

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDNILSON FEOLA

**ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS EM TRILHA: SUBSÍDIO AO
PLANEJAMENTO E MANEJO**

CURITIBA
2009

EDNILSON FEOLA

**ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS EM TRILHA: SUBSÍDIO AO
PLANEJAMENTO E MANEJO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geografia. Curso de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientação: Prof. Dr. Everton Passos

**CURITIBA
2009**



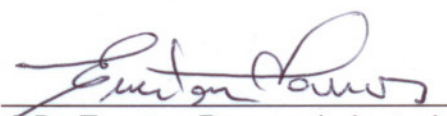
PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **EDNILSON FEOLA**, intitulada: "**ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS EM TRILHAS: SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO E MANEJO**", para obtenção do grau de **Mestre** em Geografia, do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração **Espaço, Sociedade e Ambiente**, Linha de Pesquisa **Paisagem e Análise Ambiental**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de parecer pela **APROVAÇÃO** da Dissertação, **com Menção Distinção**.

Curitiba, 14 de abril de 2009.

Nome e assinatura da Banca Examinadora:


Prof. Dr. Everton Passos (orientador)


Prof. Dr. Emerson Carneiro Camargo - UFPR


Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos - UFPR

AGRADECIMENTOS

Quero expressar agradecimentos a todos que contribuíram para a realização desse trabalho em especial:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Everton Passos, pela credibilidade, apoio, direcionamento da pesquisa, e pelos valiosos diálogos.

Aos professores do Departamento de Geografia em especial, o Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos, pelas sugestões no início do estudo, o Prof. Dr. Irani dos Santos, pela paciência e auxílio na aquisição dos dados hidrológicos, o Prof. Dr. João Carlos Nucci, pelo esclarecimento de algumas dúvidas.

Ao Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos e ao Prof. Dr. Emerson Carneiro Camargo, por aceitarem o convite para participar da avaliação final desta dissertação.

Ao amigo e Prof. Dr. Heinz Dieter Fill do Departamento de Hidráulica - UFPR, pelas valiosas explicações sobre estatística.

Ao prof. Dr. Carlos Veloso Roderjan e ao Prof. Dr. Franklin Galvão do Departamento de Engenharia Florestal – UFPR, pelo esclarecimento metodológico em relação ao levantamento da cobertura vegetal.

Ao Prof. Dr. Jefferson Deickow do Departamento de Solos – UFPR, por sanar algumas dúvidas relacionadas ao solo, durante a pesquisa.

A Profa. Dr^a. Nerilde Favaretto, do Departamento de Solos – UFPR, pela disponibilização do Laboratório de Física do Solo.

Ao amigo e M.Sc. em Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Giancarlo Castanharo, pelas observações nos levantamentos de campo, resultando em valiosa contribuição ao trabalho.

Ao amigo Emerson Stange Junior, pela elaboração de algumas figuras.

Ao Programa de Pós-Graduação, em especial ao Luiz Carlos Zen, pelo auxílio prestado durante esse período acadêmico.

Ao Instituto Ambiental do Paraná, pelo favorecimento dessa pesquisa junto ao Parque Estadual Pico do Marumbi.

Em especial a toda minha família, pela oportunidade e incentivo durante esses anos.

Agradeço a Deus por ter saúde e vontade de subir montanhas.

RESUMO

Foram realizados estudos no ano de 2008 em um segmento da Trilha Noroeste no Parque Estadual do Pico do Marumbi para identificar os processos erosivos mais atuantes. A pesquisa constitui-se em realizar o levantamento de campo de indicadores do meio físico que são compostos por alguns elementos da paisagem e alguns experimentos. Dentre os elementos da paisagem verificaram-se declividade, a área da seção transversal da trilha, coletas de solo (propriedades físicas do solo) e índice de cobertura vegetal. No que diz respeito aos experimentos, foram quantificados o índice de pluviosidade, o escoamento superficial e sedimentação, a erosão por salpicamento, a taxa de infiltração, a estimativa de perda de solo e a compactação do solo. A utilização desses indicadores, não segue apenas um procedimento metodológico, mas sim adaptações de diferentes procedimentos, entre eles os utilizados por Bertoni; Lombardi (1983); Cole (1991); Morgan (1996) e Magro (1999). Além disso, utilizou-se o método experimental de Ross (2005). No que se refere aos fatores controladores da erosão, constatou-se que a alta declividade associada à elevada pluviosidade local, são os principais fatores para desencadeamento dos processos erosivos. Contudo, o pisoteio, pode potencializar esse processo. A utilização de diferentes procedimentos metodológicos demonstrou-se satisfatória, pois, por meio dos indicadores do meio físico propostos, verificou-se a real atuação dos processos erosivos junto à trilha, sendo que os indicadores foram preponderantes à análise. Conclui-se que a concentração de fluxo hídrico na trilha e a declividade são as principais causas da erosão, que podem ser amenizadas com algumas medidas de manejo, entre elas a dissipação do volume da enxurrada canalizada no interior da trilha, através da construção de pequenos canais e terraços ao longo de sua extensão, e a cobertura do solo exposto da trilha com serrapilheira, que favorecerá algumas propriedades físicas do solo, obtendo-se logo menor degradação. Recomenda-se ainda que, o gerenciamento do uso público nessa área, com restrição de acesso em períodos chuvosos (Verão).

Palavras chave: Erosão do solo, Trilha de montanha, Indicadores do meio físico, Impacto negativo.

ABSTRACT

This research was performed in 2008, in order to identify the most predominant erosive processes in a segment of the Northwest Track in Marumbi State Park. This research aims to analyze the field survey of physical environment indicators composed by some landscape elements and some experiments. Among the landscape elements, we verified declivity, the track transversal section area, soil collection (physical properties), and vegetal cover. Regarding the experiments, we quantified the rainfall index, superficial draining and sedimentation, sprinkler erosion, infiltration, soil loss and soil compacting. The use of these pointers not only follows methodological proceedings, but also some adaptations of these proceedings, among them, those which were used by Bertoni; Lombardi (1983); Cole (1991); Morgan (1996) and Magro (1999). We also used the experimental method proposed by Ross (2005). Regarding the factors of erosion control, we verified that the erosive process is mainly enchainned by high declivity associated to high local rainfall. However, the trampling can accelerate this process. The use of different methods came to be satisfactory because we could check the real situation of erosive process in the track by the physical environment pointers - very useful to the analysis. In conclusion, the concentration of the water flow on the track and the declivity are the main causes of erosion. Some measures in handling can alleviate this process. One of them is to dissipate the volume of torrent canalized on the track by building some ducts and terraces all along the track extension. The other one is to cover the ground with litterfall which will help some physical properties of the soil and diminish degradation processes. It is also recommended a careful public use management of the area, with constraints during the rainy periods (Summer).

Key words: Soil erosion, Mountain trail, Physical environment indicators, Negative impacts

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1. FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL PICO DO MARUMBI.....	50
2. FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA TRILHA NOROESTE.....	57
3. FIGURA 3 - INSTALAÇÃO DOS PLUVIOMETROS.....	58
4. FIGURA 4 - PROCEDIMENTO PARA MENSURAÇÃO DA DECLIVIDADE.....	61
5. FIGURA 5 - TRANSECTO DA ÁREA DA TRILHA.....	62
6. FIGURA 6 - PERFIL DA TRILHA E ÁREA TESTEMUNHA.....	63
7. FIGURA 7 - PROCEDIMENTO DE COLETA DE SOLO.....	63
8. FIGURA 8 - MÉTODO DE LINHAS: VERIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL.....	65
9. FIGURA 9 - ETAPAS DA QUANTIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	68
10. FIGURA 10 - BANDEJA DE SALPICAMENTO.....	69
11. FIGURA 11 - QUANTIFICAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO.....	70
12. FIGURA 12 - PENETRÔMETRO DIGITAL.....	73
13. GRÁFICO 1 - COMPARAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA SERRA DO MAR.....	75
14. GRÁFICO 2 - VARIAÇÕES DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA TRILHA.	79
15. GRÁFICO 3 – CORRELAÇÃO PLUVIOSIDADE E PERDA DE SOLO.....	80
16. GRÁFICO 4 - CORRELAÇÃO DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE.....	84
17. GRÁFICO 5 - COMPARAÇÃO DENSIDADE APARENTE E PROFUNDIDADES EQUIVALENTES.....	85
18. GRÁFICO 6 - COMPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SÍTIOS.....	86
19. GRÁFICO 7 - COMPARAÇÃO GRANULOMETRICAS – PROFUNDIDADES EQUIVALENTES.....	88
20. FIGURA 13 - EXPOSIÇÃO DE RAÍZES E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS.....	89
21. FIGURA 14 - CARGA DE FUNDO NOS COLETORES.....	90
22. GRÁFICO 8 - PORCENTAGEM DA COBERTURA VEGETAL.....	94
23. GRÁFICO 9 - CORRELAÇÃO PLUVIOSIDADE E REMOÇÃO DE PARTÍCULAS	96
24. FIGURA 15 - PRESENÇA DE RAVINAS NA TRILHA NOROESTE.....	98
25. GRÁFICO 10 - CORRELAÇÃO PLUVIOSIDADE ESCOAMENTO.....	99
26. GRÁFICO 11 - CORRELAÇÃO ESCOAMENTO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS.....	100
27. GRÁFICO 12 - CARACTERÍSTICAS DAS TAXAS DE INFILTRAÇÃO.....	102
28. FIGURA 16 - SELAGEM NA SUPERFÍCIE DO SOLO.....	103
29. GRÁFICO 13 - TEXTURA NOS PRIMEIROS 10 CM DO SOLO.....	104

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PLUVIOMETRIA NP PARQUE MARUMBI FEV. MARÇO – 2008.....	77
TABELA 2 - TABELA 2 - POROSIDADE DO SOLO.....	81
TABELA 3 – DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE DE PARTÍCULAS DO SOLO.....	83
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DO SOLO.....	86
TABELA 5 – VARIÁVEIS ENTRE A TRILHA E ÁREA TESTEMUNHA.....	90
TABELA 6 – CARACTERÍSTICA DA COBERTURA VEGETAL.....	93
TABELA 7 – RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO E EROSÃO POR SALPICAMENTO.....	95
TABELA 8 – VARIAÇÕES DO ESCOAMENTO E PRECIPITAÇÃO	96
TABELA 9 – PRECIPITAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	99
TABELA 10 – CARACTERÍSTICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	101
TABELA 11 – VALORES MÉDIOS PARA AS PROFUNDIDADES DE 10 CM.....	105
TABELA 12 – SÍNTESE DOS DADOS DE CAMPO.....	107

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
ABSTRACT.....	4
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	5
LISTA DE TABELAS.....	6
1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 TRILHAS.....	13
2.1.1 Trilhas e suas especificidades.....	13
2.1.2 Trilhas nos Estados Unidos.....	15
2.1.3 O Contexto das trilhas no Brasil.....	17
2.1.4 Impactos negativos em trilhas.....	18
2.2 EROSÃO.....	24
2.2.1 Processo da erosão hídrica.....	25
2.2.2 Erosão por salpicamento.....	26
2.2.3 Erosão entre ravinas.....	29
2.2.4 Erosão em ravinas.....	31
2.3 FATORES CONTROLADORES DA EROSÃO.....	33
2.3.1 Erosividade da chuva.....	33
2.3.2 Encostas.....	37
2.3.3 Propriedades do solo.....	40
2.3.4. Cobertura vegetal.....	45
3 MATERIAL E MÉTODO.....	50
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL PICO DO MARUMBI.....	50
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	55
3.3 Indicadores do meio físico.....	58
3.3.1 Índice pluviométrico.....	58
3.3.2 Declividade.....	60
3.3.3 Área da seção transversal da trilha.....	61
3.3.4 Análise física do solo.....	62
3.3.5 Cobertura vegetal.....	65
3.3.6 Escoamento superficial.....	66
3.3.7 Erosão por salpicamento.....	69
3.3.8 Taxa de infiltração.....	70
3.3.9 Estimativa da degradação do solo.....	71
3.3.10 Compactação do solo.....	72
3.4. Tratamento estatístico.....	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1 ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO.....	75
4.2 SEÇÃO TRANSVERSAL DA TRILHA E ESTIMATIVA DA DEGRADAÇÃO DO SOLO.....	78
4.3 ANÁLISE FÍSICA DO SOLO.....	81
4.4 COBERTURA VEGETAL E EROSÃO POR SALPICAMENTO.....	92
4.5 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DECLIVIDADE.....	96
4.6 TAXA DE INFILTRAÇÃO.....	101
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
6. REFERÊNCIAS.....	111
ANEXOS.....	121

1. INTRODUÇÃO

Geralmente as áreas protegidas com objetivo de conservação da natureza e que também possuem relevante interesse paisagístico são acometidas por impactos negativos ocasionados pelo aumento da visitação. De acordo Barros (2003, p.1), essas áreas enfrentam a pressão sobre o meio físico causada pelo aumento do número de visitantes, aliada, muitas vezes, à demanda pela diversidade de oportunidades recreativas disponíveis, tais como caminhadas, cavalgadas, esportes de aventuras, entre outros.

O contato com essas áreas, nem sempre é harmonioso, e o aumento no número de visitação, estimulado pelo turismo desordenado pode desencadear diferentes impactos negativos na paisagem, sendo os mais evidentes, encontrados nas áreas de trilhas, tais como depredação de árvores e rochas, danos a flora e fauna, aumento na quantidade de lixo, compactação e erosão do solo, além de aumento na largura e mudança no traçado das trilhas devido ao incremento dos processos erosivos.

Alguns estudos relacionados aos impactos do uso público em Unidades de Conservação têm a trilha como unidade básica de análise. Pode-se mencionar entre eles, pesquisas como a de Costa, Gama e Moura (2003), na Serra do Gericinó-Mendanha (RJ) - que além de fazer uma abordagem teórica sobre os impactos em trilhas, realiza levantamentos da capacidade de carga física, real e efetiva. Maganhotto (2006) realizou uma análise sistêmica das variáveis físicas, atuantes em uma Unidade de Conservação no segundo Planalto paranaense identificando classes de fragilidade, com objetivo de melhor planejar a implantação de trilhas -, e Feola (2006), que abordou o uso público na trilha no Parque Estadual do Pico do Marumbi (Morretes – PR), tendo a erosão e compactação do solo como indicadores de impactos negativos em trilhas.

Deste modo, deve haver um limite na capacidade de carga para cada área, definido através de um método apropriado. Devido a esse fato, surgem diferentes métodos que visam à constatação dos impactos negativos. Alguns são

extremamente quantitativos como os de Wagar (1964 e 1974) e Cifuentes (1992), que enfatizavam apenas estimativas de quantas pessoas poderiam estar em uma área sem causar degradação. Há também outros métodos qualitativos como os de Stankey, Cole e Frissel (1985); McCool, (1996) e Krumpe (2000), que priorizam questões atreladas ao monitoramento desses impactos. Contudo, ambos têm o mesmo objetivo: a verificação dos danos causados pela visitação.

A utilização de trilhas relacionadas ao uso público atrelado a dinâmica dos processos erosivos, contribui para o surgimento de impactos, principalmente quando se trata de perda e compactação do solo. Trabalhos realizados por Yoda e Watanabe (2000) e Nepal e Amor-Nepal (2004) enfatizam os impactos do meio físico, abordando principalmente o tema da erosão do solo favorecida pela compactação, ocasionada pelo pisoteio. No Brasil, Takahashi (1998) - no Parque Estadual do Marumbi (PEPM) - Magro (1999) e Barros (2003) - no Parque Nacional do Itatiaia - realizaram pesquisas sobre os impactos negativos em trilhas de áreas montanhosas, ocupando-se principalmente da vegetação (efeito de borda e banco de sementes) e do solo (erosão, compactação e perda de nutrientes do solo).

