêiê” que transformava meu cansaço nas tardes de pesquisa em alegria.

À todos os amigos que souberam relevar minha ausência e muitas vezes a cabeça no mundo da lua “mundo de bob” enquanto eles se divertiam e eu estava “pousando em Marte” ao lado deles com a cabeça na dissertação.

E ainda, a todas as pessoas que diretamente e/ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente ao Adilson, Roberto, Eduíno, Leônidas e Rogério colegas e amigos que levarei no coração por toda minha vida.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da encosta Itagiba no perímetro urbano de Santa Maria-RS	19
Figura 2 - Topossequência sobre a encosta Itagiba.....	58
Quadro 1 - Descrição morfológica dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 1 (T1) da topossequência sobre a encosta Itagiba.....	58
Figura 3 – Volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 1 (T1).....	60
Quadro 2 - Descrição morfológica dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 2 (T2) da topossequência sobre a encosta Itagiba.. ..	60
Figura 4 – Volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 2 (T2).....	61
Quadro 3 - Descrição morfológica dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 3 (T3) da topossequência sobre a encosta Itagiba.. ..	61
Figura 5 - Volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 3 (T3).....	62
Figura 6 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 1 (T1)..	64
Figura 7 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 1 (T1)..	65
Figura 8 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 1 (T1)..	66
Figura 9 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 2 (T2)..	67
Figura 10 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 2 (T2).....	68
Figura 11 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 2 (T2).. ..	69
Figura 12 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 3 (T3).....	70
Figura 13 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 3 (V3).....	71
Figura 14 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 3 (T3).. ..	72
Figura 15 – Intenso processo de dissecação próximo a trincheira 3 (T3).....	75
Figura 16 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 1 (T1)	79
Figura 17 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 1 (T1).....	76

Figura 18 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 1 (T1).....	77
Figura 19 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 2 (T2).....	77
Figura 20 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 2 (T2).....	78
Figura 21 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 2 (T2).....	78
Figura 22 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 3 (T3).....	79
Figura 23 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 3 (T3).....	79
Figura 24 - Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 3 (T3).....	80
Figura 25 - Correlação entre a perda total de sedimentos por eventos de precipitação ocorridos no período entre 21 Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).....	90
Figura 26 - Correlação entre a perda total de sedimentos por eventos de precipitação ocorridos no período entre 21 Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).....	91
Figura 27 - Correlação entre a perda total de sedimentos por eventos de precipitação ocorridos no período entre 21 Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).....	92
Figura 28 - Correlação entre a perda total de sedimentos por eventos de precipitação ocorridos no período entre 21 Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).....	94
Figura 29 - Correlação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21 Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).....	95
Figura 30 - Correlação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).....	97
Figura 31 - Correlação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).....	98
Figura 32 - Correlação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).....	99
Figura 33 - Área da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, mostrando intenso ravinamento e formação de sulcos.....	101
Figura 34 - Área da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Caturrita, mostrando movimento de massa, constituindo-se em áreas de risco de desmoronamento.....	102

Figura 35 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).....	103
Figura 36 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).....	105
Figura 37 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).....	106
Figura 38 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).....	107
Figura 39 - Área da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, mostrando intenso processo de dissecação que esta porção da encosta foi submetida.....	108
Figura 40 - Figura 40 - Área da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Caturrita, mostrando que os processos erosivos nesta porção da encosta são menos intensos.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 1 (V1) da trincheira 1 (T1).....	63
Tabela 2 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas para o volume 2 (V2) da trincheira 1 (T1).....	64
Tabela 3 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 3 (V3) para a trincheira 1 (T1).....	65
Tabela 4 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 1 (V1) para a trincheira 2 (T2).....	66
Tabela 5 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 2 (V2) para a trincheira 2 (T2).....	67
Tabela 6 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 3 (V3) para a trincheira 2 (T2).....	68
Tabela 7 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 1 (V1) para a trincheira 3 (T3).....	69
Tabela 8 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 2 (V2) para a trincheira 3 (T3).....	70
Tabela 9 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 3 (V3) para a trincheira 3 (T3).....	71
Tabela 10 - Limites de consistência das trincheiras das trincheira 1, 2 e 3 (T1, T2 e T3).....	74
Tabela 11 - Coeficiente de infiltração dos volumes pedológicos (V1,V2 e V3) das trincheiras (T1, T2 e T3).....	80
Tabela 12 - Perdas de sedimentos por volume pedológico e evento de precipitação para o período correspondente ao verão e outono (21 Dez 2004 à 21 Jun 2005).....	82
Tabela 13 - Perdas de sedimentos por volume pedológico e evento de precipitação para o período correspondente ao inverno e primavera (21 Jun 2005 à 21 Dez 2005).....	84
Tabela 14 - Perdas de sedimentos por volume pedológico e evento de precipitação para o período correspondente ao verão e outono (21 Dez 2005 à 21 Jun 2006).....	85

Tabela 15 - Perdas de sedimentos por volume pedológico e evento de precipitação para o período correspondente ao inverno e primavera (21 Jun 2006 à 21 Dez 2006).....	87
Tabela 16 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).....	89
Tabela 17 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).....	90
Tabela 18 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).....	92
Tabela 19 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).....	93
Tabela 20 - Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).....	95
Tabela 21 - Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).....	96
Tabela 22 - Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).....	97
Tabela 23 - Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).....	98
Tabela 24 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).....	103
Tabela 25 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno /primavera).....	104
Tabela 26 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).....	105
Tabela 27 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).....	107

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Aspectos históricos e apresentação da proposta de trabalho	15
1.2 Localização da área de estudo	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Análise pedológica em topossequência de uma encosta e sua contribuição a Ciência Geográfica.....	20
2.2 O substrato litológico da área de estudo	21
2.3 Características climáticas	26
2.4 Aspectos pedológicos	27
2.4.1 Propriedades físicas do solo	30
2.4.2 Morfologia e classificação do solo	32
2.5 Erosão	33
2.5.1 As variáveis físico-químicas do solo no contexto erosivo.	34
2.5.2 A relação entre a infiltração e a precipitação nos processos erosivos	37
2.5.3 A importância da infiltração nos processos erosivos.....	39
2.5.4 A importância do terreno nos processos erosivos	40
2.5.5 A importância da cobertura vegetal nos processos erosivos	41
2.6 Formas de erosão	42
3. METODOLOGIA.....	46
3.1 Procedimentos Metodológicos	46
3.2 Procedimentos Técnicos Aplicados	46

3.2.1 Os Parâmetros Físicos do Solo.....	46
3.2.1.1 <i>Análise Granulométrica</i>	46
3.2.1.2 <i>Relação entre a perda de sedimentos e o volume de precipitação meteórica.....</i>	48
3.2.1.3 <i>Limites de consistência.....</i>	50
3.2.1.4 <i>Correlação de resultados e conformação da paisagem: o traçado da topossequência.....</i>	53
3.2.1.5 <i>Coefficiente de infiltração nos volumes pedológicos</i>	55
4. RESULTADOS	57
4.1 Elaboração do traçado da topossequência sobre a encosta Itagiba	57
4.2 Descrição morfológica dos volumes pedológicos das trincheiras da topossequência sobre a encosta Itagiba	59
4.3 Determinação da textura dos volumes pedológicos das trincheiras da topossequência sobre a encosta Itagiba.....	63
4.4 Determinação dos limites de consistências dos volumes pedológicos da trincheira sobre a encosta Itagiba.....	74
4.5 Determinação do Coeficiente de Infiltração.....	76
4.6 Relação entre a perda de sedimentos e a precipitação	82
4.7 Correlação entre a precipitação e a perda total de sedimentos.....	89
4.8 Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico.	94
4.9 Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2).....	103
4.10 A ocupação antrópica e os processos erosivos no entorno da encosta Itagiba....	110
4.11 A conformação da paisagem na encosta Itagiba sob a ótica dos processos erosivos superficiais e subsuperficiais.....	112
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS PARCIAIS	116

RESUMO

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

ANÁLISE PEDOLÓGICA EM TOPOSSEQUÊNCIA ATRAVÉS DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E A PERDA DE SEDIMENTOS NA ENCOSTA ITAGIBA, ZONA NORTE DE SANTA MARIA - RS.

AUTOR: Rodrigo Diniz Marques
ORIENTADOR: Mauro Kumpfer Werlang
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de março de 2010.

As ocupações em áreas de risco nas cidades brasileiras decorrem principalmente dos processos de desigualdade social, má gestão e ausência de planejamentos públicos. No município de Santa Maria, Rio Grande do Sul não é diferente, havendo elevado número de ocupações em áreas de risco, sendo uma dessas áreas a encosta Itagiba, localizada no bairro Chácara das Flores, zona norte da cidade. O traçado da ferrovia Santa Maria – Uruguiana projetado pelo consorcio belga, em 1890 alterou a vertente norte da Vila Kennedy, modificando a conformação da paisagem e alterando os processos erosivos nessa área. A alteração ocorreu principalmente na topografia do terreno, representada pela declividade e pelo comprimento de rampa sobre duas formações geológicas distintas: Formação Santa Maria – Membro Alemoa de constituição silto-argilosa na porção leste da encosta e a Formação Caturrita de constituição arenosa cimentada na sua porção oeste. O objetivo principal do trabalho foi contribuir para o entendimento dos processos erosivos das encostas, estabelecendo a relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos bem como as características no perfil do solo que podem estar contribuindo para a evolução do relevo na área da encosta Itagiba. Também buscou-se estabelecer a relação e a correlação na perda de sedimentos dos volumes pedológicos da trincheira 2 e a precipitação meteórica, a perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2, o coeficiente de infiltração nos volumes pedológicos nas trincheiras 1, 2 e 3, os limites de consistência dos volumes pedológicos nas trincheiras 1, 2 e 3, traçar uma topossequência sobre a encosta e instalar três trincheiras e cinco tradagens para analisar os volumes pedológicos, entender o processo de ocupação antrópica e os processos erosivos no entorno da encosta Itagiba e por fim entender a conformação da paisagem sob a ótica dos processos erosivos superficiais e subsuperficiais fornecendo informações para o planejamento urbano da área. Os resultados mostraram haver correlação positiva entre a perda de sedimentos e a precipitação meteórica em qualquer estação do ano sendo as maiores perdas nas frações silte e argila. A análise granulométrica mostrou que a fração areia diminui do topo das trincheiras 1, 2 e 3 em direção à base e que as frações silte e argila aumentam neste mesmo sentido diminuindo assim o coeficiente de infiltração que no volume 3 das três trincheiras torna-se impermeável intensificando os fluxos horizontais (fluxo hortoniano), acelerando os processos erosivos na encosta e contribuindo para a conformação diferenciada da paisagem na encosta Itagiba.

Palavras chave: precipitação, perda de sedimentos, análise pedológica em topossequência.

ABSTRACT

Master's Degree Thesis
Geography and Geosciences Post-Graduation Program
Universidade Federal de Santa Maria

TOPOSSEQUENCE PEDOLOGICAL ANALYSIS THROUGH THE RELATION BETWEEN PRECIPITATION AND SEDIMENT LOSS AT ITAGIBA HILLSIDE, NORTH AREA OF SANTA MARIA – RS.

AUTHOR: Rodrigo Diniz Marques

ADVISOR: Mauro Kumpfer Werlang

Date and Place of Defence: Santa Maria, March 26th, 2010.

The occupancy in risk areas in Brazilian cities occurs mainly due to the processes of social inequality, bad management and absence of public planning. In Santa Maria, Rio Grande do Sul, it is not different, and there is a large number of occupancy in risk areas, being one of these areas the Itagiba hillside, located at Chácara das Flores quarter, in the north side of the city. The scheme of the railway Santa Maria – Uruguaiana, developed by the Belgian partnership in 1890, modified the north hogback of Vila Kennedy, changing the configuration of the landscape and altering the erosive processes in this area. This alteration occurred mainly in the topography of the land, represented by the declivity and by the length of inclination on two distinct geological formations: the Santa Maria Formation – Alemoa Member of silty clay constitution in the east part of the hillside, and the Caturrita Formation of cemented sandy constitution in its west portion. The main objective of this work was to contribute to the understanding of the erosive processes in hillsides, establishing a relation between precipitation and total sediment loss as well as the characteristics of the soil profile that may be contributing for the evolution of the relief in the area where Itagiba hillside is located. It was also aimed at establishing the relation and the correlation of the sediment loss of pedological volume in ditch 2 and the meteoric precipitation, the sediment loss through granulometric fraction in ditch 2, the infiltration coefficient in pedological volumes in ditches 1, 2 and 3, the consistency limits of pedological volumes in ditches 1, 2 and 3; delineating a topossequence on the hillside and settling three ditches and five tradages in order to analyze the pedological volumes; understanding the process of anthropic occupancy and the erosive processes in the Itagiba hillside environment; and, lastly, understanding the landscape configuration under the perspective of surface and subsurface erosive processes thus providing information for the urban planning of the area. The results showed that there is a positive correlation between sediment loss and meteoric precipitation at any season of the year, being the higher losses in silt and clay fractions. The granulometric analysis showed that sand fraction decreases at the highest point of ditches 1, 2 and 3 in direction to the basis, and silt and clay fractions increase in the same direction thus reducing the infiltration coefficient which in volume 3 of the three ditches becomes impermeable enhancing the horizontal flows (*hortonian flow*), accelerating the erosive processes at the hillside and contributing for the differentiated configuration of the landscape of Itagiba hillside.

Keywords: precipitation, sediment loss, topossequence pedological analysis.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Aspectos históricos e apresentação da proposta de trabalho

Historicamente, o homem em busca de desenvolvimento tem dinamizado os meios de transportes, intensificando as redes, facilitando o deslocamento e os fluxos comerciais. Nesse processo ampliou-se o número de ferrovias, cujo apreço econômico se deu pela capacidade de carga e baixo custo de transporte.

A viação férrea em Santa Maria tem seu início, segundo Tomazetti (2000), no ano de 1875, com a lei Provincial nº 999, que dava a concessão de sessenta anos de exploração, para a construção de uma estrada de ferro que ligasse Santa Maria até as margens do rio Uruguai. As obras iniciaram em 26 de maio de 1889, com a chegada de uma comissão de engenharia encarregada do estudo do traçado da ferrovia, que obrigatoriamente deveria passar pelo centro do Estado do Rio Grande do Sul por questões geopolíticas¹ e geoeconômicas².

Segundo Silveira apud Tomazetti (2000) “no final do século XIX Santa Maria já era um importante centro ferroviário, o que propiciou um crescimento urbano da cidade com a instalação de hotéis, igrejas, lojas comerciais, cooperativas, etc” que segundo Belém (1989), favoreceu o crescimento do espaço urbano de Santa Maria a partir da avenida Rio Branco, próximo à Estação da Viação Férrea, centro difusor desse crescimento urbano. Surgiram assim, Vila Belga-1903 (alojamento de funcionários belgas que trabalhavam na ferrovia), o Hospital Casa de Saúde (1931) e a Escola Hugo Taylor (1945).

O traçado da ferrovia, segundo Tomazetti (2000), foi baseado em estudos topográficos (nivelamento) e de engenharia civil que buscavam minimizar os custos, maximizando os lucros dentro da lei de mercado capitalista. Assim, o consórcio belga buscou a menor distância e o relevo menos acidentado possível para a construção da estrada de ferro: Santa Maria – Uruguaiana em 1890.

Neste contexto houve o corte da vertente norte da Vila Kennedy, zona norte de Santa Maria, modificando a conformação da paisagem e alterando os processos erosivos dessa área transformada no que, atualmente, é conhecida como encosta Itagiba³. A alteração ocorreu principalmente na topografia do terreno, representada pela declividade e pelo comprimento de

¹ Do centro do Estado é mais fácil enviar tropas militares para qualquer lugar da fronteira. Isso explica o número de Batalhões do Exército Brasileiro em Santa Maria até hoje -16 Unidades Militares (3ª D. E. COMANDO MILITAR DO SUL, 2007).

² Santa Maria desempenhou um papel importante no escoamento da produção de grãos devido à posição central no Estado do Rio Grande do Sul (SOUZA, 2000 p.41).

³ Nome atribuído à encosta devido a rua Itagiba passar ao lado da encosta e popularmente conhecida devido a localização do Asilo Itagiba que localiza-se na mesma rua.

rampa, que exerce acentuada influência sobre a erosão, pois o tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que a água escorre. Essa velocidade é uma resultante do comprimento de rampa e do grau de declive do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Do grau de declive dependem diretamente o volume e a velocidade das enxurradas que sobre ele escorrem. Assim, cabe lembrar Ayres apud Bertoni; LOMBARDI NETO (1985 p.56) que apresentam alguns princípios de hidráulica que, teoricamente, podem explicar as relações entre a velocidade da água e o seu poder erosivo:

A velocidade da água varia com a raiz quadrada da distância vertical que ela percorre, e a sua energia cinética, de acordo com o quadrado da velocidade; a energia cinética é a capacidade erosiva. Assim, se o declive do terreno aumenta quatro vezes, a capacidade de escoamento da água aumenta duas vezes e a capacidade erosiva quadruplica; a quantidade de material que pode ser arrastado varia com a quinta potência da velocidade de escoamento; o tamanho das partículas arrastadas varia com a sexta potência da velocidade de escoamento. Assim, se duplicarmos a velocidade de escoamento, a quantidade de material que pode ser transportado aumenta 32 vezes, e o tamanho das partículas que podem ser transportadas aumenta 64 vezes.

Neste sentido, é importante salientar a alteração da encosta Itagiba através das ações antrópicas para a construção da ferrovia, sabendo que os processos erosivos foram acelerados de forma significativa, pois a declividade da encosta foi alterada para um ângulo de aproximadamente 90°. Daí a preocupação de analisar os processos erosivos a partir da perda de material por volume pedológico face a precipitação meteórica na encosta Itagiba através de uma trincheira, que também foi construída com inclinação de 90°. Situada no entorno da encosta, os dados obtidos na trincheira permitem correlacionar os processos erosivos que nela ocorrem com os processos erosivos que atuam na encosta Itagiba.

É importante salientar que na encosta Itagiba há um agravante que deve ser considerado na análise, pois as atuações dos processos erosivos de uma encosta podem afetar diretamente a ocupação humana se o mesmo faz uso como moradia, plantações e pecuária. Nesse sentido, deve-se esclarecer que sobre a encosta Itagiba o uso do solo é destinado para moradia, sendo observado também o transporte ferroviário abaixo da encosta e rodoviário acima da encosta. Esses fatos conduziram o trabalho a buscar uma análise sistêmica e holística dos elementos naturais e sociais que envolvem a proposta de trabalho.

Segundo a associação de moradores da Vila São Rafael⁴ até o ano de 1984, não havia construções sobre a encosta Itagiba, iniciando neste ano as construções irregulares que foram

⁴ Esta associação é formada por um conselho de moradores representados pelo presidente da Vila São Rafael, o Sr. Hélio Zambrano. Na prefeitura municipal de Santa Maria não há dados sobre o início da ocupação, sendo esses dados baseados em depoimentos dos moradores mais antigos que presenciaram o processo de ocupação.

ocupando aos poucos toda a encosta. Hoje existem 68 casas sobre a encosta, sendo 14 dessas casas “barracos” com área inferior a 16 m². Fato agravante dessa situação é o número de crianças dessas famílias, que normalmente chegam a seis filhos.

A proposta de estudar os processos erosivos e a perda de sedimentos face a precipitação meteórica na encosta Itagiba, bem como a análise pedológica em topossequência tem como objetivo contribuir para o entendimento dos processos erosivos das encostas, estabelecendo a relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos bem como as características no perfil do solo que podem estar contribuindo para a evolução do relevo na área da encosta Itagiba, zona norte de Santa Maria – RS. A umidade, aeração, temperatura e resistência mecânica são dependentes da textura, estrutura, densidade, e características do perfil do solo. Todas essas propriedades trazem consequências no processo de erosão e constituem parâmetros importantes para se avaliar o grau de fragilidade e evolução do relevo. Assim, também é objetivo do trabalho estabelecer a relação e a correlação na perda de sedimentos dos volumes pedológicos da trincheira 2 (T2) e a precipitação. Também avaliar a perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2), o coeficiente de infiltração nos volumes pedológicos nas trincheiras 1, 2 e 3 (T1, T2 e T3), os limites de consistência dos volumes pedológicos nas trincheiras 1, 2 e 3 (T1, T2 e T3). Ainda traçar uma topossequência sobre a encosta e instalar três trincheiras (T1, T2 e T3) e cinco tradagens (S1, S2, S3, S4 e S5) para analisar os volumes pedológicos, entender o processo de ocupação antrópica e os processos erosivos no entorno da encosta Itagiba. Por fim, entender a conformação da paisagem sob a ótica dos processos erosivos superficiais e subsuperficiais fornecendo informações para o planejamento urbano da área, além de considerar os impactos negativos da ocupação antrópica irregular sobre a área desta encosta.

1.2 Localização da área de estudo

A encosta Itagiba está localizada na Depressão Periférica Sul-Riograndense, no contato superior discordante⁵ que separa os lamitos fossilíferos da Formação Santa Maria dos sedimentos flúvio-lacustres da Formação Botucatu (BORTOLUZZI, 1974). Situa-se na zona norte da cidade de Santa Maria-RS, no bairro Chácara das Flores na divisa da Vila Kennedy e São Rafael. Está localizada entre as coordenadas de 30° 00' 25" a 29° 33' 00" de latitude sul e 54°05'42" a 53°30'22" de longitude oeste. Limita-se ao norte com o distrito de Santo Antônio, a oeste com o bairro Caturrita, a leste com o bairro Perpétuo Socorro e o sul com o bairro Salgado Filho. A Figura 1 ilustra a localização da encosta Itagiba na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

⁵ A presença desta superfície representa um hiato entre uma e outra sedimentação e pode ser observada em vários afloramentos: um deles é o corte topográfico da estrada de ferro na Vila Kennedy. O horizonte descolorado delinea uma superfície de discordância, acompanhando suas ondulações. A partir deste nível, surge um conglomerado com matriz arenosa que inclui seixos e grânulos de quartzo, e fragmentos de lamito púrpura e vermelha, alongada, irregular, distribuída ao acaso no interior da massa arenosa (BORTOLUZZI, 1974 p.35).

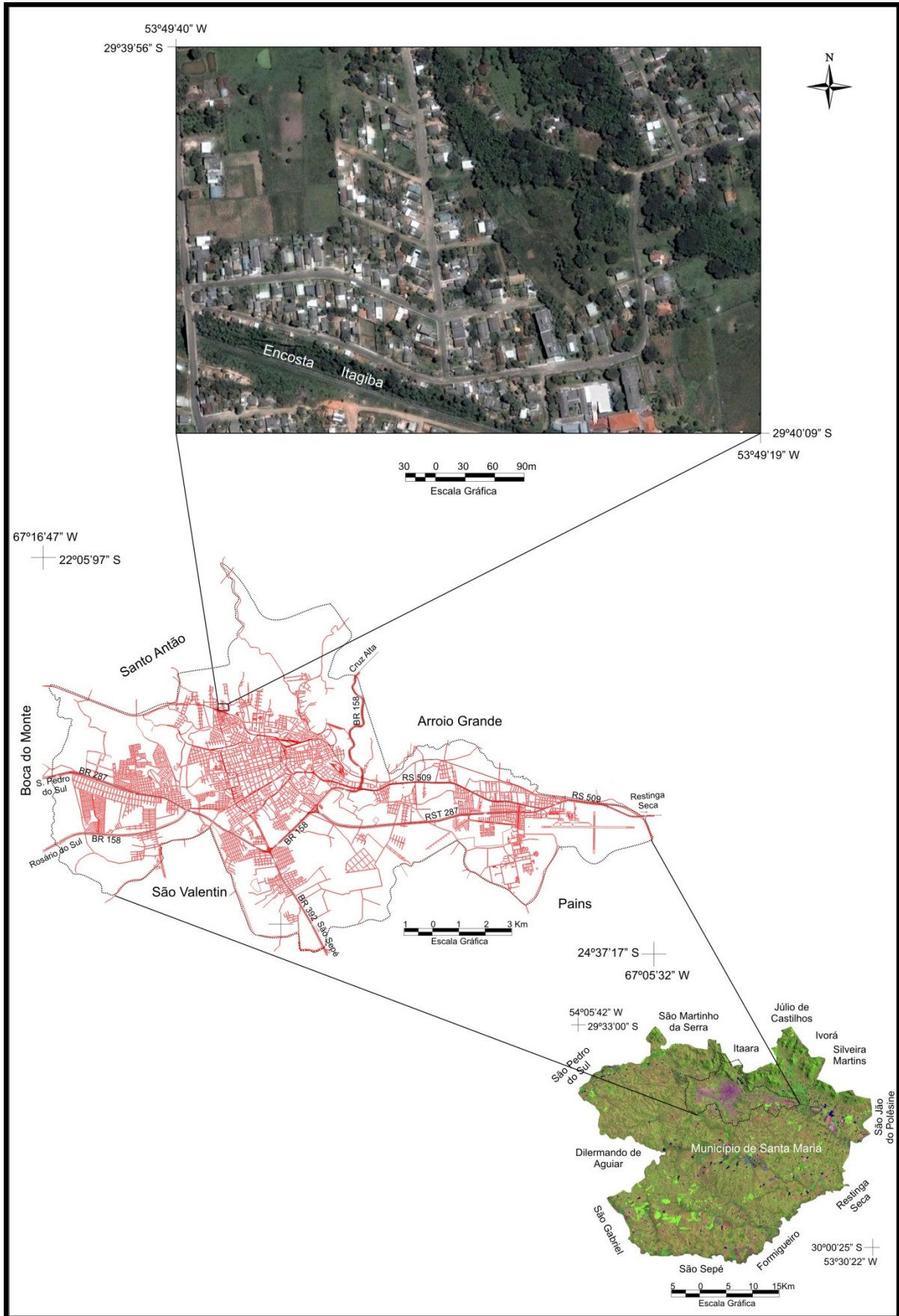


Figura 1 - Localização da encosta Itagiba no perímetro urbano de Santa Maria-RS.
Org: MARQUES, R. D.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Análise pedológica em topossequência de uma encosta e sua contribuição a Ciência Geográfica.

A Geografia busca estudar as relações do homem com o meio sendo uma Ciência-ponte entre as Ciências Naturais Exatas e as Ciências Sociais. Esse vínculo de ligação se faz de forma sintética e analítica, encontrando na geomorfologia as relações estreitas com outras especialidades, como a Sedimentologia, Pedologia, Geologia, Climatologia e a Biogeografia (PENTEADO, 1983).

A natureza é a base da existência da sociedade, sendo absolutamente necessário uma visão holística ao analisar-se o meio ambiente e a sociedade com fins de planejamento. Essa intrínseca relação pode facilmente ser observada junto à encosta Itagiba através da relação existente entre as características do manto pedológico, substrato geológico e a geomorfologia.

De acordo com Penteado (1983), são as características dos solos que comandam a erosão. A estrutura dos solos influi de maneira decisiva sobre o escoamento difuso. Os agregados, sendo pouco estáveis, a erosão os destrói; os poros são tapados em superfície pelos elementos finos liberados e a infiltração é entravada. A impermeabilização faz crescer o escoamento superficial e a evolução geomorfológica é modificada.

Assim, os processos erosivos estão correlacionados à geomorfologia e às características do manto pedológico tornando-se evidente a necessidade de aprofundamento desses estudos. Na encosta Itagiba há uma ocupação irregular de várias famílias, que habitam a faixa estreita sul da encosta ao lado da rua Itagiba. Neste sentido, ao analisar-se o aceleramento dos processos erosivos provocados pelo corte topográfico para a construção da linha férrea, os aspectos sociais farão parte de uma visão holística, pois as ações do homem sobre a natureza à transforma e a transformação da natureza implica nas mudanças das ações do homem.

A Geomorfologia é uma ciência que etimologicamente deriva de disciplinas que descreviam a Terra (orografia, corografia, fisiografia). Hutton 1726 (apud PENTEADO, 1983 p.1), deu as bases sobre as quais a geomorfologia seria construída, analisando a natureza de forma sistemática, coerente e racional onde a destruição levava à construção. Essa visão uniformitarista, desenvolvida mais tarde por Playfair 1802 e Lyell 1830 (apud PENTEADO, 1983 p.1), que considerava “o presente é a chave para o passado”, o qual estima-se que os processos que atuam hoje atuaram também no passado, na superfície da Terra, com a variável antrópica como diferencial no presente.

O entendimento das relações da sociedade com a natureza é o objeto de estudo das pesquisas ambientais, sendo dessa forma dialética e holística onde os aspectos culturais, sociais, econômicos e naturais são os elementos bases desse estudo (ROSS, 2003). Dessa forma, ao reavaliar os processos erosivos da encosta Itagiba face ao comportamento da precipitação meteórica no local, se está vinculando o passado geológico. Através da identificação das formações geológicas para interpretar os processos erosivos do presente e projetar o futuro por meio de tendências. Essas tendências podem servir de suporte técnico-científico para políticas públicas de planejamento. Nesse sentido é importante caracterizar a susceptibilidade e a fragilidade⁶ da encosta quanto aos processos erosivos acelerados, tendo em vista o risco da ocupação humana nesta área.

2.2 O substrato litológico da área de estudo

O afloramento do corte topográfico na Vila Kennedy exhibe o contato superior discordante que separa os lamitosossilíferos da Formação Santa Maria dos sedimentos flúvio-lacustres da Formação Botucatu caracterizada por uma superfície ondulada que marca o limite entre essas duas Formações que:

Da base do corte, no nível da entrada de ferro, até a cota de 126,5 m, ocorre lamito vermelho. O sedimento é fortemente fraturado ocorrendo normalmente calcita fibrosa cinza-escura ao longo dos planos de fratura; a extensão dos veios pode atingir até 0,5 cm por 1,0 cm de largura, dispondo-se os mesmos ao acaso dentro da massa do lamito. Em direção ao contato, podem-se observar algumas feições interessantes na parte superior do corpo do lamito, que termina por apresentar um nível irregular de uma lama orgânica (análises de combustão revelaram a presença de 5% da matéria orgânica) de cor preta, com espessura de até 0,1 m; segue-se um horizonte de lamito descorado com espessura média de 0,3 m, apresentando matizes de púrpura e cinza. O descoramento de sedimento foi certamente devido à redução por matéria orgânica, o que sugere a presença de um solo fóssil pré-Botucatu (BORTOLUZZI, 1974 p. 35).

A geologia de Santa Maria é conhecida, sendo talvez o principal trabalho o de Bortoluzzi (1974), que estudou e descreveu detalhadamente a região, identificando uma importante divisão geológica que caracteriza a área de estudo:

A Formação Santa Maria compreende, na área de sua “seção tipo”, uma fácies inferior e outra superior. A primeira (Fácies Passo das Tropas) é constituída por cerca de 25m de arenitos grosseiros e conglomeráticos, contendo bolsões de conglomerados à base de clastos de argila siltosa vermelho, com restos da flora *Dicroidium*; o horizonte arenoso com siltitos e folhetos vermelhos, com fósseis vegetais, conchostráceos e restos de peixes. A superior (Fácies Alemoa) é composta

⁶ Para ROSS (2003), a fragilidade do ambiente refere-se à característica genética deste e sua reação à intervenção humana, sendo necessário conhecer as características de um determinado recurso natural através do levantamento de informações sobre o solo, relevo, geologia, clima, flora, fauna e ações antrópicas aplicando essas variáveis de forma sistêmica.

por 50 a 55m de lamitos vermelhos, contendo concreções calcíferas e uma fauna reptiliana característica (BORTOLUZZI, 1974).

Segundo Bortoluzzi (1974) a Formação Santa Maria é subdividida nos Membros Passo das Tropas e Alemôa, com suas seções-tipo localizadas, respectivamente, na rodovia BR 392, junto ao arroio Passo das Tropas, no sentido Santa Maria para São Sepé.

A Formação Caturrita tem sua seção-tipo junta ao viaduto da rodovia Santa Maria – São Martinho da Serra, à margem da ferrovia e possui as seguintes características físicas:

O arenito é predominantemente fino a muito fino, incluindo porém grãos grosseiros a muito grosseiros que podem localmente tornar-se predominantes. A cor é em geral púrpura, passando a vermelho-claro ou amarelo-ferrugem quando alterado; as estratificações são cruzadas, do tipo produzido por correntes, e de pequena amplitude (micro-estratificação cruzada); localmente aparecem estratificações planares ou acanaladas. O arenito é muito feldspático, estando o mineral em adiantado estado de alteração, o que empresta à rocha um aspecto salpicado. Entremeados ao arenito aparecem lentes delgadas de clásticos mais finos, púrpura-escuros; raramente são mais extensas que 1,0 m, ainda que às vezes possam alcançar algumas dezenas de metros. Na parte superior deste corpo arenoso, já próximo ao topo do morro, aparecem blocos (com até 0,3 m na maior dimensão) de lamito, dispostos em níveis mais ou menos regulares. No horizonte de solo aparecem “in situ” num corte situado cerca de 500 m a oeste, da mesma forma que no afloramento de Grupo Escolar Dr. Xavier da Rocha. A sedimentação arenosa que acabamos de referir situada acima da superfície de discordância, pertence à parte basal da Formação Botucatu, na região de Santa Maria (BORTOLUZZI, 1974 p.35).

Já a Formação Santa Maria, com exceção do arenito basal que faz parte da base deste substrato rochoso foi definida por Bortoluzzi 1974 (apud MACIEL FILHO, 1990 p.9), como:

Constituída de uma seqüência de siltitos argilosos e arenitos argilosos, estratificados, de cores variadas, rosa avermelhado, níveis cinza esverdeados, lilás, mas de modo geral tendendo para o vermelho. O arenito basal mais este conjunto de siltitos e arenitos constituem o Membro Passo das Tropas. Concordante e gradualmente segue uma argila siltosa ou lamito, vermelha, maciça, com níveis mais claros de concreções calcárias. Este é o membro Alemoa, provavelmente um antigo loess. Os minerais argílicos são quase que exclusivamente esmectitas e portanto expansivas. O óxido de ferro limita um pouco a expansividade desse material. No mapa está representado como uma mesma unidade o membro superior e parte do inferior excluindo o arenito basal.

O processo de intemperização desse material segundo Maciel Filho (1990) é inicialmente físico. Fissuras colunares de base quadrada, hexagonal ou octogonal, além de fissuras octaédricas com mergulhos de 50 a 70 graus e fissuras horizontais se multiplicam à medida que se aproximam da superfície e conduzem a uma completa desagregação do material nos horizontes superficiais. Nesse sentido cabe salientar que a ocupação humana irregular da encosta por moradias merece uma atenção especial.

Este fissuramento na Formação Santa Maria é devido ao processo de inchamento e retração das argilas em função da variação da quantidade de água. É notável a abertura de algumas dessas fissuras que pode chegar a 1 cm ou mais, conforme o estado de ressecamento.

Ao redor de muitas dessas fendas nota-se uma descoloração do vermelho original para um cinza claro, devido a percolação de água que dissolve o ferro. Este processo generaliza-se na parte superior, dando um aspecto mosqueado ao solo saprolítico. O solo propriamente dito é geralmente raso, com cerca de 50 cm, do tipo podzólico bruno acinzentado. Isto se explica pela baixa permeabilidade da fração argila (MACIEL FILHO, 1990).

O comportamento hidrogeológico desta unidade, segundo Maciel Filho (1990), é praticamente impermeável. A parte superior funciona como capa impermeável enquanto os siltitos e arenitos argilosos da base são semi-permeáveis. Assim após as chuvas, pode haver alguma acumulação de água nas fissuras próximas ao solo. Isto não significa nível freático na formação, a qual, a rigor, não o possui, pois não é aquífero. Devido a impermeabilização, a água fica retida no solo superficial, mantendo-o geralmente muito úmido. A importância desta camada é funcionar como selo isolante entre o que está acima e a baixo dela.

As propriedades geotécnicas desta unidade podem ser classificadas como rocha evolutiva ou também solo pré-adensado. Nas escavações apresenta uma resistência considerável, exigindo até escarificação ou martelotes hidráulicos. Exposta ao tempo, vai se desagregando em pastilhas centimétricas ou milimétricas, as quais se destacam do maciço, devido ao processo de intemperização (MACIEL FILHO, 1990 p.11).

Ainda conforme Maciel Filho (1990), a resistência à erosão desta unidade é fraca. O solo, quando desprovido de vegetação, fica sujeito à formação de ravinas que se aprofundam rapidamente retirando até o solo saprolítico. Em dois anos, por exemplo, o fluxo em sarjetas de ruas do Distrito Industrial de Santa Maria, levou a um aprofundamento de aproximadamente 1m, em certos locais. O substrato rochoso exposto então passa a se desagregar permitindo o aprofundamento da ravina. Isto acontece por vezes em estradas abandonadas. “Esta é a unidade que apresenta maior número de cicatrizes de ravinamento” destaca o referido autor. Como fundação, destaca o autor que esta unidade apresenta dois aspectos: um com relação à capacidade de carga e outro com relação à expansividade. Uma boa capacidade de carga em terrenos altos é alcançada a pouca profundidade, pois os solos são rasos. Nos terrenos de baixadas, próximos aos rios ou sangas, devido à existência de colúvio argiloso e do teor de umidade das argilas, o solo apresenta baixa consistência até vários metros de profundidade e, conseqüentemente, baixa capacidade de carga, exigindo geralmente fundações profundas.