Os autores supracitados apresentam em suas pesquisas uma forte relação entre a visitação e a potencialização dos impactos negativos junto aos elementos da paisagem que envolvem a trilha. Para eles, o pisoteio dos visitantes favorece a compactação e o aumento da erosão em sulco ou lateral, que ocasionam respectivamente o aprofundamento e o alargamento da trilha. Além desses impactos, a visitação pode contribuir para a destruição da vegetação da borda da trilha, como também afugentar a fauna local. Devido a esses fatores, uma vez delineado o trajeto de uma trilha, os elementos do meio físico (água, solo, vegetação e declividade) devem ser manejados, com objetivo de amenizar tal degradação.

Portanto, para entender tais dinâmicas que ocorrem ao longo da trilha, principalmente no que se refere à erosão, faz-se necessário entender primeiramente os fatores controladores da erosão e seus processos.

Devido a esse fato, caracteriza-se a importância do levantamento detalhado de alguns indicadores do meio físico, tais como pluviosidade, declividade, área da seção transversal da trilha, propriedades físicas do solo (porosidade total, densidade do solo, densidade de partículas e granulometria), cobertura vegetal, escoamento superficial, erosão por salpicamento, taxa de infiltração, estimativa de perda de solo e compactação, tanto para o planejamento como para o manejo da trilha. Os indicadores aqui utilizados não seguem apenas um procedimento metodológico, mas sim adaptações de diferentes procedimentos, entre eles os utilizados por Bertoni e Lombardi (1993); Cole (1991); Morgan (1996) e Magro (1999). Além disso, utilizou-se o método experimental de Ross (2005), para constatar e quantificar os processos erosivos em uma determinada trilha.

Esses indicadores fizeram parte do levantamento de campo desta pesquisa, realizada na Unidade de Conservação – Parque Estadual do Pico Marumbi, localizado no município de Morretes (PR), mais especificamente na trilha Noroeste, inserida numa vertente côncava-retilínea.

Selecionou-se essa Unidade de Conservação devido ao fato da continuidade da pesquisa realizada na graduação. Optou-se por essa trilha, por dois motivos básicos: 1) por ser uma área com vários problemas erosivos e 2) por apresentar maior fluxo de visitantes anualmente e também por ter fácil acesso em relação aos outros caminhos existentes no Parque.

No que se refere à escala temporal, escolheu-se o período do verão, por ser o mais chuvoso, e logo o mais representativo no que concerne aos aspectos hidrológicos – principalmente atrelados a potencialidade da erosão hídrica em degradar o solo. Dentro desse período, selecionou-se o mês de fevereiro e março por apresentarem média pluviométrica alta em uma série temporal de 55 anos, entre 1941 e 1996 (COPEL, 2008).

No contexto do manejo de trilhas, qualquer pesquisa experimental norteadas pela dinâmica da paisagem é de grande importância, principalmente às Unidades de Conservação, pois a compreensão da dinâmica da paisagem na trilha – que compreende a relação entre os elementos do meio físico com a ação

antropogênica - deverá favorecer o aprimoramento e desenvolvimento de novas técnicas que auxiliem na manutenção do equilíbrio desta porção da encosta frente aos processos erosivos.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi identificar alguns fatores controladores dos processos erosivos atuantes em um segmento da trilha onde há impactos ambientais negativos associados ao uso público, - e sua potencialidade erosiva.

O objetivo geral foi alcançado por meio dos seguintes objetivos específicos: levantamento das taxas pluviométricas, mensuração da declividade, monitoramento da área da seção transversal da trilha, análise das propriedades físicas do solo, determinação da taxa de cobertura vegetal, quantificação do escoamento superficial, mensuração da erosão por salpicamento, levantamento da taxa de infiltração e estimativa de perda e da compactação do solo.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica desta dissertação teve por objetivo, apresentar as informações correlatas ao tema da pesquisa, recuperando os trabalhos já realizados e que necessitam de confirmação e continuação. Caracterizou-se também pela evolução da pesquisa científica atrelada aos impactos negativos em trilhas e processos erosivos, além da verificação das diferentes metodologias para quantificação desses processos.

No que se refere aos impactos negativos em trilhas abordou-se trabalhos realizados nos EUA – país com tradição no que concerne ao planejamento e manejo de trilhas. No Brasil, levantou-se as principais obras que trabalham a trilha no contexto da paisagem de montanha e processos erosivos, abordando as diferentes formas de erosão e seus mecanismos de ação, além de exemplificar seus fatores controladores – demonstrando sua suscetibilidade ou não junto às trilhas.

2. 1. TRILHAS

2.1.1 Trilhas e suas especificidades

Segundo Ferreira (1986, p. 1714), trilha significa: “Vestígio, rastro deixado por algo, pessoa ou animal que passa... trilho, caminho, vereda, rumo direção, senda, caminho, entre vegetação”. Para Guillaumon (1977, p. 7), as trilhas são caminhos em um ambiente natural e/ou artificial, que podem incluir belezas cênicas. Este autor enfoca, dentro do possível, aspectos históricos, geomorfológicos, culturais e principalmente ambientais.

Para Andrade e Rocha (1990, p. 787), o ser humano começou a utilizar e, ou estabelecer trilhas para diversos fins - desde a simples procura por alimentos, ou seja, trilhas de caça e água, até peregrinações religiosas, comerciais e deslocamento. Contudo, nos últimos anos houve mudança de valores em relação às trilhas: ao invés de meio de deslocamento, surgem como novo meio de contato com a natureza.

Lechner (2006, p. 13) afirmou que para muitas pessoas esses caminhos ainda são as vias de acesso e rotas de viagens mais disseminadas no mundo. Para Woody (2004, p. 5), além do ato de andar em trilhas ser uma habilidade antiga, ela ocasiona, a depender do ambiente, uma volta às raízes, que nos faz sentir mais próximos das paisagens naturais, favorecendo a tranquilidade de nossa psique.

Conhecer esses fatores é importante, pois conforme argumentam Daigle, Watson e Glenn (1994, p. 4), as características do uso da trilha e dos usuários são relevantes para compreender as necessidades do público, para tornar o planejamento da gerência eficaz. Portanto, o planejamento, construção e manejo de trilhas não devem ser estar isolados, mas abranger o sistema de trilhas como um todo.

Segundo Andrade e Rocha, (1990, p. 788), o sistema de trilhas é formado por um conjunto de caminhos e percursos construídos com diversas funções, desde a fiscalização até a prática de turismo. Dentre os objetivos desse sistema está a interpretação da natureza, que é ferramenta indispensável para o manejo de uma Unidade de Conservação.

As trilhas possuem determinadas classificações. De acordo com Andrade e Rocha (1990, p. 788); Struminski (2001, p. 138) e Andrade (2005, p. 248), essas classificações, fazem menções sobre suas funções (administrativa, fiscalização, recreação e interpretação) quanto à forma (circular, oito, linear e atalhos) e quanto ao grau de dificuldade (leve, semi-pesada e pesada).

A relevância de estudos atrelados à dinâmica da paisagem junto às trilhas pode ser verificada na citação de Guillaumon (1977, p. 9), que propõe que a trilha, ao concentrar fluxo intenso de pessoas, induz um turismo intenso e leva os

visitantes até locais onde normalmente não teriam acesso, estendendo as fronteiras das áreas degradadas.

Por outro lado, autores como Guillaumon (1977, p. 7); Schelhas¹ (1986, *apud* Andrade e Rocha, 1990); Daigle, Watson e Glenn (1994, p. 4); Marion e Leung (2001, p. 1); Costa, (2006, p. 3) e Marion e Oliver (2006, p. 1) apresentam um aspecto favorável em relação ao uso das trilhas, salientando a recreação onde as atividades são executadas ao ar livre, pois fornece oportunidades de caminhada, observação de animais selvagens, além de proteger os recursos naturais, por meio da concentração do tráfego de visitante em uma determinada área, evitando assim, a degradação do solo e da vegetação adjacente a trilha.

Entretanto, o uso recreacional crescente, atrelado a trilhas mal projetadas e/ou mal mantidas, conduzem a uma variedade de impactos negativos na paisagem. Dentre esses impactos, Nepal e Amor-Nepal (2004, p. 337) citam a remoção do solo, causando o aprofundamento da trilha. Feola, Nucci e Santos (2008, p. 168) mencionam sobre a possível influência da largura da trilha em relação à vegetação de borda. Magro e Talora (2006, p. 12) apontam alterações nas propriedades físicas do solo. Figueiró e Coelho Netto (2006, p. 5) comentam sobre alterações hidrológicas em áreas com influência do pisoteio.

2.1.2 Trilhas nos Estados Unidos

Marion (2003, p. 1) citou que muitas das construções originais das trilhas surgiram entre colaboração de grupos voluntários com apoio do gerenciamento da Conferência *Appalachian* de Trilhas (ATC), fundada em 1925 e mais tarde formalizada com apoio do governo Federal, por meio do Serviço Nacional de Parques em 1938.

¹ Schelhas, J. Construção e manutenção de trilhas: Curso de treinamento e capacitação em gerenciamento de parques e outras áreas protegidas. São Paulo. 22 nov. a 14 dez., 1986. Instituto Florestal. Vol. 1 (não paginado)

Nos EUA, a necessidade maior por trilhas surgiu com o incentivo às atividades recreativas, que tiveram acréscimo, pós-1950. Na década de 60, o estudo denominado Relatório de trilhas para América, elaborado pelo Departamento Interior de Recreação ao Ar Livre, forneceu diretrizes ao que se refere à construção, manutenção e divulgação, além de fomentar a legislação federal para promover à criação do sistema nacional de trilhas (NORTH COUNTRY NATIONAL SCENIC TRAIL, 1996, p. 2).

Outro exemplo de incentivo ao que concerne esta temática pode ser verificado em Woody (2004, p. 1), que comenta que o Centro da Tecnologia e do Desenvolvimento de *Missoula*, nos EUA, após incentivos governamentais iniciou uma política voltada à construção de trilhas e um banco de informações básicas sobre manutenção, com objetivo de apresentá-las de forma de fácil compreensão. Marion e Leung (2001, p. 2) citam que o uso extensivo do sistema de trilha é controlado e desenvolvido por entidades estatais.

Na década de 80 surge o projeto Trilha Cênica Nacional, que favoreceu a construção de novas trilhas em diferentes Estados. Esses caminhos cruzam inúmeros parques nacionais, além de se juntar a rota de trilhas históricas nacional, que atravessa diferentes paisagens, entre áreas cênicas, naturais, recreacionais, históricas, e culturais proeminentes de sete Estados do Norte, tendo extensão oficial entorno de 6.000 Km (NORTH COUNTRY NATIONAL SCENIC TRAIL, 1996, p. 4) e (MARION, 2003, p. 2).

Sobre a demanda do uso de trilhas Marion e Leung (2001, p. 2), apontam que no final dos anos 90 do século passado nos EUA, uma pesquisa revelou que andar em trilhas era a atividade ao ar livre mais popular entre as atividades de recreação. Estimou-se que 67% dos norte-americanos entre 16 anos ou mais realizaram essa atividade.

Conforme Daigle, Watson e Glenn (1994, p. 4), o aumento no uso das trilhas nas florestas nacionais dos EUA, ocorreu simultaneamente com um decréscimo do número das trilhas disponíveis aos visitantes. A quantidade de uso quase que dobrou em 15 anos, enquanto as metragens diminuíram aproximadamente 30%.

2.1.3 O Contexto das trilhas no Brasil

Segundo Guillaumon (1977, p. 8), as trilhas de um ponto de vista formal, vêm a ser um novo impacto negativo do homem na natureza e, uma oportunidade a mais para se admitir inconscientemente este impacto negativo em diferentes locais.

Andrade e Rocha (1990, p. 787) afirmam que no Brasil, as primeiras publicações a respeito de trilhas trataram dos caminhos de penetração na Serra do Mar no período da colonização. Estes caminhos foram utilizados como vias de acesso tanto à exploração das terras brasileiras quanto às viagens científicas, quando vieram para cá vários naturalistas estrangeiros, os quais se destacaram Saint-Hilaire e Martius.

A utilização de trilhas foi estimulada com a criação de áreas protegidas, principalmente, após a década de 40 do século passado. Segundo Schelhas² (1986, *apud* Andrade e Rocha, 1990), as trilhas são uma das melhores opções para o visitante aproveitar a recreação nessas áreas, pois permite uma maior familiaridade com a paisagem menos antropizada.

No Brasil, a pesquisa sobre trilhas ainda é incipiente em relação aos países da América do Norte e alguns da Europa. Autores como Guillaumon, (1977), Magro e Freixêdas-Vieira (1998); Pagani, *et al.* (2001), entre outros, fazem parte do grupo norteado pela questão da interpretação da natureza.

Contudo, todos fazem menção aos aspectos físicos, mesmo de forma geral, e apontam também para possíveis formas de manejo. Portanto, enfatizam o poder da interpretação da natureza, na redução dos impactos negativos gerados pelo uso público.

Na vertente que se atém aos aspectos físicos da paisagem estão: Andrade e Rocha (1990); Struminski (1992); Takahashi (1998); Magro (1999); Costa, Gama e Moura (2003), Andrade (2005); Feola (2006); Magro e Talora

² Ibid.

(2006); Costa (2006); Vashchenko (2006); Feola, Nucci e Santos (2008) entre outros.

Além dos diferentes estudos dispersos no território nacional, um marco importante dessa temática foi a realização do I Congresso Nacional de Planejamento e Manejo de Trilha, que ocorreu em 2006, na Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), promovido pelo Departamento de Geografia. Este congresso convergiu e apresentou as diferentes linhas de pesquisa que envolvem trilhas no Brasil.

2.1.4 Impactos negativos em trilhas

A resolução 01 do CONAMA (2004) considera impacto ambiental:

Qualquer alteração nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia, decorrente das atividades antrópicas (humanas), que direta ou indiretamente, afetam: - a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais. CONAMA (artigo 1º, de 23.01.86)

De acordo com Coelho (2001), impacto ambiental pode ser interpretado como:

Um processo de mudanças sociais e ecológicas causado por perturbações (uma nova ocupação e/ou construção de um objeto novo: uma usina, uma estrada ou uma indústria) no ambiente. (...) Na produção dos impactos ambientais, as condições ecológicas alteram as condições culturais, sociais e históricas, e são por elas transformadas. (COELHO, 2001, p.24-5)

Conforme Andrade e Rocha (1990, p. 790); Cole (1991, p. 3); Takahashi (1998, p. 113), Leung e Marion (2000, p. 24); Jewell e Hammitt (2000, p. 134); Marion e Leung (2001, p. 20); Yoda e Watanabe (2000, p. 174); Marion (2003, p. 20); Nepal e Amor-Nepal (2004, p. 335); Feola (2006, p. 13); Costa, Costa e Mello

(2007, p. 121), os impactos negativos de maior expressão na trilha são: compactação do solo, processos erosivos, degradação da vegetação, erosão das encostas, falta de drenagem, alargamento das trilhas. Magro (1999, p. 80) e Magro e Talora (2006, p. 9) mencionam sobre a redução do banco de sementes do solo e, logo, a propagação de plantas exógenas.

No Brasil, um dos primeiro estudos voltado a trilhas foi de Andrade e Rocha (1990), onde a principal preocupação estava centrada na questão do planejamento, implantação e manutenção. Os autores não realizaram nesta pesquisa, nenhum levantamento quantitativo. No entanto, enfatizaram algumas variáveis atuantes na trilha, tais como a questão da drenagem e contenção da erosão.

Para Nepal e Amor-Nepal (2004, p. 335), muitos pesquisadores precedentes fizeram somente referência às condições da trilha de forma superficial, e nenhuma delas indicou o que poderia ser um problema principal. Os pesquisadores ressaltaram que avaliações de locais impactados baseado nas avaliações visuais qualitativas combinadas a alguns dados quantitativos que identifiquem a posição, a natureza e o grau dos impactos, são de grande importância.

No que concerne, os impactos físico em trilha, Cole (1991, p. 3), realizou relevante estudo sobre evolução do perfil do transecto em uma trilha de 27 km durante 9 anos em Montana – EUA, verificando que não houve nenhuma variação significativa dos perfis. No entanto, o autor constatou vários locais com perda de solo e aggradação de sedimentos.

Estudando os processos erosivos ao longo de uma trilha no Parque Nacional Central Hokkaido – Japão, Yoda e Watanabe (2000, p. 117) sinalizam que a profundidade sub-superficial, tem vulnerabilidade diferente à erosão, favorecendo a diferenciação nos perfis dos transectos. Muitas trilhas funcionam como canais para a água da chuva e do derretimento da neve. Os autores salientam que monitorar a erosão ao longo do tempo é indispensável para constatar, e logo, amenizar e/ou impedir o colapso repentino desse tipo de acesso.

Nepal e Amor-Nepal (2004, p. 337), após analisar a situação das trilhas no Parque Nacional do Monte Everest no Nepal, citam que a incisão da trilha ocorre principalmente devido à remoção do topo do solo. Essa remoção se deve à combinação de vários fatores, que incluem o uso pesado do caminhante e dos processos da erosão da superfície, tais como escoamento água entre ravinas ou em ravinas. Já a incisão em encostas íngremes é a combinação da erosão superficial combinada ao movimento em declive dos solos inconsolidados e compactados.

Segundo Marion (2003, p. 42), as medidas da erosão do solo são aplicadas geralmente em pontos amostrais situados em intervalos fixos ao longo do caminho, as quais são realizadas pelo método de incisão máxima e da área de seção transversal. Entretanto, alguns problemas que podem conduzir a erros são os antigos alinhamentos da trilha, e mesmo o corte de estradas e a erosão natural antecedente ao uso da trilha.

Após a detalhada revisão de alguns métodos sobre erosão em trilhas, Jewell e Hammitt (2000, p. 136), enfatizam que a maior eficiência é encontrada nos métodos de condições de classe, censo dos eventos erosivos e máxima incisão pós-construção. Contudo, a maior precisão é demonstrada pelo método da seção transversal, sendo este último, provavelmente, o mais usado.

Segundo Nepal e Amor-Nepal (2004, p. 338), o excesso na largura da trilha (> 3 m), é ocasionado principalmente pelo fluxo de animais, mulas e iaques, mas, também pelos visitantes, quando esses encontram obstáculos ao longo da trilha, principalmente em áreas enlameadas.

Magro (1999, p. 116) encontrou valor médio para a largura da trilha Rebouças – Sede, Parque Nacional (PARNA) – Itatiaia, na ordem de 2,71 m, porém em alguns pontos a largura chegou a 10 m. Feola, Nucci e Santos (2008, p. 168) na trilha Noroeste no Parque Estadual Pico do Marumbi (PEPM), verificam largura média de 1,81 m, contudo, vários pontos apresentaram valores acima de 4 m. Para Magro (1999, p. 105), a largura e a compactação do solo na trilha são parâmetros dispensáveis para uma avaliação geral. Contudo, são úteis ao estudo específico dos impactos sobre a vegetação.

Costa (2006, p. 12) e Magro e Talora (2006, p. 12) complementam que as trilhas usadas por eqüestre, ocasionam mudanças nas condições dos micro-organismos, na vegetação e na estabilidade do solo, além de influenciar o comportamento da fauna local.

Não somente os animais, mas também os visitantes interferem na vegetação acerca da trilha, principalmente com o efeito de borda. Marion (2003, p. 40) ressaltou que monitorar a flora ao longo dos caminhos em que se avaliem mudanças na vegetação, o que incluiu derivações na cobertura e composição, é de interesse crescente, particularmente porque se relacionam à introdução e à propagação de plantas não nativas.

No maciço da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro, Figueiró e Coelho Netto (2006, p. 5) realizaram o levantamento da vegetação com mapeamento de indivíduos, estoque de serrapilheira, peso específico foliar, diferenciação da estrutura da vegetação de borda e do interior da mata, além da análise do solo. O principal objetivo do estudo foi compreender o efeito de borda da trilha e identificar as modificações hidrológicas.

Costa, Gama e Moura (2003, p. 3) verificaram a situação de uma trilha no maciço do Gericinó-Medanha – RJ, onde foi realizado mapeamento, análise pedológica e vegetal próximo a esse trajeto, além de aplicarem a metodologia de capacidade de carga turística, com objetivo ao planejamento da área, buscando um limite físico, biológico e antrópico referente à utilização para recreação.

No estudo da influência do uso público sobre trilha no planalto do Itatiaia (RJ), Magro (1999, p. 49) realizou um levantamento minucioso dos seguintes indicadores: largura da trilha, solo exposto, declividade paralela e perpendicular, área da seção transversal, rugosidade, compactação do solo, além da análise de solos. A autora concluiu que os indicadores que têm maior relação com os impactos negativos são: a textura do solo original e a área da seção transversal.

Na região montanhosa do Paraná, os trabalhos voltados a essa temática tiveram início com Struminski (1992, p. 1097). O autor, mesmo não realizando nenhum levantamento quantitativo, fez menção principalmente aos processos de

erosão vigentes, e os possíveis danos causados à vegetação de borda ao longo da trilha Noroeste, localizada no PEPM.

Também no PEPM, Takahashi (1998, p. 53-68) fez um levantamento em áreas de camping e, em uma trilha na Reserva Particular do Salto do Morato. A pesquisa consistiu-se no levantamento de alguns indicadores, tais como compactação e densidade do solo, conteúdo de carbono, porosidade, microporosidade e regeneração vegetal. Em relação a propriedades do solo, a autora verificou que há certa tendência de compactação, aumento da densidade e redução na porosidade, principalmente em relação à trilha.

Feola (2006, p. 4-7), na mesma Unidade de Conservação, realizou levantamento de campo, baseado pelo método (VIM) *Visitor Impact Management*. Os resultados obtidos indicaram solos altamente compactados e avançados índices de erosão ao longo da trilha Noroeste. Ainda de forma superficial, realizou uma correlação entre os indicadores verificados.

No que se refere a um dos principais impactos junto à trilha, ou seja, compactação do solo, Takahashi (1998, p. 119) comentou que esse processo ocorre principalmente nos primeiros centímetros de profundidade do solo. Ao analisar uma área de clareiras, encontrou um valor médio de 0,776 MPa. Contudo, alguns pontos apresentaram valores superior a 1,5 MPa.

Feola, Nucci e Santos (2008, p. 165) constataram que na trilha Noroeste dos 34 pontos avaliados, 94,1% apresentaram solos compactados nos primeiros 10 cm, ou seja, possuem valores superiores a 20 kgf/cm². Desse total, 55,87% apresentaram o dobro do valor mínimo de compactação (acima de 40 kgf/cm²), e, uma média de 42,10 Kgf/cm².

Magro (1999, p. 112) verificou compactação média de 46,97 Kgf/cm² na trilha Rebouças – Sede. Entretanto, muitos pontos possuem valor superior a 60 Kgf/cm². Sobre a compactação do solo, Boçon (2002, p. 51) no PARNA – Foz do Iguaçu constatou aumento de 22% na densidade do solo na área de influencia dos caminhantes em relação aos locais fora da trilha.

Para Nepal e Amor-Nepal (2004, p. 340) existe forte correlação entre a degradação da trilha e o uso do visitante. O uso intensivo certamente é um dos fatores principais na causa da degradação da trilha. Sobretudo, os fatores naturais, tais como gradiente da encosta, vegetação, solos, e relevo acidentado são igualmente responsáveis, os quais dependem de suas características. Isto é verificado pelas condições de degradação das trilhas com pouco uso.

Nesse contexto, Guerra, Senna e Leal (1996, p. 122) ressaltam que a paisagem montanhosa tem como característica a instabilidade, por possuir elevado dinamismo, resultante de fatores como atividade tectônica, flutuações climática, intemperismo, entre outros. A dinâmica dessas áreas é amplamente afetada pelo uso do solo, tais como corte de taludes e desmatamento.

No que diz respeito à dinâmica da paisagem, incluindo o uso público, Passold (2002, p. 58) sugeriu alguns indicadores para o monitoramento em áreas naturais, os quais podem ser extrapolados à trilha. Esses indicadores são: presença de serrapilheira, número de árvores com raízes expostas, área com vegetação degradada, número de trilhas não oficiais, número de árvores danificadas e presença de lixo. Para o bom planejamento e manejo de uma trilha segundo Nepal e Amor-Nepal (2004, p. 339), o desenvolvimento de políticas eficazes de gerenciamento de visitante, e diretrizes específicas na construção e manejo de trilha são indispensáveis.

A respeito da diversidade de temas a serem trabalhados em trilhas Lechner (2006, p. 14) mencionou que é primordial uma visão sistêmica sobre essa temática, a qual vise o planejamento, construção, manutenção, monitoramento e avaliação de sua eficiência. O autor salienta que é primordial o conhecimento da dinâmica da paisagem para a redução dos impactos negativos e a maximização das oportunidades de recreação.

A interface entre planejamento e manejo de trilhas com a geomorfologia está mais do que nunca evidente, pois segundo Guerra e Marçal (2006, p. 37), a geomorfologia tem papel fundamental no diagnóstico de áreas degradadas, além de participar efetivamente na sua recuperação.

2.2 EROSÃO

Bigarella, *et al.* (2003, p. 884) comentam que o termo erosão está atrelado aos processos de desgaste da superfície do terreno e o seu transporte. Segundo Mutchler, Murpherr e McGregori (1994, p. 12), o termo erosão é freqüentemente usado como uma palavra inclusiva ao descrever o rebaixamento de uma paisagem. Contudo, a melhor definição para erosão é “remoção de partículas do solo”.

Para Morgan (1996, p. 6), erosão é um processo de duas fases, envolvendo o destacamento de partículas individuais do solo e seu transporte hídrico ou eólico. E, quando há insuficiência de energia para o transporte, ocorre a deposição.

Guerra e Guerra (2008, p. 230) descrevem a erosão acelerada como “realizada na superfície terrestre pela intervenção humana e seres vivos, em geral, um desequilíbrio ambiental. É o aceleração da erosão nas profundidades superficiais do solo, motivado por desmatamento, cortes de barrancos e estradas etc.”

Conforme Lal (1994, p. 1); Morgan (1996, p. 2) e Guerra (1999, p. 17), a erosão acelerada do solo é um sério problema global amplamente conhecido. Contudo, o que é difícil de avaliar com exatidão são as dimensões: extensão e magnitude da taxa de erosão. Morgan (1996, p. 2) ressaltou que só atualmente iniciou-se uma abordagem sobre os fatores sociais, econômicos, políticos e institucionais atrelados a esse processo.

De acordo com Guerra e Marçal (2006, p. 93), a preocupação com a questão ambiental e social pode ser refletida pela busca do equilíbrio entre os vários componentes que o meio natural estabelece entre si, e a sua capacidade de resposta aos diferentes distúrbios impostos pelas atividades antrópicas sobre a paisagem.

Nesse sentido, os distúrbios ou conseqüências da erosão do solo são refletidos em escalas locais e regionais. Morgan (1996, p. 1); Pareira (1997, p.

177-9) e Guerra e Mendonça (2004, p. 229) comentam que os efeitos *in situ* são de grande importância às terras agrícolas, devido à perda de solo, degradação da estrutura do solo, remoção da matéria orgânica e perda de nutrientes. O efeito em escala regional está atrelado principalmente ao assoreamento de corpos hídricos e suas consequências. Galetti (1984, p. 8) aponta que aproximadamente 20% do solo carregado no processo erosivo é depositado em reservatórios e curso d'água.

Segundo Goudie³ (1990, *apud* Guerra e Mendonça, 2004), o principal e mais sério impacto gerado pela ação humana sobre o meio ambiente é a erosão dos solos. E, mesmo com vasta produção científica, o problema está longe de ser sanado. Nesse contexto, Guerra e Mendonça (2004, p. 228) salientam que na situação brasileira não há nenhuma base de dados precisa dos totais de perda de solo, seja na esfera estadual ou federal.

Para Guerra (2001, p. 150), apesar da importância do solo em relação à sobrevivência da espécie humana, dos vegetais e animais na superfície terrestre o Homem tem dado pouca atenção a esse recurso natural, principalmente no que concerne à utilização e conservação.

Trabalhos de Guerra (1990), Morgan (1996); Guerra e Botelho (1998); Passos; Bigarella (1998); Christofolletti (2001); Coelho Netto (2001); Guerra (2001); Bigarella, *et al.* (2003); Guerra; Marçal (2006); Guerra (2007), entre outros, exemplificam de forma concisa os conhecimentos e a importância da Geomorfologia em relação aos processos erosivos e condições ambientais.

2.2.1 Processo da erosão hídrica

De acordo com Meyer, Foster e Römkens (1975, p. 177); Nearing, Lane e Lopes (1994, p. 129); Bradfort e Huang (1995, p. 61); Sharma (1995, p. 125); Morgan (1996, p. 33); Cogo e Bertol (1998, p. 57); Guerra (1999, p. 19); e Guerra e Mendonça (2004, p. 229), os processos erosivos ocasionados pela água são

³ Goudie, A. The human impact on the natural environment. Oxford: Ed. Basil Blackwell. 1990. 388 p.

compostos por três fases. Primeiro ocorre o desprendimento das partículas do solo ocasionado pelo impacto da gota de chuva. A segunda fase está associada ao transporte dessas partículas, principalmente pelo fluxo superficial, e a terceira pelo fluxo concentrado em canais, ravinas, sulcos e vossorocas. Nesta pesquisa há maior ênfase aos seguintes tipos de erosão: erosão por salpicamento, entre ravinas e ravinas, não será abordado a erosão por vossoroca, devido ao fato, de não ocorrer em trilhas.

Para Lal e Elliot (1994, p. 181), a infiltração, o *runoff*, a remoção e o transporte pela gota de chuva, o fluxo superficial, a remoção e transporte pelo fluxo concentrado e a deposição são processos determinantes da erosão.

Segundo Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 49) e Cogo e Bertol (1998, p. 55), a erosão do solo é um processo físico, onde ocorre trabalho, no sentido de consumo de energia. Essa energia é gasta em todas as fases da erosão: no salpicamento das partículas, no rompimento dos agregados do solo, na turbulência da enxurrada, e no fluxo e transporte das partículas.

Casseti (1991, p. 57) comenta que em regiões intertropicais, a precipitação é o processo de maior importância, implicando no escoamento, que favorece na redução de material pré-elaborado pela componente perpendicular.

Nessas regiões, o desempenho hidrodinâmico das encostas assume grande importância ao se conhecer as características da intensidade e frequência pluviométrica em função das alterações processadas junto ao relevo (ibdi., p. 66).