O outro aspecto relativo à expansividade atinge os terrenos altos principalmente e as partes baixas secundariamente. Maciel Filho; Osório 1981 (apud MACIEL FILHO, 1990) afirmam que esta unidade apresenta a maior incidência de problemas de fundação devido a existência de solos expansivos, refletidos na rachadura de residências. Estes terrenos exigem

reforços próprios para solos expansivos. Como aterros, os materiais desta formação não possuem boas condições de suporte, expansão alta, normalmente em torno de 3% a 4%. Não oferecem boas condições de compactação, entretanto podem ser utilizados para corpo de aterro. Os taludes dos aterros devem receber proteção vegetal para evitar erosão e principalmente desagregação superficial.

A Formação Caturrita, foi definida quanto ao “substrato rochoso” por Bortoluzzi 1974 (apud MACIEL FILHO, 1990), como Membro da Formação Botucatu. Jabur 1985 (apud MACIEL FILHO, 1990), elevou-a a Formação. Anteriormente Medeiros 1980 (apud Maciel Filho, 1990), em dissertação propusera essa elevação. Esta é constituída por camada de arenitos finos a médios, de cor rosa a cinza claro de composição essencialmente quartzosa e matriz argilosa, contendo em algumas partes considerável teor de feldspato, intercaladas freqüentemente por camadas ou lentes de siltitos de espessura menor e cor avermelhada. O arenito basal é constituído de espessas camadas de silito argiloso. A origem desta formação é fluvial. Pode haver uma camada de intraclastos de diferentes tamanhos e graus de esfericidade.

Esta unidade deve ser dividida em duas fácies: uma psamítica (arenosa) e outra pelítica (argilosa e síltica). Esta última assemelha-se ao lamito da Formação Santa Maria. A intemperização conforme Menegoto; Felske 1987 apud (MACIEL FILHO, 1990 p.11), é assim descrita:

A facilidade de infiltração permite que a intemperização avance com relativa rapidez. Esta manifesta-se principalmente pela descoloração de grãos de arenito. A descoloração se deve à remoção parcial do ferro que forma o cimento do arenito. As pontuações brancas são devidas a feldspatos alterados de maneira pseudomórfica. A desagregação é uma conseqüência da perda de cimentação. Paralelamente a alteração dos feldspatos também contribui para o amolecimento e desagregação da rocha. Na fácies pelíticas onde há menor penetração de água, a remoção do cimento progride pouco. A alteração, neste caso, apresenta-se sob a forma de fissuramento, originando fendas hexagonais, pequenas placas e pastilhas, semelhantes ao que ocorre na Formação Santa Maria.

O comportamento hidrogeológico da Formação Caturrita é complexo. Segundo Maciel Filho (1990) há aquíferos, camadas semi-permeáveis e argila expansiva que lhe diminui a permeabilidade sendo o arenito basal geralmente grosseiro e permeável. A alimentação dos aquíferos se processa, na área de exposição da formação, por infiltração através do solo residual ou através de solo coluvionar.

O solo podzólico vermelho amarelo permite uma infiltração maior e o podzólico bruno acinzentado uma infiltração menor. Há ainda uma recarga indireta por drenância descendente a partir do arenito Botucatu ou do Basalto. Como existe uma permeabilidade horizontal maior

no contato com o arenito Botucatu, há tendência a formação de fontes nesses locais. No contato inferior com a Formação Santa Maria há outra linha de fontes mais importantes que drenam o arenito basal (MACIEL FILHO, 1990).

A importância dos aquíferos desta formação deve ser diferenciada. Onde predomina a fácies siltico-argilosa, geralmente na parte superior, formam-se aquíferos suspensos ou cativos em arenitos com permeabilidade moderada a baixa. São responsáveis por surgências nas encostas. Isto explica facilmente o uso de captações por poços por moradores da Vila São Rafael ainda que possuam rede de água em suas residências. A vulnerabilidade à erosão da Formação Caturrita é proporcional à facilidade de infiltração. As propriedades geotécnicas, segundo Maciel Filho (1990 p.11), mostram que:

A resistência desses solos à erosão é normalmente baixa. A resistência do solo saprolítico é menor ainda, de tal forma que quando o solo superficial é retirado, seja pela erosão natural, seja pela ação humana para construção estradas, a erosão progride rapidamente formando sulcos no terreno. É notável em alguns locais, como no Quebra-Dente, o afloramento do arenito ou siltito, devido à erosão provocada pelo sistema de manutenção das estradas. Este fenômeno ocorre também em outros pontos sobre o arenito basal Santa Maria e sobre o Arenito Botucatu. Com relação a fundações, as camadas arenosas espessas não oferecem problemas especiais, bastando encontrar a profundidade em que tenha capacidade de carga. Os solos argilosos ou siltico argilosos ou arenosos sobre camadas argilosas a pouca profundidade apresentam problemas de expansão semelhantes ao da Formação Santa Maria, porém com menor intensidade. Deve-se lembrar que há uma gradação nesses solos, desde argilas siltosas (poucos) até areias.

O substrato rochoso pode ser classificado como rocha branda ou solo, podendo as argilas ser consideradas como duras fissuradas (*stiff fissured clays*). Em alguns trechos onde esse substrato aflora pode se ver que há dificuldade de escavar o terreno. Esse material, se imerso na água após secagem, desagrega-se totalmente permitindo classificá-lo como solo em termos mecânicos (MACIEL FILHO, 1990).

A encosta Itagiba após ter sido alterada para o traçado da linha férrea, ficou exposta para a ação intempélica apresentando uma inclinação de 90°. Assim com a ocupação antrópica sobre a encosta há aproximadamente 22 anos, ficou evidente que o substrato rochoso mesmo exposto é resistente a escorregamento. Neste sentido cabe salientar Maciel Filho (1990 p.12), que diz:

Os taludes abertos no solo, saprolítico ou substrato rochoso desta unidade, com inclinações 1H:1V ou 1H:1,5V ou mesmo maiores, são estáveis a escorregamentos. Os siltitos argilosos apresentam o fenômeno de desagregação em pastilhas e queda de detritos que se acumulam nas sarjetas. Este fenômeno faz o talude recuar, colocando em balanço camadas arenosas. Em conseqüência, cortes maiores como na BR-158 apresentam o fenômeno de queda de blocos de rocha por ruptura das partes em balanço. O mesmo ocorre em taludes que expõem o contato Santa Maria -Caturrita.

Isto explica a não ocorrência de deslizamento nesta parte da encosta Itagiba. Sendo uma característica da parte leste da encosta onde há ocorrência da Formação Santa Maria – Membro Alemoa de constituição silto-argilosa cacixa.

Além da importância quanto aos aspectos erosivos das encostas é importante salientar que esta área urbana de Santa Maria contém as “seções-tipo” das Formações Santa Maria e Caturrita, constituindo também um importante registro para os estudos da estratigrafia do Triássico Sul-brasileiro.

Segundo Da-Rosa (2004, p. 79), é necessário esclarecer que:

O arcabouço litoestratigráfico mais utilizado para a região central do Estado do Rio Grande do Sul é proposto por Andreis *et al.* (1980), que sugeriram que os pacotes de litologias predominantemente pelíticas aflorantes na área fossem incluídos na Formação Santa Maria, limitados na base pelos arenitos finos da Formação Rio do Rastro, e, no topo, pelos arenitos de origem eólica da Formação Botucatu. Esta sucessão sedimentar recebe o nome de Grupo Rosário do Sul, dividida nas Formações Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita. Trabalhos mais recentes separam o registro litológico em seqüências sedimentares: I, II, III e IV segundo Faccini (2000), neopermiana-Eotriássica, Meso a Neotriássica, Rética (SHERER, 2003).

A Formação Caturrita possui alguns afloramentos com lenhos permineralizados (madeira pedra), ao norte da malha urbana de Santa Maria (Bairro Itararé, Vila Kennedy) e poucas exposições com vertebrados fósseis. (AZEVEDO; DALMOLIM, 2004; DA-ROSA, 1998).

2.3 Características climáticas

Quanto ao clima, os elementos mais importantes para a sucessão de tempo no sul do Brasil são advindos das várias massas de ar que atuam na circulação geral da atmosfera. De acordo com Monteiro 1980 (apud OLIVEIRA; RIBEIRO, 1996), sabe-se que são três massas de ar que atuam no sul do país de forma intensa: “a Massa Tropical Atlântica, a Massa Polar Atlântica e a Massa Tropical Continental”.

A Massa Tropical Atlântica é uma massa de ar quente e úmida⁷ que penetra no interior do continente com atividades no leste, sul e centro-oeste. Atravessa a região em correntes de leste e nordeste e seus efeitos dependem da época do ano, sendo mais comum o favorecimento da instabilidade do tempo. A Massa Polar Atlântica é uma massa de ar fria⁸ e úmida⁹ que se forma no sul do continente americano, e quando chega ao continente se divide em duas massas devido ao obstáculo orográfico da cordilheira dos Andes: Massa Polar

⁷ Devido à formação do seu centro de ação sob o oceano.

⁸ Devida à alta latitude onde forma-se seu centro de ação.

⁹ Devido à formação do centro de ação da massa sob o oceano e ao contato no deslocamento até chegar ao continente americano.

Atlântica e Massa Polar Pacífica, tendo participação intensa na circulação regional. É atuante o ano inteiro, mas a intensidade com que atua é maior no inverno. A Massa Tropical Continental possui maior atuação no verão, devido a alta temperatura na Depressão do Chaco¹⁰. Sua incursão no sul do Brasil provoca fortes ondas de calor, e geralmente precede a Massa Polar Atlântica, ocorrendo instabilidade no tempo. O clima na região de Santa Maria corresponde ao clima mesotérmico brando Cfa (Nimer, 1989) apresentando, segundo Sartori (2003) como características, invernos frios com temperatura média do mês mais frio entre 10°C e 15°C e média das mínimas entre 6°C e 10°C, devido a atuação do Anticiclone Polar Atlântico. Os verões são quentes com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, média das máximas variando entre 28°C e 32°C, provocadas pelo superaquecimento da Massa Polar Velha ou pela Massa Tropical Atlântica ou ainda Massa Tropical Continental. As temperaturas médias anuais situam-se entre 18°C e 20°C.

Sartori (2003), observa que as precipitações meteóricas são regulares durante todo o ano, não havendo estação seca, com índices pluviométricos anuais entre 1500 mm e 1600 mm, sendo os meses de setembro e outubro os mais chuvosos e, o de novembro, o mês que menos chove. Os ventos predominantes são de leste, influenciados pela direção geral do Rebordo do Planalto (E-W), que provoca a inflexão dos ventos S e SE, canalizando-os ao longo da Depressão Periférica Sul-riograndense. Os ventos mais fortes e quentes são advindos do quadrante N (Vento Norte), que ocorre mais no inverno e início da primavera, sendo que algumas rajadas podem atingir os 100 Km/h. Os ventos mais frios são os de S e SW e ocorrem quando a Massa Polar Atlântica tem trajetória pelo interior do continente, sendo esse vento chamado popularmente de Vento Mínuano. Os nevoeiros acontecem com maior frequência de maio a setembro na Depressão, e no Rebordo do Planalto há a formação dos nevoeiros de encostas influenciados pela presença de frentes frias.

2.4 Aspectos pedológicos

O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal da Terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir. Nessa cobertura, incluem-se não só as culturas como, também, todos os tipos de árvores, gramíneas, raízes e herbáceas que podem ser utilizadas pelo homem. O solo, além da grande superfície que ocupa no globo, é uma das maiores fontes de energia para a grande trama da vida que, geração após geração de homens, plantas e animais, atua na Terra (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

¹⁰ Região onde localiza-se a massa de ar continentalizada (Massa Tropical Continental).

Os solos possuem um papel muito importante dentro do ciclo hidrológico, pois, os mesmos funcionam como reservatório natural de águas para as plantas, e atuando também como agente regulador do escoamento superficial e subsuperficial. As propriedades dos solos definem a quantidade de chuva que infiltram e que escoam na superfície do terreno. “Considerado que a trajetória da água sobre a superfície é mais rápida, tornando-se cada vez mais lenta em profundidade temporal e as descargas-máximas, tanto em superfície como em subsuperfície” (COELHO NETTO, 1994).

Os fatores que influenciam nos processos erosivos não atuam da mesma forma em todos os solos. Os atributos físicos, tais como estrutura, textura, densidade (γ_d), porosidade (e), índice de vazios máximo ($e_{m\acute{a}x}$), índice de vazios mínimo ($e_{m\acute{i}n}$), grau de capacidade (GC), limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), limite de contração (LC), assim como outras características químicas e biológicas do solo, respondem de diferentes maneiras na erosão do solo.

As propriedades do solo são os principais fatores controladores da erosão e determinam a resistência à ação erosiva, influenciando na infiltração de água no perfil, o que vai afetar o escoamento superficial. Essas águas saturam o solo e iniciam escoamento, por isso o entendimento desses fatores é de fundamental interesse para o grau de resistência. Desta forma é essencial conhecer esses fatores para o entendimento do modelado do relevo.

Ainda segundo Bertoni; Lombardi Neto (1985), o solo é definido como a “coleção de corpos naturais ocorrendo na superfície da terra, contendo matéria viva e suportando ou sendo capaz de suportar plantas”. Essa tênue camada é composta por partículas de rochas em diferentes estádios de desagregação, conteúdo de água e de substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição.

A EMBRAPA (1999) define solo como:

Uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contem matéria viva e podem ser vegetados na natureza, onde ocorrem. Ocasionalmente podem ter sido modificados por atividades humanas.

Segundo Azevedo; Dalmolim (2004), o solo é um sistema composto por matéria no estado sólido, líquido e gasoso, chamadas fases. A fase gasosa do solo, ou atmosfera do solo, é diferente da atmosfera terrestre possuindo maior concentração de gás carbônico (até 40 vezes mais), devido à respiração dos microorganismos e das raízes, e menos oxigênio.

Ainda segundo Azevedo; Dalmolim (2004 p.12) cabe salientar que:

A fase líquida do solo representa um reservatório de água e nutrientes nela dissolvidos que podem ser utilizados pelas plantas e pelos organismos que vivem no

solo, e também é meio de reações químicas. A fase sólida do solo pode ser classificada quanto à sua natureza, isto é, pode ser mineral ou orgânica, e quanto ao tamanho às partículas. Na maioria dos solos, as partículas minerais (vindas diretamente das rochas) predominam sobre as partículas orgânicas (resultado da transformação de restos vegetais e animais). A fase sólida é constituída por partículas minerais e orgânicas. Estas partículas possuem vários tamanhos. A distribuição do tamanho de partículas do solo é quanto da massa seca do solo se encontra em cada intervalo de tamanho.

Os fatores de formação do solo, incluem também as forças físicas que resultam na desintegração das rochas, as reações químicas que alteram a composição das rochas e dos minerais, e as forças biológicas que resultam em uma intensificação das forças físicas e químicas. Há centenas de tipos de rochas e minerais com diferente composição química, diferentes graus de resistência ao intemperismo e diferentes propriedades físicas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Ainda segundo Bertoni; Lombardi Neto (1985 p.37) cabe salientar que a formação do solo é resultado da ação de diferentes fatores como:

O material original, o clima, a atividade biológica dos organismos vivos, a topografia e o tempo. O material original tem uma influência passiva nessa formação. O clima, representado pela chuva e temperatura, influi principalmente na distribuição variada dos elementos solúveis e na velocidade das reações químicas. A principal ação dos microorganismos no solo é decompor-lhe os restos vegetais. A topografia influi pelo movimento transversal e lateral da água. A formação de um solo depende, naturalmente, do espaço de tempo em que atuam os diferentes fatores.

Outro aspecto importante a ser considerado é a característica comum de todos os solos de desenvolver diferentes camadas aproximadamente horizontais denominadas horizontes. É preciso salientar que uma seção vertical do solo, exposto, é denominada perfil. Sendo que o perfil do solo exprime a ação conjunta dos vários fatores, e, a seqüência de horizontes, caracteriza o solo e determina-lhe suas principais características físicas. “O perfil é a chave para a identificação das séries de solo” (AZEVEDO; DALMOLIM, 2004).

O clima tem notável efeito nas características do solo. Assim, o intemperismo é mais rápido e a lavagem dos solos mais drástica nos climas quentes e úmidos. Nos climas frios, o intemperismo é mais lento e o teor de matéria orgânica, em geral, mais alto porque durante o inverno, a decomposição da matéria orgânica é reduzida. A quantidade de precipitação meteórica em clima seco determina a profundidade em que normalmente a umidade penetra no solo; a profundidade de penetração da umidade pode limitar a profundidade de penetração das raízes e a acumulação da matéria orgânica (LEINZ; AMARAL, 2003).

A topografia do terreno é talvez uma das principais características do solo a considerar no planejamento ambiental. Terras planas são em geral pobremente drenadas, quase não há escoamento de enxurrada, e a infiltração pode ser tão lenta que o cultivo de plantas com

sucesso é problemático. Em terrenos de topografia ondulada ou montanhosa, a enxurrada que se forma escorre com velocidade, ocasionando a erosão e chegando, muitas vezes, a formar grotas, prejudicando a terras agrícolas (BIGARELLA, 2003).

2.4.1 Propriedades físicas do solo

As principais propriedades físicas do solo conforme Azevedo; Dalmolim (2004) são: a estrutura, a textura, a porosidade, a densidade do solo e a densidade de partículas. Nesse sentido cabe salientar que:

A estrutura do solo pode ser definida então como o arranjo das partículas areia, silte e argila formando os agregados do solo. Os agregados do solo, também denominados torrões, pedos ou unidades estruturais, apresentam-se com diferenças quanto à forma, resistência (estabilidade) e tamanho. Características importantes como o fluxo de água no perfil, aeração e densidade do solo são influenciadas pela estrutura (AZEVEDO; DALMOLIM, 2004 p. 21).

A estrutura do solo influencia o desenvolvimento das plantas de vários modos. A estrutura regula a aeração, isto é, a circulação de ar, o suprimento de água (armazenamento e circulação), penetração das raízes, disponibilidade de nutrientes, atividade micro e microbiológica (bactérias, fungos, actinomicetos, minhocas) e temperatura do solo. Capacidade de ar é a quantidade de ar retida quando o solo se acha em capacidade de campo, variando em volume ao redor de 40% para a areia, 20% para o silte e 10% para a argila. O ar e o teor de água na forma de umidade são retidos nos poros (BIGARELLA, 2003).

As propriedades físicas do solo são fundamentais para a compreensão dos processos erosivos e portanto não podem passar despercebidos no estudo da topossequência na encosta Itagiba. Neste sentido cabe salientar GUERRA; CUNHA (2003, p.177) que dizem:

A estabilidade dos agregados tem papel importante na erodibilidade dos solos. A infiltração ocorre mais rapidamente se o solo possuir agregados grandes e estáveis, reduzindo, dessa forma, as taxas de *runoff*. À medida que os agregados são destruídos e a superfície do solo se torna selada, as crostas podem oferecer maior resistência ao *splash*. Mas, por outro lado, a remoção (*detachment*) de sedimentos para dentro do fluxo de água pode crescer, à medida que aumenta a velocidade do *runoff*. A única situação em que o solo selado pelas crostas não proporciona aumento do *runoff* é quando a superfície do solo se torna tão seca que se formam fendas, e, assim, a infiltração é maior do que o escoamento.

Essa formação dos agregados do solo depende de fatores que promovem a aproximação das frações de areia, silte e argila, havendo um somatório de forças físico-químicas que os mantém unidos, se e somente se, as forças de aproximação forem superiores as forças que tendem a separá-las. Nesse sentido cabe salientar Azevedo; Dalmolim (2004, p.21):

A formação dos agregados no solo depende basicamente dos fatores que promovem a aproximação das partículas de areia, silte e argila e dos fatores que irão manter estas partículas unidas contra outras forças que tendem a separá-las. Entre os fatores que promovem a aproximação das partículas destaca-se a floculação das argilas, que é um processo físico-químico, dependente do pH e dos cátions presentes na solução do solo e adsorvidos.

Processos físicos como a desidratação e a pressão exercida pelas raízes também influenciam na formação dos agregados do solo. Os organismos presentes no solo também contribuem para a gênese de agregado. Uma vez formado, é necessário que os agregados permaneçam estáveis, sendo que entre os principais agentes que dão estabilidade aos agregados destacam-se os argilomineirais, óxidos de ferro e de alumínio e a matéria orgânica.

Entre estes agregados ocorrem espaços vazios denominados poros, onde se alojam a solução do solo e o ar. Sendo estes espaços porosos de grande importância assim como a fração sólida do solo. Pois os poros do solo apresentam os mais variados tamanhos, formas e tortuosidade e é por eles que circulam o ar e a água. Portanto, a porosidade do solo se refere ao volume de espaços ocupados por fluidos (gases e líquidos) existentes no solo. Kohnke 1945 (apud BIGARELLA, 2003), argumenta que, a estrutura do solo pode, igualmente, ser definida como “o arranjo dos pequenos, médios e grandes poros do solo num modelo estrutural”.

A textura do solo refere-se a proporção das frações de areia, silte e argila encontrada no solo. Segundo Azevedo; Dalmolim (2004), o tamanho das partículas é um fator que influi na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Assim, por exemplo, o solo arenoso, com espaços porosos grandes, durante uma chuva de pouca intensidade, pode absorver toda a água, não havendo, portanto, nenhum dano; entretanto, como possui baixa proporção de partículas argilosas que atuam como uma ligação entre as partículas grandes, pequena quantidade de enxurrada que escorre na sua superfície pode arrastar grande quantidade de solo. Já no solo argiloso, com espaços porosos e bem menores, a penetração da água é mais lenta, escorrendo mais facilmente em superfície em eventos de precipitação intensos. A força de coesão das partículas é maior, o que faz aumentar a resistência à erosão.

A densidade do solo é definida segundo Azevedo; Dalmolim (2004) como “o peso seco de um volume determinado do solo”, portanto, leva em conta os poros do solo, sendo por isto, utilizada para avaliar o impacto de modificações no ambiente sobre o solo. A densidade do solo está relacionada com a estrutura, já que os poros do solo são espaços vazios dentro e entre os agregados. Portanto, a degradação da estrutura do solo leva a um aumento da densidade do solo.

Ainda segundo Azevedo; Dalmolim (2004, p.32) cabe salientar que há diferença entre a densidade do solo e a densidade de partículas do solo, sendo esta última caracterizada como:

É a densidade da fase sólida do solo. Portanto, não leva em conta a porosidade do solo. A densidade de partículas depende apenas da composição do solo, que é uma propriedade bastante estável. As partículas minerais do solo levam muito tempo para se modificarem (milhares de anos) exceto em alguns casos especiais (minerais muito solúveis como carbonatos e sulfatos). Já as partículas orgânicas podem se alterar mais rapidamente, em décadas ou séculos. Conceitualmente, a densidade de partículas (D_p) é a média ponderada das densidades das partículas do solo. Em geral, as partículas minerais do solo são constituídas de silicatos de alumínio e óxidos de ferro e alumínio.

A densidade de partículas é uma propriedade muito estável do solo. A menos que as condições ambientais mudem drasticamente, ou materiais sejam adicionados ou retirados do solo, ela deve manter-se com pequenas variações por décadas ou séculos (VARGAS, 1977).

2.4.2 Morfologia e classificação do solo

Os solos são formados sob variadas condições climáticas, diferentes substratos geológicos, tendo influência do relevo e dos organismos, resultando em solos com características muito diferentes entre si. Assim, dependendo do ambiente encontra-se os solos rasos, solos profundos, solos arenosos, argilosos e os litossolos não desenvolvidos.

As características morfológicas do solo são aquelas visíveis a olho nu e perceptíveis por manipulação. Sua importância deve-se a correlação que há entre as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo. Assim pode-se interpretar as características morfológicas do solo para inferir características que não pode-se enxergar no campo (AZEVEDO; DALMOLIM, 2004).

A caracterização morfológica é realizada no perfil¹¹ do solo aproveitando o corte de uma estrada ou a abertura de uma trincheira, sendo descritos após a identificação dos horizontes as seguintes características morfológicas: espessura, cor, textura, estrutura, consistência, porosidade, presença de raízes e transição entre os horizontes (Azevedo; Dalmolim, 2004).

A cor é uma das propriedades do solo muito úteis para sua avaliação e identificação e é medida por comparação visual utilizando a carta de Munsell. A maioria dos sistemas de classificação de solos considera a cor para distinção de classes. A importância da cor reside no fato de que através dela pode-se inferir sobre a ocorrência de determinados processos pedogenéticos e avaliar características importantes do solo.

¹¹Segundo AZEVEDO; DALMOLIM (2004 p.40) o perfil do solo é uma seção vertical que se estende desde a superfície até o limite inferior considerado não-solo, onde geralmente se observam neste corte uma sucessão de camadas frequentemente paralelas à superfície, resultantes da ação dos processos pedogenéticos.

Bertoni; Lombardi Neto (1985) afirmam que as variações de cor são resultantes da topografia e drenagem natural. “Terras altas, bem drenadas, são de cor clara; terras de drenagem imperfeita são de cor e topografia intermediárias, e terras de baixada, pobremente drenadas, são escuras”. Esse grupamento em cores, que também reflete o teor de matéria orgânica, pode ser usado extensivamente como base para o planejamento de rotação de culturas e recomendações de adubação.

Segundo Azevedo; Dalmolim (2004, p.46) os principais agentes responsáveis pela cor do solo são:

A matéria orgânica, que confere coloração escura e os óxidos de ferro que conferem cores avermelhadas ou amareladas ao solo. A presença de cor preta, geralmente revestindo os agregados do solo, é devido à presença de óxidos de manganês. Carbonatos de cálcio (exemplo da Formação Santa Maria – Membro Alemoa) e de magnésio, típicos de regiões áridas, propiciam coloração esbranquiçada e/ou avermelhada (salmão) ao solo.

A cor também indica a condição de drenagem do solo. Os solos que apresentam coloração avermelhada ou vermelho-amarelada são bem drenados¹². Estas cores segundo Azevedo; Dalmolim (2004) são devidas à presença dos dois principais óxidos de ferro que ocorrem no solo: a hematita (cor vermelha, do grego *haima* = sangue / Fe^3) e goethita (cor amarela). A presença de cores acinzentadas (gleizadas/ Fe^2) é devido à ausência de ferro oxidado, indicando condições de excesso de água, onde o ambiente é de redução a maior parte do ano.

2.5 Erosão

A erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui, sem dúvida, a principal causa da degradação acelerada das terras. As enxurradas, provenientes das chuvas que não ficaram retidas sobre a superfície, ou não infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução. Esse transporte de partículas do solo se verifica, também, por ação do vento, mas se faz presente com maior intensidade em climas áridos. Em climas úmidos a água é o mais importante agente de erosão: chuva, córregos, rios, todos transportam sedimentos. De fato, “onde há água em movimento, ela está erodindo os seus limites” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Os processos erosivos preocupam o homem desde o advento da agricultura mecanizada. Quando mudou do nomadismo para um sistema sedentário o homem teve

¹² A água circula facilmente pelo perfil do solo.

necessidade de intensificar o uso do solo, levando à destruição a cobertura de sua superfície e acarretando a exposição do solo às forças erosivas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

O conhecimento dos processos erosivos foi lento e gradual. Neste contexto cabe salientar que:

Somente há cerca de trinta anos descobriu-se que o impacto da gota da chuva em um terreno descoberto, e o resultante desprendimento das partículas de solo é a principal causa da erosão do solo pela água. O escoamento da enxurrada era apenas um parceiro atuante no problema. Ao mesmo tempo, ficou evidente que a cobertura vegetal, fornecida abundantemente pela natureza em todos os lugares, era, ao contrário, o parceiro nas medidas de proteção do solo contra a força de impacto das gotas de chuva. A descoberta do efeito do impacto das gotas de chuva no processo de erosão pode explicar o fracasso das primeiras tentativas de proteger o solo. Uma aparente inocente gota de chuva é mais importante no processo de erosão do solo que o seu simples fornecimento de água para formar a enxurrada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985 p.24).

A erosão do solo, qualquer que seja a sua causa, tem como consequência o esgotamento da terra tornando-a gradualmente inabitável caso o homem não possua técnicas que possibilitem a redução da degradação e a recuperação do sistema degradado.

2.5.1 As variáveis físico-químicas do solo no contexto erosivo.

De acordo com Bertoni; Lombardi Neto (1985) a erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva, a declividade e comprimento do declive do terreno e a capacidade que tem o solo de absorver água, e por forças passivas, como a resistência que exerce o solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal. A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade e energia variáveis, dependendo do seu diâmetro, e pelo escoamento da enxurrada. Assim é preciso salientar que a erosão não é a mesma em todos os solos. As propriedades físicas¹³, principalmente a textura, a estrutura, a permeabilidade e densidade, assim como as características químicas e biológicas do solo exercem diferentes influências na erosão.

A textura afeta a erosão, porque algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras. Farmer 1973 (apud BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985) reportam que a remoção de sedimentos é maior na fração de areia média (0,5 - 0,250) e diminui nas partículas maiores ou menores, cabendo salientar também que:

Estudos de Bryan (1974) concordam com os de Farmer (1973), pois indicam a importância do teor de areia na remoção de sedimentos, ao se correlacionar significativamente com a perda de solo. Poesen (1981) também observou que as areias apresentam os maiores índices de erodibilidade. O teor de silte (0,062 - 0,002)

¹³ As condições físicas e químicas, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas, caracterizam o comportamento de cada solo exposto a condições semelhantes de topografia, chuva e cobertura vegetal.

também afeta a erodibilidade dos solos, e isso tem sido demonstrado em vários trabalhos. Wischmeier e Mannering (1969), De Ploey (1985), Evans (1990), Mutter e Burnham (1990), Guerra (1991) demonstram que, quanto maior o teor de silte, maior a susceptibilidade dos solos em serem erodidos. Apesar do reconhecimento da importância da textura na erodibilidade do solo, as porcentagens de areia, silte e argila devem ser levadas em consideração em conjunto com outras propriedades, porque a agregação dessas frações granulométricas é afetada por outros elementos, como o teor de matéria orgânica (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985 p.48).

A textura é uma característica bastante estável e de grande importância na identificação, descrição e classificação do solo e principalmente pela correlação com a superfície específica.

As frações do solo de acordo com as escalas de Atterberg e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) podem ser divididas em três frações: areia, silte e argila. A areia representa as partículas unitárias do solo com diâmetro superior a do silte (0,02 ou 0,05mm) até 2,0mm, tamanho este limite da chamada terra fina. Pelo seu tamanho, a areia pode ser obtida por peneiramento, em amostra de solo totalmente dispersa sendo composta de fragmentos de rocha ou de minerais primários, como o quartzo. Apresentam tamanhos relativamente grandes de suas partículas e por isso baixa superfície específica, além de plasticidade pequena ou nula e nenhuma capacidade de retenção de água (JORGE, 1989).

O silte refere-se às partículas minerais individuais de diâmetro superior ao da argila (0,002mm) e inferior ao da areia fina (0,02mm) na classificação de Atterberg, ou da areia muito fina (0,05mm) na classificação do USDA. Embora as propriedades físico-químicas da fração silte sejam intermediárias entre as frações da argila e areia, sob o prisma mineralógico, o silte se assemelha à areia por ser constituído principalmente de minerais primários. Em virtude de apresentar uma superfície específica maior que a areia, o silte apresenta maior atividade química, maior plasticidade e coesão. Para a maioria dos solos a relação silte-argila diminui exponencialmente com a profundidade (JORGE, 1989).

A argila refere-se à fração mineral do solo com grande atividade superficial e com o diâmetro das partículas individuais menores que 0,002 milímetros (2 micrômetros). Kohnke 1968 (apud JORGE, 1989), apresenta uma subdivisão da argila, utilizada em alguns países da Europa, incluindo a argila grossa (0,002 a 0,006mm), argila média (0,006 a 0,0002mm) e argila fina ou coloidal com diâmetro abaixo de 0,0002mm, sendo o tamanho coloidal intermediário entre o tamanho de partículas visível no microscópio óptico e as moléculas invisíveis.

Pequenas quantidades de argila são formadas no solo sendo que a argila presente provém na quase totalidade do material original. Sua forma, ao contrário das areias e do silte,

não é esférica ou cúbica, mas laminada, sendo constituída de minerais cristalinos (VARGAS, 1977).

Baver 1940 (apud JORGE, 1989), salienta que para compreender o comportamento físico da argila é preciso ter uma idéia de sua constituição química e mineralógica. Pela análise química verifica-se que a fração argila é composta principalmente de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , O_2 e H_2O , juntamente com quantidades variáveis de MgO , CaO , K_2O , Na_2O e P_2O_5 .

Pauling 1930 (apud JORGE, 1989), demonstrou que as micas e outros minerais de argila são constituídos de unidades de alumina e sílica havendo dois grupos de argilo-minerais; do tipo 1:1 (grupo da caulinita, incluindo haloisita, metalhoisita, caulinita, nacrita, dicrita e outras) e do tipo 2:1 (grupo da montmorilonita, incluindo a pirofilita, montmorilonita, beidelita, nontronita e outros).

É importante salientar a propriedade que as argilas do tipo 2:1, do grupo montmorilonita possuem de se contrair e expandir. A água adentra entre as camadas dos íons que formam a rede cristalina, causando um aumento no volume. Dependendo da valência e do tamanho dos cátions tocáveis associados, assim como o tipo e tamanho das partículas dos minerais de argila, a expansão pode ser muito grande. Assim, as argilas sódicas apresentam de forma mais marcante a contração e expansão que as argilas cálcicas (JORGE, 1989).

A estrutura, ou seja, o modo como se arranjam as partículas de solo, também é de grande importância na quantidade de solo arrastado pela erosão. Segundo Jorge (1989), há dois aspectos de estrutura na quantidade de solo arrastado pela erosão: (a) a propriedade físico-química da argila que faz com que os agregados permaneçam estáveis em presença da água, e (b) a propriedade biológica causada pela abundância de matéria orgânica em estado de ativa decomposição. Os agregados dos solos com argila montmorilonítica são pouco estáveis em água, e os com argila caulinitica são mais estáveis, pois a maior estabilidade dos agregados condiciona menos enxurrada e conseqüentemente menos erosão.

As propriedades biológicas na estabilidade dos agregados são reconhecidas, pois a diminuição da erosão pela estabilidade dos agregados deve-se ao efeito de coesão das partículas proporcionando pelos produtos em decomposição (JORGE, 1989).

Ainda segundo Jorge (1989), o conteúdo de matéria orgânica, a profundidade do solo e as características do subsolo também exercem efeito nas perdas por erosão. A quantidade de matéria orgânica no solo é de grande importância no controle da erosão. Nos solos argilosos, modifica-lhes a estrutura, melhorando as condições de arejamento e de retenção de água, o que é explicado pelas expansões e contrações alternadas que redundam de seu umedecimento e secamento sucessivos. Já nos solos arenosos, a aglutinação das partículas, firmando a

estrutura e diminuindo o tamanho dos poros, aumenta a capacidade de retenção de água. A matéria orgânica retém de duas a três vezes o seu peso em água, aumentando assim a infiltração, do que resulta uma diminuição nas perdas por erosão. A profundidade do solo e as características do subsolo contribuem para a capacidade de armazenamento da água que nesse mesmo solo com um subsolo mais compacto e pouco permeável.

2.5.2 A relação entre a infiltração e a precipitação nos processos erosivos

Para que se possam entender os processos erosivos, deve-se considerar o maior agente erosivo de clima úmido que é a água. Assim, tem-se que considerar primeiramente que a água chega ao solo por precipitação meteórica e ao atingir a superfície do solo, a água pode infiltrar ou escorrer. A água que infiltra no solo pode ser armazenada nos microporos, e o excesso, geralmente nos macroporos, continua infiltrando em direção ao lençol freático. A água que escorre superficialmente pode se empoeçar em posições mais baixas do relevo, ou atingir os rios e lagos (AZEVEDO; DALMOLIM, 2004).

A água da chuva, ao atingir a superfície terrestre, pode escoar na superfície em subsuperfície e subterraneamente. O predomínio e a importância relativa desses tipos de escoamento dependem da combinação de diversos fatores, em especial as condições climáticas, as características morfológicas, as condições bióticas e edafológicas e as atividades antrópicas Popolizio 1975 (apud BIGARELLA, 2003).

A relação entre a água que se infiltra e aquela que escorre na vertente obedece a lei fundamental da infiltração, de acordo com a seguinte expressão de Fournier 1960 (apud BIGARELLA, 2003 p.890):

$$V = K (H+L) / L \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde: L é a altura da coluna de terra, H é a espessura de água, V é a velocidade de penetração da água e K é a característica hidrodinâmica do solo.