2.2.2 Erosão por salpicamento

Para Meyer, Foster e Römken (1975, p. 177); Nearing, Lane e Lopes (1994, p. 129); Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 76); Sharma (1995, p. 125); Torri (1995, p. 81); Goudie (1995, p. 131); Morgan (1996, p. 39); Guerra (1999, p. 18); Guerra (2001, p. 174); Bigarella, *et al.* (2003, p. 914) e Guerra e Guerra (2008, p. 235), a ação do impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo

ocasiona basicamente a erosão por salpicamento, por meio da remoção de partículas do solo. Shainberg e Levy (1995, p. 3); Morgan (1996, p. 10) e Bigarella, *et al.* (2003, p. 914) ressaltam que a transferência do impacto às partículas do solo possui dois efeitos. Primeiro ocorre uma força de consolidação que compacta o solo, e num segundo momento ocorre o rompimento das partículas do solo. Desse modo a gota de chuva é um agente de consolidação e de dispersão.

Essa consolidação é caracterizada pela formação da selagem ou crosta na superfície do solo. Segundo Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 76); Guerra (1999, p. 23); Guerra (2001, p. 17); e Bigarella, *et al.* (2003, p. 914), quando a crosta é formada ocorrem mudanças no processo erosivo devido à redução na infiltração de água, aumentando o *runoff*. Na superfície selada, ocorre baixa remoção, porém elevado transporte, durante a fase do fluxo superficial.

De acordo com Shainberg e Levy (1995, p. 3) e Guerra (1999, p. 23), a formação da crosta ocorre com a desagregação mecânica dos agregados na superfície do solo, ocasionando a formação de partículas primárias e micro agregados, que resulta na redução da porosidade da superfície do solo.

Agassi *et al.*⁴ (1981 *apud* Shainberg e Levy, 1995) ressaltam que a desintegração física dos agregados e sua compactação pelo impacto da gota de chuva, está atrelada principalmente ao efeito da energia cinética da gota, favorecendo a dispersão química das partículas de argila para o interior dos poros até a profundidade de 0,1 – 0,5 mm.

Bradford e Huang (1995, p. 69) entenderam que o processo de selagem do solo depende de muitas variáveis, tais como a característica da chuva, umidade antecedente do solo e tipos de agregados. Contudo, parece que a textura do solo é a primeira e mais importante das variáveis.

Segundo Guerra (2001, p. 175), a formação de crosta pode tornar a superfície do solo mais resistente aos impactos da gota de chuva, diminuindo sua ação erosiva. Shainberg e Levy (1995, p. 3) complementam que, quando o solo é acometido por gotas de água, da chuva ou da irrigação, essas ocasionam severas mudanças na estrutura da superfície do solo e na sua permeabilidade.

⁴ Agassi, M. *et al.* Efect of eletrocyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. In: Soil science society. AM: 1981. n. 45, p. 848-851.

Morgan (1996, p. 11) afirmou que os solos francos e francos arenosos são os mais susceptíveis à formação de crosta, e o risco na formação de selagem diminui com o aumento nos teores de argila e matéria orgânica, devido ao fato desses elementos proporcionarem maior resistência ao solo. Segundo Bradford e Huang (1995, p. 64), as características do solo que interferem no efeito do salpicamento são: textura, matéria orgânica, densidade, umidade potencial do solo, trocas de cátions, tamanho dos agregados e potencial de arraste.

Sobre o impacto da gota da chuva Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 47) reforçam que nem sempre a cobertura vegetal protege o solo, devido ao fato de a gota atingir outra velocidade terminal e de aglomerar-se com outras gotas. Para que haja amortecimento no impacto da gota, é necessária uma altura inferior a 9,8 metros.

Além da variável altura, a força do impacto segundo Bigarella e Mazuchowski (1985, p. 94); Shainberg e Levy (1995, p. 3) e Bradford e Huang (1995, p. 64), dependem ainda da forma e do tamanho da gota. Para Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 47) e Bigarella, *et al.* (2003, p. 918), a gota de chuva imprime uma força de turbulência ao fluxo superficial. Essa força está atrelada à energia cinética da gota, que compreende sua velocidade e massa.

De acordo com Blair (1964, p. 137) as gotas variam de 0,1 a 5 mm. Entretanto, existe um limite natural para o seu tamanho: gotas grandes, que caem através do ar em repouso, quebram-se e dividem-se em gotas menores. Meyer (1994, p. 84) comentou que para chuvas naturais ocorre ampla distribuição do tamanho que varia de uma escala próximo de 0 à aproximadamente 7 mm de diâmetro, com diâmetro médio de 1 a 3 mm, com tendência de aumentar com a intensidade da chuva.

Morgan (1996, p. 11) e Thornes⁵ (1980, *apud* Guerra, 2001) referiram que o salpicamento pode ser influenciado pelo fluxo superficial, principalmente quando esse ultrapassa uma profundidade superior a três vezes o diâmetro da gota de chuva, em que a espessura do fluxo protege o solo do impacto da gota.

⁵ Thornes, J. B. Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint. In: Soil erosion. Editores. 1980, p.129-182.

Conforme Meyer, Foster e Römken (1975, p. 177) e Bigarella e Mazuchowski (1985, p. 94), o lançamento das partículas desprendidas vão para todas as direções com predomínio encosta abaixo.

Guerra (2001, p. 174) reconheceu que o deslocamento das partículas para baixo ocorre três vezes mais distante em relação à encosta acima. Torri (1995, p. 81) ressaltou que, se a trajetória da gota for vertical em relação à superfície horizontal do solo, a distribuição das partículas do solo é uniforme, se a trajetória da gota for inclinada, o lançamento das partículas é desigual, com predominância encosta abaixo.

Mesmo com toda essa dinâmica do salpicamento, Bradford e Huang (1995, p. 67) e Volk, Cogo e Strech (2004, p. 765) afirmam que a baixa correlação entre remoção do solo e impacto da gota é ocasionada pela superfície rugosa e a espessura do fluxo superficial. E ainda, há maior remoção do solo por salpicamento caso o solo esteja seco.

2.2.3 Erosão entre ravinas

A erosão entre ravinas⁶ também é denominada de erosão em lençol, laminar ou superficial. De acordo com Morgan (1996, p. 12) e Guerra (2001, p. 179), o escoamento que origina a erosão entre ravinas ocorre de forma difusa, não apresenta profundidade uniforme e, muito menos se concentra em canais.

Cogo e Bertol (1998, p. 59) afirmam que a erosão entre ravinas ocorre em porções relativamente lisas da superfície do solo, onde não há concentração da enxurrada. Morgan (1996, p. 12) e Guerra (2001, p. 179) comentam que o escoamento superficial ocorre sob condições de chuva prolongada, quando a capacidade de armazenamento de água no solo e nas suas depressões é saturada.

⁶ O termo Erosão Entre Ravina é utilizado nessa pesquisa como equivalente a: erosão em lençol, erosão laminar e erosão superficial, como preconizam Morgan (1996), Sharma (1995) entre outros.

Para Nearing, Lane e Lopes (1994, p. 130) e Sharma (1995, p. 128), a erosão entre ravina é sub-processo da remoção e transporte de sedimentos pela ação e interação da gota de chuva e de deposição pelo fluxo superficial. Morgan (1996, p. 16) refere que essa erosão aumenta progressivamente encosta abaixo. Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 76) complementam que ela remove as profundidades delgadas do solo e é a forma de erosão menos perceptível no campo.

De acordo com Cogo e Bertol (1998, p. 59) e Young e Wiersma⁷ (1973, *apud* Guerra, 2001), a interação do salpicamento com o escoamento superficial pode ocasionar maior erosão do que cada processo atuando isoladamente. Isso ocorre porque as partículas colocadas em suspensão pelo salpicamento são transportadas facilmente pelo fluxo superficial.

Entretanto, Bradford e Huang (1995, p. 67); Bigarella, *et al.* (2003, p. 921) e Volk, Cogo e Strech (2004, p. 765) salientam que o transporte de partículas depende também da rugosidade da superfície das partículas e da inclinação da encosta.

Para Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 76), a erosão entre ravinas arrasta primeiramente as partículas finas, ocasionando efeitos negativos na fertilidade do solo. Segundo Bigarella, *et al.* (2003, p. 922), essas partículas são transportadas em suspensão, enquanto as pesadas são transportadas por saltação ou rolamento.

De acordo com Sharma (1995, p. 131), o transporte de partículas pelo fluxo superficial está diretamente relacionado com a profundidade e velocidade do fluxo, junto com a declividade, determina a força de cisalhamento do fluxo. A força de atrito existente entre o líquido em movimento e a superfície implica em uma resistência ao escoamento e ao transporte de sedimentos. A força de cisalhamento é decisiva para iniciar o movimento de partículas pequenas, enquanto a velocidade do fluxo é mais importante para o carregamento das partículas maiores.

⁷. Young, R. A.; Wiersma, J. L. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. *Water Resources Research*. 1973, n. 9, p. 1629-1639.

Morgan (1996, p. 12) e Guerra (2001, p. 179) relatam que quanto maior a turbulência do fluxo, maior é a sua competência erosiva. Além disso, Morgan (1996, p. 16) cita que a efetividade do fluxo superficial como agente erosivo depende de sua extensão e distribuição ao longo da encosta.

Segundo Sharma (1995, p. 130) e Morgan (1996, p. 12), os sedimentos transportados pelo fluxo superficial são influenciados quando a correnteza do fluxo é obstruída devido à rugosidade da superfície, plantas, resto da palhada, ou quando a turbulência do fluxo diminui devido à redução da inclinação da encosta ou à frequência do impacto da chuva.

Lal e Elliot (1994, p. 186) apontam que a erosão entre ravinas pode ser mensurada em campo ou no laboratório com simulador de chuva, utilizando-se utensílios com limite de 1m², para assegurar a verificação apenas desse tipo de erosão.

2.2.4 Erosão em ravinas

Para Lal e Elliot (1994, p. 189), a erosão em ravinas é um processo de remoção e transporte das partículas do solo pelo fluxo concentrado. As ravinas são erodidas em canais que podem ser removidos por operações normais de cultivo. A taxa de remoção é função da força de cisalhamento do fluxo de água dentro da ravina.

No contexto agrícola, a erosão em ravina, segundo Grissinger (1995, p. 153), é descrita como pequenos canais, intermitentes da água que não apresentam nenhum obstáculo ou impedimento a práticas de cultivo. A ravina pode originar-se naturalmente em resposta a topografia, em pequena escala, devido a características vegetais e/ou resultar das condições e das práticas de colheita.

Morgan (1996, p. 19) citou que o poder erosivo das ravinas contribui significativamente ao volume de sedimentos transportados de uma encosta,

dependendo da distância entre as ravinas e a extensão da área afetada. Segundo Morgan (1996, p. 17); Guerra (2001, p. 181) e Bigarella, *et al.* (2003, p. 923), a erosão em ravinas inicia-se a uma distância crítica encosta abaixo, onde o fluxo superficial começa a canalizar-se.

Moss, *et al.*⁸ (1982, *apud* Morgan, 1996) verificam que o fluxo principal encosta abaixo desenvolve canais de fluxos secundários com componentes laterais, que convergem para o aumento da descarga e intensificam o movimento das partículas. Por causa da abrasão ocasionam-se pequenos canais.

Morgan (1996, p. 17) e Guerra (1999, p. 29) apontam que há mudanças nas características hidráulicas do escoamento quando passa do fluxo superficial ao fluxo concentrado. Além disso, essa mudança passa por quatro etapas: escoamento superficial difuso; escoamento superficial com pouca concentração; escoamento concentrado em micro-canais, sem definição da cabeceira; e escoamento concentrado em micro-canais, com cabeceira definida.

Savat e De Ploey,⁹ (1982 *apud* Morgan, 1996) citam que nas duas últimas etapas ocorrem pequenos vórtices de fluxo, ondas e redemoinhos. No momento que se inicia o ravinamento, o fluxo muda de subcrítico para super crítico. Morgan (1996, p. 17) comentou que quando a velocidade de cisalhamento na superfície do solo supera um valor crítico de 3 a 3,5 m/s, ocorre aumento no fluxo e na carga de sedimentos.

De acordo com De Ploey,¹⁰ (1989, *apud* Morgan, 1996) e Bigarella, *et al.* (2003, p. 924), após o surgimento da ravina, inicia-se a erosão regressiva da encosta, ocasionando o retrocesso das cabeceiras. A velocidade do retrocesso está atrelada à coesão do solo, altura e gradiente da encosta, além da descarga e velocidade do fluxo.

Para Morgan (1996, p. 18), o fluxo de ravina não é seletivo em relação ao tamanho das partículas transportadas, pois move grãos grandes até fragmentos de rocha, igual à movimentação de partículas finas. Para Bigarella, *et al.* (2003, p.

⁸ Moss, A. J. P., *et al.* Small channels: their formation, nature and significance. *Earth Surface Processes and Landforms*. 1982, n.7, p. 401-415.

⁹ Savat, J.; De Ploey, J. Sheetwash and rill development by surface flow. In: Bryan, R., Org. Badland geomorphology and piping. Norwich. 1982. Geo Books, p. 113-126.

¹⁰ De Ploey, J. A model for heacult retreat in rills and gullies. *Catena Supplement*. 1989, n.14, p. 81-86

925) a ravina, quando acometida por enxurradas, constitui-se como uma das maiores fontes de sedimento.

Em experimentos Meyer, Foster e Römken (1975, p. 181) verificam que a carga de sedimentos em aproximadamente 1,15 m seria composta igualmente por solo de origem de parcelas de ravinas e entre ravinas. Entretanto, mais do que a metade do solo transportado para distâncias maiores é de origem das parcelas de ravinas.

Contudo, Morgan (1996, p. 18); Guerra (2001, p. 181) e Bigarella, *et al.* (2003, p. 923) mencionam que as ravinas podem possuir características efêmeras nas encostas, devido ao fato de serem obstruídas com sedimentos carregados por um novo evento chuvoso.

Guerra (2001, p. 181) ressaltou que o desmatamento e o uso agrícola sem práticas conservacionistas podem acelerar os processos de formação da ravina, principalmente quando o solo encontra-se desprotegido de cobertura vegetal.

2.3 FATORES CONTROLADORES DA EROSÃO

2.3.1 Erosividade da chuva

Guerra e Guerra (2008) comentaram que a erosividade é:

A propriedade que as águas das chuvas têm em provocar a erosão dos solos. A erosividade pode ser medida através da energia cinética das águas da chuva. A maior ou menor erosividade depende, não só da intensidade da chuva, mas também da quantidade total de chuva, precipitação em uma determinada área, levando-se em conta o tempo de duração de cada evento chuvoso. (GUERRA; GUERRA, 2008, p. 235).

Bigarella e Mazuchowski (1985, p. 95); Thomas (1994, p. 126); Goudie (1995, p. 131); Guerra (1999, p. 19); e Coelho Netto (2001, p. 100) indicam que as medidas mais importantes da chuva em relação aos agentes geomorfológicos são

a intensidade e erosividade, levando em conta os eventos da tempestade e a natureza da chuva. Já Galetti (1984, p. 12) e Bertoni e Lomaberdi Netto (1993, p. 46) citam duas características importantes da chuva frente aos processos erosivos, sendo elas a duração e a frequência.

No entanto, Foster (1949, p. 42), Onchev (1984, p. 424) e Meyer (1994, p. 95) mencionam que essas características refletem somente alguns aspectos da chuva e possuem diferenciações em uma escala espacial, em termos de significado em regiões climáticas diferentes.

Para Guerra (2001, p. 152), a intensidade é um importante parâmetro nos estudos que se relacionam com a energia da chuva, e um bom parâmetro para prever a perda de solo.