Segundo Bigarella (2003 p.890) cabe salientar que:

Quando a chuva cai sobre um solo seco, no início do fenômeno não há mais do que uma pequena altura de terra molhada sotoposta a certa altura de água. A relação (H+L) é, então, grande. Logo em seguida, a água penetra rapidamente no solo e o valor de [L] aumenta. Como [H] pouco varia, a relação tende para 1, e [V] para [K]. O valor de [K] constitui uma característica hidrodinâmica do solo que condiciona a repartição das águas pluviais de infiltração e de escoamento. Se o coeficiente [K] permite a todo o momento a infiltração de uma quantidade de água superior ou igual àquela fornecida pela chuva, não haverá escoamento superficial sobre o solo. Caso contrário formar-se-á uma lâmina de água que escorrerá vertente abaixo, dando início ao transporte de detritos terrosos (Fournier, 1960). O valor do coeficiente [K] depende da estrutura do solo, sendo responsável pelo escoamento. Quanto mais

poroso um solo, tanto maior o valor de [K], e dessa forma mais intensas devem ser as chuvas para que haja escoamento superficial. Quando, ao contrário, a estrutura e a porosidade do solo não são boas, o valor de [K] é baixo e o escoamento se produz facilmente. A permeabilidade em subsuperfície também influi no início do escoamento. Um horizonte com baixa permeabilidade poderá diminuir ou interromper o movimento descendente da água saturando o solo e dando início ao escoamento.

O volume e a velocidade da enxurrada variam com a intensidade da chuva, com a declividade e comprimento do declive do terreno e com a capacidade do solo em absorver mais ou menos água. A resistência que o solo exerce a ação erosiva da água está determinada por diversas de suas características ou propriedades físicas e químicas, e pela natureza e quantidade do seu revestimento vegetal (BIGARELLA, 2003).

A chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. Pois o volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade¹⁴, duração¹⁵ e frequência¹⁶ da chuva. Neste contexto cabe salientar que:

A duração de chuva é o complemento da intensidade; a combinação dos dois determina a chuva total. Quando inicia uma chuva de intensidade uniforme, a água se infiltra por um tempo mais ou menos longo, dependendo das condições de umidade do solo e da sua intensidade. Depois, começa a enxurrada, que vai aumentando de volume em proporções cada vez menores até alcançar uma quantidade estável. A frequência das chuvas é um fator que também influi nas perdas de terra pela erosão. Se os intervalos entre elas são curtos, o teor de umidade do solo é alto, e assim as enxurradas são mais volumosas, mesmo com chuvas de menor intensidade. Quando os intervalos são maiores, o solo está seco, e não deverá haver enxurrada em chuvas de baixa intensidade; em casos de longa estiagem, porém, a vegetação pode sofrer por falta de umidade e reduzir, assim, a proteção natural do terreno (BIGARELLA, 2003 p.963).

Assim, durante uma chuva muito forte, milhares de milhões de gotas de chuva atingem o terreno, desprendendo as partículas da massa de solo promovendo o processo erosivo de três formas distintas: (a) desprendem partículas de solo no local que sofre o impacto (b) transportam, por salpicamento, as partículas desprendidas (c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água superficial (BIGARELLA, 2003).

A energia cinética¹⁷(Ec) de uma gota de chuva esta sujeita a resistividade do ar assim, as gotas de chuva na queda podem alcançar uma velocidade máxima ou “velocidade terminal”, a partir da qual o movimento é uniforme; essa velocidade constante é atingida

¹⁴ A intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão. Dados de chuva em totais ou médias mensais e anuais pouco significam em relação à erosão. (Bigarella, 2003 p. 963).

¹⁵ A duração de chuva é o complemento da intensidade; a combinação dos dois determina a chuva total. Quando inicia uma chuva de intensidade uniforme, a água se infiltra por um período mais ou menos longo, dependendo das condições de umidade do solo e da sua intensidade. (Bigarella, 2003 p.963).

¹⁶ Quanto maior a intensidade de chuva, maior a perda por erosão. Dados obtidos por Suarez Castro revelam que, para uma mesma chuva total de 21 mm, uma intensidade de 7,9 mm produziu uma perda de terra cem vezes maior que uma de 1 mm (Bigarella, 2003 p.963).

¹⁷ Segundo Walker (1996 p. 132) é uma energia relacionada ao movimento dos corpos, dependendo da massa e da velocidade do mesmo. Sendo expressa pela equação: $E = m \times v^2/2$.

quando a resistência oposta à queda é igual ao peso do corpo menos o empuxo para cima (WALKER, 1996).

Segundo Bigarella (2003) quando todos os outros fatores, com exceção da chuva, são mantidos constantes, a perda de solo por unidade de área de um terreno desprotegido de vegetação é diretamente proporcional ao produto de duas características da chuva: energia cinética por sua intensidade máxima em 30 minutos. Essa foi a melhor correlação encontrada para expressar potencial erosivo da chuva.

2.5.3 A importância da infiltração nos processos erosivos

A infiltração constitui o processo pelo qual a água de superfície penetra no solo. É controlada por numerosos fatores, entre eles: a frequência e a intensidade da precipitação, a estrutura do solo (porosidade, permeabilidade, agregação e fendas do solo), a declividade, o tipo de cultivo agrícola e a vegetação. Entre esses fatores, a porosidade geralmente é o mais importante. Ela representa os espaços vazios do solo através dos quais passa água. É incrementada pela atividade de organismos como as térmitas e as oligoquetas entre outros, bem como pelas raízes das plantas, ou pelo cultivo da terra. É reduzida pelo efeito da compactação causado pelo emprego de maquinaria agrícola e pela selagem da superfície provocada pelo salpicamento resultante do impacto das gotas de chuva fragmentando os agregados do solo, cujas partículas passam a obstruir a porosidade do solo, Selby 1985 (apud BIGARELLA, 2003).

Segundo Horton 1933 (apud CUNHA; GUERRA, 2003), a capacidade de infiltração de um determinado solo varia durante o decorrer da chuva. Assim, no início a infiltração é rápida diminuindo com o transcorrer do tempo até tornar-se constante. Quando a taxa de precipitação excede a capacidade de infiltração, a água começa a se acumular na superfície do solo para iniciar o escoamento. O processo de infiltração, conforme Reichardt 1975 (apud CUNHA; GUERRA 2003), é de grande importância prática, pois sua taxa ou velocidade muitas vezes determina o deflúvio superficial (*runoff*) responsável pela erosão pluvial.

Neste contexto segundo Bigarella (2003 p.888) cabe salientar que:

A infiltração é controlada igualmente pelas condições que antecederam a chuva. Uma precipitação anterior pode deixar o solo parcialmente saturado. Varia também com as diferentes estações do ano que influem de maneira diversa no desenvolvimento da vegetação. Sofre igualmente a influência da existência ou não de lavouras e de seu manejo. Depende também da temperatura que afeta as taxas de evaporação. As áreas com vegetação possuem maior capacidade de infiltração do que aquelas desprotegidas, e dessa forma retardam o fluxo superficial. O sistema radicular da cobertura vegetal torna o solo mais poroso e permeável facilitando a infiltração. Nas regiões vegetadas, principalmente naquelas de florestas, o impacto das gotas de chuva é consideravelmente reduzido pela presença da serapilheira.

Importante lembrar também que os solos arenosos normalmente apresentam taxas de infiltração mais elevadas do que os solos silticos ou argilosos. Quando o solo é muito poroso, a água infiltrante atinge o lençol freático, porém quando há dificuldade de infiltração, num horizonte menos permeável, ela é forçada a fluir lateralmente, tornando-se parte do fluxo “hortoniano” (BIGARELLA, 2003).

Ainda segundo Bigarella (2003) é preciso lembrar que a umidade do solo é geralmente maior na primavera que no verão; assim, as práticas que podem aumentar a possibilidade de infiltração são mais eficientes na redução da enxurrada, quando praticadas nos meses de verão. O grau de agregação do solo é outro fator que afeta a infiltração. Se as partículas mais finas são bem agregadas, os espaços porosos entre elas são maiores, proporcionando maior velocidade de infiltração. O fator mais importante na velocidade de infiltração é a existência de cobertura vegetal que está no solo durante a chuva. Se uma chuva intensa cai quando o solo não está protegido pela cobertura vegetal ou pela cobertura morta, sua camada superficial fica comprimida pelo impacto das gotas de chuva, e a infiltração é reduzida; porém, se essa chuva cai quando há boa cobertura vegetal, o solo permanece com boa permeabilidade e terá maior velocidade de infiltração.

2.5.4 A importância do terreno nos processos erosivos

A erosão inicia-se na superfície do terreno quando a força do fluxo excede a resistência do solo. A força disponível ou o esforço de cisalhamento da água é função do impacto das gotas de chuva, da declividade da vertente, da espessura do fluxo controlada pela taxas relativas de chuva e de infiltração, da velocidade do fluxo e do comprimento da vertente.

A ação erosiva nas vertentes depende do poder erosivo das gotas de chuva e erosividade¹⁸, do escorregamento e do fluxo de massas terrosas, e da erodibilidade¹⁹ do solo ou da rocha.

Nesse sentido cabe salientar Bigarella (2003 p.900) que diz:

¹⁸ A erosividade é controlada principalmente pela intensidade das chuvas. O aumento da intensidade implica no incremento da proporção de gotas maiores (2 a 6 mm de diâmetro); devido ao tamanho, as gotas caem com velocidades maiores e, conseqüentemente, maior energia cinética (BIGARELLA, 2003).

¹⁹ A erodibilidade é função de vários fatores, entre eles: intensidade de chuvas, 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 erodibilidade decresce quando a superfície do terreno apresenta-se suficientemente compactada (BIGARELLA, 2003).

Os solos arenosos tendem a apresentar um alto índice de permeabilidade, porém a coesão entre as partículas é muito baixa, favorecendo sua grande erodibilidade. Os latossolos, mesmo argilosos, são altamente permeáveis em função de sua estrutura que favorece a infiltração relativamente rápida da água. Entretanto, as partículas podem se agregar como se fossem “falsos grãos de areia”, provocando uma coesão muito fraca das partículas e erodibilidade elevada. Os solos siltosos possuem igualmente uma grande erodibilidade.

Outro fator importante a ser considerado é a topografia do terreno. Segundo Bertoni; Lombardi Neto (1985) nas superfícies planas, o material salpicado tende a ser esparramado na superfície do solo em todas as direções quando as gotas caem na direção vertical; nesse caso, há um balanço de movimento das partículas que saem e das partículas que chegam. Entretanto, quando as gotas golpeiam terrenos declivosos, a maior parte das partículas se movimentam para abaixo; assim, é evidente que grandes quantidades de solo podem ser transportadas unicamente pela ação de salpicamento.

Outro fator determinante, segundo Bigarella (2003) é o comprimento de rampa que não é menos importante que o declive, pois à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas vão-se avolumando progressivamente como, também, a sua velocidade de escoamento vai aumentando progressivamente. Em princípio, quanto maior o comprimento de rampa, mais enxurrada se acumula, e maior energia resultante se traduz por uma erosão maior.

Segundo dados obtidos por Bertoni; Lombardi Neto (1985 p.56), o efeito do comprimento de rampa podem ser expressos pelas seguintes equações:

$$T = 0,166 C^{1,63} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: T = perda de solo em quilograma por unidade de largura; 0,166 = constante de variação; C = comprimento de rampa do terreno, em metros; 1,63 = expoente.

O efeito simultâneo dessas duas características topográficas: Grau de declive e comprimento de rampa pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$T = 0,018 D^{0,018} C^{1,63} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: T = perda de solo em quilograma por unidade de largura; D = grau de declive em porcentagem; C = comprimento de rampa em metros;

2.5.5 A importância da cobertura vegetal nos processos erosivos

A cobertura vegetal é “a defesa natural de um terreno contra a erosão” (Bertoni; Lombardi Neto (1985). Assim segundo os mesmos autores o efeito da vegetação pode ser

assim enumerado: (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 da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

A precipitação meteórica quando cai em um terreno coberto com densa vegetação, a gota de chuva se divide em inúmeras gotículas, diminuindo também, sua força de impacto. Em terreno descoberto, ela faz desprender e salpicar as partículas de solo, que são facilmente transportadas pela água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

2.6 Formas de erosão

Caso se desconsidere a erosão eólica, toda remoção de solo exige a presença de água sobre o terreno, cuja fonte principal é a chuva. A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo mediante o impacto da gota de chuva, a qual cai com velocidade e energia variável segundo o seu diâmetro, e mediante a ação de escoamento. Nesse sentido é preciso lembrar que o movimento do solo através da ação da água é um processo complexo, influenciado pela quantidade, intensidade e duração da chuva, natureza do solo, cobertura vegetal, declividade da superfície do terreno e que em cada caso, a força erosiva da água é determinada pela interação ou balanço dos vários fatores. As diferenças em erodibilidade do solo sugerem que suas propriedades e o uso do solo, são de grande importância no processo de erosão pela água (BIGARELLA, 2003).

Segundo Bertoni; Lombardi Neto (1985 p.70), cabe salientar que:

A erosão no seu aspecto físico é simplesmente a realização de uma quantidade de trabalho no desprendimento do material de solo e no seu transporte. O processo erosivo começa quando as gotas de chuva embatem a superfície do solo e destroem os agregados, e termina com as três etapas seguintes: (a) as partículas de solo se soltam. (b) o material desprendido é transportado. (c) esse material é depositado. Nas duas primeiras etapas, o resultado não pode ser expresso em unidades, porém, na terceira, pode ser expresso em peso ou volume por unidade de área, tal como toneladas por hectare.

Assim a quantidade de energia dissipada no solo durante uma chuva pode ser determinada diretamente medindo a quantidade de partículas que saíram por salpicamento. Pequenas caixas de alumínio, cheias de areia seca e com peso conhecido, são colocadas em um terreno; depois de uma chuva, elas são pesadas novamente. Assim, a diferença entre o peso inicial e o final é o peso da areia que foi salpicada para fora do recipiente por efeito das

gotas de chuva, podendo ser considerado um índice aproximado da potencialidade de desprendimento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

É importante salientar que o escoamento da água na superfície é o maior agente de transporte das partículas de solo e que a quantidade de trabalho gerada pela enxurrada é relacionada com a concentração e velocidade com que ela se move morro abaixo. A água que escoar ganha energia cinética pela incorporação de sedimentos e pelo aumento de velocidade que adquire por uma rápida mudança na declividade do terreno. Conforme Bertoni; Lombardi Neto (1985), “a erosão é máxima quando a enxurrada contém quantidade suficiente de material abrasivo para desprender a maior quantidade possível que a enxurrada seja capaz de transportar”.

A erosão não pode ser dissociada do transporte e da deposição, pois estes processos são interdependentes dentro de relações constantemente mutáveis do fluxo e da carga existente (BIGARELLA, 2003).

Para Bertoni; Lombardi Neto (1985), a erosão causada pela água pode ser das seguintes formas: laminar, em sulcos e voçorocas sendo que as três formas de erosão podem ocorrer simultaneamente no mesmo terreno. Essa classificação é apropriada a este estudo na encosta Itagiba, porém omite a erosão por salpicamento ou o efeito do impacto da gota de chuva, que é o primeiro e mais importante estágio do processo de erosão.

Nesse sentido cabe salientar que:

A erosão causada pelo impacto das gotas da chuva constitui o primeiro passo no processo da erosão. As gotas podem ser consideradas como bombas em miniatura que golpeiam a superfície do solo, rompendo os grânulos e torrões, reduzindo-os a partículas menores e, em consequência, fazendo diminuir a capacidade de infiltração de água do solo. Uma gota golpeando um solo úmido forma uma cratera, compactando a área imediatamente sob o centro da gota, movimentando as partículas soltas para fora em um círculo em volta da sua área. Pesquisadores têm calculado que uma única chuva pode desprender mais de 200 toneladas de solo por hectare; as partículas de solo podem ser deslocadas a uma altura de 1,00m e cobrir um raio de 1,50m. Em terrenos em declive, a força das gotas de chuva é tal que mais da metade das partículas que foram desprendidas pode movimentar-se morro abaixo; a força de milhões de gotas durante uma chuva intensa em um terreno cultivado resulta em apreciável movimento do solo nas áreas morro abaixo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985 p.75).

A erosão laminar é a remoção de camadas delgadas de solo sobre a totalidade de uma área. É a forma de erosão menos notada, e por isso a mais perigosa para a agricultura. A erosão laminar arrasta primeiro as partículas mais leves do solo, e considerando que a parte mais ativa do solo de maior valor, é a integrada pelas menores partículas, pode-se julgar os seus efeitos sobre a fertilidade do solo.

Segundo Bigarella (2003 p.921) é preciso lembrar que:

A erosão laminar depende da ação das precipitações e do escoamento superficial difuso. Os solos possuem uma estrutura na qual predominam elementos de formas e tamanhos variados, ou seja, agregados constituídos de partículas arenosas e silticas “cimentadas” por argila ou matéria orgânica. Na erosão laminar ocorre a remoção progressiva e sucessiva de películas do solo afetando principalmente as partículas mais finas do solo.

A erosão em sulcos resulta de pequenas irregularidades na declividade do terreno que faz com que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar riscos mais ou menos profundos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

O fluxo concentrado tende a dissecar o terreno verticalmente. No início, o escoamento superficial geralmente apresenta-se na forma laminar difusa, pois existindo irregularidades na superfície o fluxo assume uma forma filamentosa de filetes que originam ranhuras e sulcos no terreno. Com o aumento de tamanho, os pequenos sulcos transformam-se em ravinas (BIGARELLA, 2003).

Segundo Bertoni; Lombardi Neto (1985), as voçorocas são “a forma espetacular da erosão”, ocasionadas por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, que se vai ampliando pelo deslocamento de grandes massas de solo e formando grandes cavidades em extensão e em profundidade.

Outra forma de erosão muito importante para a compreensão do estudo da encosta Itagiba, são os movimentos de massas que conforme Bigarella (2003) devem ser subdivididos em: escorregamento, deslizamento e desmoronamento.

O escorregamento se dá quando a resistência do solo ao cisalhamento é menor que a ação da gravidade na encosta. Assim quando o equilíbrio é rompido ocorre o movimento que também pode ser provocado por uma causa externa (escavação ou corte no sopé do talude).

Bigarella (2003 p.1053) salienta que:

O escorregamento se faz presente ao longo de superfícies de cisalhamento côncavas, sobre as quais a massa em movimento apresenta um comportamento rotacional. São comuns nos mantos de intemperismo espessos, bem como em seqüências de rochas silto-argilosas (lamitos) ocorrendo também em rochas duras e muito fraturadas. Ex: Formação Santa Maria – Membro Alemoa.

É também caracterizado pelo mesmo autor como um movimento lento, uniforme e rotacional que pode ser muito, pouco ou ligeiramente deformante.

Os deslizamentos e os desmoronamentos, de acordo com Bigarella (2003) ocorrem ao longo de planos de cisalhamento planar, onde a massa fragmenta-se em blocos sendo a superfície de movimentação abrupta e o volume de material envolvido muito grande. No deslizamento os blocos de solo ou de rochas, permanecem por longo tempo inalterados,

movendo-se sobre um plano uniforme constituído por argila com alto teor de água. Os desmoronamentos caracterizam-se por possuírem um comprimento muito maior do que a espessura da massa que se move e por iniciarem na parte superior da vertente (meia encosta para cima).

3. METODOLOGIA

3.1 Procedimentos metodológicos

Segundo Libault (1971) os trabalhos produzidos dentro da Ciência Geográfica devem ser acompanhados de uma sequência lógica estruturada em quatro níveis de pesquisa: Compilatório, Correlatório, Semântico e Normativo. O primeiro passo é a coleta de dados, Nível Compilatório; pois a Geografia requer uma fase inicial de comprovação, não havendo possibilidades de embasar-se apenas sobre a imaginação. O segundo passo é o Nível Correlatório, no qual, tendo-se os dados necessários da pesquisa, passa-se a correlacioná-los o quanto possível. O próximo nível, Semântico, é orientado pelas relações do Nível Correlatório. Selecionar as proposições que servem à pesquisa através da decisão lógica é a etapa mais delicada. E por fim, o Nível Normativo, que tem o papel de traduzir os resultados em normas aproveitáveis.

Para a realização do trabalho, utilizou-se o método dedutivo. Assim, após a observação da realidade e a formação de hipóteses partiu-se para obtenção dos dados (Nível Compilatório), análise dos resultados (Nível Correlatório), proposições lógica racional dos resultados obtidos das correlações e compilações (Nível Semântico) e conclusão do que se pode traduzir dos resultados (Nível Normativo). Os dados foram obtidos a partir de uma topossequência na encosta Itagiba sobre a Formação Santa Maria - Membro Alemoa. Estabeleceu-se três trincheiras e cinco tradagens para a coleta e análise dos dados relativos aos índices físicos a partir dos volumes pedológicos identificados. Logo a seguir correlacionou-se os índices físicos desses volumes pedológicos com os índices de precipitação meteórica sobre a encosta Itagiba para entender a conformação da paisagem e demonstrar as diferenciações erosivas que ocorrem no contato litológico da Formação Santa Maria – Membro Alemoa e a Formação Caturrita.

3.2 Procedimentos Técnicos Aplicados

3.2.1 Os Parâmetros Físicos do Solo

3.2.1.1 Análise Granulométrica

O solo se apresenta em meio natural com diferentes tamanhos de partículas formadoras. A determinação do tamanho destas partículas é realizada a partir da análise granulométrica dos grãos, a qual tem função de determinar a textura do solo correspondente às proporções dos grupos de grãos que formam o solo (Vieira, 1975). De acordo com Kiehl (1979), a textura equivale à distribuição do tamanho das partículas e permite classificar os

componentes sólidos do solo em classes, com limite mínimo e máximo em função dos seus diâmetros.

O procedimento laboratorial utilizado para a análise granulométrica do solo fez-se em etapas de peneiramento para as partículas da fração areia e de sedimentação para as frações silte e argila conforme NBR 7181/84:

- a) Inicialmente para a análise das areias separou-se uma quantidade de solo seco com auxílio do repartidor de amostras garantindo quantidade de material para se obter uma amostra suficiente para realização do ensaio;
- b) Desmancharam-se todos os torrões existentes para que, ao passar pela peneira, restassem somente os grãos realmente maiores que a malha;
- c) Passando este material na peneira 2mm, fez-se a lavagem do material passante e posteriormente colocou-se em estufa a fim de prosseguir o ensaio com peneiras de malhas menores correspondentes a areia média e fina; Após esse procedimento tem-se o resultado da porcentagem simples e acumulada do material retido nas peneiras e a porcentagem de material passante. Foram então preparados gráficos logarítmicos de distribuição das frações do solo em curvas granulométricas.
- d) O cálculo dos diâmetros equivalentes as frações finas (silte e argila) foi feito a partir dos resultados obtidos durante a sedimentação de certa quantidade de sólidos em meio líquido (hexametafostato de sódio), através do método da pipetagem.

Assim, diluiu-se as partículas em uma solução de 125ml de hexametafostato de sódio diluído em 1L de água e homogeneizou-se. O método da pipeta consiste em obter resultados através das mudanças de concentração de materiais em suspensão numa proveta mediante pipetagens na profundidade e em tempos determinados. Baseia-se na velocidade de queda das partículas em um meio aquoso, sendo que as partículas maiores são as primeiras a sedimentar.

A fim de classificar os componentes do solo de acordo com o diâmetro dos grãos, utilizou-se escala semelhante a USDA²⁰ e a de Atterberg. A porcentagem do tamanho dos grãos foi dividida em areia, silte e argila. Com a comparação dos valores das porcentagens de cada horizonte obteve-se a textura de cada volume pedológico analisado nas três trincheiras da topossequência sobre a área da encosta Itagiba. Para esse resultado utilizou-se o triângulo textural de acordo com (LEMOS; SANTOS, 1996).

²⁰ Escala do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

3.2.1.2 Relação entre a perda de sedimentos e o volume de precipitação meteórica

A partir da topossequência delimitada sobre a encosta Itagiba determinou-se uma trincheira cavada na porção intermediária da encosta Itagiba, sobre litologias siltico-argilosas da Formação Santa Maria (Membro Alemoa). Nela foram instalados recipientes para coletar sedimentos na trincheira dois (T2) em cada volume pedológico e um pluviômetro para medir o volume das precipitações por evento²¹ de precipitação. Nesta trincheira dois (T2) a que foi aberta trinta dias antes do início da coleta dos sedimentos face a necessidade de estabilização das paredes da trincheira. Foram coletados dados relativos ao período compreendido entre 21 de dezembro de 2004 a 21 de dezembro de 2006.

Os dados de precipitação foram obtidos através da instalação de um pluviômetro próximo da trincheira. Assim a cada evento de precipitação foi coletada no pluviômetro a água retida e colocada numa proveta graduada. Este dado foi trabalhado para obter a precipitação em milímetros da seguinte maneira: inicialmente anotou-se o volume de chuva retido no pluviômetro cilíndrico em mililitros, sabendo-se que o volume do cilindro é:

$$V = \pi r^2 h \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: π é a constante matemática igual a 3,14, r é o raio do cilindro e h é a altura do cilindro.

Substituindo na Equação 4, o volume de chuva medido e como os valores de π e r são conhecidos, foi obtido a altura de chuva procurada em mm^3 . Na busca da unidade de medida em mm, estabeleceu-se a relação entre volume e comprimento: 1 litro ou 1000 ml = 1 dm^3 , assim utilizando-se da base cúbica de 10 fez-se a relação de conversão:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ ml} \quad \text{_____} \quad 1.000 \text{ mm}^3 \\ V(\text{ml}) \quad \text{_____} \quad X \text{ (mm}^3\text{)} \end{array} \quad (\text{Equação 5})$$

A seguir transformou-se o volume de ml para mm^3 e, utilizando-se da Equação 4 e dos dados de π , r e V calculou-se a altura de h em mm.

Para a definição dos volumes pedológicos da trincheira dois (T2) foi realizada a descrição morfológica dos volumes pedológicos na trincheira, sendo descritos em cada volume as características morfométricas do solo como a: espessura, cor, a textura, estrutura, consistência, porosidade, presença de raízes e a transição entre os horizontes. Nessa descrição

²¹ A coleta de sedimentos erodidos e coletados nos recipientes instalados nos volumes pedológicos da trincheira (V1, V2 e V3) foi armazenado por evento de precipitação que no caso do trabalho muitas vezes foi somado duas ou três chuvas seguidas não correspondendo a valores diários de precipitação devido a dificuldade de coletar diariamente e analisar grandes quantidades de amostras em laboratório.

foram empregados os métodos e procedimentos previsto no manual de descrição e coleta de solos no campo (LEMOS; SANTOS, 1996). A espessura foi dimensionada através de uma trena graduada em centímetros, sendo a medida tomada com base principalmente na cor, textura e consistência do perfil. A cor foi determinada por comparação visual utilizando como parâmetro base a cardeneta de cores ou Carta de Munsell, onde os parâmetros comparados foram o matiz²², o valor²³, e o croma²⁴. A estrutura foi descrita em campo através da observação e manipulação dos agregados nos diferentes volumes pedológicos. A porosidade foi estimada no campo com auxílio de uma lupa, observando os agregados e borrifando água com uma pipeta sobre o agregado e observando o tempo necessário para a infiltração. A consistência e a transição entre os horizontes foram avaliadas em campo também segundo o Manual de descrição e coleta de solos no campo (LEMOS; SANTOS, 1996).

A análise textural da trincheira dois (T2) foi determinada em campo e após no laboratório onde a fração areia foi obtida por peneiramento e a fração silte e argila pelo método de sedimentação (NBR 7181/82). Os sedimentos transportados em cada evento de precipitação foram coletados, na trincheira, mediante um receptor com largura de 15 cm plotado com grampos fixados na parede dos respectivos volumes pedológicos. O armazenamento dos sedimentos foi feito em garrafas *pets* e a cada semestre levado ao laboratório de sedimentologia do Departamento de Geociências da UFSM para análise textural. A análise foi realizada através do método do peneiramento simples, onde a distribuição da massa seca, do solo erodido, foi avaliada segundo suas proporções de tamanho em milímetros (2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm, 0,062mm + fração silte e argila retida no fundo do peneiramento).

Os dados das perdas de sedimentos e das análises texturais da trincheira dois (T2) foram sendo armazenados em planilhas do aplicativo Excel que serviram de base para a construção dos gráficos de correlações e cruzamento das informações. Assim, para estabelecer a relação entre a perda de sedimentos e o volume de precipitação a partir de características texturais dos volumes pedológicos (V1, V2, V3) foi analisada a tabela de distribuição das frações por evento de precipitação, observando de forma comparativa a perda, o comportamento da perda de sedimentos por fração, volume pedológico e total de sedimentos erodido por evento nos quatro semestres. Também foram construídos gráficos de correlação

²² O matiz é o comprimento de onda da luz no espectro eletromagnético (WALKER, 1996 p.38).

²³ “Corresponde ao brilho ou a tonalidade” (AZEVEDO; DALMOLIM, 2004 p.48) isto é: Quanto menor o valor mais escuro será a cor.

²⁴ Refere-se à intensidade ou a pureza da cor, assim quanto maior o croma mais pura é a cor (AZEVEDO; DALMOLIM, 2004 p. 48).

entre as variáveis: precipitação x perda total de sedimentos de forma correlativa, precipitação x perda por volume pedológico de forma correlativa e gráficos ilustrativos que mostram, por evento de precipitação, a perda de sedimentos.

De posse dos gráficos e da tendência das variáveis da trincheira dois (T2) foram retiradas as considerações pertinentes aos processos erosivos da encosta Itagiba. Após a avaliação dos dados obtidos na trincheira (T2) e de posse das correlações efetuadas entre a perda de sedimentos e os índices pluviométricos, foram estabelecidas inferências e considerações generalizadas sobre os diferentes processos erosivos da encosta Itagiba.

3.2.1.3 Limites de consistência

Segundo Kiehl (1979), os solos podem adquirir diferentes formas de consistência conforme seus variados estados de umidade. Consistência é a influência que as forças de coesão e de aderência exercem sobre os constituintes do solo, de acordo com teor de água que possui. É consequência da intensidade e natureza das forças de coesão e aderência entre o agregados o dentro deles, ou entre as partículas de solo, sendo que coesão é a força de atração entre duas superfícies líquidas ou duas sólidas.

Propriedades como resistência à ruptura ou tenacidade, facilidade de esboroamento ou friabilidade, facilidade de moldagem ou plasticidade, capacidade de aderência ou viscosidade, são exemplos de formas de consistência. As forças que unem as superfícies sólidas são devidas à tensão superficial existente nos meniscos formados pelas películas de água que envolve as partículas. A coesão é proporcional à tensão superficial existente na película de água, variando inversamente com o diâmetro das partículas sólidas. Assim materiais arenosos, grosseiros, tem baixa coesão. Solos ou materiais argilosos, de textura fina, têm alta coesão (Hillel, 1980 apud WERLANG 2004).

Segundo Souza (2000) para a engenharia a consistência do solo é uma das características mais importantes, pois determina o comportamento do solo ante determinadas tensões e deformações; igualmente, o grau de consistência do solo exerce considerável influência sobre o regime de água no mesmo, afetando a condutividade hidráulica e permitindo fazerem-se inferências sobre a curva de umidade. Esta é determinante na avaliação da resistência do solo à penetração e na compactação e seu conhecimento possibilita a determinação do momento adequado do uso de técnicas que favoreçam um bom manejo do solo, propiciando melhor conservação do mesmo, além de diminuir a demanda energética nas operações mecanizadas.

Os limites de consistência remete a conseqüências para a geomorfologia, O teor de argila modifica a coerência de uma formação, algumas se convertem em plásticas, com o que se deformam e fluem com facilidade pelas vertentes (WERLANG, 2004). Os limites de consistência analisados foram o limite de liquidez, o limite de plasticidade o limite de contração, o índice de plasticidade e o grau de contração.

O limite de liquidez é o menor teor de umidade com que uma amostra de um solo pode ser capaz de fluir. Embora tal capacidade seja mais relacionada com o grau de saturação do solo do que com o teor de umidade, os ensaios para determinar o limite de liquidez de solos finos têm o teor de umidade como parâmetro, por causa da dificuldade de medir e controlar o grau de saturação. (KIEHL, 1979). No estado líquido, uma massa de solo não possui forma própria e tem resistência ao cisalhamento nula.

O limite de plasticidade é tido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço; é a umidade de transição entre os estados plástico e semi-sólidos do solo. Quando não se consegue moldar uma determinada porção de solo (por exemplo, um solo com grande porcentagem de areia), dizemos que ele é não plástico.

O índice de plasticidade é a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade. Define a zona em que o solo se acha no estado plástico. Fornece um critério para se ajuizar o caráter argiloso de um solo. É nulo para as areias. Somente com o conhecimento do índice de plasticidade não se pode afirmar que quanto maior ele seja, tanto mais plástico será o solo. Sabe-se, ainda, que as argilas são tanto mais compressíveis quanto maior for o índice de plasticidade.

O limite de contração do solo é o teor de umidade onde ocorre a transição entre o estado de consistência sólida e semi-sólida, ou, convencionalmente, o máximo teor de umidade a partir do qual uma redução dessa umidade não ocasiona diminuição do volume do solo. Alguns autores o definem como o menor teor de umidade capaz de saturar uma amostra do solo, mas é preciso perceber que a saturação depende também da maneira como as partículas sólidas estejam dispostas, e do estado de tensões a que a amostra esteja sujeita (para um mesmo teor de umidade, podem existir diferentes graus de saturação).

O grau de contração é a razão da diferença entre os volumes inicial (V_i) e final (V_f) após a secagem da amostra, para o volume inicial (V_i).

O limite de liquidez foi determinado utilizando-se o aparelho Casagrande e o ensaio segundo a NBR 6459/84. Depois de concluído o ensaio limite de liquidez foi obtido a partir da equação 6:

$$LL = W_n(N/25)^{0,12} \quad (\text{Equação 6})$$

onde:

LL – Limite de liquidez;
 W_n – Teor de umidade e
 N – N° de golpes.

Fez-se três repetições e depois extraiu-se a média determinando-se assim o limite de liquidez de cada horizonte. Teor de umidade foi obtido a partir da equação 7:

$$W_n = (P_u - P_s) / P_s * 100 \quad (\text{Equação 7})$$

onde:

P_u – Peso úmido e
 P_s – Peso seco.

O limite de plasticidade foi obtido a partir da NBR 6457/84. Depois de concluído o ensaio, o limite de liquidez foi obtido a partir da equação 8:

$$LP = (P_u - P_s) * 100 \quad (\text{Equação 8})$$

onde:

P_u – Peso úmido e
 P_s – Peso seco.

O limite de plasticidade foi obtido a partir da média das três repetições feitas no ensaio. O índice de Plasticidade foi obtido a partir da equação 9:

$$IP = LL - LP \quad (\text{Equação 9})$$

onde:

IP – Índice de plasticidade;
 LL – Limite de liquidez e
 LP – Limite de plasticidade.

Cabe salientar que os índices podem ser enquadrados em três classes:

fracamente plásticos..... $1 < IP < 7$
 medianamente plásticos..... $7 < IP < 15$
 altamente plásticos $IP < 15$

O limite de contração foi obtido a partir da NBR 6457. A partir da equação 10.

$$LC = W_n - A \quad (\text{Equação 10})$$

onde:

LC = Limite de contração;
 W_n = Teor de umidade e
 A = Diferença entre $(V - V_0)/P_s * 100$
 O(A), foi obtido a partir da expressão:

$$A = (V - V_0)/P_s * 100 \quad (\text{Equação 11})$$

onde:

A = Diferença entre $(V - V_0)/P_s * 100$
 V – Volume da cápsula;
 V_0 – Volume do solo seco e
 P_s – Peso seco
 O grau de contração (GC) foi obtido através da seguinte expressão

$$GC = (V - V_0)/V * 100 \quad (\text{Equação 12})$$

onde:

V1 = volume inicial do corpo de prova (volume da cápsula de contração);
 V2 = volume do corpo de prova após a contração

Após o cálculo este foi enquadrado segundo os seguintes tipos:

$C < 5\%$ bom
 $5\% < C < 10\%$ regular
 $10\% < C < 15\%$ pobre
 $C > 15\%$ péssimo

3.2.1.4 *Correlação de resultados e conformação da paisagem: o traçado da topossequência*

A caracterização e análise dos processos erosivos a partir da cobertura pedológica em topossequência na encosta Itagiba teve como objetivo principal compreender a conformação da encosta partindo do pressuposto de que há indícios (dados correlativos) que demonstram

que os processos erosivos são distintos nas duas formações litológicas. Assim, a erosão que ocorre por agentes nos quais incluem águas de escoamento superficial e sub-superficial deixam suas marcas na conformação da encosta, modificando a paisagem local.

Esses processos erosivos estão intrinsecamente correlacionados com os fatores controladores da erosão que são representados pelas propriedades do solo, ou seja, o conjunto de características que, juntamente com outros fatores determinam uma maior ou menor susceptibilidade à erosão. As propriedades do perfil do solo, contribuem para a transformação constante do relevo.

A umidade, aeração, temperatura e resistência mecânica são dependentes da textura, estrutura, densidade e características do perfil do solo. Assim, essas propriedades trazem conseqüências no processo de erosão e constituem parâmetros importantes para se avaliar o grau de fragilidade e evolução do relevo. Assim, foram analisados os volumes pedológicos de oeste a leste (topossequência) cavando-se uma primeira trincheira (T1) no contato litológico da Formação Santa Maria – Membro Alemoa com a Formação Caturrita (área de dissecação) e outra na área de deposição da encosta (trincheira três – T3), junto ao arroio Passo dos Weber (Figura 2).

Os índices físicos do solo correlacionados entre si tornaram possível inferências e constatações sobre a conformação da paisagem e do relevo que, com o auxílio de cinco tradagem cavadas para determinar a posição vertical dos volumes pedológicos evidenciaram o detalhamento e o entendimento dos processos erosivos na área.

Assim, tomando-se como referência a cobertura pedológica com um sistema estrutural complexo que reflete transformações progressivas, tanto vertical quanto lateralmente no sentido da vertente, pode-se afirmar que ela está intimamente relacionada com os outros elementos da paisagem, especialmente, o relevo. Nesta perspectiva, o trabalho ao caracterizar a cobertura pedológica ao longo de uma topossequência busca compreender a dinâmica da vertente a partir das características dos volumes pedológicos.

A partir da imagem de satélite IKONOS/2008 e da carta topográfica de Santa Maria (escala 1:25.000), foi obtida a base cartográfica e a delimitação da área de estudo que abrangeu de oeste a leste: três trincheiras e cinco tradagem. A primeira trincheira foi cavada sobre o contato litológico da Formação Caturrita com a Formação Santa Maria – Membro Alemoa (a oeste) onde a conformação da paisagem indica uma área de dissecação (porção superior da encosta).

A segunda trincheira (T2) foi cavada na porção intermediária do transecto paralelo a encosta Itagiba localizada sobre a Formação Santa Maria (Membro Alemoa) e diferenciada

das duas demais por nela terem sido levantados dados de perda de sedimentos por eventos de precipitação, para cada um dos volumes pedológicos, o que possibilitou a correlação e uma generalização dos dados para toda a encosta utilizando-se evidências da semelhança litológica e pedológica existente entre as três trincheiras abertas na encosta Itagiba.

A terceira trincheira localizou-se na porção leste do transecto (área de acumulação) próxima ao arroio Passo dos Weber. Foram descritos nas três trincheiras (T1, T2 e T3) as características morfométricas dos solos e coletadas amostras segundo Lemos; Santos (1996). Em laboratório determinaram-se as frações areia, silte e argila segundo NBR 7181/82, e os limites de consistência (liquidez, plasticidade e contração). Realizou-se comparações entre os resultados obtidos buscando-se generalizar a compreensão dos processos erosivos na encosta Itagiba.

3.2.1.5 Coeficiente de infiltração nos volumes pedológicos

Também foram realizados ensaios de infiltração nos solos. Esses ensaios foram realizados, nos volumes pedológicos das três trincheiras (T1, T2 e T3) sobre a topossequência, foram determinados através do método do infiltrômetro de tubo (Hill, 1970).

O infiltrômetro de PVC com diâmetro de 10 cm e altura 20 cm foi cravado no topo dos volumes pedológicos das três trincheiras (T1, T2 e T3) a uma profundidade de 5 cm e preenchido com água constantemente de forma graduada a fim de observar a coluna d'água em centímetros que infiltrou. Inicialmente como a água infiltra de forma irregular até haver a saturação do solo foi deixado um intervalo de aproximadamente uma hora para estabilização. Após este período iniciou-se a tomada das medidas de infiltração da coluna d'água.

Neste sentido, o infiltrômetro foi introduzido no solo, utilizando um pedaço de madeira na parte de cima do instrumento, para protegê-lo, e batido com um martelo, até entrar 5cm no solo. O solo não foi muito desagregado ao introduzir-se o infiltrômetro. Após feito isso, foi colocado uma régua graduada (de 30cm), dentro do infiltrômetro e prendido com um pregador de roupas. Assim, o infiltrômetro foi enchido d'água e marcado o tempo, de preferência com um cronômetro. Posteriormente, foi anotado na caderneta de campo, a profundidade da água após 30 segundos que o infiltrômetro foi cheio, depois em 60 segundos, 1 minuto e meio, e 2 minutos.

Depois disso, foi anotado a profundidade da água a cada minuto, até chegar a 30 minutos de experimento. Cada vez que a profundidade, dentro do infiltrômetro, atingiu 5 centímetros, foi marcado com um asterisco na caderneta de campo (o tempo em que isso

aconteceu), e preenchido novamente, o seu volume original com água, a cada minuto. Não foi recommençado um novo tempo de marcação da profundidade, após cada vez que o infiltrômetro foi cheio, ou seja, uma vez iniciado o experimento, este durou 30 minutos exatamente.

Com a tabela de dados obtido por meio do experimento, foi construído um gráfico onde, no eixo horizontal, foi plotado os tempos (30 seg, 60 seg...3 min, 4 min,...30 min). No eixo vertical plotou-se o total de água inserido no infiltrômetro a cada tempo.

Para plotar os dados no gráfico foram primeiramente somados o total de água infiltrada, em mililitros, e este foi o valor máximo do eixo vertical. A partir desse total foi diminuído o valor máximo, do total infiltrado a 30 segundos, depois o valor restante pelo tempo de 60 segundos, e assim por diante, até chegar aos 30 minutos do experimento.

Assim, foi calculado a capacidade de infiltração (C.I.) em cm/h, plotando-se cada ensaio num gráfico de volume (V) em cm³ por tempo (t) em minutos e a leitura da coluna d'água (L) em centímetros (cm). O exemplo a seguir mostra o cálculo do C.I., este é obtido pela tangente do ângulo dos catetos do gráfico: $V \times T$. Sendo esse dado a média de três tomadas de medidas a fim de minimizar o desvio e o erro.

$$\text{Tg } \gamma = \Delta V / \Delta T = (7324,05 - 5133,9) \text{ cm}^3 / 1 \text{ hora} = 2190,15 \text{ cm}^3 / \text{ hora}$$

$$\text{C.I.} = 2190,15 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 27,9 \text{ cm/h}$$

Onde Tg γ significa a tangente da função $f(x) = \gamma$ e C.I. o coeficiente de infiltração do volume 1 (V1) da trincheira 1 (T1).

4. RESULTADOS

4.1 Elaboração do traçado da topossequência sobre a encosta Itagiba

O traçado da topossequência (Figura 2) foi determinado seguindo os critérios litológicos, topológicos e disponibilidade de acesso aos pontos de tradagens (S1, S2, S3, S4 e S5) e abertura das trincheiras (T1, T2 e T3). O critério litológico agrupou áreas próximas do contato litológico entre a Formação Caturrita a oeste e a Formação Santa Maria - Membro Alemoa a leste, na porção mais elevada do terreno. O critério topológico agrupou no transecto áreas de dissecação da encosta Itagiba e áreas de acumulação unindo-se pontos intermediários. O critério de acesso aos pontos de tradagem e a construção da trincheira, embora não tenha prejudicado a pesquisa foi relevante para o traçado final devido se tratar de uma área privada e urbanizada do Bairro Chácara das Flores.

A Figura 2 traz o esboço da topossequência onde estão localizados as trincheiras (T1, T2 e T3) que foram submetidas a ensaios de infiltração e também os pontos onde foram realizados as tradagens (S1, S2, S3, S4 e S5) importantes para a mensuração da profundidade dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) e construção da topossequência. Cabe salientar a localização da trincheira 2 (T2) na porção intermediária da encosta, pois somente nela foi realizado a análise de perda de sedimento por evento de precipitação meteórica.

O desnível vertical encontrado na encosta Itagiba foi de 23 metros e a distância horizontal de 340 metros. Também observou-se a disposição dos volumes pedológicos dispostos sobre o substrato litológico da Formação Santa Maria – Membro Alemoa e o processo de gavetas utilizado para a realização da tomada de infiltração nos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) das três trincheiras (T1, T2 e T3) localizadas na imagem de satélite IKONOS/2008.

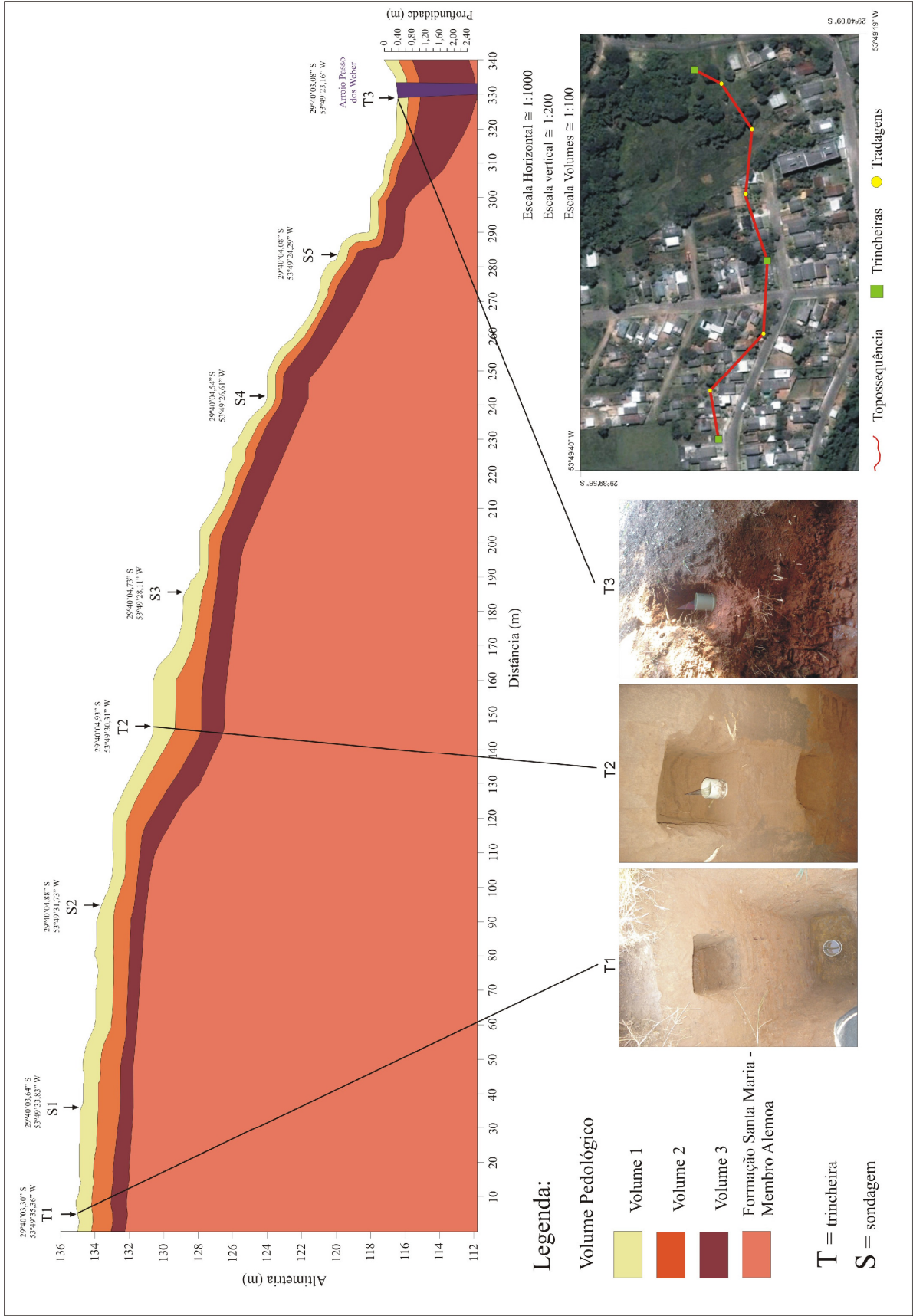


Figura 2 - Topossequência sobre a encosta Itagiba, zona norte de Santa Maria - RS.

4.2 Descrição morfológica dos volumes pedológicos das trincheiras da topossequência sobre a encosta Itagiba

Realizada a identificação dos horizontes pedogenéticos nas três trincheiras relacionadas na topossequência sobre a encosta Itagiba, esses foram agrupados em volumes pedológicos (V1, V2, V3). A preferência pela designação: volume pedológico, deve-se a ação antrópica na área da encosta que desconfiguraram os perfis das trincheiras (T1, T2 e T3) principalmente nas camadas superficiais sendo mais coerente assim trabalhar com volumes pedológicos do que designar horizontes pedogenéticos. Assim, os volumes pedológicos com suas respectivas características morfológicas podem ser observados nos quadros 1, 2 e 3 descritos segundo (LEMOS; SANTOS, 1996).

Volume 1 (V1)	0 - 42 cm, amarelado (7,5YR 4/3, úmido); franco-arenosa; firme; pequena; blocos subangulares; muitos poros e pequenos; friável não pegajosa; transição plana e clara.
Volume 2 (V2)	42 - 102 cm, vermelho-amarelado (7,5 YR 4/6, úmido); franco-argilo-arenosa; firme a muito firme; blocos angulares e subangulares; poros comuns e pequenos; firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
Volume 3 (V3)	102 - 145 cm, vermelho (7,5 YR 5/8, úmido); franco-argilo-arenosa; blocos angulares e subangulares; muito firme; poros comuns e pequenos; plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Quadro 1 - Descrição morfológica dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 1 (T1) da topossequência sobre a encosta Itagiba.
Org.: MARQUES, R. D.

Foram analisados no Quadro 1, as seguintes características morfométricas dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 1 (T1), área de dissecação (Figura 3): espessura, cor, textura, estrutura, porosidade, cerosidade, consistência e transição entre os volumes pedológicos da trincheira.



Figura 3 – Volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 1 (T1).
Org.: MARQUES, R. D.

Prosseguindo a análise morfométrica dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 2 (T2), obteve-se:

Volume 1 (V1)	0 - 63 cm, amarelado (7,5YR 3/1, úmido); franco-arenosa; fraca; pequena; blocos subangulares; muitos poros e pequenos; friável não pegajosa; transição plana e clara.
Volume 2 (V2)	63 - 142 cm, alaranjado (7,5 YR 4/4, úmido); franco-arenosa; fraca; blocos angulares e subangulares; poros comuns e pequenos; firme; levemente plástica e levemente pegajosa; transição plana e clara.
Volume 3 (V3)	142 - 207 cm, vermelho (5 YR 5/8, úmido); argila-arenosa; blocos angulares; muito firme; poros comuns e pequenos; plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Quadro 2 - Descrição morfológica dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 2 (T2) da topossequência sobre a encosta Itagiba.

Org.: MARQUES, R. D.

Também foram descritos no Quadro 2 as características morfométricas dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 2 (T2), área intermediária da topossequência

(Figura 4): espessura, cor, textura, estrutura, porosidade, cerosidade, consistência e transição entre os volumes pedológicos da trincheira.



Figura 4 – Volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 2 (T2).
Org.: MARQUES, R. D.

Concluindo a análise morfométrica da topossequência foram analisados os volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira (T3), área de acumulação onde obteve-se:

Volume 1 (V1)	0 - 31 cm, amarelado (7,5YR 3/4, úmido); franco-argilosa; fraca; pequena; blocos subangulares; muitos poros e pequenos; friável não pegajosa; transição plana e clara.
Volume 2 (V2)	31 - 64 cm, alaranjado (2,5 YR 5/8, úmido); argila-siltosa; fraca; blocos angulares e subangulares; poros comuns e pequenos; firme; levemente plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Volume 3 (V3)	64 - 230 cm, vermelho (2,5 YR 4/8, úmido); argila; blocos angulares e subangulares; firme a muito firme; poros comuns e pequenos; plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Quadro 3 - Descrição morfológica dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 3 (T3) da topossequência sobre a encosta Itagiba.

Org.: MARQUES, R. D.

Sendo também analisados no Quadro 3, as características morfométricas dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 3 (T3) ilustrado na (Figura 5).



Figura 5 – Volumes pedológicos (V1, V2 e V3) da trincheira 3 (T3).
Org.: MARQUES, R. D.

A avaliação dos volumes pedológicos das trincheiras 1, 2 e 3 (T1, T2 e T3) revelaram que a trincheira 1 (T1) está sobre uma área de transição litológica apresentando diferenças morfológicas nos resultados laboratoriais demonstrando maior concentração na fração granulométrica areia. É possível verificar uma maior concentração de argila com o aumento da profundidade nas três trincheiras.

Também é possível observar que há aumento da concentração de argila partindo da trincheira 1 (T1) em direção a trincheira 2 (T2) assim como partindo da trincheira 2 (T2) em direção a trincheira 3 (T3) demonstrando haver maior concentração de argila de oeste (área de dissecação) para leste (área de acumulação) na encosta Itagiba.

4.3 Determinação da textura dos volumes pedológicos das trincheiras na topossequência sobre a encosta Itagiba

A composição granulométrica dos volumes pedológicos das trincheiras (T1, T2 e T3) foram estabelecidas em laboratório conforme o método NBR²⁵ 7181/84.

A Tabela 1 mostra o resultado obtido e a Figura 6 a curva granulométrica para o volume pedológico (V1) da trincheira 1 (T1):

Tabela 1 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 1 (V1) da trincheira 1 (T1).

% da amostra	Diâmetro da partícula (mm)	Definição granulométrica da terra fina		Total
0	2,0000	Areia	Areia grossa 0,54 %	78,85%
0,5366	1,0000			
5,5074	0,5000			
24,3258	0,2500		Areia média 29,83 %	
29,4506	0,1250			
13,5342	0,0620			
7,1048	0,0310	Silte	16,43 %	
4,4293	0,0160			
2,932	0,0080			
1,9616	0,0040			
1,8438	0,0020	Argila	10,22 %	
1,5111	0,0010			
0,8317	0,0005			
6,0305	0,0001			

Org.: MARQUES, R. D.

²⁵ Através do peneiramento úmido da fração areia e na velocidade de sedimentação das partículas em água para a determinação da argila. Após a dispersão total das partículas passou-se a suspensão contendo areia, silte e argila por uma peneira de malha 0,05 mm, onde ficou retida a areia que foi seca em estufa para a determinação da massa. A suspensão contendo silte + argila foi levada a uma proveta de 1L, onde ocorreu a sedimentação do silte e a parte superior transferido para outra proveta padronizada onde com o auxílio de um densímetro foi calculada o teor de argila. O teor de silte é calculado por diferença.

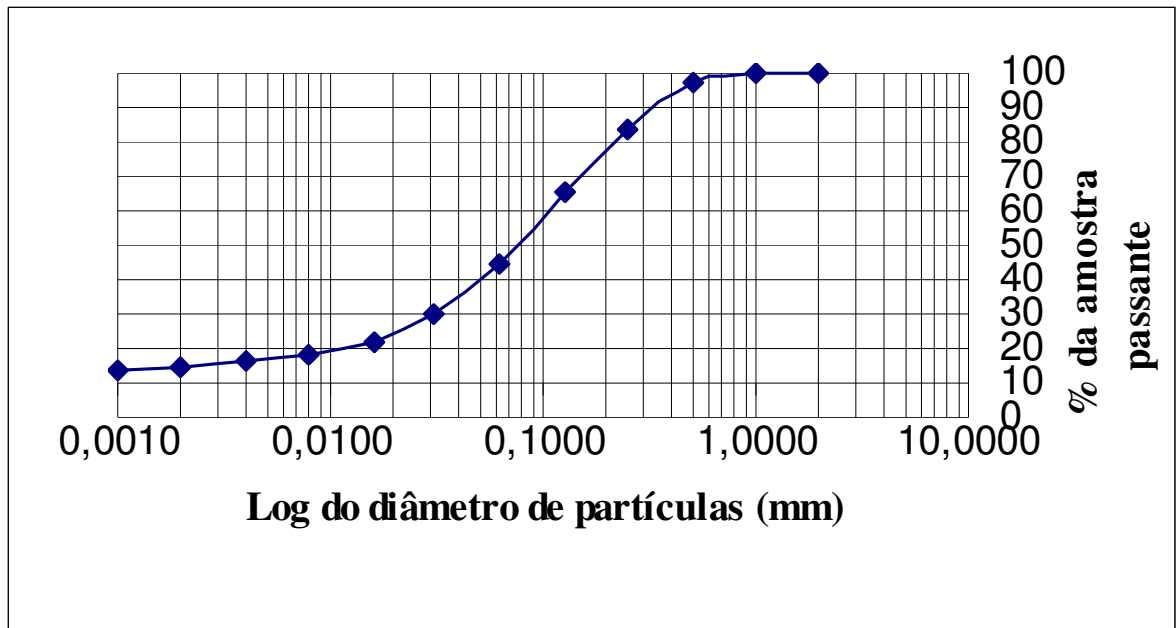


Figura 6 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 1 (T1).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados demonstram que o volume 1 (V1) da trincheira 1 (T1) apresenta textura franco-arenosa e uma ampla predominância da fração areia fina. A tabela 2 mostra o resultado obtido e a Figura 7 a curva granulométrica para o volume pedológico (V2) da trincheira 1 (T1):

Tabela 2 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas para o volume 2 (V2) da trincheira 1 (T1).

% da amostra	Diâmetro da partícula (mm)	Definição granulométrica da terra fina		Total	
0	2,0000	Areia	Areia grossa	55,43%	
0,6199	1,0000		0,62 %		
2,766	0,5000		Areia média		19,72 %
16,9525	0,2500		Areia fina		35,09 %
22,3632	0,1250	Silte	16,85 %		
12,7281	0,0620				
7,2062	0,0310				
4,4227	0,0160				
3,3413	0,0080				
1,8779	0,0040	Argila	27,72 %		
1,9361	0,0020				
2,1563	0,0010				
0,3561	0,0005				
23,273	0,0001				

Org.: MARQUES, R. D.

Observou-se um contínuo crescimento da fração argila da superfície do terreno (V1) para o V2 e V3, sugerindo processo de translocação (iluviação) dos colóides.

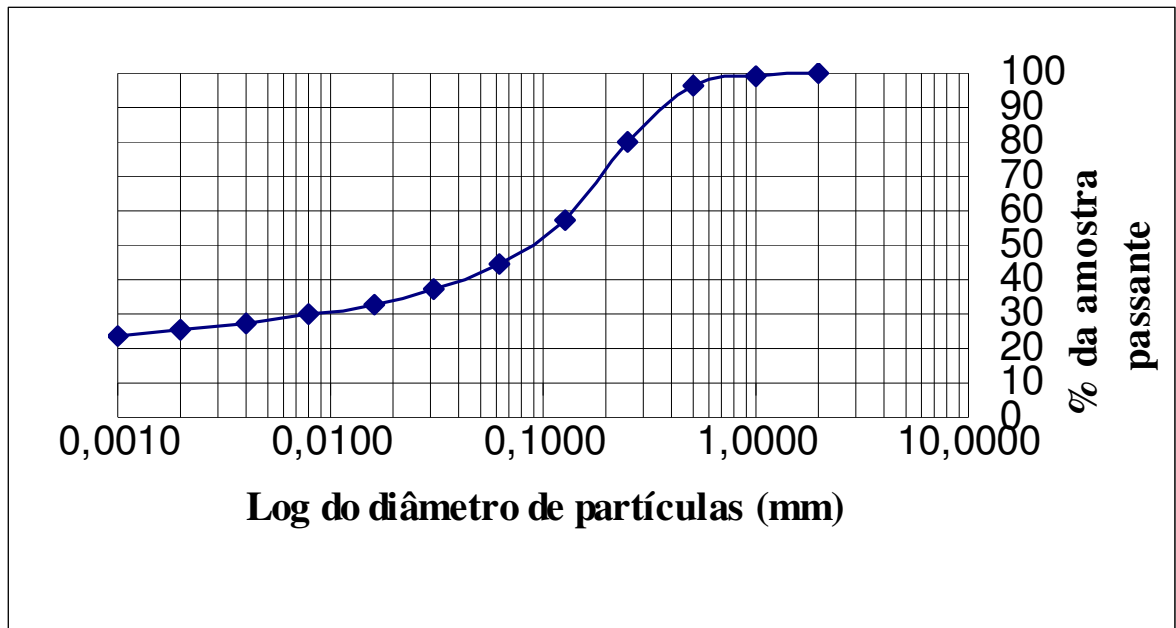


Figura 7 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 1 (T1).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados obtidos mostram que o volume 2 (V2) da trincheira 1 (T1) apresenta textura franco-arenosa. A Tabela 3 mostra o resultado obtido e a Figura 8 a curva granulométrica correspondente para o volume pedológico 3 (V3) da trincheira 1 (T1) com ampla predominância da fração areia média.

Tabela 3 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 3 (V3) para a trincheira 1 (T1).

% da amostra	Diâmetro da partícula (mm)	Definição granulométrica da terra fina		Total
0	2,0000	Areia	Areia grossa	58,81%
0,1801	1,0000		0,18 %	
1,412	0,5000		37,57 %	
36,1623	0,2500	Silte	Areia fina	8,15 %
16,3518	0,1250		21,05 %	
4,6994	0,0620			
0,9664	0,0310	Argila		33,04 %
3,4731	0,0160			
2,0809	0,0080			
1,6289	0,0040			
3,143	0,0020			
1,7365	0,0010			
2,0953	0,0005			
26,0698	0,0001			

Org.: MARQUES, R. D

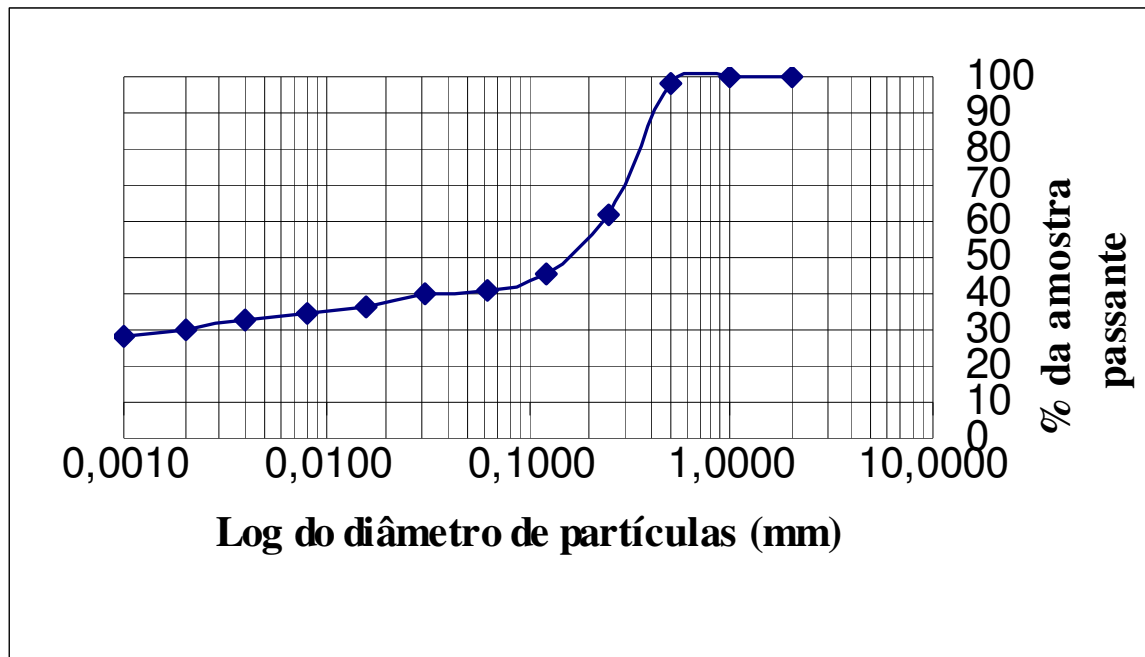


Figura 8 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 1 (T1).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados demonstram que o volume 3 (V3) da trincheira 1 (T1) apresenta textura franco-argila-arenosa. A análise textural da trincheira 1 (T1) mostra um aumento considerável da fração argila do topo (V1) da trincheira em direção a base (V3) da mesma. Também demonstra haver relativa diminuição da fração areia na mesma direção. A Tabela 4 mostra o resultado obtido e a Figura 9 a curva granulométrica para o volume pedológico 1 (V1) da trincheira 2 (T2).

Tabela 4 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 1 (V1) para a trincheira 2 (T2).

% da amostra	Diâmetro da partícula	Definição granulométrica da terra fina		Total
0	2,0000	Areia	Areia grossa	77,59%
1,301	1,0000		1,30 %	
10,2809	0,5000		Areia média	
27,5152	0,2500	Areia fina	38,49 %	
26,0339	0,1250			
12,4583	0,0620			
4,9694	0,0310	Silte	12,77 %	
4,1257	0,0160			
1,628	0,0080			
2,0454	0,0040			
1,1758	0,0020	Argila	9,26 %	
1,3775	0,0010			
1,6976	0,0005			
5,0093	0,0001			

Org.: MARQUES, R. D.

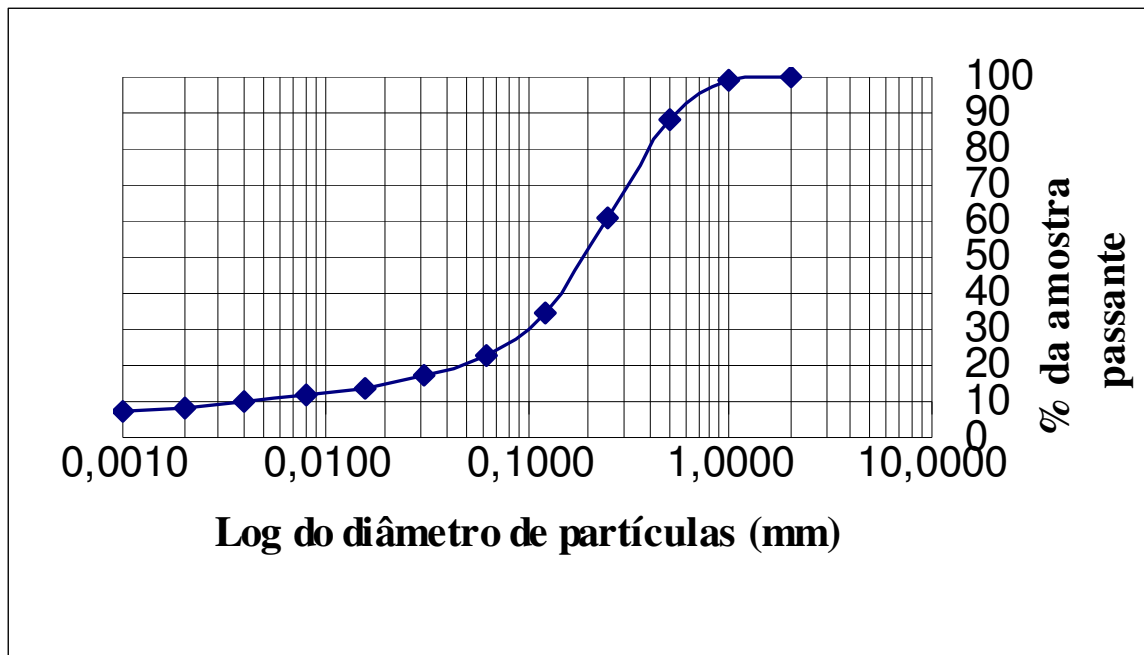


Figura 9 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 2 (T2).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados demonstram que o volume 1 (V1) da trincheira 2 (T2) apresenta textura franco-arenosa. Notou-se que as frações areia média e fina predominam no volume avaliado. A Tabela 5 mostra o resultado obtido e a Figura 10 ilustra a curva granulométrica correspondente ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 2 (T2):

Tabela 5 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 2 (V2) para a trincheira 2 (T2).

% da amostra	Diâmetro da partícula	Definição granulométrica da terra fina		Total	
0	2,0000	Areia	Areia grossa	72,83%	
1,1054	1,0000		1,11 %		
7,9316	0,5000		Areia média		32,14 %
24,206	0,2500		Areia fina		39,58 %
26,7643	0,1250				
12,8192	0,0620	Silte	15,53 %		
6,6259	0,0310				
4,429	0,0160				
2,5692	0,0080				
1,9011	0,0040	Argila	11,65 %		
1,474	0,0020				
1,1227	0,0010				
0,7508	0,0005				
8,3002	0,0001				

Org.: MARQUES, R. D.

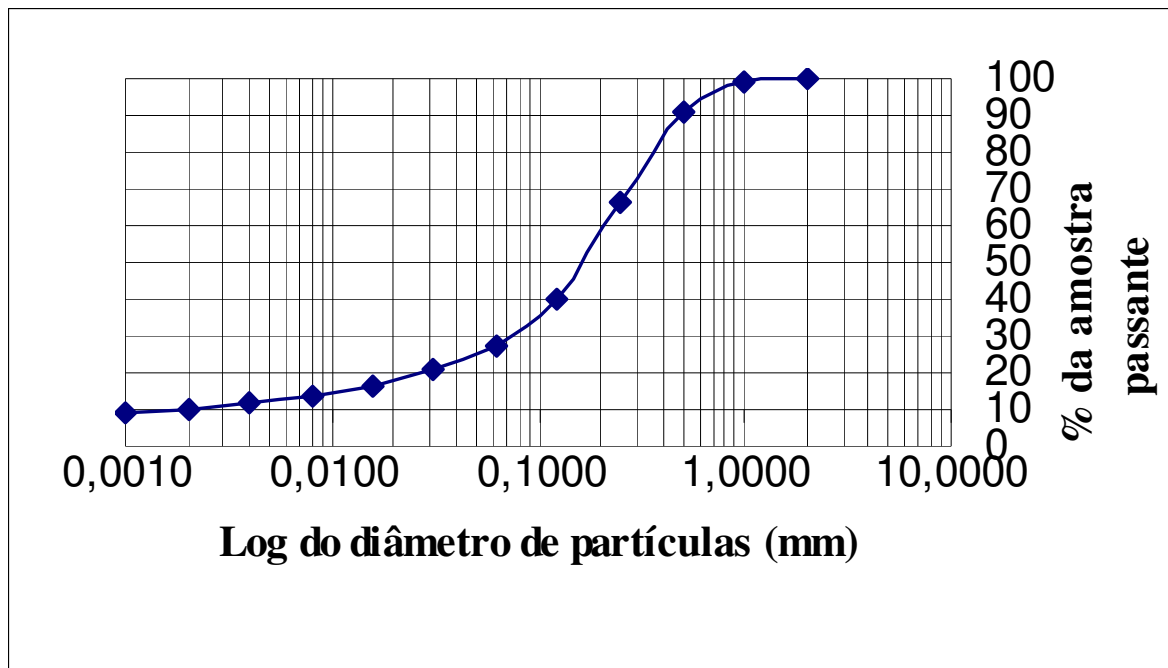


Figura 10 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 2 (T2).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados demonstram que o volume 2 (V2) da trincheira 2 (T2) apresenta textura franco-arenosa. Observou-se um crescimento importante da fração argila predominante em relação as outras frações avaliadas. A Tabela 6 mostra o resultado obtido e a Figura 11 a curva granulométrica para o volume pedológico 3 (V3) da trincheira 2 (T2).

Tabela 6 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 3 (V3) para a trincheira 2 (T2).

% da amostra	Diâmetro da partícula	Definição granulométrica da terra fina			Total
0	2,0000	Areia	Areia grossa	0,99 %	49,48%
0,9895	1,0000		Areia média	21,26 %	
5,1367	0,5000		Areia fina	27,24 %	
16,1195	0,2500	Silte		10,93 %	
17,9328	0,1250				
9,3024	0,0620				
4,4468	0,0310				
3,576	0,0160	Argila		39,59 %	
2,4295	0,0080				
0,4777	0,0040				
1,7811	0,0020				
1,2352	0,0010				
1,399	0,0005				
35,1733	0,0001				

Org.: MARQUES, R. D.

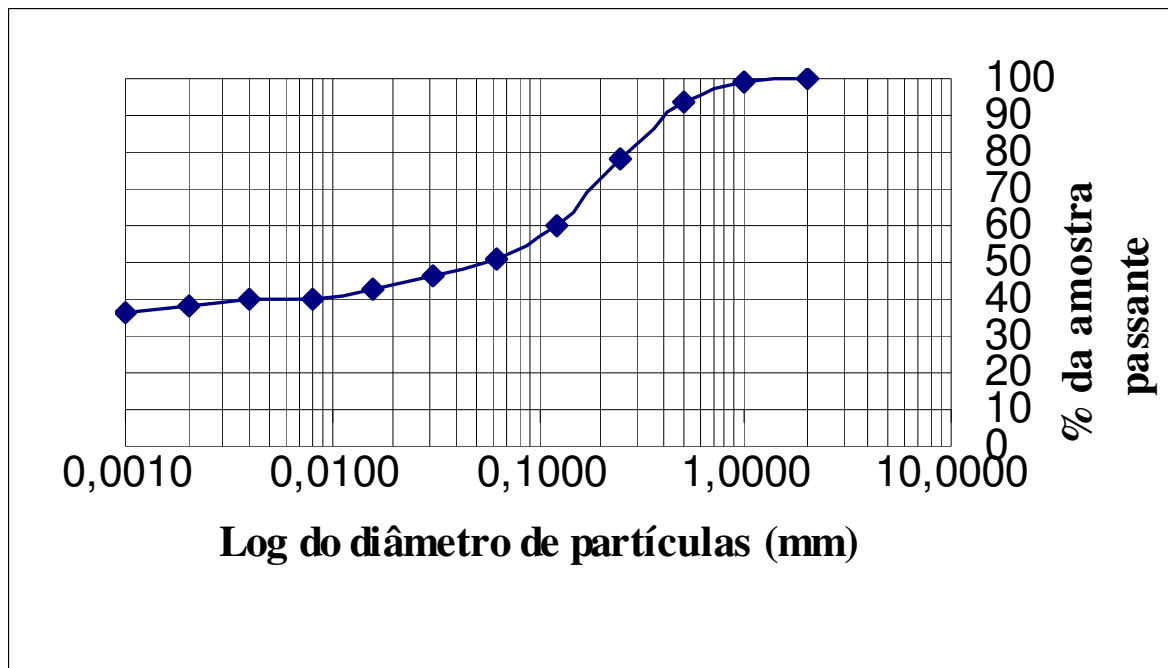


Figura 11 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 2 (T2).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados demonstram que o volume 3 (V3) da trincheira 2 (T2) apresenta textura argila-arenosa. A análise textural da trincheira 2 (T2) também demonstra haver um aumento relativo da fração argila do topo (V1) da trincheira em direção a base (V3) da mesma demonstrando também demonstra que haver diminuição da fração areia na mesma direção sendo esta mais marcante em relação ao volume 3 (V3). Este comportamento indica um crescimento relativo da fração argila da superfície em direção a base (V2 e V3), sugerindo o processo de translocação de argilas como colóides por ação de infiltração ou ainda de precipitação pluviométrica. A Tabela 7 mostra o resultado obtido e a Figura 12 a curva granulométrica para o volume pedológico 1 (V1) da trincheira 3 (T3):

Tabela 7 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 1 (V1) para a trincheira 3 (T3).