Segundo Morgan (1996, p. 27) e Guerra (2001, p. 153), a intensidade da chuva é utilizada por vários pesquisadores, com objetivo de encontrar um valor crítico, a partir do qual se inicia a erosão dos solos. Contudo, não é fácil estabelecer um valor universal, devido outras variáveis que influenciam no processo. Alguns valores são sugeridos: 25 mm/h (Hudson, 1964); 10 mm/h (Morgan, 1977); 6 mm/h (Richard e Negendank, 1977) e 5 mm/h (Boardman e Robison, 1985).

Thomas (1994, p. 126), Cogo (1998, p. 61) e Guerra (2001, p. 153) citam que a energia cinética está relacionada com a intensidade da chuva, sendo função da duração, da velocidade, da massa e do tamanho e número de gota. Segundo Singh (1984, p. 496), essa intensidade é transferida à superfície da terra pelo impacto do pinga de chuva.

Para Morgan (1996, p. 28) e Guerra (1999, p. 19), as intensidades que possuem maior potencial erosivo estão entre 50 e 100 mm/h, devido, principalmente, à grande porcentagem de gotas grande, superior a 4,0mm.

A erosividade da chuva ou fator R da *Universal Soil Loss Equation* (USLE) denota o potencial da chuva e da enxurrada associada em causar erosão do solo, determinando o produto da energia cinética total da chuva com sua intensidade máxima em um determinado tempo (WISCHMEIER; SMITH, 1978, p. 5).

Lal e Elliot (1994, p. 194), Morgan (1996, p. 27), Guerra (1999, p. 19), e Assouline e Ben-Hur (2006, p. 220) destacam que a erosividade é função da intensidade e duração, além da massa, diâmetro e velocidade da gota de chuva. Segundo Lal e Elliot (1994, p. 194), a erosividade é um agente erosivo que desprende e transporta o solo.

Wischmeier e Smith (1958) desenvolveram o índice de erosividade (I30), baseado no produto da energia cinética e na máxima intensidade em 30 minutos de uma chuva. Isso expressa a melhor relação para avaliar a erosão nas fases seguintes: impactos das gotas, desagregação do solo, turbulência da enxurrada e transporte das partículas (WASHINGTON, 1972, p. 3); (WISCHMEIER; SMITH, 1978, p. 5); (RUFINO; BISCAIA e MERTEN, 1993, p. 440) e (THOMAS, 1994, p. 126).

A perda de solo está relacionada diretamente à chuva, em partes pelo poder de desprendimento, ocasionado pelo impacto da gota de chuva ao golpear o solo, e também pelo fato de contribuir ao fluxo da enxurrada (NEARING; LANE e LOPES, 1994, p. 129); (MORGAN, 1996, p. 26) e (GUERRA, 1999, p. 17).

O fluxo de enxurrada, segundo Nearing, Lane e Lopes (1994, p. 129) e Faveratto, Cogo e Bertol (2006, p. 261), está atrelado aos processos erosivos em ravinas; já o salpicamento ocasionado pelo respingo da gota, favorece o processo erosivo entre ravinas, principalmente no que se refere à desagregação.

De acordo com Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 46), um evento chuvoso pode desprender mais que 200 t/ha de partículas de solo, podendo estas serem deslocadas a 1 m de altura e cobrirem uma área de 1,5 m de raio.

Para Morgan (1996, p. 26), a erosão está relacionada a dois tipos de chuva: temporal intenso de curta duração, que excede a capacidade de infiltração do solo, e o temporal de longa duração, mas de baixa intensidade, que satura o solo. O autor salientou a importância de considerar as chuvas anteriores ao processo erosivo, pois grande parte dos sedimentos são transportados durante o primeiro fluxo superficial, deixando pouco material às chuvas posteriores.

A intensidade da chuva necessária para produzir erosão significativa dependerá de especificidade de cada região. Hudson¹¹ (1981, *apud* Morgan, 1996) referiu que os valores para a região de Zimbábue estão na ordem de 25 mm/h, no entanto esse valor é alto para a Europa Ocidental, sendo utilizado para esta região um valor 10,6 mm/h.

No Brasil, Silva (2004) ao gerar um mapa de erosividade para o país, constatou que a erosividade variou de 3.116 a 20.035 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, sendo a região noroeste que apresentou valores mais elevados da erosividade anual, enquanto a região do nordeste demonstrou valores anuais mais baixos. Além disso, as taxas da intensidade anual classificada como forte e muito forte representam 68,8 % da área de estudo.

Moreti, *et al* (2003, p. 717) calculam os índices de erosividade (IE30) realizando uma adaptação da intensidade máxima em 30 minutos (I30) para o município de São Manuel (SP). Os autores encontraram para os meses mais representativos (dezembro, janeiro e fevereiro) os valores de IE30 respectivamente de 1.226, 1.421 e 1.285 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Rufino, Biscaia e Merten (1993, p. 440) determinaram o potencial erosivo para o Estado do Paraná. No trabalho desenvolveram um mapa de Isoerodentes, ou seja, linhas com mesmo potencial erosivo da chuva. As de maior intensidade estão localizadas no extremo inferior da região sudoeste, com 12.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, e chegando a 5.209 para a região Norte do primeiro planalto. Especificamente em Morretes, o fator de erosividade apresentou o valor de 7.887 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Para a erosividade, Hudson¹² (1981, *apud* Thomas 1994) sugeriu um valor de 25 mm/h para as regiões tropicais e 4 mm/h para regiões temperadas. Além disso, a maior intensidade das chuvas nos trópicos alcança pico em 15-30 mm.

¹¹ HUDSON, N. W. Soil conservation. London. 1981

¹² Ibid.

2.3.2 Encostas

Goudie (1995, p. 122) mencionou que as encostas compreendem grande parte da paisagem, sendo parte integral da drenagem básica, que provem água e sedimentos para os rios. Segundo Guerra, Senna e Leal (1996, p. 126) e Guerra (2007, p. 192), as encostas variam em forma, declividade e comprimento de um lugar para outro e, algumas vezes, podem variar num mesmo local. Essas diferenciações são ocasionadas por variações geológicas, climáticas, geomorfológicas e pedológicas.

De acordo com Chistofolletti (1999, p. 53), o comprimento, a rugosidade, a altura, o ângulo da declividade, a largura, a área ocupada, manto de decomposição da encosta, a granulometria, o conteúdo de umidade do solo, a porosidade do solo ou do manto de intemperização, a matéria orgânica, uso do solo, e a densidade de sulcos e ravinamentos são variáveis que contribuem para a complexidade no estudo das encostas.

Palmieri e Larach (2003, p. 77) citam que a diferenciação do relevo interfere nas características do solo, principalmente no que se refere à dinâmica da água - saturação e lixiviação, espessura do solo, diferenciação nos horizontes, teor de matéria orgânica, cor e temperatura do solo.

Segundo Argento (1980, p. 50) e Gerrard (1992, p. 8), muitos processos que ocorrem nas encostas, tais como o fluxo superficial e o desenvolvimento de fluxo em ravina, possuem variabilidade espacial e temporal, os quais são processos complexos e de difícil mensuração. Morgan (1996, p. 36) ressaltou que, com tantas condições possíveis e variáveis, não é de se esperar uma relação simples entre perda de solo e inclinação, forma e comprimento da encosta.

Sobre os processos erosivos em encosta Argento (1980, p. 43), Goudie (1995, p. 131), e Guerra (2001, p. 164) salientam que é o resultado de processos como escoamento superficial, salpicamento, ravinamento, que por sua vez, estão atrelados à erosividade, erodibilidade, das características das encostas e da cobertura vegetal. Argento (1980, p. 43); Guerra, Senna e Leal (1996, p. 122); e

Guerra (2007, p. 191) mencionam que o impacto antropogênico sobre as encostas naturais representa o principal fator de influência sobre os processos, as formas, e a evolução da encosta - de maneira deliberada ou não.

Washington (1972, p. 8); Meyer, Foster e Römken (1975, p. 181); Wischmeir e Smith (1978, p. 16); Penteado (1980, p. 104) e Guerra (2001, p. 163) afirmam que a forma, a inclinação e o comprimento das encostas são fatores relacionados à erosão do solo.

Sobre a declividade Gerrard (1992, p. 56) afirmou que a variedade considerável das inclinações em uma encosta, torna extremamente difícil a comparação entre solos e inclinação. O autor refere ainda uma relação inversa entre a inclinação e a estrutura do solo, textura e consistência. Coelho Netto (1980, p. 608) citou que os teores de argila e silte decrescem com o aumento da declividade.

Cassetti (1991, p. 69) mencionou que em solos argilosos, comparados com os arenosos, ocorre menor taxa de perda de solo, ao mesmo tempo proporcionam maior escoamento superficial. Isso é possível devido à propriedade dos minerais de se expandirem em condições de hidratação, favorecendo maior coesão dos agregados e, em consequência, maior resistência à erosão.

Sobre a relação perda de solo e declividade da encosta Meyer, Foster e Römken (1975, p. 183) citam que as perdas de solo em pequenas áreas onde há erosão entre ravinas, não seguem este tipo de relação.

Morgan (1996, p. 35), após analisar vários estudos relacionados à erosão em encosta, sugeriu que a curva que relaciona perda de solo com a inclinação da vertente, aumenta rapidamente ao passar da encosta suave à moderada, alcançando um valor máximo entre 8 e 10 graus e, depois diminui mesmo com o aumento da inclinação da encosta.

A diminuição na perda do solo em maiores declividades pode estar associada à dinâmica da água. Segundo Assouline e Ben-Hur (2006, p. 216); Palmieri e Larach (2003, p. 77); e Mello (2006, p. 47), as encostas com maior declive apresentam boa ou excessiva drenagem.

Bradford e Huang (1995, p. 70) e Morgan (1996, p. 36) complementam que a redução é devida ao solo possuir pouca tendência a formação da selagem e favorecer maior taxa de infiltração que os terrenos de encostas suaves da parte alta da ladeira. Feola (2006, p. 8), durante pesquisas em trilhas, encontrou índices de erosão relativamente baixos, mesmo em altas declividades.

No que se refere à forma da encosta Penteado (1980, p. 99), Cassetti (1991, p. 68), e Guerra (2007, p. 194) mostram que são classificadas enquanto forma: retilínea, côncava e convexa. Contudo, raramente elas apresentam ao longo do perfil apenas uma forma, mas combinações entre si.

Para Gerrard (1992, p. 59), a parte superior e inferior da encosta tendem a diferentes processos. A superior parece estar associada à erosão e transporte, enquanto na parte inferior ocorre deposição e transporte. Meyer, Foster e Römken (1975, p. 184) após realizarem alguns experimentos constataram que nas encostas retilíneas a erosão aumentou gradualmente encosta abaixo. Nas formas convexas a erosão é menor próximo ao topo, mas aumentou rapidamente encosta abaixo. Nas côncavas, as perdas são maiores acerca do topo e diminuem ao longo da encosta.

O comprimento da encosta é caracterizado pela medida entre o topo interflúvio e o fundo do vale (ARGENTO, 1980, p. 32; GUERRA, 2007, p. 193). Enquanto Washington (1972, p. 8) e Wischmeier e Smith (1978, p. 16) consideram o comprimento como a distância do ponto de origem do fluxo superficial ao ponto onde outro gradiente de inclinação diminui bastante, onde se inicia a deposição ou a água do *runoff* incorpora um canal bem definido que possa ser parte de uma rede da drenagem.

Meyer, Foster e Römken (1975, p. 180) e Wischmeier e Smith (1978, p. 16) afirmam que o comprimento da encosta afeta a erosão, devido o aumento do *runoff* em relação à distância do topo. O aumento do fluxo vai incrementar a erosão em ravina encosta abaixo, contudo a erosão entre ravina não são afetadas pelo comprimento da encosta.

Guerra (2001, p. 164) comentou que o comprimento da encosta é um parâmetro complexo de ser avaliado, devido ao fato de outras características

estarem atuando, tais como declividade, propriedade dos solos, forma da encosta, entre outros.

Para Meyer, Foster e Römken (1975, p. 180), o total de perda de solo aumenta rapidamente com a distância da encosta para os solos susceptíveis ao ravinamento. Gerrard (1992, p. 8) citou que a menor coesão nas profundidades próximas à superfície e a baixa rugosidade são responsáveis pelo movimento de materiais que é gerado pelo fluxo superficial.

Experimentos realizados em pequenas parcelas por Meyer, Foster e Römken (1975, p. 180) demonstram que a perda na parte superior da encosta é caracterizada por erosão entre ravinas, e as perdas em ravinas são aumentadas rapidamente com a distância. Entretanto, a erosão entre ravinas é constante.

Penteado (1980, p. 100), Torri (1995, p. 82), Morgan (1996, p. 35), e Guerra (2001, p. 175) comentam que, em terrenos planos, a erosão por salpicamento golpeia as partículas do solo em todas as direções, enquanto que nas áreas inclinadas, ocorre maior impacto na encosta abaixo do que encosta acima. Torri (1995, p. 82) ressalta que a distribuição das partículas pelas gotas da chuva varia conforme o ângulo com que ela incide na superfície do solo.

2.3.3 Propriedades do solo

Para Machado e Faveratto (2006, p. 234), solo é “um sistema heterogêneo e que apresenta três fases (sólida, líquida e gasosa). A fase sólida contém os minerais e matéria orgânica, a fase líquida a solução do solo, e a fase gasosa o ar do solo”.

Segundo Coelho Netto (2001, p. 115), os solos são constituídos por milhões de partículas de diferente composição mineralógica e diversos tamanhos, entre cascalhos, areias, siltes e/ou argilas. Para Bigarella, Becker e Passos (1996), solo é:

Um material mineral e ou orgânico inconsolidado, poroso, finamente granulado, com natureza e propriedades particulares, herdadas da interação de processos pedogenéticos com fatores ambientais envolvendo as variáveis: material de origem, clima, organismos vivos, relevo e tempo. (BIGARELLA; BECKER; PASSOS, 1996, p. 445).

O solo possui outras características. Segundo Volk, Cogo e Strech (2004, p. 765), as mais importantes são: agregação, estabilidade dos agregados e porosidade total e distribuição de tamanhos de poros, fatores que determinam a qualidade estrutural ou qualidade do espaço poroso do solo. Nesse contexto, Mello (2006, p. 39) ressaltou que o solo desempenha papel importante no equilíbrio do ciclo hidrológico.

Guerra (2001, p. 154) referiu que para o estudo da erosão é de suma importância que se leve em conta as propriedades do solo, porque estas, atreladas a outros fatores, determinam a maior ou menor susceptibilidade à erosão.

De acordo com Washington (1972, p. 5), Wischmeier e Smith (1978, p. 8) e Morgan (1996, p. 29), a erodibilidade é a capacidade de alguns solos resistirem à erosão mais do que outros, devido a suas características e propriedades.

Um meio engendrado para verificar a erodibilidade do solo segundo Römken (1984, p. 447) e Morgan (1996, p. 31) é o fator da erodibilidade do solo, representado por K, na equação universal de perda de solo (USLE), sendo a taxa de perda de solo pela unidade índice de erosão EI 30, com especificação padrão para uma parcela de 22,1m de comprimento com inclinação de 9%.

Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 61); Lal e Elliot (1994, p. 181); Morgan (1996, p. 29) e Guerra (1999, p. 17) e Guerra (2001, p. 155) comentam que a resposta de um solo ao processo erosivo é complexa e, influenciado por suas propriedades, tais como textura, estabilidade dos agregados, índice de matéria orgânica, mineralogia de argila e constituintes químicos.

Segundo Morgan (1996, p. 28), solos que contem elevada base de minerais são em regra geral, mais estáveis, favorecendo maior coesão química dos agregados. Volk, Cogo e Strech (2004, p. 765) salientam ainda as condições físicas de sub-superfície do solo, por serem importantes, devido à influência ocasionada na dinâmica da água, calor e gases no seu interior.