% da amostra	Diâmetro da partícula	Definição granulométrica da terra fina			Total
0	2,0000	Areia	Areia grossa	0,39 %	28,76%
0,3862	1,0000		Areia média	11,65 %	
2,6922	0,5000		Areia fina	16,73 %	
8,9557	0,2500				
10,4012	0,1250				
6,3292	0,0620				
15,0812	0,0310				
11,9214	0,0160				
7,1558	0,0080				
3,8491	0,0040	Silte		38,01 %	

5,814	0,0020	Argila	33,12 %
4,0617	0,0010		
3,5045	0,0005		
19,7444	0,0001		

Org.: MARQUES, R. D.

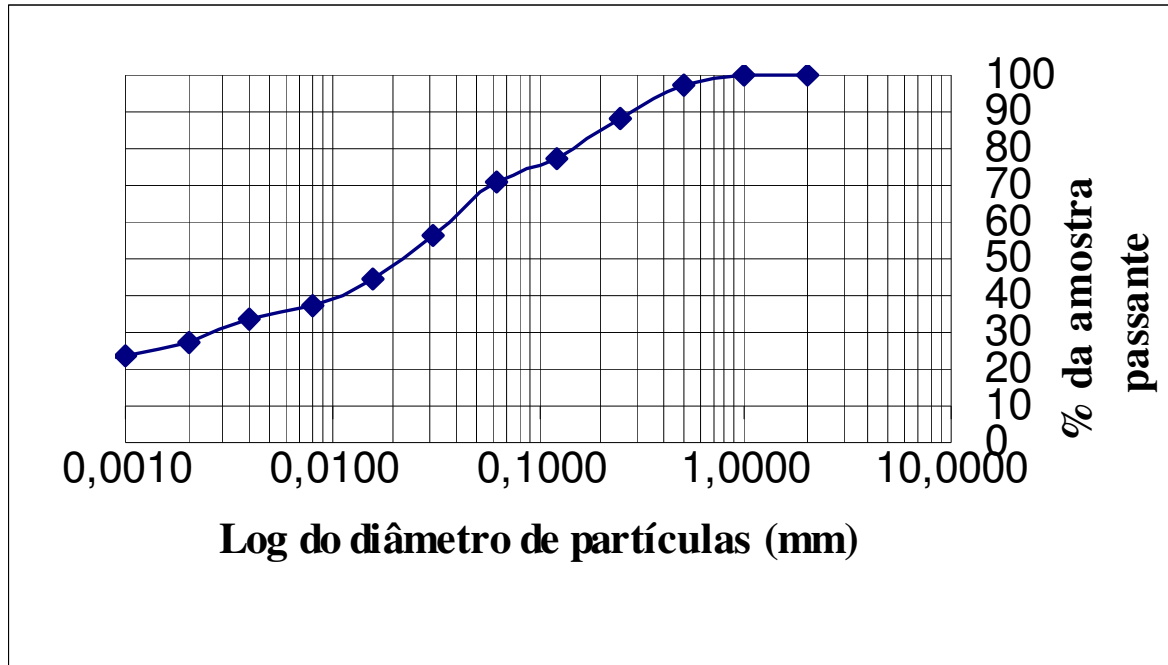


Figura 12 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 3 (T3).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados demonstram que o volume 1 (V1) da trincheira 3 (T3) apresenta textura argila-argilosa. Notou-se ainda que as frações granulométricas finas do solo tanto argila quanto silte predominaram sobre as arenosa neste volume. A tabela 8 mostra o resultado obtido e a Figura 13 a curva granulométrica para o volume pedológico 2 (V2) da trincheira 3 (T3):

Tabela 8 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 2 (V2) para a trincheira 3 (T3).

% da amostra	Diâmetro da partícula	Definição granulométrica da terra fina			Total
0	2,0000	Areia	Areia grossa	0,08 %	2,08%
0,0846	1,0000				
0,1119	0,5000				
0,3331	0,2500		Areia média	0,45 %	
0,5223	0,1250				
1,0306	0,0620	Silte	48,61 %		
12,6955	0,0310				
17,7999	0,0160				
11,1473	0,0080				
6,9661	0,0040				

7,1602	0,0020	Argila	49,31 %
9,8407	0,0010		
17,2698	0,0005		
15,0373	0,0001		

Org.: MARQUES, R. D

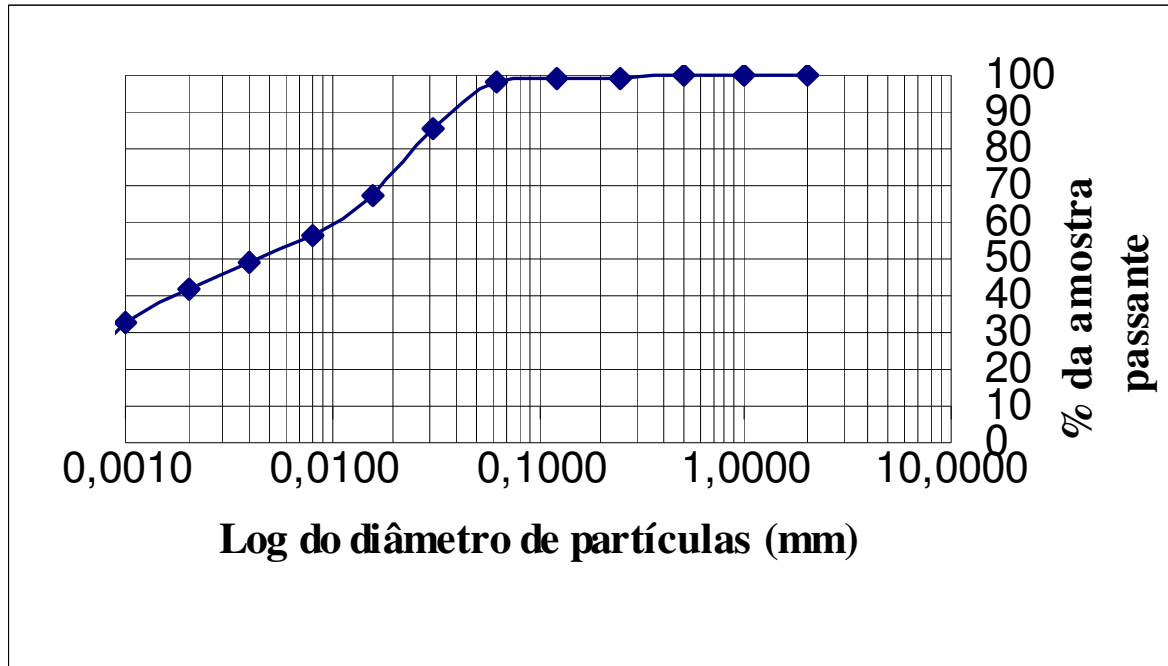


Figura 13 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 3 (V3).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados demonstram que o volume 2 (V2) da trincheira 3 (T3) apresenta textura argila-siltosa. Neste volume pedológico também observou-se a predominância das frações finas (silte e argila) em relação a fração areia. A Tabela 9 mostra o resultado obtido e a Figura 14 a curva granulométrica para o volume pedológico 3 (V3) da trincheira 3 (T3):

Tabela 9 - Resultado do ensaio realizado para determinação da distribuição de partículas do volume 3 (V3) para a trincheira 3 (T3).

% da amostra	Diâmetro da partícula	Definição granulométrica da terra fina		Total
0	2,0000	Areia	Areia grossa	10,03%
0,1475	1,0000			
0,7623	0,5000		6,84 %	
2,2824	0,2500			
3,6316	0,1250	Silte	38,94 %	
3,2092	0,0620			
11,6643	0,0310			
14,6924	0,0160			
9,0526	0,0080			
3,5285	0,0040			

7,31	0,0020	Argila	51,03 %
8,2355	0,0010		
7,4402	0,0005		
28,04	0,0001		

Org.: MARQUES, R. D

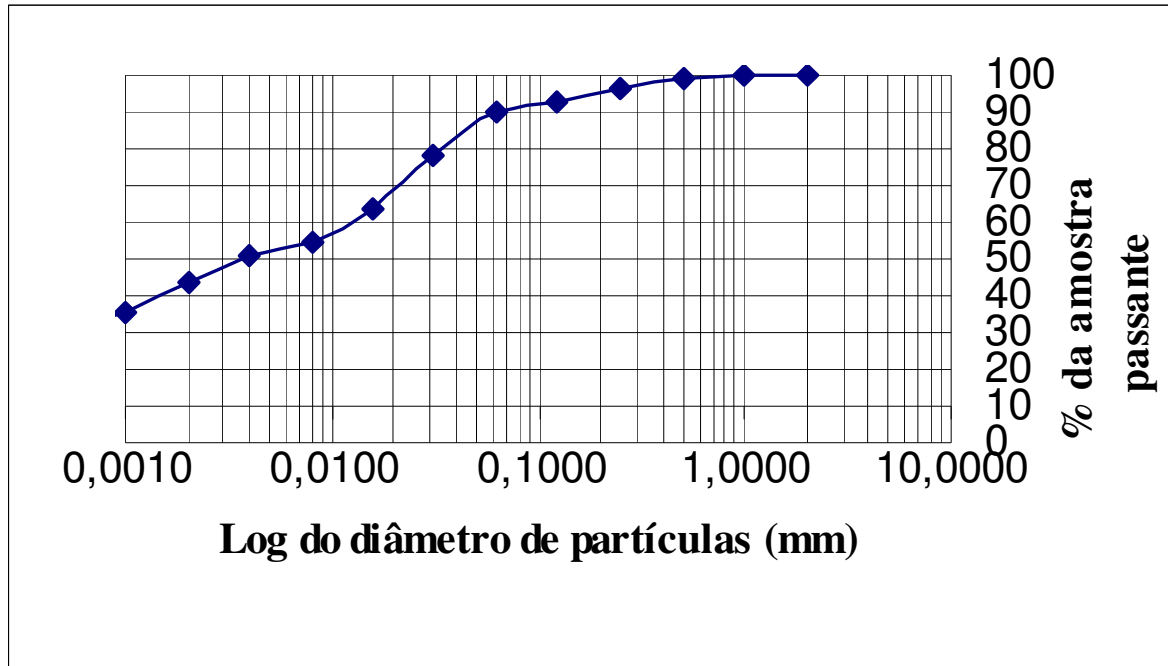


Figura 14 - Curva granulométrica relativa ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 3 (T3).
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados demonstram que o volume 3 (V3) da trincheira 3 (T3) apresenta textura argila. A análise textural da trincheira 1 (T1) demonstra também um aumento considerável da fração argila do topo (V1) da trincheira em direção a base (V3) da mesma.

Também demonstra que haver diminuição da fração areia na mesma direção sendo esta muito relevante para a análise dos processos erosivos e dos fluxos subsuperficiais já que revelaram uma acentuada concentração da fração argila e uma marcante diminuição da fração areia se comparados com as trincheiras (T1 e T2).

A análise da textura dos volumes pedológicos das três trincheiras permite inferir que há um aumento relativo da fração argila nas três trincheiras com o aumento da profundidade em direção aos volumes 2 (V2) e 3 (V3). Também há um significativo aumento da fração argila nos volumes pedológicos em direção as trincheiras 2 (T2) e 3 (T3) sugerindo processo de translocação de colóides no perfil do topo em direção a base.

Neste sentido verifica-se através da análise textural que a trincheira 1 (T1) assemelha-se aos arenitos da Formação Caturrita apresentando maior quantidade de fração areia média a fina, o que favorece a infiltração de águas de chuvas e por sua vez a translocação vertical da fração argila dos volumes pedológicos superiores (V1) para os volumes pedológicos inferiores (V2 e V3).

Os ensaios texturais permitem afirmar que há um volume pedológico (V3) argiloso em subsuperfície (horizonte hortoniano onde ocorre os fluxos hortonianos) e este encontrando-se bem definido nas trincheiras 2 (T2) e 3 (T3) a partir do volume 2 (V2) das duas trincheiras (T2 e T3).

Conforme ainda será apresentado no decorrer do trabalho com a correlação e a relação entre a perda de sedimentos e a precipitação será visto que a fração que mais se perde são as frações silte e argila.

Assim, ficará melhor esclarecido o porquê do aumento da fração argila em direção a base da encosta e em direção a base das trincheiras. Pois são essas as frações granulométricas mais facilmente transportadas pela água da chuva (iluviação).

4.4 Determinação dos limites de consistências dos volumes pedológicos da trincheira sobre a encosta Itagiba.

A tabela 10 mostra os valores do limite de liquidez, do limite de plasticidade e do limite de contração nos volumes 1, 2 e 3 (V1, V2 e V3) das trincheiras 1, 2 e 3 (T1, T2 e T3).

Tabela 10 – Limites de consistência das trincheiras das trincheira 1, 2 e 3 (T1, T2 e T3).

Trincheiras	Volumes Pedológicos	LL (%)	LP (%)	LC (%)
T1	V1	NL	NP	NC
	V2	36,68	14,3	1,5948
	V3	39,31	16,83	1,5552
T2	V1	NL	NP	NC
	V2	NL	NP	NC
	V3	51,34	17,5	1,5834
T3	V1	NL	NP	NC
	V2	58,27	21,995	1,8403
	V3	34,62	21,5225	1,7469

Org.: MARQUES, R. D

A análise dos limites de consistência permite afirmar que o horizonte superficial (V1) das três trincheiras (T1, T2 e T3) apresentaram-se não-plásticos. Também é possível observar que os volumes pedológicos inferiores (V2 e V3) possuem limites de plasticidade semelhantes em relação a mesma trincheira mas se comparado a trincheira 2 e 3 (T2 e T3) verifica-se que a trincheira 3 (T3) possui maiores índices.

Todos os valores obtidos para os limites de consistência, exceto no volume 3 (V3) da trincheira 3 (T3), são crescentes do topo para a base da topossequência, mostrando relação direta com o aumento do teor da fração argila.

Confrontando-se esses dados com os resultados anteriores (textura e curva granulométrica) e com a conformação do perfil topográfico da topossequência é possível observar a maior instabilidade que a vertente assume a partir do topo em relação a base.

Apresenta-se assim no topo uma conformação convexa (área de dissecação) onde os processos erosivos atuantes no passado geológico recente (geomorfologia do Quaternário) atuaram moldando a paisagem e transportando as frações silte e argila para a área de cônica (área de acumulação). Nesta os sedimentos são depositados e as frações granulométricas possuem influência sobre a conformação da paisagem que prevalece o processo de ravinamento e intensa dissecação (FIGURA 15).



Figura 15 – Intenso processo de dissecação próximo a trincheira 3 (T3).
Org.: MARQUES, R.D.

Os dados dos limites de consistência mostram que o volume 3 (V3) da trincheira 3 (T3) apresentam menor limite de liquidez (L.L.= 34,62%), revelando que o volume 3 (V3) da base da topossequência é mais instável pois comporta-se como fluido antes dos volumes superiores e por isto quando atinge o grau de saturação pode levar os volumes pedológicos superiores a deslizarem se as forças conservativas de estabilidade do talude forem diferente de zero e suficientes para romper o equilíbrio.

4.5 Determinação do Coeficiente de Infiltração

Foram analisados o coeficiente de infiltração nos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) das três trincheiras (T1, T2 e T3) da topossequência localizada sobre a áreas da encosta Itagiba. Assim, os coeficientes de infiltração dos volumes pedológicos das trincheiras podem ser observados na Tabela 11 e nas figuras 16 à 24 segundo (GUERRA; CUNHA, 2002). A Figura 16 mostra o coeficiente de infiltração do volume 1 (V1) da trincheira 1 (T1).

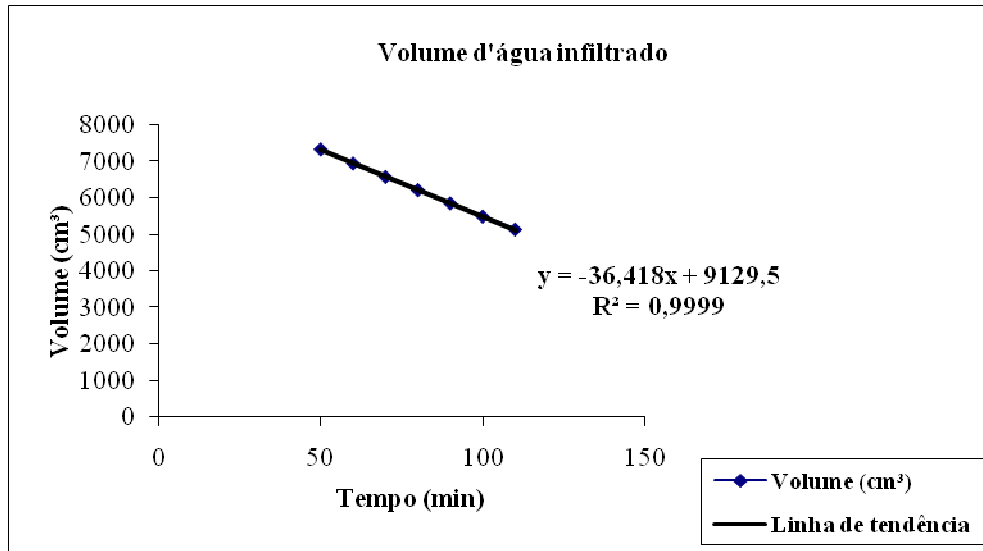


Figura 16 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 1 (T1).
Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 17 mostra o coeficiente de infiltração do volume 2 (V2) da trincheira 1 (T1).

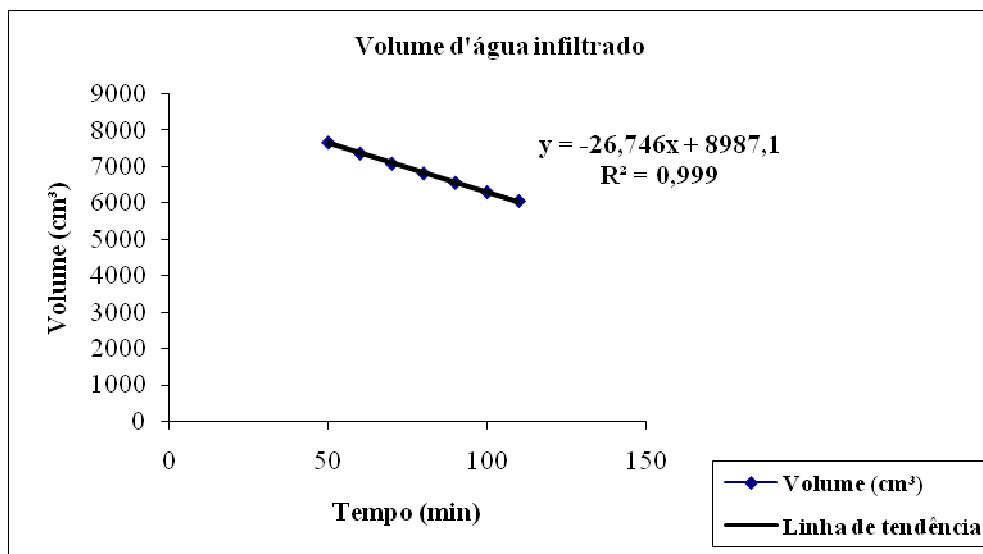


Figura 17 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 1 (T1).
Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 18 mostra o coeficiente de infiltração do volume 3 (V3) da trincheira 1 (T1).

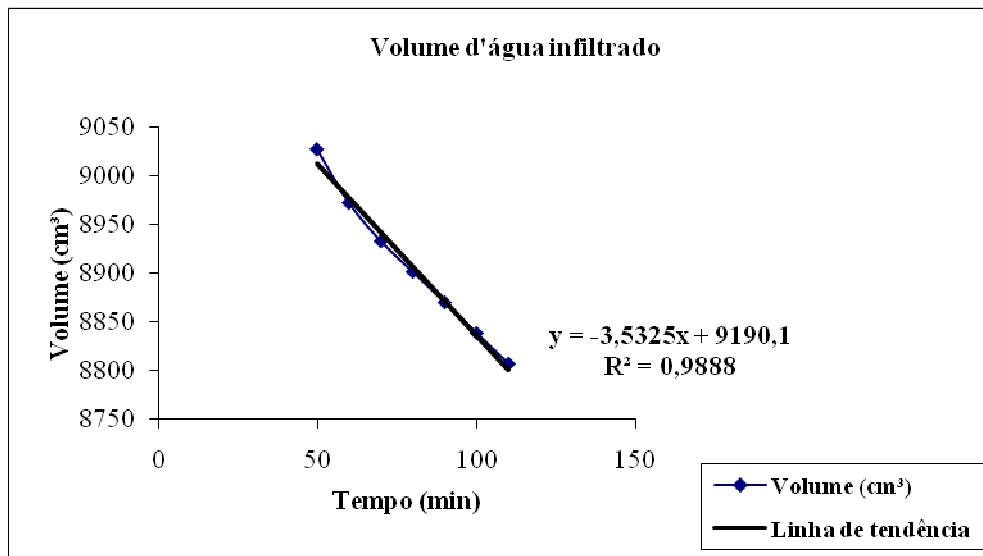


Figura 18 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 1 (T1).
Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 19 mostra o coeficiente de infiltração do volume 1 (V1) da trincheira 2 (T2).

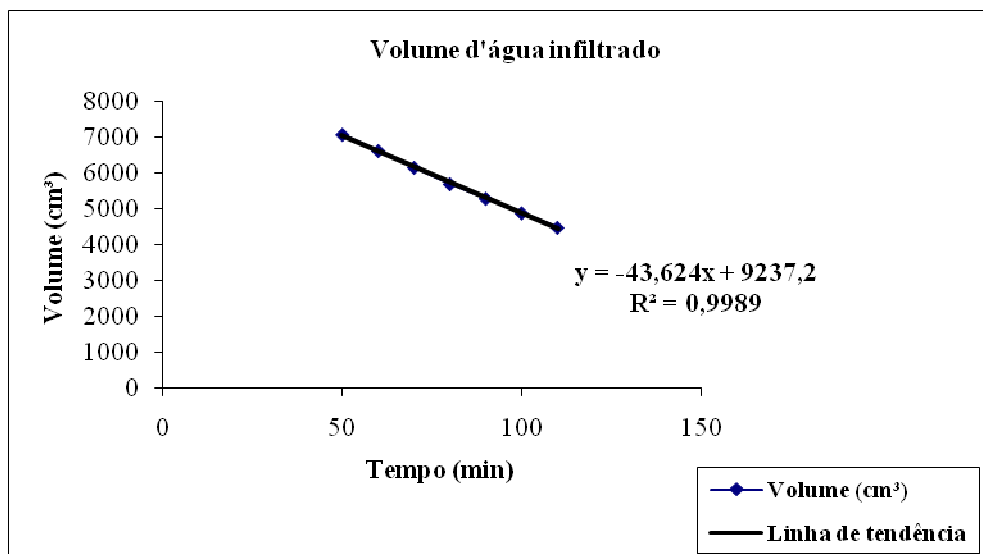


Figura 19 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 2 (T2).
Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 20 mostra o coeficiente de infiltração do volume 2 (V2) da trincheira 2 (T2).

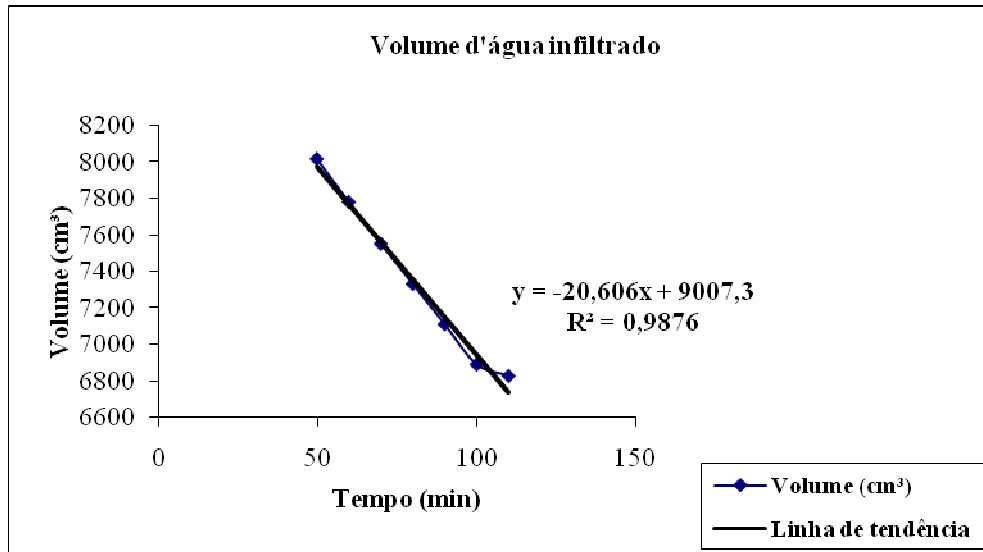


Figura 20 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 2 (T2).
Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 21 mostra o coeficiente de infiltração do volume 3 (V3) da trincheira 2 (T2).

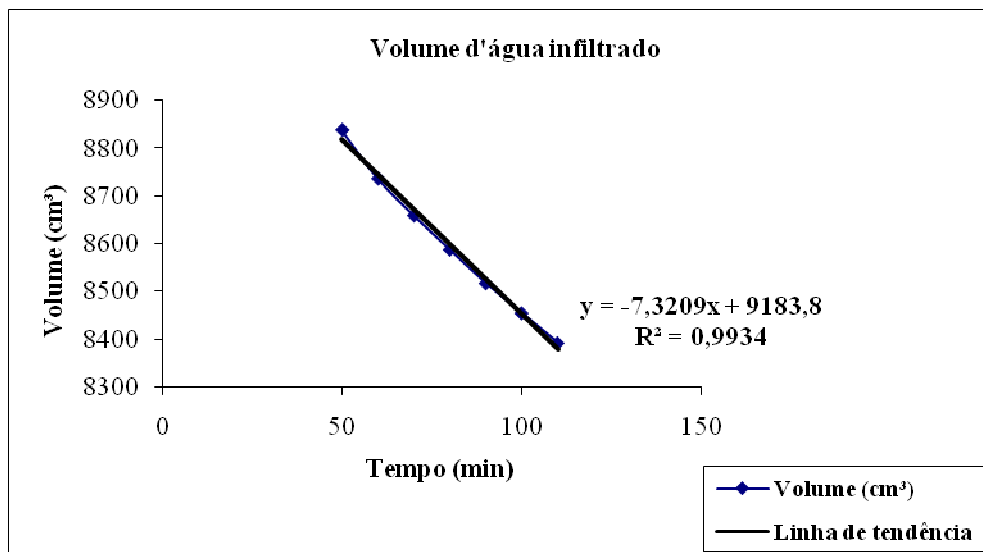


Figura 21 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 2 (T2).
Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 22 mostra o coeficiente de infiltração do volume 1 (V1) da trincheira 3 (T3).

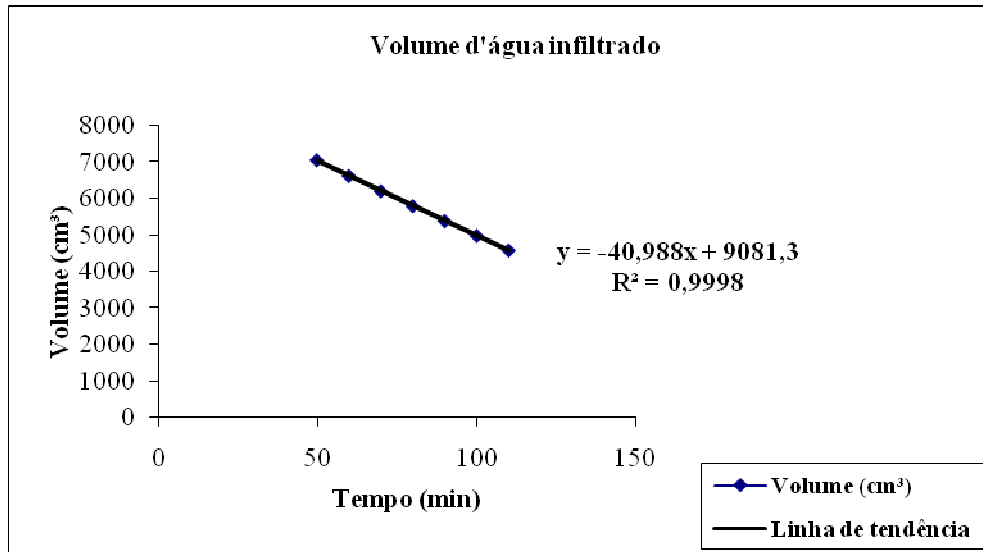


Figura 22 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 1 (V1) da trincheira 3 (T3).
 Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 23 mostra o coeficiente de infiltração do volume 2 (V2) da trincheira 3 (T3).

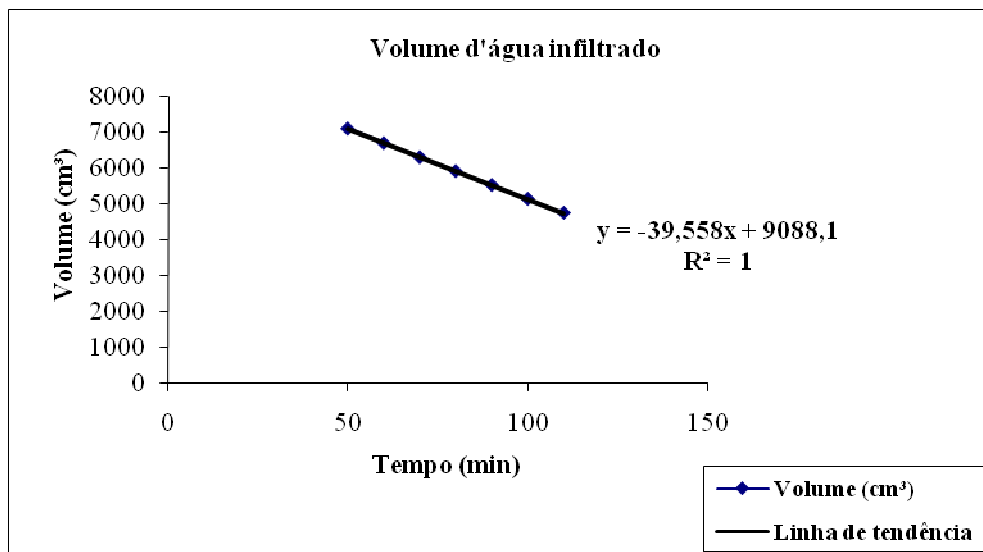


Figura 23 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 2 (V2) da trincheira 3 (T3).
 Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 24 mostra o coeficiente de infiltração do volume 3 (V3) da trincheira 3 (T3).

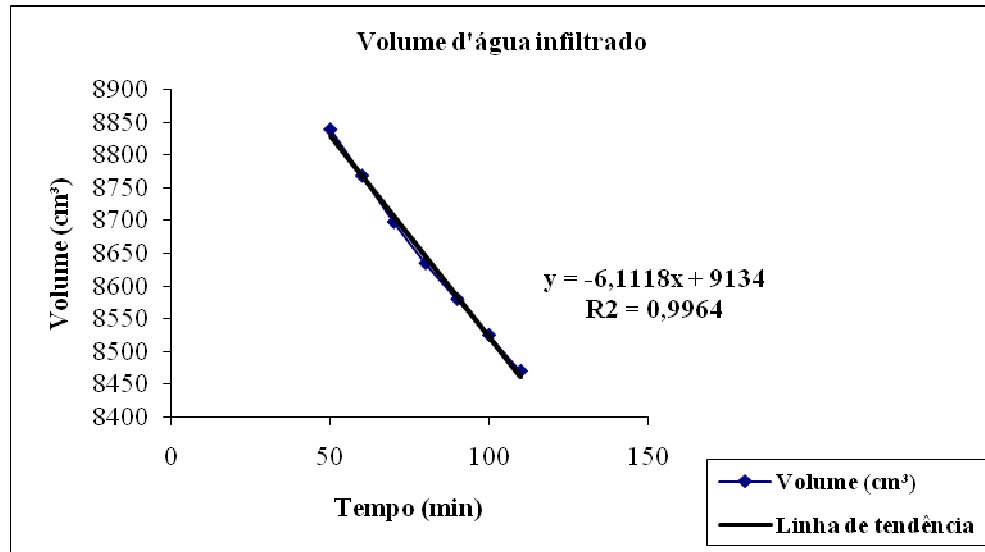


Figura 24 – Coeficiente de infiltração relativo ao volume pedológico 3 (V3) da trincheira 3 (T3).
 Org.: MARQUES, R. D.

Afim de resumir os dados obtidos dos coeficientes de infiltração, plotou-se na tabela 11 os coeficientes de infiltração dos três volumes pedológicos (V1, V2 e V2) das três trincheiras (T1, T2 e T3) da forma já mencionada na metodologia do trabalho. Cabe salientar que os índices foram obtidos através do cálculo da inclinação da reta ($Tg \gamma$) no período de tempo que corresponde a estabilização da infiltração (infiltração torna-se constante como mostra a perfeita correlação: $R^2=0,999$). Como o exemplo a seguir

$$Tg \gamma = \Delta V / \Delta T = (7324,05 - 5133,9) \text{ cm}^3 / 1 \text{ hora} = 2190,15 \text{ cm}^3 / \text{ hora}$$

$$C.I. = 2190,15 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 27,9 \text{ cm} / \text{ h}$$

Onde $Tg \gamma$ significa a tangente da função $f(x) = \gamma$ e C.I. o coeficiente de infiltração do volume 1 (V1) da trincheira 1 (T1).

Tabela 11 – Coeficiente de infiltração dos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) das trincheiras (T1, T2 e T3).

Trincheiras	Volumes Pedológicos	Coeficiente de Infiltração (cm/h)
T1	V1	C.I. = $2190,15 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 27,9$
	V2	C.I. = $1609,25 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 20,5$
	V3	C.I. = $219,8 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 2,8$
T2	V1	C.I. = $2614,05 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 33,3$
	V2	C.I. = $1414 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 18,01$
	V3	C.I. = $447,45 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 5,7$
T3	V1	C.I. = $2464,9 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 31,4$
	V2	C.I. = $2378,55 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 30,3$
	V3	C.I. = $368,95 \text{ cm}^3 / \text{ h} / 78,5 \text{ cm}^2 = 4,7$

Org.: MARQUES, R. D.

A análise dos coeficientes de infiltração nos três volumes pedológicos (V1, V2 e V3) nas três trincheiras (T1, T2 e T3) mostra que o coeficiente de infiltração diminui do topo (V1) das três trincheiras em direção a base (V3) sendo esta diminuição menor na passagem do volume 1 (V1) para o volume 2 (V2) nas três trincheiras e maior na passagem do volume 2 (V2) para o volume 3 (V3) nas três trincheiras. Estes resultados enfatizam a relação entre a concentração da fração argila nos volumes pedológicos, suas propriedades físico-químicas (impermeabilidade) e a relação com a conformação da paisagem. Pois ao analisa-se topograficamente a encosta Itagiba verifica-se que a oeste da encosta onde o terreno apresenta-se convexo há menor concentração de argila e a leste da encosta (área de acumulação) onde a encosta apresenta-se côncava, há uma maior concentração relativa de argila. Isto deve-se aos processos erosivos ao longo do quaternário que atuando na dissecação do relevo possibilitaram não só o arraste e transporte de argila para volumes subsuperficiais como também para a base da encosta. Processos erosivos que foram agravados devido ao corte topográfico para a construção da estrada de ferro e pela ocupação antrópica. Assim, ao verificar que os processos erosivos são mais acentuados devido a presença da fração argila e a localização da encosta sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa ficou comprovado a correlação e a relação entre a perda de sedimentos, infiltração diferencial e conformação da paisagem onde a dissecação está intrinsecamente relacionada aos fluxos superficiais e subsuperficiais sendo maior na presença da fração argila. Comprovando assim, que o fato de haver maior concentração da fração argila do topo para a base do terreno e de oeste para leste tem relação com a existência de um volume pedológico hortoniano (volume que a água encontra dificuldade de infiltrar devido a existência de uma camada espessa de argila passando a escoar horizontalmente – fluxo hortoniano subsuperficial).