De acordo com Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 61); Lal e Elliot (1994, p. 182) e Guerra (2001, p. 154), a textura do solo é importante para determinar a erodibilidade. Segundo Farmer¹³, (1973, *apud* Guerra, 2001), Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 61) e Lal e Elliot (1994, p. 182), solos com textura arenosa possuem baixa taxa de *runoff* e são facilmente removidos, porém o transporte é mais dificultoso do que nos solos com alto teor de silte. Os argilosos não são facilmente removidos, contudo, a taxa de infiltração é inferior, possibilitando o aumento do *runoff* e o incremento da erosão. Já os solos com alto teor de silte, tendem a maior erodibilidade, por as partículas serem facilmente removidas e transportadas.

Para Morgan (1996, p. 29), as partículas de maior tamanho são resistentes ao transporte devido à maior força necessária desprendida para o transporte. Já as partículas finas são resistentes ao desprendimento devido a sua maior coesão, mas menos resistentes ao transporte. Mantovani (1987, p. 53) referiu que solos com constituição de partículas do mesmo tamanho, possuem menos susceptibilidade aos processos de compactação, do que aqueles onde há mistura de areia, silte e argila. Isso se dá devido ao fato de as partículas de diâmetros diferentes se arranjam e preencherem os poros quando submetidos à pressão.

Mesmo sabendo da importância da textura na erodibilidade dos solos, os teores de silte, argila e areia devem ser considerados juntamente com outras propriedades, porque a agregação dessas frações granulométricas é afetada por outros elementos, como o teor de matéria orgânica (GUERRA, 2001, p. 156).

No que se refere à estrutura do solo, Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 61); Bigarella, Becker e Passos (1996, p. 495) e Machado e Faveratto (2006, p. 253), apontam relevante importância sobre a erosão. A estrutura é o modo como as partículas do solo estão arrançadas.

De acordo Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 61), existem dois aspectos atrelados a estrutura do solo: primeiro relacionado à estrutura físico-químico da argila favorece os agregados a permanecerem estáveis na presença de água; e o

¹³ Farmer, E. E. Relative detachability of soil particles by simulated rainfall. Soil Science Society American Proceedings. 1973, n.37, p. 629-633.

segundo, associado às propriedades biológicas ocasionadas pela abundância de matéria orgânica em decomposição.

Wischmeier e Smith (1978, p. 5) e Volk, Cogo e Strech (2004, p. 765) comentam que a estrutura do solo tem efeito pronunciado na retenção, infiltração e armazenamento de água, na permeabilidade e erodibilidade do solo e na erosão hídrica. Geralmente um solo com boa estrutura apresenta boa capacidade de retenção, infiltração, permeabilidade e armazenamento de água em seu interior, o qual reflete menor erodibilidade.

Sobre a influência da estrutura do solo na dinâmica hídrica, Coelho Netto (2001, p. 115) aponta que as estruturas granular e em bloco possuem maior número de poros, e o movimento ocorre em todas as direções do fluxo. Nas estruturas prismáticas, geralmente associadas aos agregados e poros maiores e bem definidos na posição vertical, o fluxo ocorre na mesma direção. Já nas estruturas em laminar o fluxo ocorre de forma horizontal. Silva (1999, p. 104) ressaltou que, a estrutura dos agregados varia tanto vertical quanto lateralmente.

A porosidade possui grande relevância na movimentação de água no solo. Segundo Mantovani (1987, p. 54); Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 61); Silva (1999, p. 108); Coelho Netto (2001, p. 115); e Bigarella, Becker e Passos (1996, p. 495), a porosidade é a relação entre o volume de vazio e o volume total do solo, que é geralmente expressa em porcentagem.

Contudo, mais importante que a porosidade é o tamanho dos poros. Os microporos favorecem a retenção de água, enquanto os macroporos facilitam a drenagem (MACHADO; FAVERATTO, 2006, p. 240). Além disso, segundo Tormena, *et al.* (2002, p. 799) e Ottoni Filho (2003, p. 213) os macroporos contribuem também com a troca de gases e boa aeração ao sistema radicular.

No que diz respeito à matéria orgânica, Guerra (1990, p. 1) comentou que o teor de matéria orgânica depende de vários fatores, que atuam isoladamente ou em conjunto, tais como clima, textura do solo, topografia, drenagem, cobertura vegetal e uso da terra. O processo de formação da matéria orgânica é inicialmente um processo biológico e quase toda a flora e fauna existente no solo são atuantes.

Segundo Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 62), uma das importantes contribuições da matéria orgânica em relação à erodibilidade consiste no fato de a matéria orgânica reter de duas a três vezes o seu peso em água, contribuindo assim, para maior taxa de infiltração, que resulta numa menor perda por erosão. Vallejo (1982, p. 8), em pesquisa na Floresta da Tijuca, encontrou valores significativos de (25 a 30%) na interceptação e retenção água da chuva, pela matéria orgânica, o que acaba por influenciar o comportamento hídrico local.

Segundo Morgan (1996, p. 245) e Palmieri e Larach (2003, p. 77), a matéria orgânica favorece a coesão do solo, aumenta a capacidade de retenção de água e promove uma estrutura estável. A eficiência da matéria orgânica varia com o seu coeficiente húmico, ou seja, quantidade de húmus produzida por unidade de material orgânico.

Palmieri e Larach (2003, p. 77) ressaltam que solos com horizontes superficiais ricos em substâncias húmicas, proporcionam o desenvolvimento de estrutura granular forte e de tamanho de médio a grande, o que possibilita a sorção e retenção da umidade atmosférica.

Segundo Morgan (1996, p. 245) e Muzzili (2007, p. 17), o teor de matéria orgânica aumenta com a presença de bases mineralógica no solo, já que estas se ligam quimicamente aos materiais orgânicos para formar o complexo de argila e húmus, que contribuem à junção dos agregados do solo. Guerra (1999, p. 20) argumentou que caso haja redução no teor de matéria orgânica, há aumento na instabilidade dos agregados.

Sobre a influência da matéria orgânica nos diferentes tamanhos de agregados, Dexter (1988, p. 217) apontou que ela estabiliza micro agregados, incorporando-os nos pequenos espaços dos poros e entre os domínios e os conjuntos. Nos pequenos poros, a matéria orgânica é protegida do ataque microbiano. Em contrapartida, a matéria orgânica que estabiliza os agregados maiores é renovada constantemente pelo crescimento de colheita sendo prontamente acessível ao ataque microbiano. Morgan (1996, p. 246) ressaltou,

No que se refere à estabilidade dos agregados Volk, Cogo e Strech (2004, p. 765) comentam que a consolidação aumenta a coesão entre as partículas do

solo, tornando-o mais compacto e resistente à desagregação, ocasionada tanto pela ação da gota de chuva quanto a da força de cisalhamento da enxurrada.

Segundo Cogo e Bertol (1998, p. 59), a capacidade de desagregação varia com o quadrado da velocidade da enxurrada enquanto que a capacidade de transporte varia com a quarta potência dessa velocidade.

A força de cisalhamento de um solo Segundo Morgan (1996, p. 30) refere-se à medida de sua coesão e resistência aos esforços de cisalhamento ocasionados pela gravidade, pela hidrodinâmica do solo, e pela carga mecânica. Esse esforço deriva da resistência da fricção das partículas que formam o solo quando deslizam umas sobre as outras.

Morgan (1996, p. 30) mencionou que a força de cisalhamento diminui ou aumenta conforme o teor de umidade do solo, que favorece mudanças em seu comportamento. Em solos saturados a força de cisalhamento tende a diminuir, e o solo torna-se plástico e deforma-se sem fraturas. Já com baixo teor de umidade, o solo comporta-se como um sólido, o qual proporciona o surgimento de fraturas.

2.3.4 Cobertura vegetal

Segundo Lima (1979, p. 2), os primeiros estudos de interceptação da chuva surgiram no início do século XX, e quase 80 anos mais tarde e centenas de trabalhos publicados, somente agora é que o processo começa a ser entendido mais profundamente. Molchanov (1963, p. 21) complementou que foram os pesquisadores russos que procederam à extensa investigação sobre a taxa de interceptação de água pelas copas de diferentes espécies de árvores.

Para Molchanov (1963, p. 21); Coelho Netto, Sanche e Peixoto (1986, p. 55); Christofolletti (1999, p. 92); Guerra (1999, p. 23); Coelho Netto (2001, p. 105); e Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 257), a floresta está atrelada ao ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, influenciando na dinâmica da água em vários compartimentos do sistema.

Coelho Netto (2001, p. 105) e Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 257) citam que uma das principais influências da floresta ocorre no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando ocorre o primeiro fracionamento da água, que é temporariamente retida pelo dossel, processo denominado de interceptação. Molchanov (1963, p. 21) salientou que a interceptação depende da forma, duração e intensidade da chuva.

Guerra (2001, p. 161) afirmou que a cobertura vegetal pode atuar de duas formas: primeiro, na diminuição da quantidade de água que chega ao solo, por meio da interceptação, e, segundo, na alteração da distribuição e tamanho das gotas, com isso, influenciando na energia cinética da gota de chuva.

Segundo Morgan (1996, p. 16), a vegetação atua como uma capa de protetora ou de amortecimento entre a atmosfera e o solo. As folhas, galhos e troncos absorvem parte da energia das gotas, do movimento da água e da ação do vento, de modo que seu efeito erosivo seja reduzido em relação ao solo desnudo.

Cassetti (1991, p. 74) e Passos (2000, p. 187) referiram que a cobertura vegetal atua diretamente na estabilidade da encosta, contribuindo para a intensificação dos processos de infiltração e conseqüente pedogênese, ao mesmo tempo, atenuando o escoamento superficial, restringindo a participação da morfogênese.

Guerra (1999, p. 23) e Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 258) afirmam que a quantidade de água envolvida na precipitação interna, no escoamento pelo tronco e na interceptação são variáveis que dependem de fatores relacionados à vegetação e condições climáticas. Segundo Coelho Netto (2001, p. 105) e Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 257), o que não foi interceptado, chega ao solo pelo gotejamento ou precipitação interna e pelo fluxo nos troncos.

De acordo com Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 258), a soma da interceptação e da precipitação interna é denominada de interceptação efetiva, responsável pela água do solo, pela absorção através das raízes, pela transpiração das plantas e, também, pela alimentação dos rios.

Segundo Morgan (1996, p. 16), a cobertura vegetal dissipa a energia da água em movimento, ao contribuir como rugosidade ao fluxo superficial, reduzindo a velocidade do mesmo. Caso ocorra a eliminação da cobertura vegetal, a erosão por fluxo superficial é potencializada. Em contrapartida, Elwell¹⁴ (1981, *apud* Morgan, 1996) mencionou diminuição exponencial nas perdas de solo, caso haja aumento da cobertura vegetal.

Para Guerra (2001, p. 161), os fatores atrelados à cobertura vegetal que podem potencializar os processos erosivos são: a disposição espacial da cobertura vegetal (que pode atuar na redução ou no aumento da energia cinética da chuva) e a produção de húmus pela vegetação (que afeta a estabilidade e teor dos agregados).

De acordo com Molchanov (1963, p. 27) e Coelho Netto (2001, p. 111), alguns aspectos fisionômico da vegetação favorecem o aumento na concentração pontual de chuvas no interior de uma floresta. Molchanov (1963, p. 27) mencionou que os tipos de ramificações arbóreas é fato a ser considerado. Quando as ramificações são do tipo pectinado (forma de pente) com ramos laterais pendentes, a interceptação é menor. Já quando há ramificações do tipo hirsuto (forma de pêlos), onde os ramos laterais levantam-se obliquamente, há também maior interceptação. Coelho Netto (2001, p. 111) citou o exemplo das bromélias, que acumulam água em baixo de suas folhagens, e ao transbordarem alimentam um fluxo contínuo de água que atinge o solo.

Segundo Penteado (1980, p. 100), nas florestas tropicais a chuva atinge o solo indiretamente após o choque com as folhagens e galhos. O texto ressalta que a erosão pluvial é reduzida, contudo, não é ausente, devido à falta de cobertura do solo por gramíneas.

A densidade da cobertura vegetal interfere na interceptação pluvial. Molchanov (1963, p. 22), Coelho Netto (2001, p. 105) e Guerra (2001, p. 161) destacam que a porcentagem da cobertura vegetal pode reduzir os efeitos dos

¹⁴ Elwell, H. A. A Soil loss estimation technique for Southern Africa. In: Morgan, R. P.C. Org. Soil Conservation: problems and prospects. Chichester, Wiley. 1981, p.281-292.

fatores erosivos naturais, pois a densidade é um fator importante para minimizar a remoção de sedimentos, produção de *runoff* e perda de solo.

Além disso, o maior adensamento de vegetação ou um aumento na demanda de água pela vegetação propicia menores quantidades de chuva atravessada (COELHO NETTO, 2001, p. 105). Para Morgan (1996, p. 16), a densidade da cobertura do solo, a continuidade da vegetação e altura do dossel são fatores de eficiência para que a cobertura vegetal atue na redução da erosão ocasionada pelos impactos das gotas de chuva.

Sobre a eficiência da interceptação, por meio de um experimento realizado sob dossel arbóreo durante 4 anos com diferentes densidades de cobertura vegetal (de 0,9; 0,7; e 0,4, m²), Molchanov (1963, p. 39) exemplificou que foram encontrados os seguintes valores respectivamente de interceptação 11,3; 7,5 e 6,4%.

Outro fator atrelado à interceptação é a intensidade da chuva. De acordo com Molchanov (1963, p. 46-47) e Coelho Netto (2001, p. 111), quanto menor a intensidade da chuva, maior a taxa precipitação interceptada. Molchanov (1963, p. 46-47) citou exemplo de um povoamento de conífera, que chega a interceptar mais de 88% de chuva de intensidade fraca.

Nas regiões tropicais, onde as intensidades de chuvas são maiores Bruijnzeel¹⁵ (1990, *apud* Arcova, Cicco e Rocha, 2003), refere que de 75% a 96% da chuva, transforma-se em precipitação interna, e 1 e 2% representa o escoamento pelo tronco e 4,5 e 24% caracteriza-se pela interceptação das copas.

Coelho Netto, Sanche e Peixoto (1986, p. 60) pesquisaram os processos de interceptação no Maciço da Tijuca, no Rio de Janeiro, em reflorestamento com espécies nativas da região, e determinaram a precipitação interna média equivalente a 88,6% da precipitação total. A interceptação foi estimada em 11,4% e o fluxo de escoamento pelo tronco não foi medido.

Na Ilha do Mel, no Paraná, Britez, *et al.* (1998, p. 67) verificam a precipitação interna na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas em duas diferentes fisionomias – Floresta Seca e de Caxetais. Em dois anos de pesquisa

¹⁵ Bruijnzeel, L. A. The hidrological cycle in moist tropical forest. In: Bruijnzeel, L. A. Hidrology of moist tropical forest and effects of conversion: a state of Knowledge review. Amsterdam: IAHS. 1990, p. 5-38

obtiveram precipitação interna que correspondeu a 77 e 79% para o primeiro tipo de floresta e 64 e 76% para o segundo. A interceptação na floresta seca foi estimada em 23 e 21%, e entre 36 e 24% para floresta de caxeta.

Arcova, Cicco e Rocha, (2003, p. 261) constataam que em média 18,6% da precipitação foi interceptada pela floresta secundária de Mata Atlântica, que retorna à atmosfera na forma de vapor, 81,2% alcançam o solo como precipitação interna e apenas 0,2% como escoamento pelo tronco das árvores. Os fluxos de precipitação interna e escoamento pelo tronco foram maiores no período caracterizado como chuvoso. Os percentuais de interceptação foram maiores no período pouco chuvoso.