4.6 Relação entre a perda de sedimentos e a precipitação

Após determinada a distribuição do tamanho de partículas no laboratório através do método do peneiramento simples, onde a distribuição da massa seca do solo erodido foi avaliada segundo suas proporções de tamanho em milímetros (2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm, 0,062mm + fração silte e argila retida no fundo do peneiramento), foram analisados por semestre, fazendo com que o início das coletas dos sedimentos removidos por evento de precipitação coincidissem com o solstício de verão e a análise semestral somasse as estações do ano de verão e outono. Os resultados obtidos constam na Tabela 12:

Tabela 12 - Perdas de sedimentos por volume pedológico e evento de precipitação para o período correspondente ao verão e outono (21 Dez 2004 à 21 Jun 2005).

Evento Precip.	Precipitação (mm)	Volumes pedológicos (T2)	Fração granulométrica (mm)							Total
			2	1	0,5	0,25	0,125	0,062	0,031 a 0,0005	
E1 Iníc.	5,8 Verão	V1	0	0,113	0,117	0,346	0,468	0,578	0,693	2,315
		V2	0	0,209	0,211	0,612	0,921	1,023	1,317	4,293
		V3	0	0,258	0,644	0,779	1,047	1,322	1,547	5,597
E2	8,4	V1	0	0,163	0,172	0,523	0,683	0,861	1,009	3,411
		V2	0	0,275	0,283	0,879	1,17	1,494	1,745	5,846
		V3	0	0,346	0,38	1,126	1,532	1,861	2,234	7,479
E3	36,5	V1	0,132	0,723	0,749	2,2	2,941	3,672	4,54	14,957
		V2	0,227	1,367	1,425	4,311	5,532	6,897	8,274	28,033
		V3	0,324	1,635	1,682	4,934	6,542	8,243	9,786	33,146
E4	39,4	V1	0	0,66	0,711	2,346	3,133	3,934	4,82	15,604
		V2	0	1,365	1,423	3,987	5,994	7,854	9,102	29,725
		V3	0	1,741	1,798	5,31	7,002	8,684	10,88	35,415
E5	5,1	V1	0	0,102	0,115	0,324	0,431	0,54	0,681	2,193
		V2	0	0,197	0,201	0,6	0,913	1,017	1,302	4,23
		V3	0	0,252	0,629	0,761	1,036	1,303	1,534	5,515
E6	15,5	V1	0	0,343	0,367	0,985	1,243	1,562	1,874	6,374
		V2	0	0,542	0,576	1,58	2,213	2,745	3,263	10,919
		V3	0	0,678	0,752	2,007	2,798	3,541	4,334	14,11
E7 Fim	38,4 Verão	V1	0,146	0,772	0,792	2,321	3,024	3,742	4,785	15,582
		V2	0,268	1,398	1,521	4,864	5,632	7,001	8,554	29,238
		V3	0,421	1,654	1,741	4,939	6,559	8,354	10,023	33,691
E8 Iníc.	16,2 Outono	V1	0	0,392	0,421	1,121	1,345	1,647	2,11	7,036
		V2	0	0,602	0,648	1,627	2,541	2,99	3,647	12,055
		V3	0	0,744	0,797	2,337	2,998	3,988	4,576	15,44
E9	105,8	V1	0,542	2,231	2,413	6,845	8,642	11,022	12,9	44,595
		V2	0,886	3,652	3,84	11,301	14,335	19,002	22,884	75,9
		V3	1,341	7,7	8,002	15,044	18,771	22,984	28,856	102,698
E10	61,6	V1	0,29	1,242	1,278	3,841	5	6,337	7,446	25,434
		V2	0,443	2,257	2,283	6,449	8,587	9,991	14,162	44,172
		V3	0,614	2,684	2,886	7,985	10,963	14,008	17,225	56,365
E11	55,7	V1	0	0,994	1,117	3,228	3,999	5,204	7,486	22,028
		V2	0	1,884	2,045	6,008	8,11	9,225	12,962	40,234
		V3	0	1,965	2,039	6,415	11,852	13,435	17,046	52,752

E12	24,5	V1	0,114	0,466	0,622	1,332	1,889	2,273	3,441	10,137
		V2	0	0,78	0,824	2,624	3,521	3,98	5,247	16,976
		V3	0	1,412	1,486	3,541	4,125	5,741	7,824	24,129
E13	28,8	V1	0	0,532	0,645	1,884	2,102	2,841	4,342	12,346
		V2	0,042	1,134	1,437	2,996	4,347	5,425	6,221	21,602
		V3	0	1,943	2,134	4,214	4,113	5,97	10,984	29,358
E14	32,6	V1	0,113	0,654	0,712	2,013	2,288	3,046	3,769	12,595
		V2	0,199	1,065	1,114	3,213	4,885	5,674	7,53	23,68
		V3	0,321	1,342	1,415	3,978	5,764	7,221	9,742	29,783
E15	56,2	V1	0,148	1,012	1,231	2,986	4,423	5,774	7,98	23,554
		V2	0,345	1,898	2,102	5,487	7,325	10,41	13,42	40,987
		V3	0,578	2,325	2,457	6,764	9,664	12,471	15,035	49,294
E16	88,2	V1	0,402	1,784	2,023	5,796	7,887	9,896	13,145	40,933
		V2	0,661	2,978	3,641	9,348	13,874	17,687	20,422	68,611
		V3	1,254	6,421	6,981	13,027	16,446	22,003	25,268	91,4
E17	3,5	V1	0	0,984	0,825	0,125	0,354	0,502	0,513	3,303
		V2	0	0,024	0,314	0,472	1,324	0,985	1,176	4,295
		V3	0	0,008	0,568	0,867	0,974	1,587	1,473	5,477
E18	75,8	V1	0,203	1,065	1,874	3,891	6,482	8,472	11,863	33,85
		V2	0,468	2,124	2,997	8,004	11,42	15,891	23,442	64,346
		V3	0,394	5,11	6,037	11,664	14,578	19,657	28,024	85,464
E19 Fim	2,4 Outono	V1	0	0,347	0,401	0,425	0,412	0,547	0,464	2,596
		V2	0,041	0,038	0,089	0,354	1,039	1,14	1,078	3,779
		V3	0	0,587	0,428	0,645	1,015	1,113	1,241	5,029

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da textura da Tabela 12, mostra que a perda de sedimento total é maior nos eventos de maior precipitação e que a ordem crescente de perda de sedimentos se dá das frações granulométricas de maior diâmetro (2mm), para a frações granulométricas de menor diâmetro (silte e argila). Observou-se que a fração granulométrica silte e argila corresponde aproximadamente a 20,4 % da perda de sedimentos correspondendo a fração mais susceptível a perda.

A perda de sedimentos nos volumes pedológicos foi maior no volume pedológico 3 (V3) seguidos dos volumes pedológicos 2 (V2) e 1 (V1) em todos os eventos do semestre. Percebeu-se que é mais freqüente ocorrer a perda de sedimentos da fração granulométrica de 2mm nos eventos de precipitação que ultrapassaram 40 mm, sendo menos freqüente a perda de material dessa fração em eventos inferiores a 10 mm.

Posteriormente seguiu-se a coleta e o armazenamento do material erodido que foram analisados também por semestre fazendo com que o início das coletas coincidissem com o solstício de inverno do ano de 2005 e a análise semestral somasse as estações do ano de inverno e primavera obtendo-se os resultados na Tabela 13:

Tabela 13 - Perdas de sedimentos por volume pedológico e evento de precipitação para o período correspondente ao inverno e primavera (21 Jun 2005 à 21 Dez 2005).

Evento Precip.	Precipitação (mm)	Volumes pedológicos (T2)	Fração granulométrica (mm)							Total
			2	1	0,5	0,25	0,125	0,062	0,031 a 0,0005	
E20 Iníc.	28,3 Inverno	V1	0,094	0,497	0,584	1,781	1,892	2,642	4,021	11,511
		V2	0,046	0,775	1,138	2,542	3,884	5,011	5,975	19,371
		V3	0	1,462	1,876	3,897	3,749	5,421	11,852	28,257
E21	13,1	V1	0	0,294	0,311	0,847	0,985	1,342	1,631	5,41
		V2	0	0,486	0,485	1,601	1,895	2,325	3,002	9,794
		V3	0	0,441	0,501	1,993	2,346	2,885	3,704	11,87
E22	23,9	V1	0	0,551	0,587	1,428	1,649	2,418	3,711	10,344
		V2	0	0,429	0,642	2,11	3,038	4,756	6,874	17,849
		V3	0	1,235	1,654	3,003	3,885	5,257	6,579	21,613
E23	19,4	V1	0,087	0,3,87	0,544	1,102	1,137	1,974	2,841	7,685
		V2	0	0,526	0,438	1,847	2,247	3,489	4,401	12,948
		V3	0	0,478	0,536	1,997	2,665	4,869	5,002	15,547
E24	12,9	V1	0	0,287	0,327	0,548	1,003	1,149	1,947	5,261
		V2	0	0,341	0,378	1,021	2,347	2,541	2,857	9,485
		V3	0	0,4	0,374	1,762	2,498	2,884	4,097	12,015
E25	48,0	V1	0,076	0,666	0,711	2,53	3,025	4,312	5,19	16,51
		V2	0,04	1,024	1,653	4,774	7,302	7,89	11,184	33,867
		V3	0	1,401	1,684	5,881	10,028	14,003	15,872	48,869
E26	20,6	V1	0	0,431	0,521	1,003	1,224	1,854	2,897	7,93
		V2	0	0,63	0,547	2,112	3,21	3,347	4,452	14,298
		V3	0	0,888	1,104	2,874	3,298	5,204	6,339	19,707
E27	19,7	V1	0,045	0,341	0,431	1,378	1,114	1,552	2,086	6,947
		V2	0	0,573	0,498	1,558	2,688	3,107	3,243	11,667
		V3	0	0,688	0,685	2,21	2,745	3,574	4,021	13,923
E28 Fim	127,4 Inverno	V1	0,702	2,847	3,228	7,852	9,774	12,001	14,111	50,515
		V2	1,427	3,589	4,327	12,546	15,453	21,088	22,891	81,321
		V3	1,698	8,552	8,546	16,008	19,71	24,24	27,652	106,406
E29 Iníc.	66,8 Primavera	V1	0,351	1,011	1,018	4,005	4,886	6,84	8,818	26,929
		V2	0,342	2,147	2,202	6,955	9,114	9,827	13,843	44,43
		V3	0,584	3,012	2,375	8,774	9,976	16,18	17,813	58,714
E30	163,3	V1	1,355	3,524	3,869	9,547	13,002	15,687	18,448	65,432
		V2	1,761	7,228	8,991	15,678	22,764	23,224	24,119	103,765
		V3	2,042	9,021	8,997	20,1	23,846	26,197	29,662	119,865
E31	9,2	V1	0	0,144	0,183	0,609	0,637	1,002	1,01	3,585
		V2	0	0,252	0,225	1,222	1,734	1,585	2,18	7,198
		V3	0	0,487	0,5	1,419	1,503	1,963	2,988	8,86
E32	81,2	V1	0,368	1,659	1,889	5,002	7,113	9,217	12,849	38,097
		V2	0,599	2,527	3,001	8,446	12	16,131	18,639	61,343
		V3	0,988	4,872	6,636	11,547	15,211	19,227	23,859	82,34
E33	33,4	V1	0,044	0,602	0,623	2,231	2,355	3,431	3,738	13,024
		V2	0	1,247	1,234	2,998	4,662	5,874	8,981	24,996
		V3	0	1,548	1,623	4,027	5,224	6,998	10,418	29,838
E34	30,1	V1	0	0,488	0,512	1,734	1,889	2,689	4,223	11,535
		V2	0	0,768	1,145	2,533	3,874	5,137	5,997	19,454
		V3	0	1,455	1,894	3,775	3,866	5,335	12,021	28,346
E35	4,0	V1	0	0,374	0,432	0,355	0,331	0,498	0,472	2,462
		V2	0	0,321	0,341	0,499	1,475	1,002	1,238	4,876
		V3	0	0,548	0,547	0,798	1,117	1,488	1,475	5,973
		V1	0	0,447	0,517	1,428	1,355	1,674	3,127	8,548

E36	20,2	V2	0	0,589	0,5	1,997	2,896	3,445	4,528	13,955
		V3	0	0,749	1,348	3,009	3,378	4,996	6,087	19,567
E37	82,3	V1	0,342	1,587	1,771	5,643	6,989	8,996	12,719	38,047
		V2	0,634	2,332	2,882	8,531	11,887	16,442	18,517	61,225
		V3	1,002	4,712	6,578	11,447	15,689	19,467	23,058	81,953
E38 Fim	2,9 Primavera	V1	0	0,301	0,388	0,4	0,415	0,491	0,533	2,528
		V2	0	0,273	0,041	0,343	0,968	1,022	1,021	3,668
		V3	0	0,339	0,378	0,569	0,985	1,025	1,11	4,406

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da textura da Tabela 13, mostra que a perda de sedimento total é maior nos eventos de maior precipitação e a ordem crescente de perda de sedimentos se dá das frações granulométricas de maior diâmetro (2mm), para a frações granulométricas de menor diâmetro (silte e argila). Observou-se que a fração granulométrica silte e argila corresponde aproximadamente a 21,6 % da perda de sedimentos correspondendo a fração mais susceptível a perda.

A perda de sedimentos nos volumes pedológicos foi maior no volume pedológico 3 (V3) seguidos dos volumes pedológicos 2 (V2) e 1 (V1) em todos os eventos do semestre. Percebeu-se que é mais freqüente ocorrer a perda de sedimentos da fração granulométrica de 2mm nos eventos de precipitação que ultrapassaram 40 mm, sendo menos freqüente a perda de material dessa fração em eventos inferiores a 10 mm.

No ano de 2006 seguiu-se a coleta e o armazenamento do material erodido por volume pedológico na trincheira que foram analisados também por semestre fazendo com que o início das coletas coincidissem com o solstício de verão do ano de 2005 e a análise semestral somasse as estações de verão e outono obtendo-se os resultados na Tabela 14 a seguir:

Tabela 14 - Perdas de sedimentos por volume pedológico e evento de precipitação para o período correspondente ao verão e outono (21 Dez 2005 à 21 Jun 2006).

Evento Precip.	Precipitação (mm)	Volumes pedológicos (T2)	Fração granulométrica (mm)							Total
			2	1	0,5	0,25	0,125	0,062	0,031 a 0,0005	
E39 Iníc.	15,3 Verão	V1	0,039	0,464	0,339	1,025	1,135	1,418	1,662	6,082
		V2	0	0,633	0,488	1,058	1,998	2,741	3,589	10,507
		V3	0	0,571	0,573	1,886	2,528	3,97	4,745	14,273
E40	64,3	V1	0,321	1,447	1,339	3,741	4,985	6,059	7,874	25,766
		V2	0,539	1,968	2,388	6,758	8,768	10,274	13,128	43,823
		V3	0,534	2,798	2,528	7,005	11,77	15,874	16,487	56,996
E41	62,7	V1	0,039	1,234	1,243	3,425	4,012	5,408	6,989	22,35
		V2	0	2,417	2,368	6,854	7,995	10,201	13,11	42,945
		V3	0	1,539	2,535	7,548	12,412	14,125	16,248	54,407
E42	71,6	V1	0,421	1,214	1,325	3,998	5,002	6,774	9,214	27,948
		V2	0,624	2,025	2,412	7,558	9,454	10,987	14,001	47,061

		V3	0,571	2,889	2,785	9,541	10,214	15,9	18,147	60,047
E43	7,2	V1	0	0,113	0,125	0,466	0,574	0,986	0,995	3,259
		V2	0	0,221	0,224	1,301	1,633	1,547	1,974	6,9
		V3	0	0,387	0,486	1,399	1,487	1,654	2,774	8,187
E44	38,9	V1	0,141	0,754	0,724	1,998	3,247	3,841	4,867	15,572
		V2	0,301	1,342	1,427	4,524	5,325	7,128	8,687	28,734
		V3	0,384	1,732	1,724	5,237	6,678	7,989	10,358	34,102
E45	13,8	V1	0	0,279	0,332	0,621	1,213	1,201	2,047	5,693
		V2	0	0,337	0,453	1,174	2,547	2,648	2,578	9,737
		V3	0	0,511	0,412	1,845	2,544	2,799	3,889	12
E46 Fim Verão	15,9	V1	0	0,255	0,343	0,648	1,341	1,314	2,241	6,142
		V2	0	0,321	0,461	1,247	2,748	2,799	3,012	10,588
		V3	0	0,486	0,521	1,789	2,633	2,842	3,422	11,693
E47 Iníc. Outono	47,2	V1	0,125	0,845	1,002	3,004	3,258	5,014	6,078	19,326
		V2	0,217	1,675	2,143	5,997	7,974	10,451	13,421	41,878
		V3	0,244	1,754	1,993	6,709	12,04	13,524	16,874	53,138
E48	13,1	V1	0	0,389	0,432	1,003	1,001	1,413	2,447	6,685
		V2	0	0,598	0,6189	1,689	2,674	3,427	3,578	12,584
		V3	0	0,754	0,748	2,428	3,012	4,019	4,475	15,436
E49	17,3	V1	0	0,401	0,607	1,203	1,128	2,142	3,074	8,555
		V2	0	0,498	0,513	1,724	2,311	3,346	4,504	12,896
		V3	0	0,463	0,575	2,014	2,527	5,014	5,247	15,84
E50	19,8	V1	0	0,4	0,398	1,228	1,452	1,741	2,314	7,533
		V2	0	0,589	0,657	1,674	2,874	3,41	3,813	13,017
		V3	0	0,691	0,785	2,541	3,014	4,111	4,374	15,516
E51	17,1	V1	0	0,412	0,447	1,455	1,557	1,642	2,132	7,645
		V2	0	0,601	0,399	1,547	2,741	3,448	3,874	12,61
		V3	0	0,738	0,847	2,71	2,884	3,234	9,987	20,4
E52	61,1	V1	0	1	0,884	3,334	4,113	5,074	7,351	21,756
		V2	0	1,745	2,354	5,87	7,988	9,022	12,187	39,166
		V3	0	2,047	1,996	6,341	12,457	13,412	17,578	53,831
E53	11,2	V1	0	0,333	0,388	0,247	1,547	1,456	1,852	5,823
		V2	0	0,587	0,374	1,541	1,974	2,887	3,654	11,017
		V3	0	0,325	0,465	2,001	2,231	2,756	3,678	11,456
E54	14,7	V1	0	0,302	0,314	0,588	1,354	1,311	2,147	6,016
		V2	0	0,287	0,467	1,244	2,425	2,447	2,411	9,281
		V3	0	0,487	0,404	1,773	2,357	2,836	3,745	11,602
E55 Fim Outono	10,6	V1	0,131	0,156	0,233	0,598	0,745	1,254	1,347	4,464
		V2	0	0,341	0,358	1,587	1,683	1,874	2,298	8,141
		V3	0	0,502	0,478	1,568	1,588	2,009	3,114	9,259

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da textura da Tabela 14, mostra que a perda de sedimento total é maior nos eventos de maior precipitação e a ordem crescente de perda de sedimentos se dá das frações granulométricas de maior diâmetro (2mm), para a frações granulométricas de menor diâmetro (silte e argila). Observou-se que a fração granulométrica silte e argila corresponde aproximadamente a 22,3 % da perda de sedimentos correspondendo a fração mais susceptível a perda.

A perda de sedimentos nos volumes pedológicos foi maior no volume pedológico 3 (V3) seguidos dos volumes pedológicos 2 (V2) e 1 (V1) em todos os eventos do semestre.

Também é possível perceber que é mais freqüente ocorrer a perda de sedimentos da fração granulométrica de 2mm nos eventos de precipitação que ultrapassaram 40 mm, sendo menos freqüente a perda de material dessa fração em eventos inferiores a 10 mm. Seguiu-se a coleta e o armazenamento do material erodido por volume pedológico na trincheira que foram analisados também por semestre fazendo com que o início das coletas coincidissem com o solstício de inverno do ano de 2006 e a análise semestral somasse as estações de inverno e primavera, fechando dois anos de coleta de material obtendo-se os resultados no Tabela 15:

Tabela 15 - Perdas de sedimentos por volume pedológico e evento de precipitação para o período correspondente ao inverno e primavera (21 Jun 2006 à 21 Dez 2006).

Evento Precip.	Precipitação (mm)	Volumes pedológicos (T2)	Fração granulométrica (mm)							Total
			2	1	0,5	0,25	0,125	0,062	0,031 a 0,0005	
E56 Iníc.	34,2 Inverno	V1	0	0,698	0,724	2,341	3	3,312	4,687	14,762
		V2	0	1,342	1,347	4,425	5,487	6,782	8,184	27,567
		V3	0	1,642	1,675	5,113	6,499	8,198	10,214	33,341
E57	31,4	V1	0	0,541	0,647	1,874	2,247	3,001	4,288	12,598
		V2	0	1,221	1,324	3,187	4,257	5,554	6,132	21,675
		V3	0	2,041	2,213	4,225	4,241	6,021	11,471	30,212
E58	30,6	V1	0,137	0,639	0,766	1,989	2,317	3,107	3,696	12,651
		V2	0,204	1,124	1,139	3,334	5,013	5,662	7,087	23,563
		V3	0,349	1,402	1,457	4,104	5,647	7,374	9,547	29,88
E59	9,3	V1	0	0,18	0,184	0,579	0,703	0,859	1,01	3,515
		V2	0	0,284	0,299	0,974	1,201	1,533	1,874	6,165
		V3	0	0,41	0,425	1,234	1,564	2,014	2,277	7,924
E60	60,4	V1	0,431	1,123	1,215	4,247	4,687	6,974	9,014	27,691
		V2	0,574	2,241	2,104	7,114	10,012	10,558	14,102	46,705
		V3	0,821	3,247	3,412	8,574	10	16,014	17,749	59,817
E61	8,3	V1	0	0,158	0,201	0,589	0,687	1,147	1,247	4,029
		V2	0	0,263	0,311	1,425	1,747	1,601	2,203	7,55
		V3	0	0,501	0,545	1,503	1,524	2,07	3,078	9,221
E62	36,2	V1	0	0,589	0,601	2,211	2,498	3,512	3,847	13,258
		V2	0	1,341	1,352	3,033	4,547	5,799	9,024	25,096
		V3	0	1,674	1,847	4,178	5,147	7,339	10,558	30,743
E64	21,3	V1	0	0,521	0,632	1,401	2,114	2,321	4,112	11,101
		V2	0	0,554	0,789	2,758	3,645	4,021	5,312	17,079
		V3	0	1,388	1,502	3,674	4,247	5,847	8,024	24,682
E65	50,1	V1	0,201	1,12	1,378	3,014	4,501	5,698	8,114	24,026
		V2	0,403	2,018	2,201	5,574	7,384	10,547	13,624	41,751
		V3	0,864	2,412	2,524	6,658	9,578	12,347	15,147	49,53
E66	15,8	V1	0	0,301	0,326	0,852	1,034	1,421	1,684	5,618
		V2	0	0,521	0,598	1,642	1,877	2,354	3,147	10,139
		V3	0	0,503	0,525	2,123	2,457	3,024	3,614	12,246
E67 Fim	65,3 Inverno	V1	0,398	1,317	1,348	3,579	4,374	5,602	7,012	23,63
		V2	0,502	2,547	2,3	6,904	8,044	10,211	13,138	43,646
		V3	0,758	1,537	2,41	7,887	11,889	13,997	16,886	55,364
E68	9,3	V1	0	0,142	0,179	0,612	0,678	0,998	1,287	3,896
		V2	0	0,249	0,23	1,189	1,787	1,557	2,234	7,246

Iníc.	Primavera	V3	0	0,501	0,523	1,427	1,578	2,012	3,102	9,143
E69	51,6	V1	0	1,235	1,347	3,174	4,027	5,108	7,524	22,415
		V2	0	1,974	2,124	5,997	7,897	10,789	13,117	41,898
		V3	0	2,014	2,257	6,387	12,007	13,489	16,998	53,152
E70	26,5	V1	0	0,597	0,668	1,378	1,749	2,378	3,547	10,317
		V2	0	0,779	0,804	2,637	3,601	4,125	5,345	17,291
		V3	0	1,517	1,634	3,458	4,024	5,855	7,854	24,342
E71	124,6	V1	0,841	3,002	3,208	8,114	9,731	12,335	14,648	51,879
		V2	1,637	3,967	4,446	12,488	15,51	20,968	22,768	81,784
		V3	1,833	8,412	8,533	15,476	20,422	23,887	27,558	106,121
E72	8,6	V1	0	0,152	0,168	0,568	0,694	0,987	1,214	3,783
		V2	0	0,284	0,294	0,974	1,354	1,512	1,754	6,172
		V3	0	0,357	0,447	1,258	1,648	1,974	2,574	8,258
E73	45,5	V1	0,102	0,558	0,688	2,478	3,124	4,43	5,378	16,758
		V2	0	1,125	1,647	4,8	7,423	7,775	10,223	32,993
		V3	0	1,396	1,574	6,22	9,755	13,769	16,774	49,488
E74	62,1	V1	0,411	1,247	1,147	3,998	5,475	7,441	8,755	28,474
		V2	0,432	2,341	2,266	7,336	10,225	10,442	14,55	47,592
		V3	0,634	2,986	2,442	8,638	10,112	15,99	18,119	58,921
E75	30,3	V1	0	0,611	0,617	1,902	1,998	2,991	4,455	12,574
		V2	0	1,223	1,502	3,234	4,35	5,566	6,317	22,192
		V3	0	2,007	2,058	4,558	4,238	6,044	11,228	30,133
E76	8,2	V1	0	0,177	0,233	0,498	0,702	0,974	0,998	3,582
		V2	0	0,311	0,305	0,974	1,165	1,588	1,874	6,217
		V3	0	0,351	0,422	1,785	1,668	1,974	2,178	8,378
E77 Fim	11,7 Primavera	V1	0	0,269	0,311	0,674	0,968	1,125	2,047	5,394
		V2	0	0,352	0,422	0,985	2,214	2,623	2,974	9,57
		V3	0	0,385	0,391	1,874	2,518	3,042	3,964	12,174

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da textura da Tabela 15, mostra que a perda de sedimento total é maior nos eventos de maior precipitação e a ordem crescente de perda de sedimentos se dá das frações granulométricas de maior diâmetro (2mm), para a frações granulométricas de menor diâmetro (silte e argila). Observou-se que a fração granulométrica silte e argila corresponde aproximadamente a 23,2% da perda de sedimentos correspondendo a fração mais susceptível a perda.

A perda de sedimentos nos volumes pedológicos foi maior no volume pedológico 3 (V3) seguidos dos volumes pedológicos 2 (V2) e 1 (V1) em todos os eventos do semestre. Percebeu-se que é mais freqüente ocorrer a perda de sedimentos da fração granulométrica de 2mm nos eventos de precipitação que ultrapassaram 40 mm, sendo menos freqüente a perda de material dessa fração em eventos inferiores a 10 mm.

4.7 Correlação entre a precipitação e a perda total de sedimentos

A análise da relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos foi realizada através da correlação de Pearson (GERARDI; SILVA, 1981). A Tabela 16 e a Figura 25 a seguir, mostram os resultados obtidos relativos a perda total de sedimentos considerando a soma dos volumes pedológicos para o período de 21 de dezembro de 2004 a 21 de junho de 2005.

Tabela 16 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).

Precipitação (mm)	Perda total de sedimentos (g)
105,8	223,193
88,2	200,944
75,8	183,666
61,6	125,971
56,2	113,835
55,7	115,014
39,4	80,744
38,4	78,511
36,5	76,136
32,6	66,058
28,8	63,306
24,5	51,242
16,2	34,531
15,5	31,403
8,4	16,736
5,8	12,205
5,1	11,938
3,5	13,075
2,4	11,404

Org.: MARQUES, R. D.

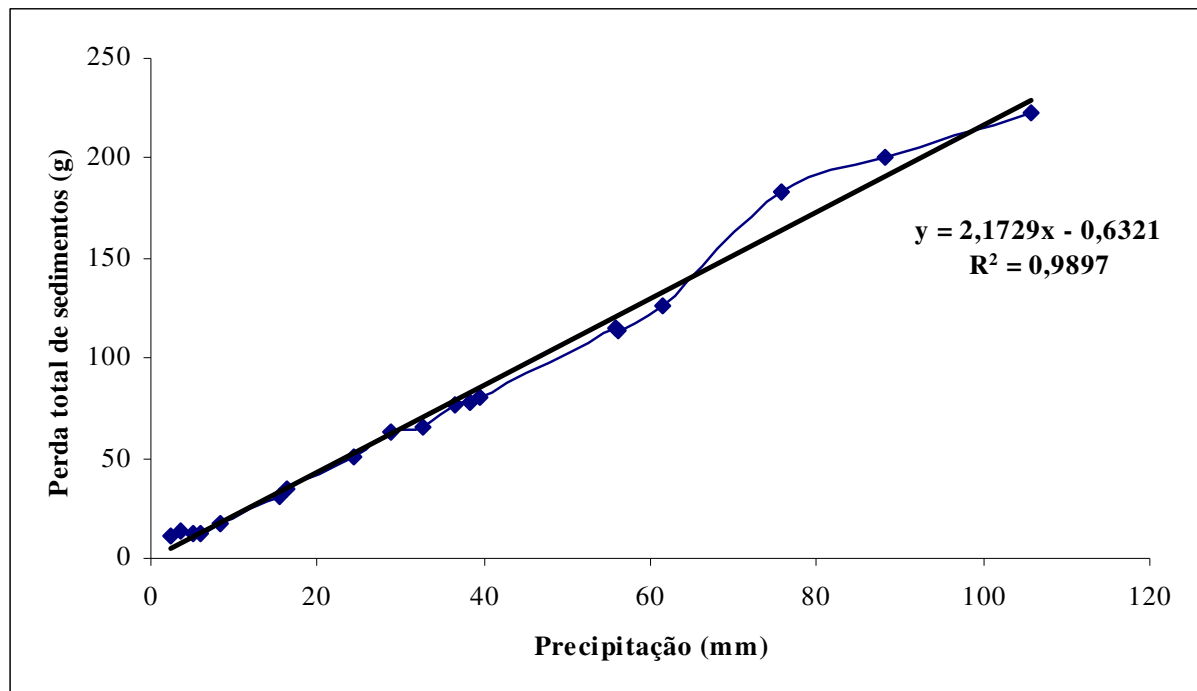


Figura 25 - Correlação entre a perda total de sedimentos por eventos de precipitação ocorridos no período entre 21 Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).

Org.: MARQUES, R. D.

Pela análise da Tabela 16 e da Figura 25, observou-se que há correlação positiva entre a precipitação e a perda total de sedimentos, com correlação aproximadamente 1 ($R^2 = 0,9897$). Neste período observou-se uma maior perda de sedimentos em comparação aos outros três semestres, ficando demonstrado essa maior perda de sedimentos na inclinação²⁶ da função linear do gráfico: $F(x) = aX + b$, onde $a = 2,1729$.

A Tabela 17 e a Figura 26 a seguir, mostram os resultados obtidos relativos a perda total de sedimentos considerando a soma dos volumes pedológicos para o período de 21 de junho de 2005 a 21 de dezembro de 2005.

Tabela 17 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).

Precipitação (mm)	Perda total de sedimentos (g)
163,3	289,062
127,4	238,242
82,3	181,225
81,2	181,78
66,8	130,073
48	99,246

²⁶ A inclinação da reta linear do 1º grau, é a tangente do ângulo α expressa pelo cateto oposto ($Y_2 - Y_1$) dividido pelo cateto adjacente ($X_2 - X_1$). Esta inclinação no gráfico mostra a perda de sedimentos no semestre, isto é: quanto maior o valor de a na função linear $F(x) = aX + b$ maior será a inclinação e consequentemente perda total de sedimentos (WALKER, 1996).

33,4	67,858
30,1	59,335
28,3	59,139
23,9	49,806
20,6	41,935
20,2	42,07
19,7	32,537
19,4	36,18
13,1	27,074
12,9	26,761
9,2	19,643
4	13,311
2,9	10,602

Org.: MARQUES, D. R.

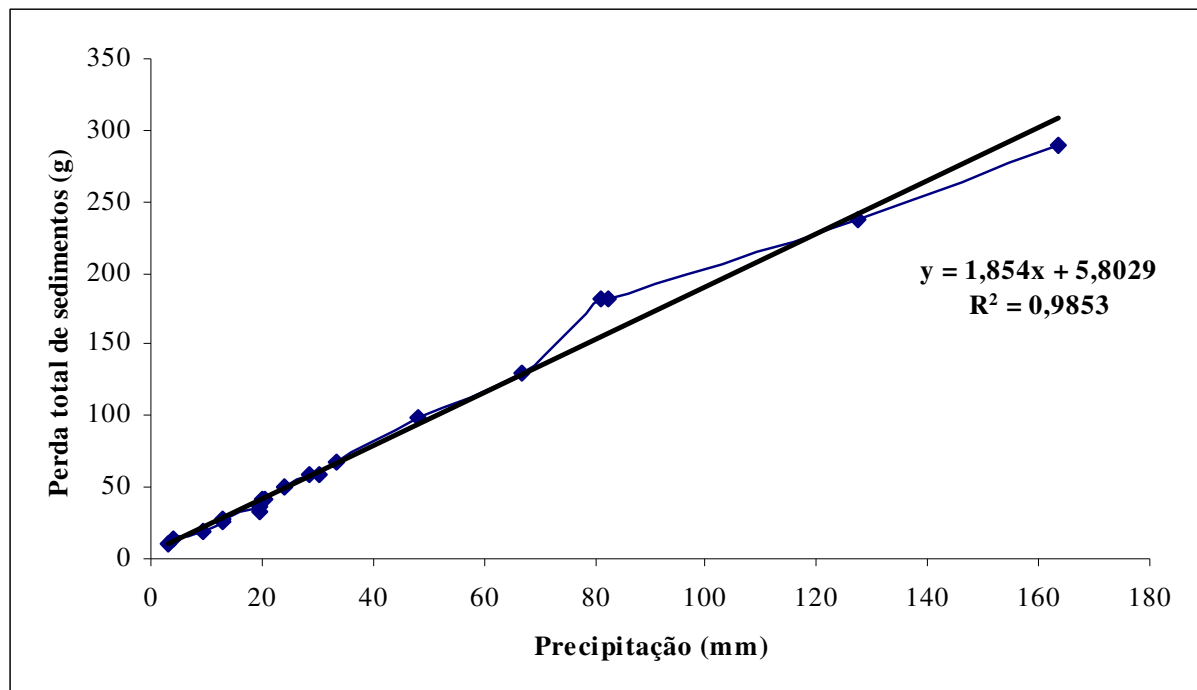


Figura 26 - Correlação entre a perda total de sedimentos por eventos de precipitação ocorridos no período entre 21 Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da Tabela 17 e da Figura 26, mostrou a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 de junho de 2005 a 21 dezembro de 2005. Observou-se que houve correlação entre a precipitação e a perda total de sedimentos, com correlação aproximadamente 1 ($R^2 = 0,9853$). Neste período observou-se uma menor perda de sedimentos em comparação aos quatro semestres, ficando demonstrado essa perda de sedimentos na inclinação da função linear do gráfico: $F(x) = aX + b$, onde $a = 1,854$.

A Tabela 18 e a Figura 27, mostram os resultados obtidos relativos a perda total de sedimentos considerando a soma dos volumes pedológicos para o período de 21 de dezembro de 2005 a 21 de junho de 2006.

Tabela 18 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).

Precipitação (mm)	Perda total de sedimentos (g)
71,6	135,056
64,3	126,585
62,7	119,702
61,1	114,753
47,2	114,342
38,9	78,408
19,8	36,066
17,3	37,291
17,1	40,655
15,9	28,423
15,7	30,862
14,7	26,899
13,8	27,43
13,1	34,705
11,2	28,296
10,6	21,864
7,2	18,346

Org.: MARQUES, D. R.