Molchanov (1963, p. 22) afirmou que o fluxo pelo tronco não deve ser desprezado, devendo-se levar conta a rugosidade da casca, que varia com as espécies e a idade das árvores. O escoamento pelos troncos aumenta o fornecimento de água às raízes mais profundas, situadas abaixo do tronco e sob a área do dossel.

Miranda¹⁶ (1992, *apud* Coelho Netto, 2001) em estudos na floresta da Tijuca, verificou que o fluxo de tronco apresentou, em média, apenas uma pequena parcela das chuvas (em torno de 1,8%). Contudo, o autor chama a atenção para o fato de que algumas espécies podem apresentar maiores valores, como por exemplo, as Palmeiras.

Mesmo desprezados por alguns pesquisadores o fluxo de tronco possui sua importância. Segundo Stocking; Elwell¹⁷ (1976 *apud*, Guerra, 2001), esse fluxo pode provocar o ravinamento na base das árvores, devido à concentração de fluxo. E a coalescência de água nas folhas largas pode provocar o aumento da erosão por salpicamento nas proximidades das copas das árvores.

¹⁶ Miranda, J. C. A interceptação das chuvas pela vegetação florestal e serrapilheira nas encostas do maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca – RJ. Dissertação Mestrado. IGEO – UFRJ. 1992, 100p.

¹⁷ Stocking, M. A.; Elwell, H. A. Vegetation and erosion: a review. Scottish Geographical Magazine. 1976, n. 92, p. 4-16

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PAQUE ESTADUAL PICO DO MARUMBI

O Parque Estadual do Pico do Marumbi localiza-se no município de Morretes, (FIGURA 1), entre o litoral e o primeiro planalto, na vertente oriental da Serra do Mar, entre as latitudes 25° 30' e 25° 25' Sul e longitude 48° 58' e 48° 53' a oeste de Greenwich. Está aproximadamente a 80 km de Curitiba e possui uma área de 2.342 ha. Suas altitudes variam de 300 a quase 1600 m. (IAP, 1996, p. 4).

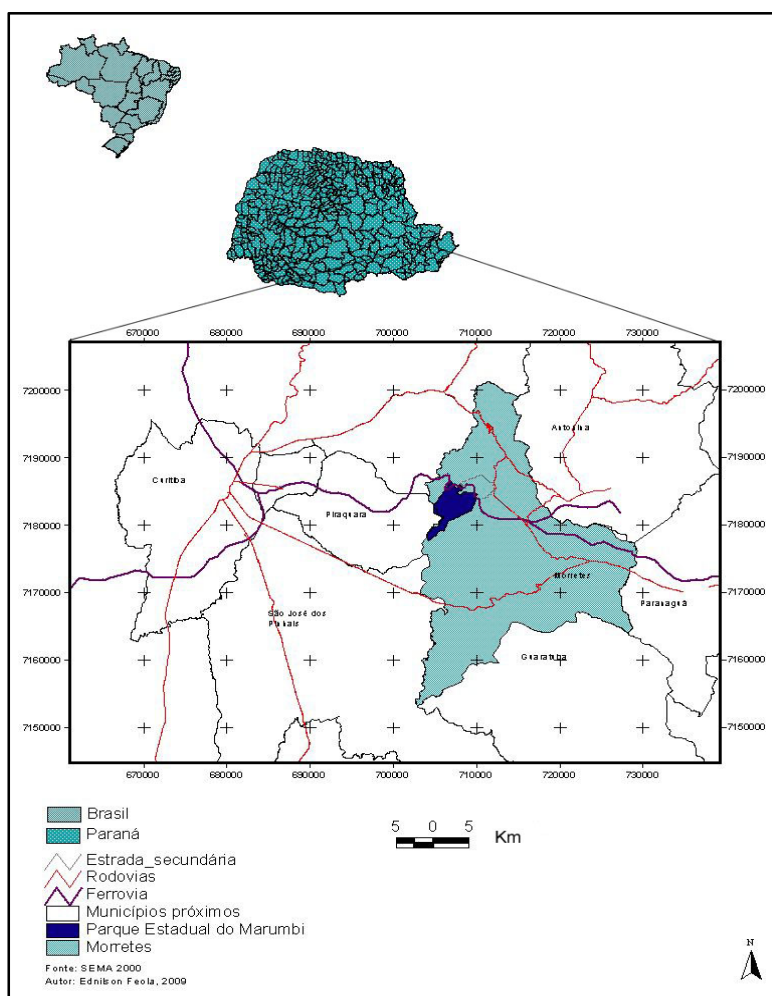


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL PICO DO MARUMBI
Org: Feola (2009)

Referindo-se sobre a acessibilidade da área, Struminski (2001, p. 36) menciona que existem três vias de acesso convencionais ao parque. Uma delas é a ferrovia Curitiba-Paranaguá, pela qual os visitantes podem chegar de maneira mais fácil até a Estação Marumbi, situada no Km 65 da ferrovia Curitiba-Paranaguá. Um outro caminho se encontra seguindo-se pela PR-410 (Estrada da Graciosa) ou pela BR-277 (Curitiba-Paranaguá), até a Vila de Porto de Cima, local de partida via estrada vicinal até a Estação de Eng. Lange. Além desses, há o acesso pelo caminho do Itupava.

No que, se refere aos elementos da paisagem, mais especificamente na geologia, a área do parque esta inserida na folha geológica de Morretes e de acordo com Cordani e Girardi (1967, p. 09) há predominância de rochas metamórficas e ígneas de idade pré-cambrianas. Trata-se de migmatitos e outras rochas metamórficas associadas que integram o complexo cristalino.

Segundo Oka-Fiore e Canali (1987, p. 42), ocorre em menor proporção à presença de seqüências vulcânicas ácidas e seqüências sedimentares do neo-paleozóico: quartzito, diques de diabásio, depósitos colúvio-aluvionares do quartenário.

Os tipos climáticos de Koeppen, que ocorrem na Área de Especial Interesse Turístico do Marumbi (A.E.I.T), atualmente Área de Proteção Ambiental da Serra do Mar, segundo IAP (1996. p. 9), são os seguintes: Cfb, Cfa e Af. Na área do parque ocorre o tipo Cfb, ou seja, clima subtropical úmido, mesotérmico, sem estação seca com verão fresco, onde a temperatura do mês mais quente é inferior a 22° C, e a do mês mais frio, inferior a 18° C.

De acordo com Rocha¹⁸ (1998 *apud* Takahashi, 1998), em um levantamento realizado em 1997 registrou-se as seguintes situações: temperatura média anual 19,5°C, com uma média de 17,5°C nos meses mais frios, e 23,3°C nos meses mais quentes. Em relação à pluviometria, a média mensal é de 388 mm, e nos meses mais secos de 104 mm. O total de precipitação no ano foi de 2.358 mm e a média da umidade relativa do ar foi de 91%.

¹⁸ Comunicação verbal.

Para Passos (2000, p. 160), no domínio da Floresta Ombrófila Densa no Estado do Paraná, prevalece o clima de verão e invernos moderados, devido ao fato de estar localizada na Subzona Ombrotérmica Costeira que abrange as escarpas da Serra do Mar e Planície Litorânea.

O PEPM está localizado no contexto geomorfológico da área que acompanha a grande escarpa de falha do complexo cristalino: dividida por falhas transversais em blocos elevados e rebaixados. Esses blocos quando isolados recebem denominações locais (Serra do Capivari, da Virgem Maria, dos Órgãos, de São João, da Graciosa, do Marumbi, da Igreja, das Canavieiras, da Prata e de Iquerim), e são exemplos de blocos isolados (OKA-FIORE; CANALI, 1987, p. 44) e (MINEROPAR, 2001, p.35).

Na área do PEPM é possível verificar a presença de diferentes fisionomias no que se refere à geomorfologia, com Rampas de Pré-Serra, Serra do Mar e Blocos Soerguidos. De acordo com Santos, *et al.* (2006, p. 6) e MINEROPAR (2006, p. 52), essas unidades morfo-escultural apresentam as seguintes características: Rampas Pré-Serra - dissecação alta, classe de declividade predominante de 6-30%, variações alimétricas entre 200 e 600 m. s. n. m., predominam topos alongados em crista e rampas com encostas retilíneas e vales em "V". A unidade Serra do mar apresenta: alta dissecação, classe de declividade predominante entre 12-30%, altitudes que variam de 20 a 1340 m. s. n. m., predominantes são topos alongados e em cristas com vertentes retilíneas e vales em "V" encaixado. A unidade blocos soerguidos da Serra do Mar apresentam: dissecação muito alta, classe de declividade predominante entre 30-47%, as altitudes variam entre 320 a 1360 m. s. n. m. As formas predominantes são topos alongados, cristas com vertentes retilíneas, e vales em "V" encaixado.

Na classificação proposta por Passos (2000, p. 171), o segmento da trilha em questão encontra-se na superfície das escarpas intermediárias do Pediplano (Pd₁), muito dissecada e rebaixada, onde, nas porções inferiores do relevo há presença de matações e tálus com depósitos colúvio-aluvionares.

Esse segmento está inserido em um depósito colúvio, ou seja, de material transportado, que se desenvolveu sobre o material movimentado da encosta,

caracterizando um solo alóctone. A textura desses materiais atrelado à processos químicos refletem em variações no que se refere à litologia. Bigarella, Becker e Santos (1994, p. 193) salientam que, para rocha gnáissica, a dimensão dos materiais varia de partículas de argila à matacões, sendo material mal selecionado. Já os granitos, não são maiores que grãos de areia.

No PEPM ocorrem duas classes de solos: Cambissolos e Neossolos Litólicos. Segundo IAP (1996, p. 28), os Cambissolos representam 44,3% da área total do parque e envolvem solos não hidromórficos, com horizonte A proeminente e horizonte B câmbico. De acordo com EMBRAPA (1999, p. 149) são constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente, com textura franco-arenosa ou mais argilosa.

A classe dos Neossolos Litólicos representa 18,6% da área do parque e compreende solos pouco desenvolvidos, ou seja, que estão em início de formação, sendo rasos, com horizonte A de espessura em torno de 16 cm, sobre rocha ou horizonte C. (IAP, 1996, p.28).

No que concerne a hidrografia, a rede de drenagem apresenta canais com cursos longos, encaixados e ordenados. A grande quantidade de falhamentos dá característica retangular aos rios principais, sendo que os canais secundários apresentam um padrão paralelo e as cabeceiras são dendríticas. São áreas com alta densidade de drenagem, nas quais os rios encontram-se bem encaixados nos vales (OKA-FIORE; CANALI, 1987, p. 50).

De acordo com IAP (1996, p. 7), o parque está inserido na bacia hidrográfica do rio Ipiranga, pertencente à sub-bacia do rio Nhundiaquara, que nasce no Primeiro Planalto Paranaense e que divide a Serra da Farinha Seca e a do Marumbi.

No que se refere à vegetação a área está inserida segundo Ab' Sáber (2003, p. 17), no Domínio Morfoclimático mares de morro – áreas mamelonares tropical-atlânticas florestadas, o qual possui diferentes fisionomias. De acordo com IAP (1996, p. 37) as montanhas são quase totalmente recobertas pela Floresta Ombrófila Densa e Refúgios Vegetacionais (Campos de Altitude e Vegetação Rupestre).

Segundo Struminski (2001, p. 64), a Floresta Ombrófila Densa Submontana ocorre no parque abaixo dos 600-650 m de altitude, representada principalmente por remanescentes alterados da floresta original, uma vez que esta, no passado, forneceu madeira para a construção da ferrovia Curitiba-Paranaguá.

De acordo com Roderjan, *et al.* (2002, p. 80), a Floresta Ombrófila Densa Submontana é multiestratificada, com densa e uniforme cobertura, podendo atingir entre 25 e 30 metros. Seu interior é muito úmido e mal ventilado e apresenta também riqueza em epífitas e espessa profundidade de serrapilheira.

De acordo com o IAP, (1996, p. 40), a Floresta Ombrófila Densa Montana surge à medida em que aumenta a altitude e a declividade e o ambiente torna-se frio e mais úmido, situa-se entre 600 a 900-1000 metros. O porte desta floresta varia conforme as condições pedológicas são mais desenvolvidas nos vales e nos planaltos, e seu dossel pode chegar a 20 metros.

A Floresta Ombrófila Densa Altomontana, de acordo com Struminski (2001, p. 67), surge no parque em diferentes altitudes, conforme sua localização, cobrindo totalmente alguns cumes. À medida em que aumenta a altitude, o porte das árvores torna-se menos desenvolvidos e tortuosos, e apresenta-se uma maior densidade de indivíduos por área formando um dossel muito denso e compacto. Próximo aos cumes, algumas espécies arbóreas, adaptadas a esse ambiente passam a apresentar porte arbustivo.

Segundo IAP (1996, p. 43), os campos de altitudes aparecem na serra do Marumbi em cotas acima de 1.300 m, em locais onde o solo é extremamente raso para sustentar até mesmo pequenas árvores da floresta altomontana. A fisionomia dos campos de altitudes é caracterizada pela presença dominante de espécies herbáceas, gramíneas, bambus, ciperáceas e pteridófitas.

Segundo Struminski (2001, p. 69), a vegetação rupestre é herbácea, e é encontrada nos afloramentos rochosos. A raríssima vegetação rupestre deve ser endêmica devido às condições xeromórficas do ambiente em que se encontram. Há presença de musgos, líquens, além de bromélias, orquídeas e cactus.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar os objetivos desta pesquisa optou-se por utilizar alguns indicadores do meio físico e o método experimental. A respeito desse método Penteado (1980, p. 3) escreve que: “Os experimentos podem ser levados a efeitos de campo ou laboratório (escala reduzida), o experimento em escala reduzida só terá valor se for relacionado a condições naturais e apenas para resolver problemas específicos”.

Sobre esse método Ross (2005) comentou que:

A pesquisa experimental tende a apoiar-se nas técnicas de quantificação para avaliar e interpretar os dados gerados com os experimentos. Assim a pesquisa opera em quatro etapas [...]. A primeira etapa é normalmente empírica [...]. A segunda etapa consiste na instalação e sua operacionalização [...]. A terceira etapa consiste no tratamento em laboratório do material coletado nas estações [...]. A quarta etapa implica o estabelecimento de uma análise que leve às conclusões gerais. (ROSS, 2005, p. 30-31).

Optou-se por realizar os experimentos (bandeja de salpicamento, pluviômetros, taxa de infiltração e os receptores de escoamento superficial e de sedimentos), em um segmento da trilha Noroeste (na porção inicial), por apresentar maior quantidade de ravinas como refere Feola (2006) e menor complexidade relacionada à montagem dos equipamentos experimentais. Os experimentos tiveram por objetivo a constatação da veracidade de uma série de fatos interpretados empiricamente, tais como elevada pluviosidade, erosão por salpicamentos, capacidade de remoção do solo pelo escoamento superficial, e infiltração de água no solo.

Para a constatação dos indicadores do meio físico atrelados aos impactos negativos na trilha, não foi abordado apenas um procedimento metodológico, mas sim adaptações de diferentes procedimentos, entre eles, os utilizados por Bertoni; Lombardi (1993, p. 282); Cauduro; Dorfman (1988, p. 161); Cole (1991, p. 2); Lemos e Santos (1996, p. 57); Morgan (1996, p. 89); Magro (1999, p. 48); Castilho

(2000, p. 55); Arcova; Cicco e Rocha (2003, p. 259) e Canfield¹⁹ (1941, *apud* Durigan, 2003, p. 466).