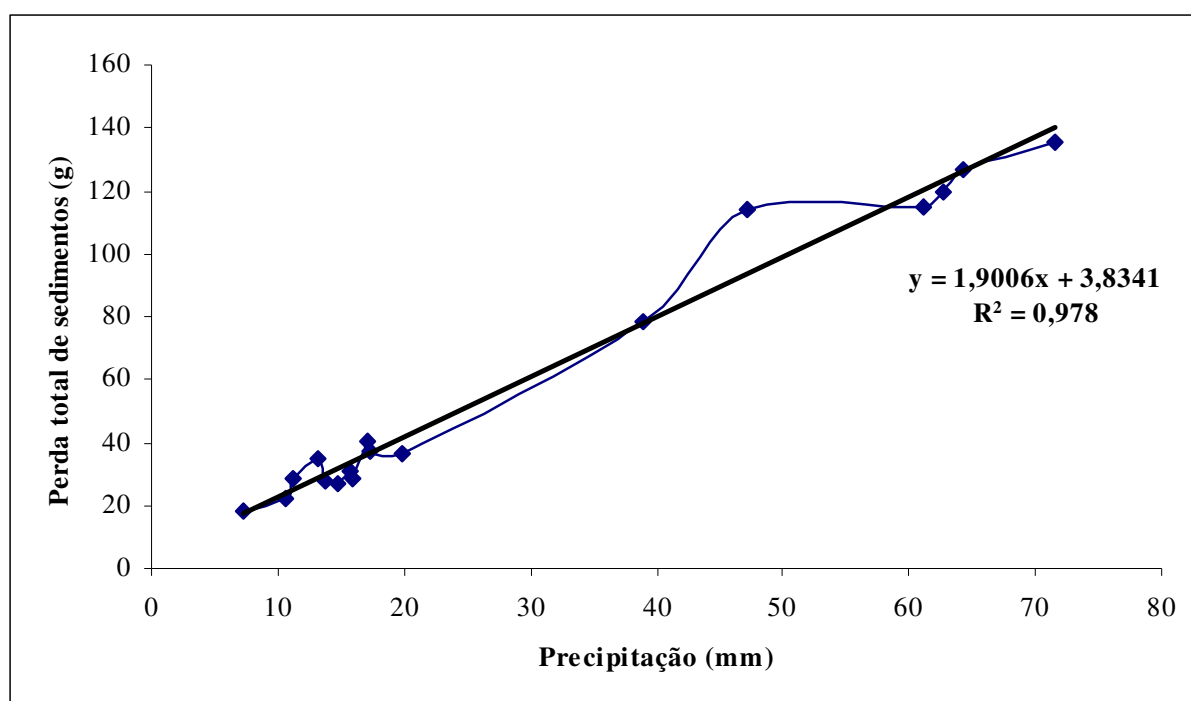


Figura 27 - Correlação entre a perda total de sedimentos por eventos de precipitação ocorridos no período entre 21 Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da Tabela 18 e da Figura 27, mostrou a perda total de sedimentos no período de 21 de dezembro de 2005 a 21 junho de 2006. Observou-se que houve alta correlação entre a precipitação e a perda total de sedimentos, com correlação aproximadamente 1 ($R^2 = 0,978$). Neste período observou-se uma perda de sedimentos intermediária em comparação aos quatro semestres, ficando demonstrado essa perda na inclinação da função linear do gráfico: $F(x) = aX + b$, onde $a = 1,9$.

A Tabela 19 e a Figura 28 a seguir, mostram os resultados obtidos relativos a perda total de sedimentos considerando a soma dos volumes pedológicos para o período de 21 de junho de 2006 a 21 de dezembro de 2006.

Tabela 19 - Relação entre a precipitação e a perda total de sedimentos no período de 21 Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).

Precipitação (mm)	Perda total de sedimentos (g)
124,6	239,784
65,3	122,64
62,1	134,987
60,4	134,213
51,6	117,465
50,1	115,307
45,5	99,239
36,2	69,097
34,2	75,67
31,4	64,485
30,6	66,094
30,3	64,899
26,6	51,95
21,3	52,862
15,8	28,003
11,7	27,138
9,3	17,604
9,3	20,285
8,6	18,213
8,3	20,8
8,2	18,177

Org.: MARQUES, D. R.

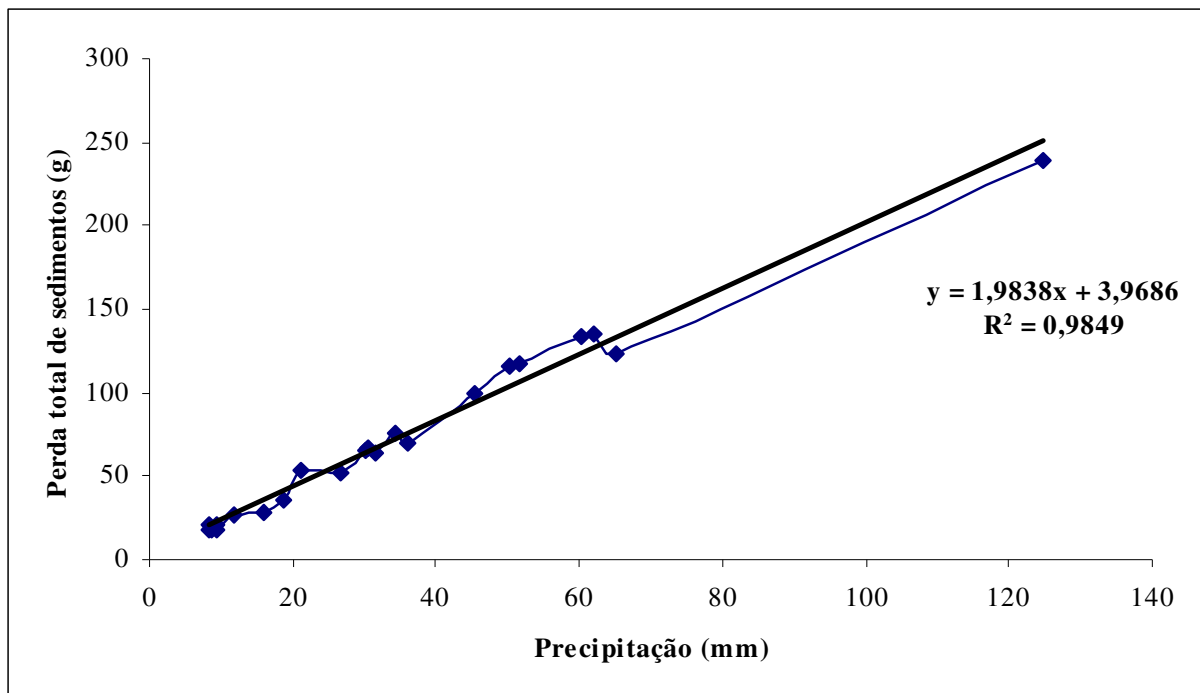


Figura 28 - Correlação entre a perda total de sedimentos por eventos de precipitação ocorridos no período entre 21 Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da Tabela 19 e da Figura 28, mostrou a perda total de sedimentos no período de 21 de junho de 2006 a 21 dezembro de 2006. Observou-se que houve alta correlação entre a precipitação e a perda total de sedimentos, com correlação aproximadamente 1 ($R^2 = 0,984$). Neste período observou-se uma perda de sedimentos intermediária em comparação aos quatro semestres, ficando demonstrado essa perda na inclinação da função linear do gráfico: $F(x) = aX + b$, onde $a = 1,98$.

Os resultados obtidos para os quatro semestres, mostram uma forte correlação entre a precipitação meteórica e a perda total de sedimentos. Essa relação se estabeleceu para todas as estações do ano. Durante dois anos de avaliação observou-se que quanto maior for o volume de precipitação meteórica maior será o volume de sedimentos transportados. Notou-se uma relação de aproximadamente duas vezes (total de precipitação x total de sedimentos transportados).

4.8 Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico.

Após a coleta do material removido por evento de precipitação, análise semestral da textura desse material no laboratório e plotação dos dados obtidos na planilha do aplicativo computacional, deu-se início a construção de gráficos correlativos entre a precipitação ocorrida em cada evento (mm) e a perda de material (g) por volume pedológico.

A Tabela 20 e a Figura 29 a seguir, mostram a perda de sedimentos por volume pedológico no período de 21 de dezembro de 2004 a 21 de junho de 2005.

Tabela 20 - Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).

Precipitação (mm)	Perda de sedimentos no volume 1(g)	Perda de sedimentos no volume 2 (g)	Perda de sedimentos no volume 3 (g)
105,8	44,595	75,9	102,698
88,2	40,933	68,611	91,4
75,8	33,85	64,346	85,464
61,6	25,434	44,172	56,365
56,2	23,554	40,987	49,294
55,7	22,028	40,234	52,752
39,4	15,604	29,725	34,415
38,4	15,582	29,238	33,691
36,5	14,957	28,033	33,146
32,6	12,595	23,68	29,783
28,8	12,346	21,602	29,358
24,5	10,137	16,976	24,129
16,2	7,036	12,055	15,44
15,5	6,374	10,919	14,11
8,4	3,411	5,846	7,479
5,8	2,315	4,293	5,597
5,1	2,193	4,23	5,515
3,5	3,303	4,295	5,477
2,4	2,596	3,779	5,029

Org.: MARQUES, R. D.

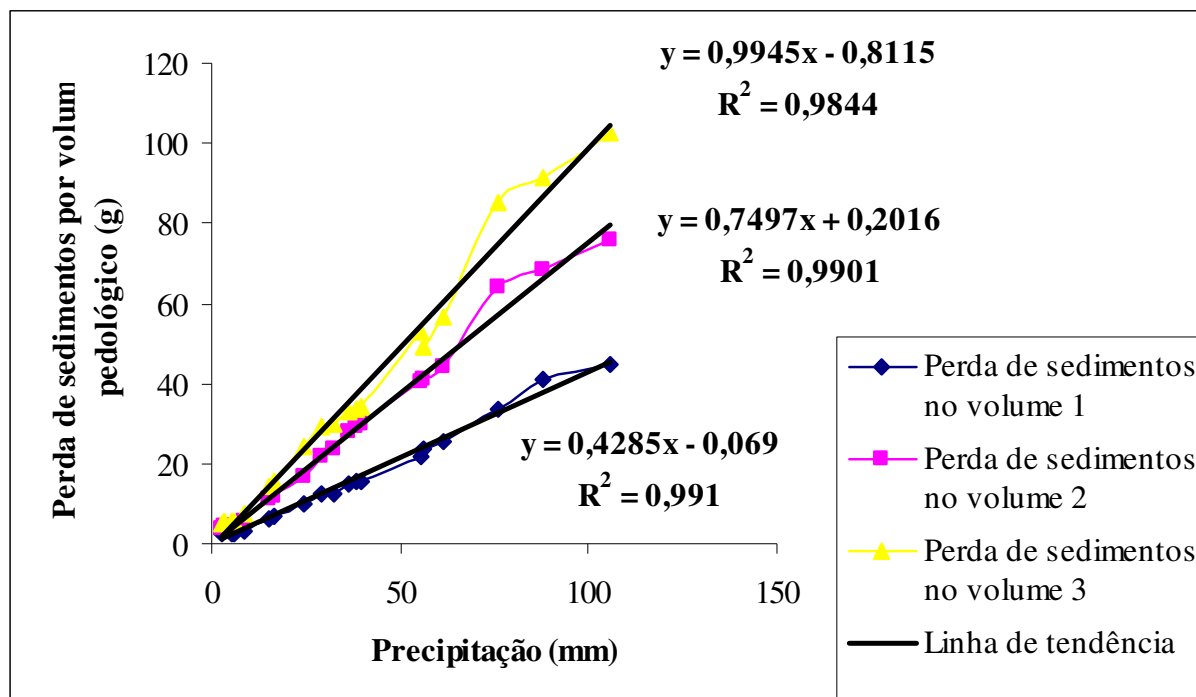


Figura 29 - Correlação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21 Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).
Org.: MARQUES, R. D.

A análise da Tabela 20 e da Figura 29 mostram que houve correlação entre a perda de sedimentos e a precipitação no período (R^2 , próximo de 1 nos três volumes pedológicos), ocorrendo maior perda de sedimentos no volume pedológico 3 (V3) onde $a = 0,99$, seguidos dos volumes pedológicos 2 (V2), onde $a = 0,74$ e 1 (V1) onde $a = 0,42$.

A Tabela 21 e a Figura 30 a seguir, mostram a perda de sedimentos por volume pedológico no período de 21 de junho de 2005 a 21 de dezembro de 2005.

Tabela 21 - Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).

Precipitação (mm)	Perda de sedimentos no volume 1 (g)	Perda de sedimentos no volume 2 (g)	Perda de sedimentos no volume 3 (g)
163,3	65,432	103,765	119,865
127,4	50,515	81,321	106,406
82,3	38,047	61,225	81,953
81,2	38,097	61,343	82,84
66,8	26,929	44,43	58,714
48	16,51	33,867	48,869
33,4	13,024	24,996	29,838
30,1	11,535	19,454	28,346
28,3	11,511	19,371	28,257
23,9	10,344	17,849	21,613
20,6	7,93	14,298	19,707
20,2	8,548	13,955	19,567

19,7	6,947	11,667	13,923
19,4	7,685	12,948	15,547
13,1	5,41	9,794	11,87
12,9	5,261	9,485	12,015
9,2	3,585	7,198	8,86
4	2,462	4,876	5,973
2,9	2,528	3,668	4,406

Org.: MARQUES, D. R.

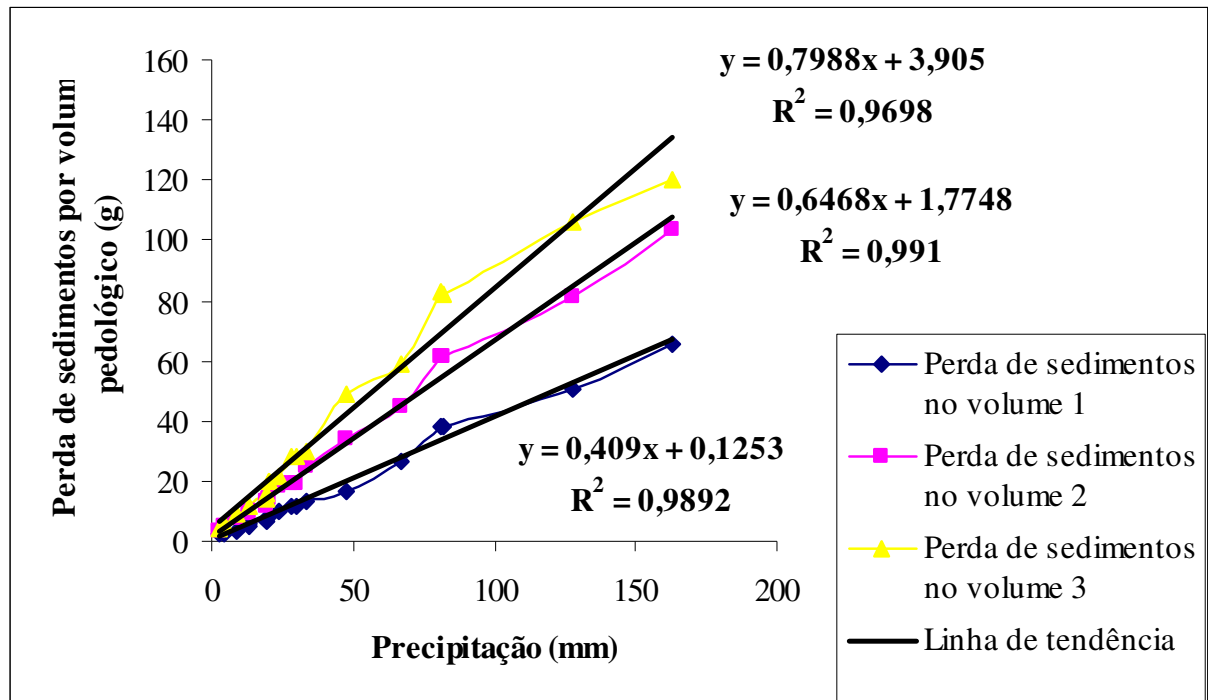


Figura 30 - Correlação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).

Org.: MARQUES, D. R.

A análise da Tabela 21 e da Figura 30 mostram que houve correlação entre a perda de sedimentos e a precipitação no período (R^2 , próximo de 1 nos três volumes pedológicos), ocorrendo maior perda de sedimentos no volume pedológico 3 (V3) onde $a = 0,79$, seguidos dos volumes pedológicos 2 (V2), onde $a = 0,64$ e 1 (V1) onde $a = 0,4$.

A Tabela 22 e a Figura 31, mostram a perda de sedimentos por volume pedológico no período de 21 de dezembro de 2005 a 21 de junho de 2006.

Tabela 22 - Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).

Precipitação (mm)	Perda de sedimentos no volume 1 (g)	Perda de sedimentos no volume 2 (g)	Perda de sedimentos no volume 3 (g)
71,6	27,948	47,061	60,047
64,3	25,766	43,823	56,996
62,7	22,35	42,945	54,407

61,1	21,756	39,166	53,831
47,2	19,326	41,878	53,138
38,9	15,572	28,734	34,102
19,8	7,533	13,017	15,516
17,3	8,555	12,896	15,84
17,1	7,645	12,61	20,4
15,9	6,142	10,588	11,693
15,7	6,082	10,507	14,273
14,7	6,016	9,281	11,602
13,8	5,693	9,737	12
13,1	6,685	12,584	15,436
11,2	5,823	11,017	11,456
10,6	4,464	8,141	9,259
7,2	3,259	6,9	8,187

Org.: MARQUES, R. D.

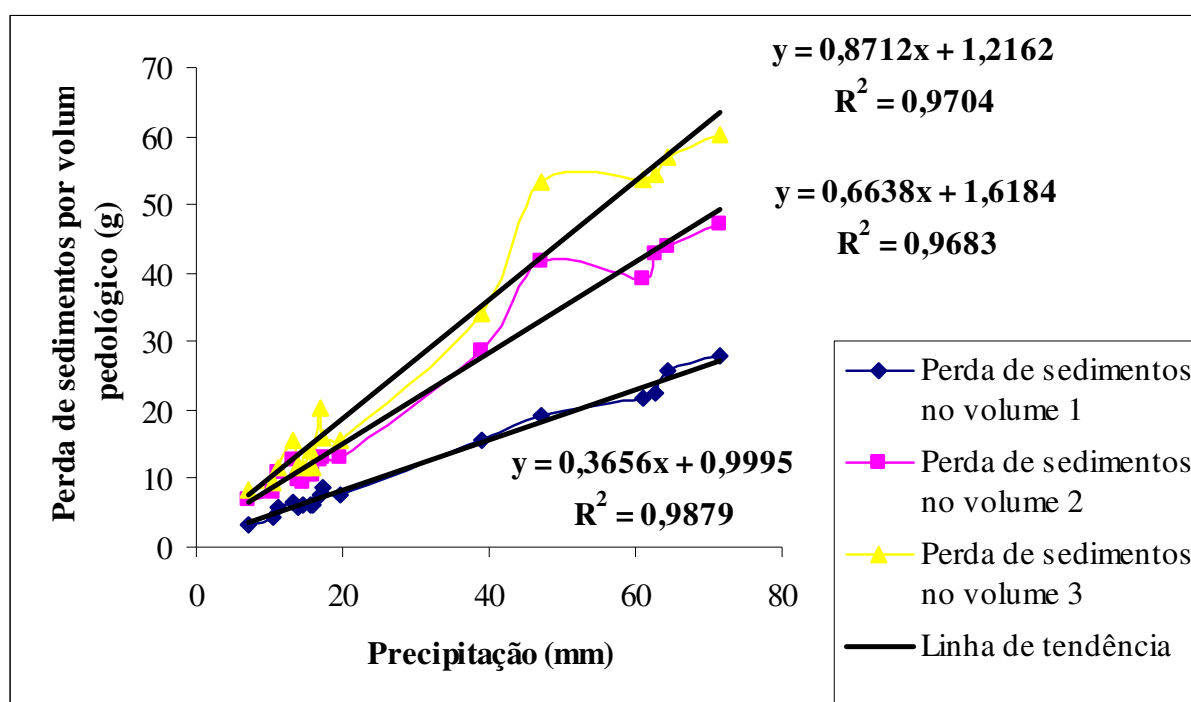


Figura 31 - Correlação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).

Org.: MARQUES, D. R.

A análise da Tabela 22 e da Figura 31 mostram que houve correlação entre a perda de sedimentos e a precipitação no período (R^2 , próximo de 1 nos três volumes pedológicos), ocorrendo maior perda de sedimentos no volume pedológico 3 (V3) onde $a = 0,87$, seguidos dos volumes pedológicos 2 (V2), onde $a = 0,66$ e 1 (V1) onde $a = 0,36$.

A Tabela 23 e a Figura 32 a seguir, mostram a perda de sedimentos por volume pedológico no período de 21 de junho de 2006 a 21 de dezembro de 2006.

Tabela 23 - Relação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).

Precipitação (mm)	Perda de sedimentos por volume 1 (g)	Perda de sedimentos por volume 2 (g)	Perda de sedimentos por volume 3 (g)
124,6	51,879	81,784	106,121
65,3	23,63	43,646	55,364
62,1	28,474	47,592	58,921
60,4	27,691	46,705	59,817
51,6	22,415	41,898	53,152
50,1	24,026	41,751	49,53
45,5	16,758	32,993	49,488
36,2	13,258	25,096	30,743
34,2	14,762	27,567	33,341
31,4	12,598	21,675	30,212
30,6	12,651	23,563	29,88
30,3	12,574	22,192	30,133
26,5	10,317	17,291	24,342
21,3	11,101	17,079	24,682
15,8	5,618	10,139	12,246
11,7	5,394	9,57	12,174
9,3	3,515	6,165	7,924
9,3	3,896	7,246	9,143
8,6	3,783	6,172	8,258
8,3	4,029	7,55	9,221
8,2	3,582	6,217	8,378

Org.: MARQUES, R. D.

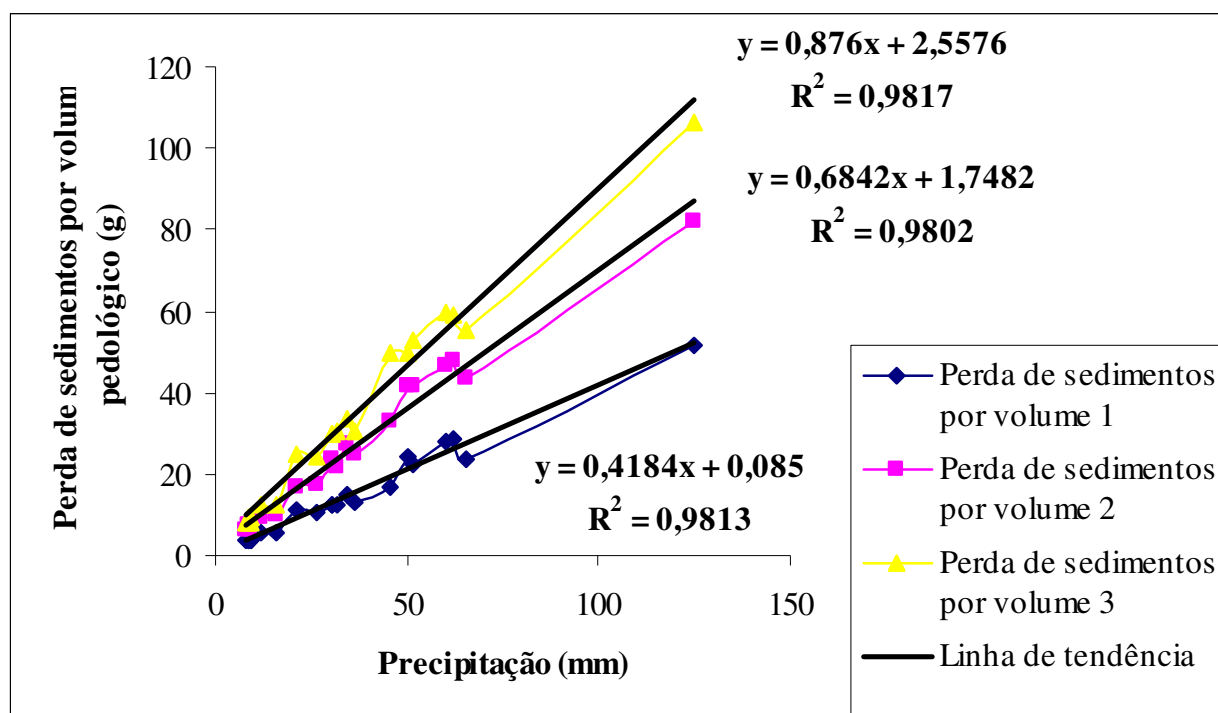


Figura 32 - Correlação entre precipitação e perda de sedimentos por volume pedológico ocorridos no período entre 21Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).

Org.: MARQUES, D. R.

A análise da Tabela 23 e da Figura 32 mostram que houve correlação entre a perda de sedimentos e a precipitação meteórica no período (R^2 , próximo de 1 nos três volumes pedológicos), ocorrendo maior perda de sedimentos no volume pedológico 3 (V3) onde $a = 0,87$, seguidos dos volumes pedológicos 2 (V2), onde $a = 0,68$ e 1 (V1) onde $a = 0,41$.

Os resultados da correlação entre a precipitação meteórica e a perda de sedimentos por volume pedológico durante todo período de pesquisa, evidencia alto índice correlativo, sendo R^2 nos três volumes muito próximos de 1 (correlação perfeita). Fica assim evidente que em índices elevados de precipitação meteórica há maiores perdas de sedimentos nos três volumes pedológicos das Figuras (29, 30, 31 e 32).

Também observou-se que a perda de sedimentos é maior nos volumes que possuem maior quantidade de fração silte e argila Figuras (29, 30, 31 e 32) sendo o valor de perda de sedimentos sempre maior no volume 3 (V3) seguidos do volume 2 (V2) e por fim a fração que possui maior quantidade de areia, o volume 1 (V1).

Nos gráficos das Figuras (29, 30, 31 e 32), esses valores são representados pelo valor de “ a ” na equação linear da linha de tendência, que representa a inclinação da reta $F(x) = aX + b$, onde X é o valor da precipitação. Assim, podemos mensurar através de uma média estatística uma equação que represente os volumes (V1, V2 e V3) e estimar a perda de sedimentos para valores conhecidos de precipitação.

Ao observar os dados contidos nas Tabelas (20, 21, 22 e 23) e as Figuras 29, 30, 31 e 32 fica evidente que o volume pedológico cujo diâmetro médio das partículas é menor (V3) apresenta maior relação de perda face a precipitação. Os resultados indicam uma correlação positiva entre o volume de precipitação e a perda de sedimentos e também a tendência de maior perda frente a textura siltosa e argilosa nos volumes pedológicos. Isto indica que os processos erosivos ao longo da encosta Itagiba controlam a constituição destes volumes pedológicos.

A Formação Santa Maria – Membro Alemoa possui estrutura maciça e devido ao processo de expansão e contração (esmectita 2:1) pode formar fendas e fissilidade. Estas estruturas podem facilitar a infiltração das águas de precipitação meteórica e transportar no meio os colóides que pode precipitar no volume 3 (V3) ampliando a sua impermeabilidade e ainda sua perda de sedimentos. Isto explica o elevado número de ravinas e sulcos e também o forte processo de dissecação que a porção leste da encosta Itagiba esta submetida.

Essa área por estar urbanizada de forma irregular torna-se de elevado risco. Mas além de ser uma área susceptível a deslizamento é também uma área de difícil constatação de prognósticos, pois a saturação dos volumes pedológicos inferiores (especialmente o volume 3)

nem sempre é perceptível ao observador que pode estar sobre uma área prestes a ocorrer um movimento de massa de grande proporção e/ou localizada. Assim, é preciso destacar que a precipitação meteórica na encosta Itagiba é de aproximadamente 100 milímetros por mês e que há constante evolução da conformação do relevo na área. Cabe salientar que em anos de El Niño os índices aumentam consideravelmente aumentando também a capacidade do fluxo hortoniano e consequentemente a ocorrência de deslizamento, ravinamento e sulcos na área.

A Figura 33 mostra o efeito desses processos erosivos sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa onde evidenciam-se as consequências sobretudo a partir da ocupação irregular nesta área de risco e suas construções. Observa-se a ocorrência de ravinamento e formação de sulcos e uma família e sua residência em risco.



Figura 33 - Área da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, mostrando intenso ravinamento e formação de sulcos.
Org.: MARQUES, R. D.

A Figura 34 mostra a área da encosta Itagiba que encontra-se localizada sobre a Formação Caturrita onde é possível observar que a atuação dos processos erosivos são menos intensos se comparada a área da encosta localizada sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa (Figura 33). Neste sentido fica evidente que o controle litológico e as características do manto pedológico exercem influência no desencadeamento e evolução dos processos erosivos assim como para a conformação do relevo da encosta Itagiba. Ao analisar a trincheira 2 (T2) e seus respectivos volumes pedológicos (V1, V2 e V3), ficou provado que as

frações de menor diâmetro são mais facilmente removidas na encosta da trincheira. Este dado também ajuda a entender porque os processos erosivos são diferenciados na encosta Itagiba. Na Formação Santa Maria – Membro Alemoa há um processo erosivo bem mais acelerado, com formação de sulcos, ravinas e dissecação intensa da encosta que rapidamente evolui diminuindo a inclinação do ângulo do corte topográfico da linha férrea.

Esses processos erosivos acelerados como já foi discutido podem estar correlacionados com a fração granulométrica, como mostra nas Figuras (29, 30, 31 e 32), a perda de sedimentos nos volumes que possuíam fração de menor diâmetro, como no volume pedológico 3 (V3), caso da concentração de textura argilosa da Formação Santa Maria – Membro Alemoa, evidenciado no processo de erosão diferenciado, modelando a área da encosta Itagiba (Figura 34).



Figura 34 - Área da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Caturrita, mostrando movimento de massa, constituindo-se em áreas de risco de desmoronamento.
Org.: MARQUES, R. D.

A Formação Caturrita apresenta estratificação cruzada acanalada de corte e preenchimento de canal fluvial. Mostra no perfil ciclos granodecrescentes e lateralmente estrutura em cunha com diferentes quantidades de partículas grossas, médias e finas. Essas características influem consideravelmente no processo de infiltração que aumenta a medida que a Formação se expõe ao intemperismo e a ocupação antrópica acelerando os processos erosivos em que prevalece o desmoronamento desta porção da encosta Itagiba (Figura 34).

4.9 Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2).

A Tabela 24 e a Figura 35 mostram a perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira dois (T2) durante o período de 21 de dezembro de 2004 à 21 junho de 2005.

Tabela 24 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).

Precipitação	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,125mm	0,062mm	Silte+Argila	total
105,8	2,769	13,583	14,255	33,19	41,748	53,008	64,64	223,193
88,2	2,317	11,183	12,645	28,171	38,207	49,586	58,835	200,944
75,8	1,065	8,299	10,908	23,559	32,48	44,02	63,329	183,66
61,6	1,347	6,183	6,447	18,275	24,55	30,336	38,833	125,971
56,2	1,071	5,235	5,79	15,237	21,412	28,655	36,435	113,835
55,7	0	4,843	5,201	15,651	23,961	27,864	37,494	115,014
39,4	0	3,766	3,932	11,643	16,129	20,472	24,802	94,501
38,4	0,835	3,824	4,054	12,124	15,215	19,097	23,362	78,511
36,5	0,683	3,725	3,856	11,445	15,015	18,812	22,6	48,082
32,6	0,633	3,061	3,241	9,204	12,937	15,941	21,041	66,058
28,8	0,042	3,609	4,216	9,094	10,562	14,236	21,547	63,306
24,5	0,114	2,658	2,932	7,497	9,535	11,994	16,512	51,242
16,2	0	1,738	1,886	5,085	6,884	8,625	10,333	34,531
15,5	0	1,563	1,695	4,572	6,254	7,848	9,471	31,403
8,4	0	0,784	0,835	2,528	3,385	4,216	4,988	24,798
5,8	0	0,58	0,972	1,737	2,436	2,923	3,557	13,003
5,1	0	0,551	0,945	1,685	2,38	2,86	3,517	11,938
3,5	0	1,016	1,707	1,464	2,652	3,074	3,162	13,075
2,4	0,041	0,972	0,918	1,424	2,466	2,8	2,783	11,404

Org.: MARQUES, R. D.

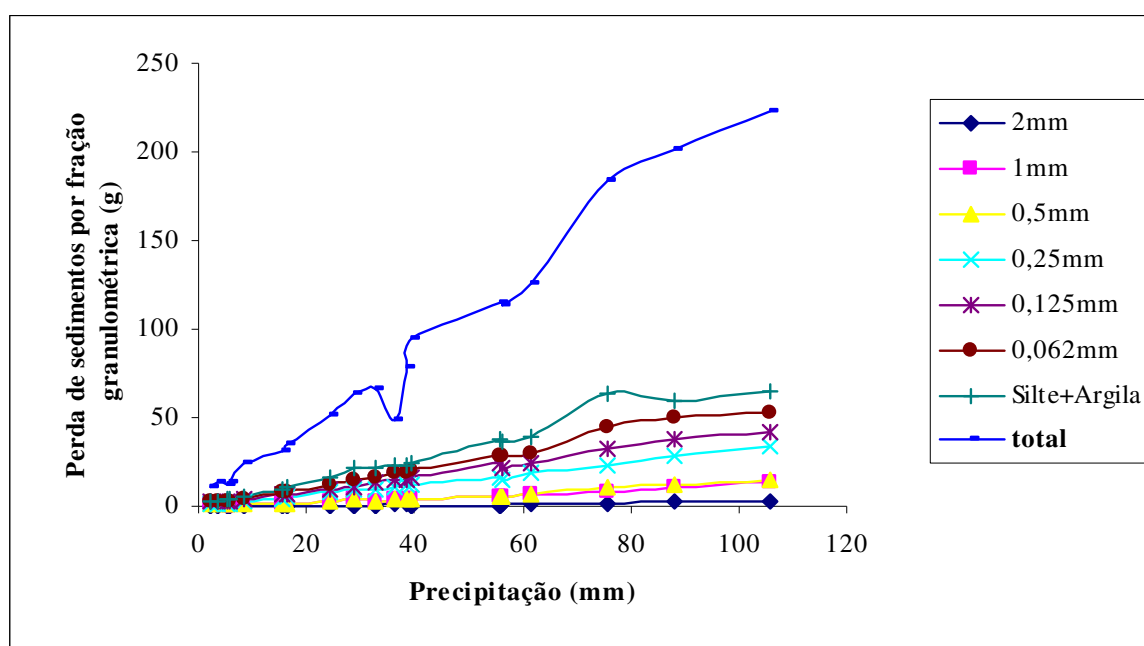


Figura 35 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Dez 2004 à 21 Jun 2005 (verão/outono).

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da Tabela 24 e da Figura 35 mostram que houve maior perda de sedimentos na fração silte e argila, seguidos da fração areia sendo esta perda maior nos eventos de maior precipitação meteórica, mostrando a correlação positiva entre a perda de sedimentos e a precipitação. Esta também ocorreu por volume pedológico no primeiro semestre. A Tabela 25 e a Figura 36 a seguir, mostram a perda de sedimentos por fração granulométrica no período de 21 de junho de 2005 à 21 de dezembro de 2005.

Tabela 25 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno /primavera).

Precipitação	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,125mm	0,062mm	Silte+Argila	Total
163,3	5,158	19,773	21,857	45,325	59,612	65,108	72,229	289,062
127,4	3,827	14,988	16,101	36,406	44,937	57,329	64,654	238,242
82,3	1,978	8,631	11,231	25,621	34,565	44,905	54,294	181,225
81,2	1,955	9,058	11,526	24,995	34,324	44,575	55,347	181,78
66,8	1,277	6,17	5,595	19,734	23,976	32,847	40,474	130,073
48	0,116	3,091	4,048	13,185	20,355	26,205	32,246	99,246
33,4	0	3,397	3,48	9,256	12,241	16,303	23,137	67,858
30,1	0	2,711	3,551	8,042	9,629	13,161	22,241	59,335
28,3	0,14	2,734	3,598	8,22	9,525	13,074	21,848	59,139
23,9	0	2,215	2,883	6,541	8,572	12,431	17,164	49,806
20,6	0	1,949	2,172	5,989	7,732	10,405	13,688	41,935
20,2	0	1,785	2,365	6,434	7,629	10,115	13,742	42,07
19,7	0,045	1,602	1,614	5,146	6,547	8,233	9,35	32,537
19,4	0,087	1,004	1,518	4,946	6,049	10,332	12,244	36,18
13,1	0	1,221	1,297	4,441	5,226	6,552	8,337	27,074
12,9	0	1,028	1,079	3,331	5,848	6,574	8,901	26,761
9,2	0	0,883	0,908	3,25	3,874	4,55	6,178	19,643
4	0	1,243	1,32	1,652	2,923	2,988	3,185	13,311
2,9	0	0,913	0,807	1,312	2,368	2,538	2,664	10,602

Org.: MARQUES, R. D.

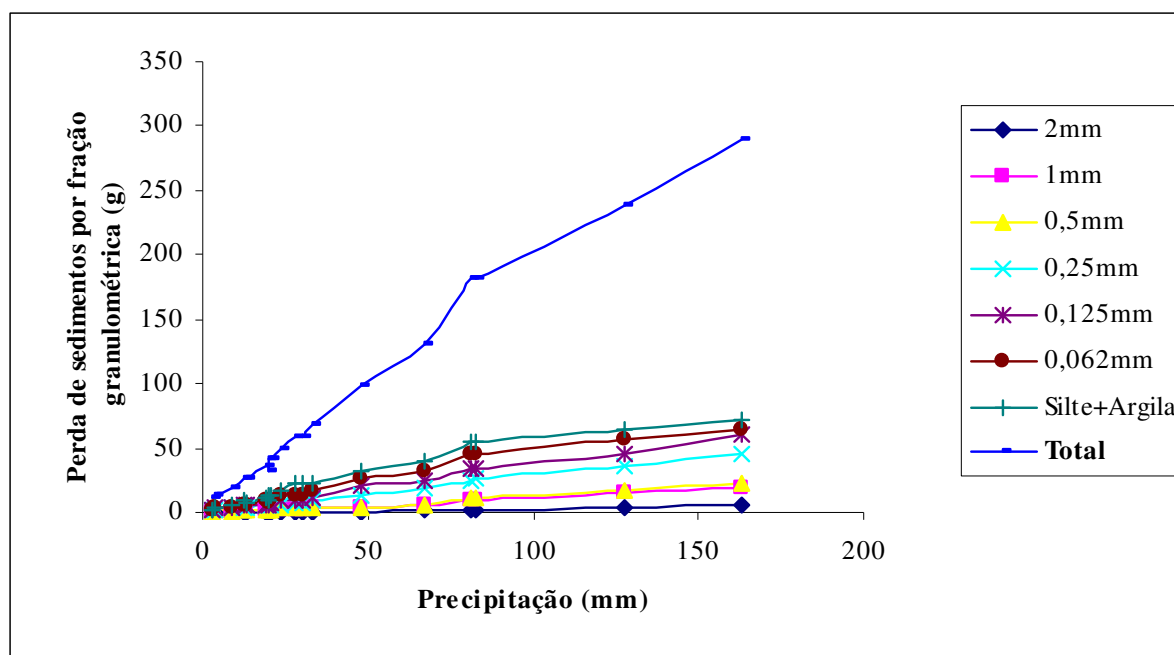


Figura 36 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Jun 2005 à 21 Dez 2005 (inverno/primavera).

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da Tabela 25 e da Figura 36 mostram que houve maior perda de sedimentos na fração silte e argila seguido da fração areia sendo esta perda maior nos eventos de maior precipitação mostrando uma correlação entre a perda de sedimentos e a precipitação também por volume pedológico no segundo semestre. A Tabela 26 e a Figura 37 a seguir, mostram a perda de sedimentos por fração granulométrica no período de 21 de Dezembro de 2005 à 21 de Junho de 2006.

Tabela 26 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).

Precipitação (mm)	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,125mm	0,062mm	Silte+Argila	Total
71,6	1,616	6,128	6,522	21,097	24,67	33,661	41,362	135,056
64,3	1,394	6,213	6,255	17,504	25,523	32,207	37,489	126,585
62,7	0,039	5,19	6,146	17,827	24,419	29,734	36,347	119,702
61,1	0	4,792	5,234	15,545	24,558	27,508	37,116	114,753
47,2	0,586	4,274	5,138	15,71	23,272	28,989	36,373	114,342
38,9	0,826	3,828	3,875	11,759	15,25	18,958	23,912	78,408
19,8	0	1,68	1,84	5,443	7,34	9,262	10,501	36,066
17,3	0	1,362	1,695	4,941	5,966	10,502	12,825	37,291
17,1	0	1,751	1,693	5,712	7,182	8,324	15,993	40,655
15,9	0	1,062	1,325	3,684	6,722	6,955	8,675	28,423
15,7	0,039	1,668	1,4	3,969	5,661	8,129	9,996	30,862
14,7	0	1,076	1,185	3,605	6,136	6,594	8,303	26,899
13,8	0	1,127	1,197	3,64	6,304	6,648	8,514	27,43
13,1	0	1,741	1,798	5,12	6,687	8,859	10,5	34,705

11,2	0	1,245	1,227	3,789	5,752	7,099	9,184	28,296
10,6	0,131	0,999	1,069	3,756	4,016	5,137	6,759	21,864
7,2	0	0,721	0,835	3,166	3,694	4,187	5,743	18,346

Org.: MARQUES, R. D.

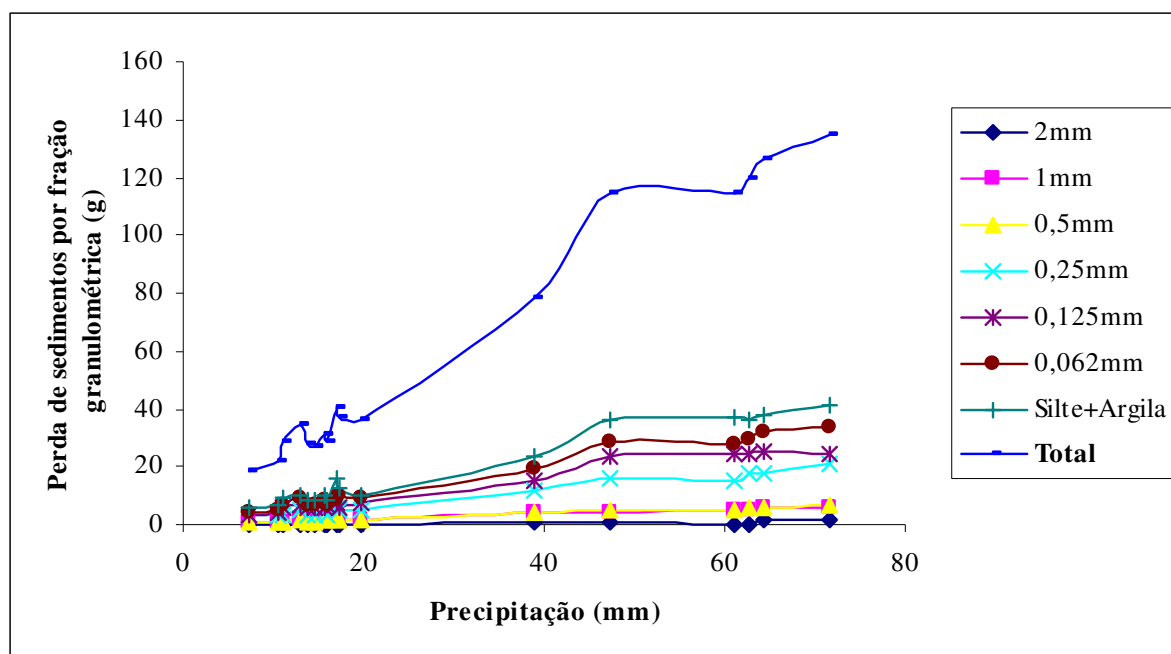


Figura 37 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Dez 2005 à 21 Jun 2006 (verão/outono).

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da Tabela 26 e da Figura 37 mostram que houve maior perda de sedimentos na fração silte e argila seguida da fração areia sendo esta perda maior nos eventos de maior precipitação mostrando a correlação entre a perda de sedimentos e a precipitação também por volume pedológico no terceiro semestre. A Tabela 27 e a Figura 38 a seguir, mostram a perda de sedimentos por fração granulométrica no período de 21 de Junho de 2006 à 21 de Dezembro de 2006.

Tabela 27 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).

Precipitação (mm)	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,125mm	0,062mm	Silte+Argila	Total
124,6	4,311	15,381	16,187	36,078	45,663	57,19	64,974	239,784
65,3	1,658	5,401	6,058	18,37	24,307	29,81	37,036	120,982
62,1	1,477	6,574	5,855	19,972	25,812	33,873	41,424	134,987
60,4	1,826	6,611	6,731	19,935	24,699	33,546	40,865	134,213
51,6	0	5,223	5,728	15,558	23,931	29,386	37,639	117,465
50,1	1,468	5,55	6,103	15,246	21,463	28,592	36,885	115,307
45,5	0,102	3,079	3,909	13,498	20,302	25,974	32,375	99,239
36,2	0	3,604	3,8	9,422	12,192	16,65	23,429	69,097
34,2	0	3,682	3,746	11,879	14,986	18,292	23,085	75,67
31,4	0	3,803	4,184	9,286	10,745	14,576	21,891	64,485
30,6	0,69	3,165	3,362	9,427	12,977	16,143	20,33	66,094
30,3	0	3,841	4,177	9,694	10,586	14,601	22	64,899
26,5	0	2,893	3,106	7,473	9,374	12,358	16,746	51,95
21,3	0	2,463	2,923	7,833	10,006	12,189	17,448	52,862
15,8	0	1,325	1,449	4,617	5,368	6,799	8,445	28,003
11,7	0	1,006	1,124	3,533	5,7	6,79	8,985	27,138
9,3	0	0,874	0,908	2,787	3,468	4,406	5,161	17,604
9,3	0	0,892	0,932	3,228	4,043	4,567	6,623	20,285
8,6	0	0,793	0,909	2,8	3,696	4,473	5,542	18,213
8,3	0	0,922	1,057	3,517	3,958	4,818	6,528	20,8
8,2	0	0,839	0,96	3,257	3,535	4,536	5,05	18,177

Org.: MARQUES, R. D.

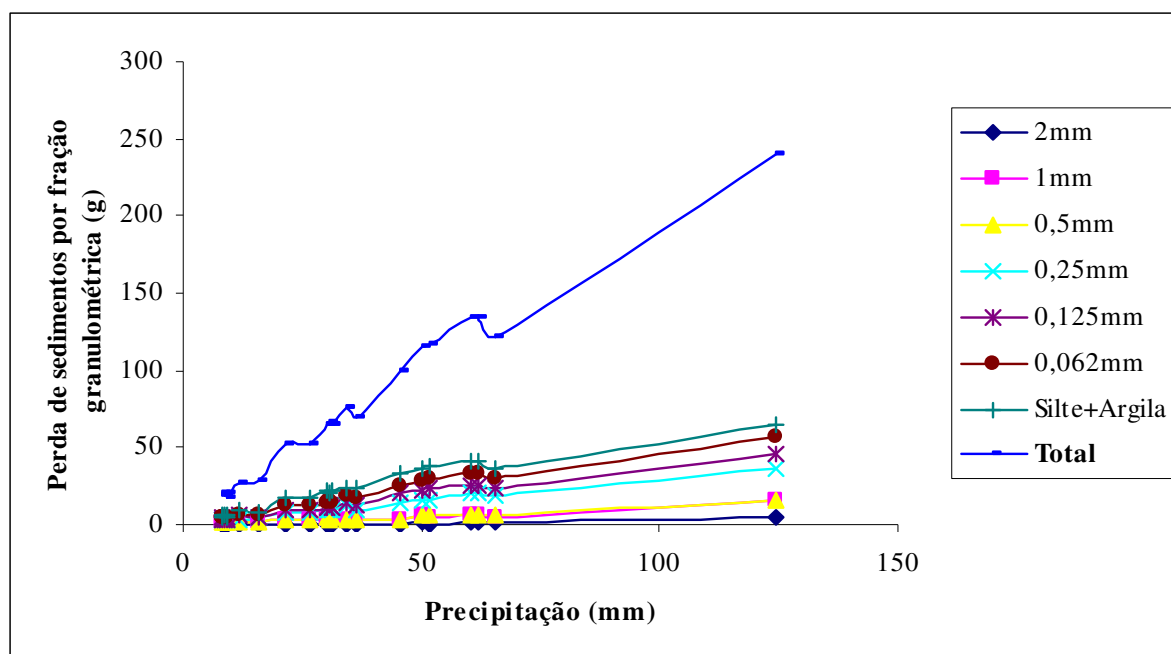


Figura 38 - Perda de sedimentos por fração granulométrica na trincheira 2 (T2) ocorridos no período entre 21Jun 2006 à 21 Dez 2006 (inverno/primavera).

Org.: MARQUES, R. D.

A análise da Tabela 27 e da Figura 38 mostram que houve maior perda de sedimentos na fração silte e argila seguido da fração areia sendo esta perda maior nos eventos de maior precipitação mostrando a correlação direta entre a perda de sedimentos e a precipitação também por volume pedológico no quarto semestre.

A perda de sedimentos por fração granulométrica evidencia a fração granulométrica com maior perda relativa de sedimentos nas frações (silte e argila). Estes dados de perda de sedimentos por fração granulométrica podem ser ampliados para a trincheira 1 (T1) de contato litológico e a trincheira 3 (T3), pois a trincheira 2 (T2) está assentada sobre a mesma formação litológica (Formação Santa Maria - Membro Alemoa). Esta diferenciando-se topograficamente na encosta Itagiba em relação a trincheira 1 (T1) que está sobre uma áreas de dissecação e nas trincheiras 2 e 3 (T2 e T3) esta sobre uma área de acumulação (Figura 39).



Figura 39 - Área da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, mostrando intenso processo de dissecação que esta porção da encosta foi submetida.
Org.: MARQUES, R. D.

Os resultados permitem também inferências sobre a área situada a oeste da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Caturrita, pois como as frações de maior diâmetro foram as que menos erodiram assim a encosta permanece menos dissecada perante os processos erosivos nessa porção, fica evidenciado assim que há correlação direta entre a perda de sedimentos na encosta Itagiba e as frações que constituem a Formação Caturrita (formada por uma fração mais grosseira com presença elevada de areia cimentada). Assim os processos erosivos na porção oeste da encosta Itagiba diferenciam-se muito da porção leste, obedecendo um processo de desmoronamento lento vertical e relativamente estável frente à precipitação (Figura 35). Este processo, embora lento, é de grande preocupação devido a altura de 34 metros da encosta nesta porção e há presença de barracos muito próximos aos locais onde o processo de erosão se faz mais com maior intensidade. A Figura 40, mostra o terreno onde foi construído a trincheira 1 (T1) que demonstra certa estabilidade frente aos processos erosivos. Esta trincheira no entanto não condiz com a realidade dos processos erosivos que foram acelerados devido a construção da estrada de ferro próximo à rua Itagiba. Revelando assim o papel do homem como agente modificador da paisagem.



Figura 40 - Área da encosta Itagiba que está assentada sobre a Formação Caturrita, mostrando que os processos erosivos nesta porção da encosta são menos intensos.
Org.: MARQUES, R. D.

Nestes sentido o somatório de elementos físicos (processos erosivos) e humanos (ocupação irregular de áreas de encosta) contribuem para prognósticos que poderão conduzir a um percentual elevado de probabilidade de ocorrência de acidentes (mortes por deslizamento e/ou desmoronamento).

4.10 A ocupação antrópica e os processos erosivos no entorno da encosta Itagiba

A zona norte da cidade de Santa Maria é uma área ocupada, no contexto geral, por habitantes de baixa renda. Isto fica materializado nas construções e moradias já existentes na Vila Kennedy, Vila Vitória e Vila São Rafael, sendo esta última localizada acima da encosta Itagiba.

O reflexo, no espaço geográfico, da desigualdade social se dá de várias formas. Uma forma evidente se faz presente nas ocupações irregulares de áreas de risco. Esse tipo de uso do solo é muito comum nas áreas urbanas de todo o país e se faz tão intensamente quanto maior for o contingente de pessoas que vivem em condições subumanas.

Em trabalho de campo realizado em dezembro de 2006, buscou-se conversar com os moradores a fim de saber a origem e o porquê da escolha do local para moradia, além de verificar in loco a existência de processos erosivos que podem ser acelerados pelas transformações no solo que os moradores da encosta fazem para habitar o local.

Nesse contexto percebeu-se que a grande maioria dos moradores é descendente de pessoas naturais do interior de municípios vizinhos de Santa Maria como: São Pedro do Sul, Mata, Quevedo, São Martinho e outras cidades da região central do Estado. Estes se estabeleceram-se em várias áreas do perímetro urbano de Santa Maria, predominantemente na periferia. Muitos são provenientes de famílias que possuíam número elevado de filhos e normalmente migravam de áreas verdes, áreas de riscos (margem do arroio Cadena, por exemplo), para locais que oferecessem melhores condições de vida. Assim, muitos se estabeleceram em áreas planas da Vila Kennedy, Vila Brasília e no Cerro Azul. A maioria das ocupações são sem escrituras públicas da terra e ainda não legalizadas. Os filhos desses primeiros habitantes foram ocupando espaços próximos as residências dos pais e, assim, aumentando a ocupação dessa área. A encosta Itagiba foi a última a ser ocupada devido as dificuldades impostas pela topografia pós corte topográfico para a instalação da ferrovia, sendo ocupada do sentido leste para oeste, pois as áreas mais íngremes encontram-se na porção oeste.

Com base nos resultados aqui apresentados os quais confirmam as descrições formuladas por Bortoluzzi (1974), fica evidente as diferenças nos processos erosivos que ocorrem na Formação Caturrita e na Formação Santa Maria - Membro Alemoa. A primeira corresponde à faixa de ocupação oeste (da rua Alcides Pereira dos Santos até a ponte da vila Vitória, onde são observados movimentos de massa provocados pelo aumento da infiltração devido a ação antrópica (coluna de madeiras das casas, barracos e cercas localizadas sobre a encosta). A segunda, assentada sobre litologia da Formação Santa Maria, localiza-se da rua Alcides Pereira dos Santos a Leste e está caracterizada por um intenso processo de ravinamento. Percebe-se que a ocupação antrópica sobre a faixa leste motivou uma aceleração dos processos erosivos. É comum ao lado das casas e barracos a presença de ravinas de porte considerável oferecendo risco a estabilidade das moradias e seus ocupantes.

Existem 68 casas²⁷ sobre a encosta, sendo 14 dessas barracos²⁸ com área que chega ao máximo 16 m² (última casa ao lado da ponte da Vila Vitória medida no trabalho de campo em 25 Janeiro de 2007). Cita-se um agravante dessa situação o número de crianças dessas famílias que chegam, em alguns casos, a seis filhos. Estes na idade adulta ampliam a ocupação irregular da encosta Itagiba.

Observou-se que os moradores costumam raspar e aplinar o solo superficial além de cavar valas para a água da chuva fluir sem adentrar nos barracos. Isso acaba por intensificar os processos erosivos em alguns pontos próximos dos barracos onde é comum a presença de sulcos, como na porção leste sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, e fendas sobre a Formação Caturrita, na porção oeste da encosta Itagiba. Também há o hábito de jogar lixo e esgoto in natura na encosta. Não há banheiros nem fossas sépticas nos barracos da porção oeste da encosta, havendo banheiros com ausência de fossas sépticas somente nas casas da porção leste o que na prática não transforma o primeiro quadro.

Esse quadro facilita a proliferação de animais e insetos transmissores de doenças e também aumenta a quantidade de matéria orgânica na encosta, acelerando ainda mais os processos erosivos.

Esse quadro subumano sócioespacial segregado seria de fácil percepção as ciências sociais e/ou leigos bastando uma visita a encosta Itagiba, bem como a simples constatação dos riscos por ciências como engenharia e arquitetura por exemplo. Mas somente a Geografia é capaz de relacionar os aspectos físicos (provando através de dados matemáticos e físicos) e os

²⁷ Neste caso considerou-se casa uma construção de madeira ou alvenaria superior a 16 m² (local para moradia e abrigo do tempo).

²⁸ Construção com sobras de madeira e materiais de construção, com espaço reduzido (menor que 16 m²).

aspectos humanos desde a ocupação antrópica cultural até o processo de exclusão social que privilegia uma minoria e exclui a grande maioria da população. Também é neste sentido que o trabalho visa numa fase pós defesa levar ao poder público o conhecimento dos resultados deste trabalho para que não haja futuras desculpas: desconhecimento dos fatos ou ausência de provas científicas mediante a ocorrência de futuros acidentes e/ou mortes.

4.11 A conformação da paisagem na encosta Itagiba sob a ótica dos processos erosivos superficiais e subsuperficiais.

Os processos erosivos diferenciados que foram comprovados nos resultados acima mostram com clareza que: (1) Há correlação entre a perda de sedimentos e os índices de precipitação e esta correlação de perda é diretamente proporcional. (2) A fração granulométrica de maior perda é a fração silte e argila. (3) Há um horizonte (volume pedológico) argiloso (V3) em que a água infiltrada dos horizontes superiores (V1 e V2) é praticamente impermeável. (4) Os limites de consistência mostraram que este horizonte argiloso comporta-se como líquido a partir de 34% de saturação.

Neste sentido, fica evidente o porquê a face oeste da encosta Itagiba permanece menos dissecada em relação a face leste, pois a primeira é constituída de sedimentos grosseiros (Formação Caturrita) areia cimentada e a segunda composta predominantemente por silte e argila (Formação Santa Maria – Membro Alemoa).

Através da análise da perda de sedimentos por precipitação e da perda de sedimentos por fração granulométrica desenvolvido na trincheira 2 (T2) e de posse dos dados de infiltração nas trincheiras 1, 2 e 3 (T1, T2, e T3) fica evidente que a água infiltrada nos horizontes superiores (T1 e T2) quando entra em contato com o horizonte argiloso (hortoniano) escoar horizontalmente acentuando os processos erosivos superficiais (solo encharcado escoando lateralmente em lâmina d'água) e subsuperficiais (água que arrasta sedimentos e modela a conformação da paisagem através do ravinamento e voçorocas. Estes processos são mais acentuados quando os índices de saturação do solo ultrapassam os 34% , limite de saturação que faz com que a camada subsuperficial argiloso passe a comportar-se como se fosse um líquido.

Assim, ficou comprovado que são os processos de modelagem do relevo que condicionaram a topografia analisada na topossequência. Processo lento de dissecção e acumulação que naturalmente tem evoluído sem modificações abruptas. Cabe salientar que sob a topossequência há ocupação urbana e devido o comportamento lento de modelagem da

paisagem e ausência de ocupação em áreas de declives e próximas a planície eluvial do arroio Passo dos Webers que nesta porção não constitui uma área de risco.

Já a face da encosta cortada para a construção da linha férrea e de ocupação irregular sobre a encosta Itagiba estão assentadas numa área que modificou totalmente os processos erosivos através do aumento do declive nas duas formações litológicas: sobre a Formação Caturrita e Formação Santa Maria – Membro Alemoa. Essa transfiguração da paisagem seguida da ocupação irregular tem grande probabilidade de causar uma tragédia (risco de vida) às famílias que moram tanto a oeste (Formação Caturrita) quanto a leste (Formação Santa Maria – Membro Alemoa) pois aquela embora menos dissecada prevalecem os processos de infiltração podendo romper por desequilíbrio de forças que mantém o arenito coeso, causando desmoronamento em blocos.

Já a face leste devido o intenso processo de dissecação (ravinamento e voçorocamento) sofrido por causa da constituição textural (silte e argila) tende na encosta Itagiba ser tão catastrófica quanto a primeira. Também devido ao aumento da inclinação provocada pelo corte topográfico para o traçado da linha férrea que acelerou os processos de ravinamento há áreas de falsa estabilidade na qual os horizontes superiores representam ter segurança mas o horizonte hortoniano saturado pode a qualquer momento após atingir o limite de liquidez em eventos de precipitação meteórica, fazer com que as camadas superficiais deslizem num movimento de massa horizontal soterrando as moradias e seus ocupantes sobre a encosta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento sobre os processos erosivos que ocorrem na encosta Itagiba, através das relações de perda de sedimentos por eventos de precipitação, coeficiente de infiltração nos volumes pedológicos, perda de sedimentos frente a características desses volumes pedológicos. Além da avaliação dos limites de consistência são de fundamental importância para entender a fragilidade de uma área. Bem como o planejamento das ações as quais podem ser implementadas para conter os processos erosivos e/ou retirar os moradores em áreas de riscos.

Estudos referentes aos processos erosivos devem ser abordados de forma integrada buscando-se entender a interrelação com outras áreas do conhecimento para relacioná-los com os aspectos antrópicos, caso contrário corre-se o risco de não atingir a plenitude dos objetivos, especialmente as necessidades humanas sustentáveis.

A análise pedológica em uma topossequência da encosta Itagiba, zona norte de Santa Maria-RS contribuiu para o entendimento das relações do ambiente natural com o ambiente antropizado, demonstrando a predisposição frente as diferenças existentes entre os processos erosivos nas litologias que ocorrem na encosta. Tomando-se como referência a cobertura pedológica em relação a perda total de sedimentos face a precipitação meteórica constatou-se que há forte correlação. Essa correlação se estabelece de forma positiva em qualquer uma das estações do ano, demonstrando que o fenômeno está presente o ano todo. Pois a distribuição sazonal das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul, são distribuídas de forma equivalente nas quatro estações do ano, variando pouco os índices pluviométricos mensais (SARTORI, 2003).

Quanto à perda de sedimentos por volume pedológico frente a precipitação também houve correlação positiva indicando haver maiores perdas de sedimentos quando há maiores níveis de precipitação meteórica. Essa perda de sedimentos é sempre maior nos volumes que possuem fração granulométrica silte e argila.

A análise granulométrica nos volumes pedológicos mostra que o percentual de fração areia diminui a medida que aumenta a profundidade. Assim, há o aumento relativo das frações silte e argila neste mesmo sentido. Portanto, ao analisar-se as trincheiras e seus respectivos volumes pedológicos (V1, V2 e V3) estes dados auxiliaram no entendimento de que os processos erosivos são diferenciados na encosta Itagiba. Na Formação Santa Maria – Membro Alemoa (parte leste da encosta Itagiba) ocorrem processos erosivos acelerados, com a

formação de sulcos, ravinas e dissecação intensa da encosta, tornando-a instável e oferecendo riscos à ocupação com moradias.

A inferência a ser feita com relação a Formação Caturrita (parte oeste da encosta Itagiba) onde predomina fração granulométrica mais grosseira cimentada segundo Maciel Filho, 1990. Ocorre uma fração com maior presença de areia cimentada que tende a uma evolução mais lenta. Há igualmente a preocupação pela presença de moradias nesta área pois os processos erosivos embora relativamente lento se comparado com os processos erosivos sobre a Formação Santa Maria – Membro Alemoa, já estão atuando com maior intensidade desde 1874. Neste período foi construída a estrada de ferro e houve o corte topográfico na zona norte de Santa Maria, onde hoje encontra-se a Vila Kennedy. Esse corte acelerou o processo de infiltração aliado a ocupação antrópica e suas moradias aumentando o número de desmoronamentos como mostra a Figura 34.

Os resultados do ensaio de infiltração demonstraram haver um volume pedológico argiloso em subsuperfície (V3) que diminui o coeficiente de infiltração da água no solo. Esse horizonte hortoniano (Bigarella, 2003) possivelmente é um elemento importante na conformação da paisagem da topossequência e concomitantemente sobre a encosta Itagiba, pois ao diminuir o fluxo vertical da água acelera-se o fluxo horizontal e o processo de infiltração ao longo da encosta Itagiba é potencializado.

Com relação ao trabalho realizado acredita-se que este poderá contribuir como referência a ser considerada em futuros trabalhos relativos ao planejamento urbano das áreas de risco de Santa Maria, principalmente as áreas de encostas. Também acredita-se que serviu para entender os processos erosivos diferenciados que ocorrem na encosta Itagiba bem como contribui para o entendimento da conformação da paisagem.

A defesa civil de Santa Maria será alertada a respeito da elaboração deste trabalho sendo oferecido uma cópia do mesmo. Pois acredita-se que este trabalho pode ajudar no reconhecimento de pontos críticos e auxiliar nas medidas de prevenção de acidentes nesta área.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n.18, p.15-29, 1969.
- _____. Províncias Geológicas e Domínios Morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, São Paulo, n.20, p. 214-228, 1970.
- _____. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. **Paleoclimas**, São Paulo, n.3, p.114-135, 1977.
- _____. Os mecanismos da desintegração das paisagens tropicais no Pleistoceno. **Inter-Fáceis**, São José do Rio Preto, n.4, p.257-264, 1979.
- _____. ANDREIS, R. R.; LAVINA, E. L.; MINTARDO, D. K. Considerações sobre os troncos fósseis da Formação Caturrita (Triássico Superior) no município de Mata, RS-Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. Anais...: Salvador: ABGE, 1982. V.4 p.1. 284-1.294.
- ALMEIDA, B. G. **Métodos Alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionantes químicos no estudo da qualidade do solo**. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz: Piracicaba, 2008.
- AZEVEDO, A. C. de. ; DALMOLIM, R. S. D. **Solos e Ambiente: Uma introdução**. Santa Maria: Palloti, 2004. 100p.
- AYOADE, J. **Introdução a Climatologia dos Trópicos**. São Paulo: Difel, 1986. 331p.
- BASTOS, Cezar. **Classificação Geotécnica dos Solos**. Disponível em: <[HTTP://www.dmc.furg.br/geotecnia.pdf](http://www.dmc.furg.br/geotecnia.pdf)> Acesso em 9 set 2009.
- BELÉM, J. **História do município de Santa Maria: 1797 - 1933**. 2ª ed. Santa Maira: UFSM, 1989. 315 p.
- BERTAND, G. **paysage et géographie physique globale: Esquisse méthodologique**. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ovest**, Toulouse: v 3, n.39, p.249-272, 1968.
- _____. Paisagem e geografia física global; esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. São Paulo , n.13, p.1-27, 1971.
- BERTONI, J. ; LOMBARDI NETTO, F. **Consevação do solo**. São Paulo: ícone, 1983.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: editora d UFSC, 2003. 559p.
- BORTOLUZZI, C. A. Contribuição à geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas do Instituto de Geociências**, n.4, p.7-13, 1974, Porto Alegre.
- BOTELHO, R. G. M. (orgs.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**.

Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

CAPUT, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6 ed. v. 1. Rio de Janeiro/RJ: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988. 234 p.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Ed. UFG, 1994. 137 p.

CHRISTOFOLETTI, A. O fenômeno morfogenético de Campinas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas v.8, n16, p. 3-92, 1968.

_____. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 149p.

_____. Geografia física. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 11, n. 21-22, p. 5-18, 1981.

COELHO NETTO. A. L. ; AVELAR, A. de S. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. da (orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995, p. 211-252.

CUNHA, S. B. da ; GUERRA, J.A.T. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 343p.

DALMOLIN, R. S. D ; AZEVEDO A. C. de . **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Palotti, 2004. 100p.

Da-ROSA, A. A. S. Sítios fossilíferos de Santa Maria. In: XVIII Congresso Brasileiro de Paleontologia, Brasília-DF, Ed. UFSM, Santa Maria-RS. p.75-90, 2004.

EMPRAPA. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solo: Brasília Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro, 1999.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um argilossolo vermelho-amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, n.25, p.485-493, 2001.

FIBGE-FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manuais técnicos em geociências. Manual técnico em geomorfologia**. Rio de Janeiro: FIBGE, n.5, 1995. 110p.

_____. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SH-21**. Rio de Janeiro: FIBGE, v.33, 1986.

_____. **Divisão territorial do Rio Grande do Sul: 1997**. DIPEQ/RS, Porto Alegre, 1997.

FERREIRA, L. C A **Questão Ambiental**. São Paulo: Boitempo Editorial, 1998.

FORSYTHE, W. Física de suelos. Costa Rica: IICA. 1975. 212p.

GASPARETO , V. P. **Mapa das formações superficiais e solos de Santa Maira**, Santa Maria: UFSM, 1980.

GERARDI, L. H ; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: DIFEL, 1981. 161p.

GIARDIN, A.; FACCINI, U. **Compleksidade Hidroestratigráfica e Estrutural do Sistema Aqüífero Guarani: Abordagem Metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria-RS, Brasil.** Ver. *Águas Subterrâneas*, n 18, 2004.

GUERRA, A. J. T. ; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. 458p.

_____. **Processos Erosivos nas Encostas.** In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs), Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

_____. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, técnicas e aplicações.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A. J. T. ; MENDONÇA, J. 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.

GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S. da. ; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 322p.

GUERRA, A. J. T. ; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. 395p.

GUERRA, A. T. ; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico - geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

IPT- INSTITUO DE PESQUIOSAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Orientação para o combate à erosão de São Paulo, bacia do Peixe-Parapanema.** São paulo, v.6, n. 24 739, 1986.

_____. **Controle da erosão: bases conceituais e técnicas: diretrizes para o planejamento urbano regional: orientação para o controle de boçorocas urbanas.** São Paulo: Secretaria de energia e saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1989.

_____. **Manual de ocupação de encosta.** São Paulo: IPT, 1991.

JORGE. J. A. **Solos susceptíveis à erosão.** Porto Alegre: Ed. URGs, 1989. 257p.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: relações solo-planta.** Ed Agronômica Ceres: São Paulo, 1979.

KOTTEK, M. J. et al. **World Map of Köppen-Geiger Climate Classification updated.** *Meteorol. Z.*, 15, 2006: 259-263. Disponível em: <[HTTP://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdfs/kottek_et_at_2006_A1.pdf](http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdfs/kottek_et_at_2006_A1.pdf)> acesso em: 9 set 2009.

LEINZ, V. ; AMARAL, S. E. **Geologia Geral.** São Paulo: Nacional, 2003. 399p.

LEMONS, R. C. de ; SANTOS, R. D. dos. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo.**

3.ed. Campinas. S P: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.

LIBAULT, A. **Os quatro níveis da pesquisa geográfica.** Métodos em questão. N. 1. São Paulo, 1971.

MACHADO, J. L. F. Hidroestratigrafia Química Preliminar dos Aquíferos na Região Central do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.perfuradores.com.br/indez.php?pg=info_cientificas&sub=info_cientificas_tb&sub_tb=infocie_tb_21> acesso em: 9 set 2009.

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

MARQUES, J. S. Ciência geomorfológica. In: QUERRA, A. J & CUNHA, S. B. da (orgs). **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. 3 .ed., 1998.

MBAGWU, J. S. C.; ABEH, O. G. Prediction of engineering properties of tropical soils using intrinsic pedological parameters. **Soil Science, Baltimore**, v.163, n.2, p.93-102, 1998.

MEDEIROS, E. R. **Estratigrafia do Grupo São Bento na Região de Santa Maria e Paleocorrentes da Formação Botucatu.** 1980, 189f. Dissertação (Mestrado m Geologia e Geociências)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980.

MEHL, H. U. **Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entressulcos.** 2000, 53f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

MILTON, V. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.

MONTEIRO, C. A. F. A Geografia no Brasil (1934-1977): avaliação e tendência. **Teses e Monografias**, São Paulo: Instituto de Geografia, n.57, 1980.

_____. **Geossistemas: a história de uma procura.** São Paulo: Contexto, 2000.

OLIVEIRA, A. A. B. de. ; RIBEIRO, A. G. **Uso potencial da terra.** Projeto RADAMBRASIL. Folha SH – 22, Porto Alegre e parte das folhas SH – 21 Uruguaiana e SH – 22 Lagoa Mirim, Rio de Janeiro: IBGE, 1996.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: FIBGE, 1989.

PENTEADO, M. M. **fundamentos de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 1983.154 p.

PETRI, S. ; FULFARO, V. J. **Geologia do Brasil.** São Paulo: Edusp, 1983.

PONÇANO, W. L ; PRANDINI, F. L. Boçoroca do estado de São Paulo: Uma revisão. **Anais do IV Simpósio Nacional de Controle da Erosão.** Marília. 1987.

PUNDEK, M. Utilização prática da Equação Universal de Perdas de solo para as condições de Santa Catarina. In: **SANTA CATARINA. SECRETARIA DO ESTADO DA**

AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. MANUAL DE USO, MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA; PROJETO DE RECUPERAÇÃO, CONSERVAÇÃO E MANEJO DOS RECURSOS NATURAIS EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS. 2ª. ed. Florianópolis: EPAGRI, 1994, p.99-129.

RIBEIRO, A. G. **Paisagem e organização espacial na região de palmas e Guarapuava.** 1989. 336f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, 1989.

RIBON, A. A.; FILHO J. T. Estimativa da resistência do solo à penetração de um latossolo vermelho eutroférico, sob cultura perene. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do solo e da água, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, RS: [s.n.], 2004. 1 CD-ROM. Santa Maria, RS: [s.n.], 2004. 1CD-ROM.

ROSS, J. L. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São paulo, v.6, p. 17-29, 1992.

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.8, p. 63-74, 1994.

_____. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** São Paulo: Contexto, 2003. 85 p.

SARTORI, M. da. G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre.** São Paulo, v.I n.20, p.27 - 49, 2003.

SILVA, J. L. S. de. **Estudos dos processos de silificação e calcificação em rochas sedimentares mesozóicas do Rio Grande do Sul. Brasil.** 1999. Tese (Doutorado em geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, J. L. S. de. **Distribuição geoquímica do cobre ao longo de uma toposequência na região de Itaboraí,** 1987. Dissertação (mestrado em geociências). Universidade Federal Fluminense, Niterói.

SOUZA, C. F. de. **Contrastes regionais e formações urbanas.** Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

STRECK, E. D. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, UFRGS, 2002.

SUZUKI.. **Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em latossolo e argissolo.** 2007.

TEIXEIRA, W., TOLEDO, M. C. M. de., FAIRCHILD, T. R., TAILOLO, F. (Org). **Decifrando a Terra.** 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. 557 p.

TOMAZETTI, A. **Mudanças observadas na área urbana de Santa Maria - RS, sob influência do traçado das linhas férreas para Porto Alegre e Cruz Alta.** Santa Maria. UFSM, 2000. 73p.

- TRICART, J. **A Terra Planeta Vivo**. Lisboa: ed. Presença/ Martins fontes, 1972.
- _____. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977. 97p.
- TSUTSUMI, M. **Sistemas e classificação dos solos**. Disponível em: <<http://www.geotecnia.ufjf.br/MECSOL.pdf>> Acesso em 10 dez 2008.
- VARGAS, M. **Mecânica dos solos**. São Paulo; Editora da Universidade de São Paulo, 1977. 509 p.
- VEIGA, P. **Estudo dos arenitos "intertrapps" da Formação Serra Geral na região de Santa Maria**, 1973 dissertação (mestrado em geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1973.
- VIEIRA, E. F. **Rio Grande do Sul. Geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra, 1984.
- VIEIRA, L. Ç. S; SANTOS, P. C. T. dos ; VIEIRA, M. de N. F. **solos; propriedades, classificação e manejo**. Brasília: MEC/ABEAS, 1988.
- VIEIRA, L. S: VIEIRA, M. de N. F. **Manual de morfologia e classificação de solo**. 2ª. ed. São Paulo: CERES, 1988.
- WALKER, H. R. **Gravitação, ondas e termodinâmica**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Aplicações S. A., 1996. 292 p.
- _____. **Mecânica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Aplicações S.A, 1998. 309 p.
- WERLANG, M. K. **Configuração da rede de drenagem e modelado do relevo: conformação da paisagem na zona de transição da Bacia do Paraná na Depressão Central do rio Grande do Sul**, 2004. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.