A primeira etapa caracterizou-se pela escolha da área, além do levantamento bibliográfico sobre a área de estudo e do tema. A área delimitada como segmento da trilha Noroeste corresponde a uma superfície de 279,84 m², possui extensão de 159 metros e largura média de 1,76 metros. O ponto inicial desse segmento está a 550 msnm e o ponto final a 605 msnm. Esse trecho está localizado entre o início do vale da Oeste (25° 26' 19,5" S e 48° 55' 07,4" W) e a Pedra da Marmelada (25° 26' 35,5" S e 48° 55' 02,6" W) - (FIGURA 2).

A segunda etapa da pesquisa caracterizou-se pela escolha e utilização dos indicadores do meio físico, no segmento da trilha, entre os dias 02/02 a 22/03 de 2008. Os indicadores foram compostos pela: pluviosidade, declividade, área da seção transversal da trilha, propriedades físicas do solo (porosidade total, densidade do solo, densidade de partículas e granulometria), cobertura vegetal, escoamento superficial, erosão por salpicamento, taxa de infiltração, estimativa de perda de solo e compactação.

O levantamento dos indicadores desenvolveu-se na área da trilha com a mensuração dos seguintes indicadores: declividade, área da seção transversal da trilha, propriedade físicas do solo, cobertura vegetal, escoamento superficial, taxa de infiltração e compactação do solo. Já na área testemunha quantificou-se a pluviosidade, erosão por salpicamento, propriedade físicas do solo, cobertura vegetal, taxa de infiltração e compactação do solo.

Para a declividade, área da seção transversal, cobertura vegetal e compactação, foram realizadas várias medições (ANEXOS) ao longo do segmento da trilha e da área testemunha. Para essa última não foi realizado a medição da área da seção transversal.

¹⁹ Canfield, R. Application of line interception in sampling range vegetation. Journal of Forestry. 1941, n. 39. 388-394.

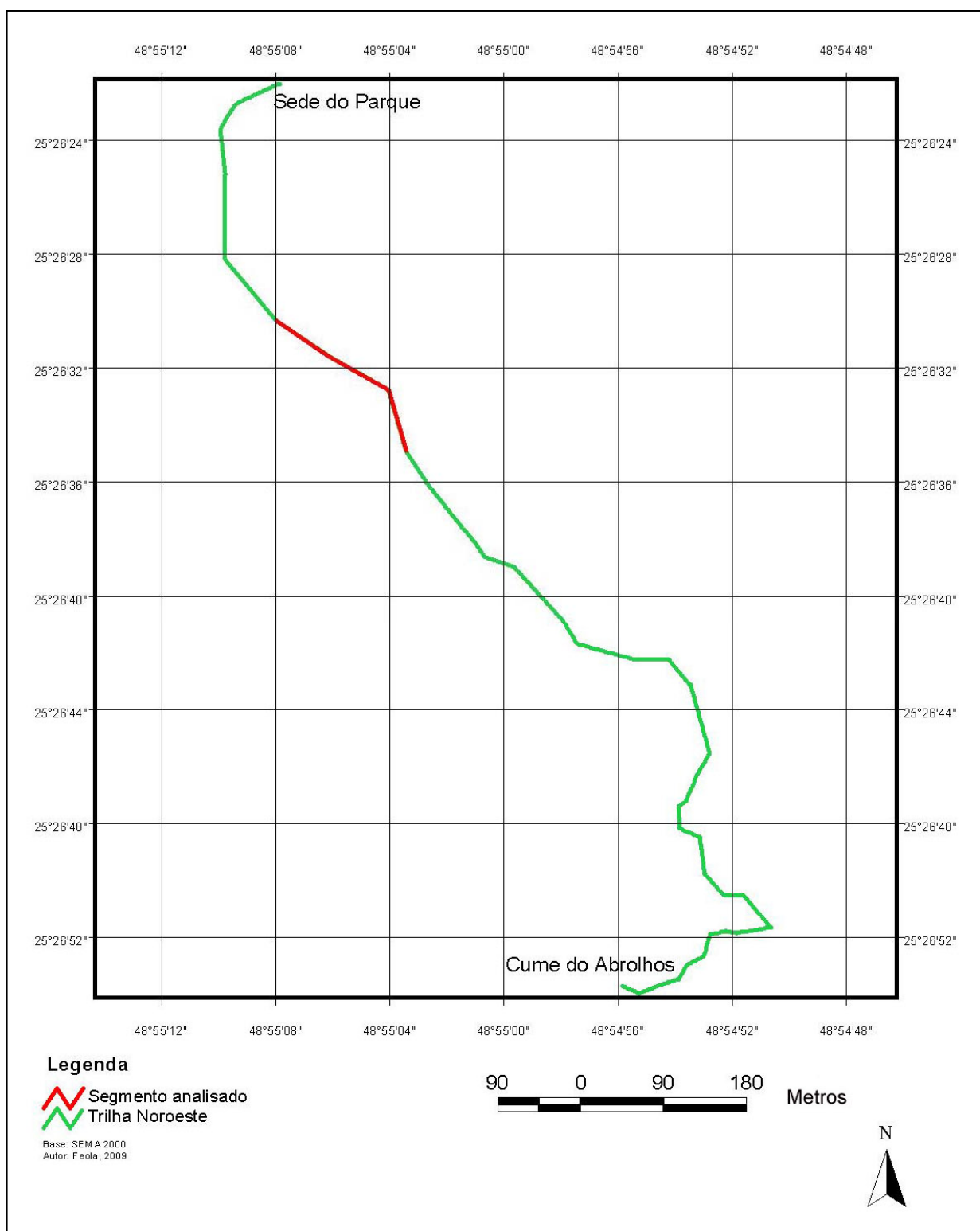


FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA TRILHA NOROESTE
Org: Feola (2009)

3.3 INDICADORES DO MEIO FÍSICO

3.3.1 Índice pluviométrico

A pluviometria verificada em campo está atrelada apenas aos totais de chuva. Devido à dificuldade do levantamento e observação em campo, não foi trabalhado a intensidade das chuvas. A pluviosidade é um fator preponderante na análise dos fatores que provocam o surgimento de processos erosivos e intensificam os já existentes, haja vista que em países de clima tropical úmido a chuva é o principal agente erosivo. Diante disso, foram instalados pluviômetros na encosta estudada, que permitiram uma análise pontual da precipitação.

Com objetivo principal de verificar o total precipitado na semana, foram confeccionados dois tipos de pluviômetros (FIGURA 3), que foram instalados em locais e com objetivos diferentes.



FIGURA 3 – INSTALAÇÃO DOS PLUVIÔMETROS

FONTE: Feola (2008)

Nota: Foto A - pluviômetro na área de clareira e foto B - pluviômetro no interior da floresta

Um dos pluviômetros teve por finalidade a captação da precipitação de uma área de clareira, para verificar a quantidade total de chuva. Este utensílio foi elaborado com um funil de 185 mm de diâmetro com área de 26.886,62 mm², acoplado em um galão plástico de 5 l (FIGURA 3a), e disposto a uma altura de 1,5 m do solo, adaptado à metodologia utilizada por (ARCOVA, CICCO e ROCHA, 2003, p. 259).

O outro pluviômetro teve por objetivo a quantificação da chuva que atravessa o extrato arbóreo e o quanto foi interceptado pelas copas. Segundo Morgan (1996, p. 35); Coelho Netto (2001, p. 105); e Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 257), a interceptação da chuva é ocasionada pelo dossel das árvores e a chuva que a atravessa é a precipitação efetiva. Esse coletor tipo “calha” (FIGURA 3b) foi construído com canos de PVC, cortados transversalmente, possuindo diâmetro de 100 mm e comprimento de 2,0 m. As calhas foram dispostas abaixo do dossel da floresta, sendo fixadas no solo por meio de suportes de madeira confeccionados com barras de sarrafos, aproximadamente a 45 cm acima do solo, apresentando uma pequena inclinação. Como a calha está disposta de forma inclinada, foi necessária a correção da superfície da área por meio do teorema de Pitágoras, uma vez que, a captação da chuva é mensurada em plano horizontal.

Cada calha foi conectada a dois recipientes plásticos (galão) com capacidade para armazenar cerca de 30 l cada. O volume coletado pelas calhas foi armazenado em galões e posteriormente quantificado com o auxílio de uma proveta plástica de 100 ml (menor divisão: 10 ml) e de um funil. A área de coleta da calha é de 386000 mm². Esse utensílio segue a metodologia adaptada de Castilho (2000, p. 55).

Optou-se por utilizar o pluviômetro de calha no interior da floresta, devido ao fato do mesmo ser mais representativo em relação ao pluviômetro convencional. Os dados da pluviometria levantados em campo foram comparados com o método de ponderação regional, para verificar se não houve discrepância com os dados levantados. A partir de dados da COPEL do mês de fevereiro de três estações pluviométricas (Chaminé, Parigot de Souza e Guaricana - todas situadas em áreas montanhosas) realizou-se a comparação entre os resultados,

utilizando-se o método da ponderação regional, de acordo com Tucci; Bertoni (1997, p. 183), e sintetizada na seguinte (EQUAÇÃO 1).

$$y = \frac{1}{3} \left(\frac{x_1}{xm1} + \frac{x_2}{xm2} + \frac{x_3}{xm3} \right) \cdot ym \quad (1)$$

ONDE:

y= valor a ser estimado.

x1, x2 e x3 = precipitações do mês que se deseja preencher.

ym = precipitação média do posto.

xm1, xm2 e xm3 = médias das estações vizinhas.

Dados pluviométricos são de caráter extremamente importante, uma vez que são o princípio básico à erosão hídrica (erosividade da chuva), principalmente nas áreas florestadas com altos índices de chuva.

3.3.2 Declividade

Para obtenção da declividade paralela, medida em graus, foi utilizado Clinômetro - Chicago. Foram verificadas 11 leituras de declividade ao longo da trilha (FIGURA 4), a cada ponto onde fosse de fácil visualização para o ponto posterior, não seguindo uma metragem fixa.

Adotou-se a classe de declividade propostas por Lemos e Santos (1996, p. 57), em que abaixo de 2 graus a classe de declividade é considerada plana; de 2 a 5 graus é baixa; de 5 a 11 graus, média; de 11 a 24 graus, alta; e acima de 24 graus, muito alta. A inclinação é um bom indicador, pois, associando as classes de declividade, pode-se sugerir que algumas áreas são mais frágeis em relação a outras, ou seja, quando uma área apresenta alta declividade, essa é mais suscetível à erosão em relação à área mais plana.



FIGURA 4 – PROCEDIMENTO PARA MENSURAÇÃO DA DECLIVIDADE
FONTE: Feola (2008)

3.3.3 Área da seção transversal da trilha

A área da seção transversal foi calculada por meio do transecto da trilha, com algumas modificações da metodologia proposta por Cole (1991, p. 2). O transecto consiste na medida da largura e da profundidade da trilha em relação a sua margem, ou área de influência do pisoteio. As medidas foram aplicadas na fórmula do cálculo da Regra do Trapézio. Há duas maneiras de efetuar o cálculo: no primeiro caso quando as distâncias do perfil (ΔX) são iguais, utiliza-se a (FÓRMULA 2); no segundo caso, quando o perfil (ΔX) apresenta distâncias diferentes, utiliza-se a (FÓRMULA 3). A (FIGURA 5) demonstra o desenho do transecto de uma trilha. Este indicador é de grande valia devido ao fato de poder monitorar a expansão tanto da profundidade quanto da largura da trilha.

Por meio desse cálculo chega-se à área da seção transversal da trilha. Este índice quando monitorado é de grande importância, pois demonstra o quanto de solo foi perdido. Contudo, outra importante contribuição do método de transecto é o monitoramento da profundidade e o alargamento da trilha. Este indicador foi

utilizado por Magro (1999); Yoda e Watanabe (2000) e Feola (2006), todos em relevo montanhoso.

$$\text{Área} = \Delta x \cdot \sum h \quad (2)$$

$$\text{Área} = \frac{\Delta X1 \cdot h1}{2} + \frac{\Delta X2 \cdot (h1+h2)}{2} + \frac{\Delta X3 \cdot (h2 + h3)}{2} \dots \quad (3)$$

ONDE:

ΔX = Largura da trilha

$\Delta X1$ = Medida 1

$\Delta X2$ = Medida 2

$h1$ = Altura 1

$h2$ = Altura 2

Σh = Somatório das alturas

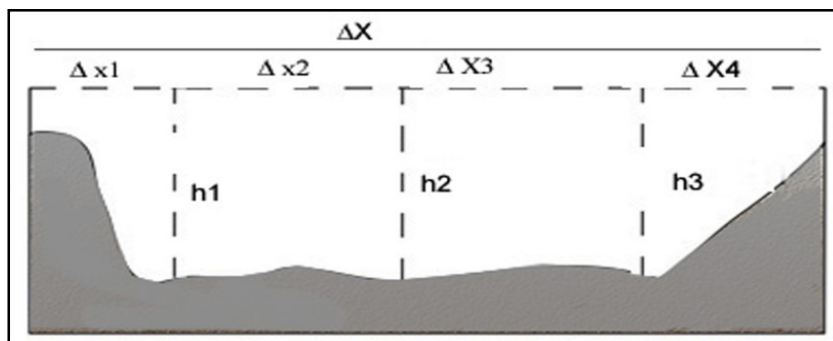


FIGURA 5 – TRANSECTO DA ÁREA DA TRILHA
Org: Stange Jr. (2008)

3.3.4 Análise física do solo

Optou-se por analisar quatro profundidades no solo da trilha com as seguintes medidas: 0 – 5; 5 – 10; 10 – 20 e 20 – 30 cm e seis profundidades na área testemunho, com as subseqüentes profundidades 0 – 5; 5 – 10; 40 – 45; 45 – 50; 50 – 60 e 60 – 70 cm. As quatro últimas são equivalentes (FIGURA 6) às profundidades da trilha. Devido a esse fato, foram coletadas três amostras de solo (duas indeformadas e uma deformada), de cada profundidade, como preconizam

Lemos e Santos (2005, p. 82). Já na área de deposição foi coletada apenas uma amostra deformada, totalizando 31 amostras.

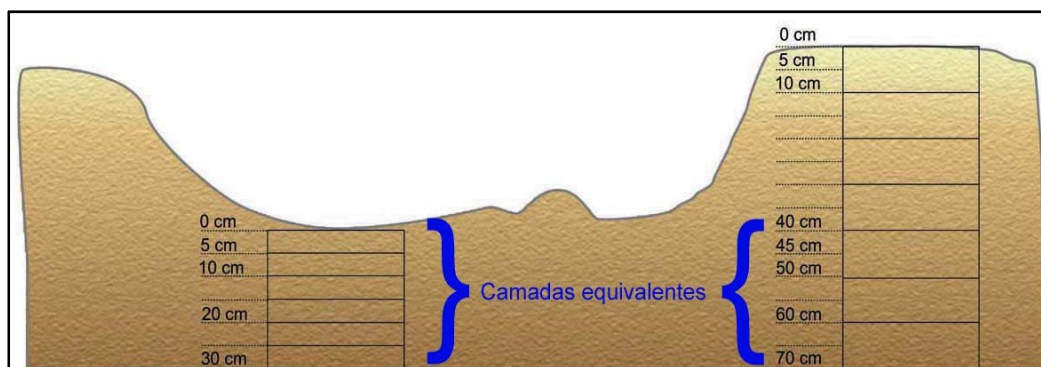


FIGURA 6 – PERFIL DA TRILHA E ÁREA TESTEMUNHA
Org: Stange Jr. (2008)

As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de 145,59 cm³, e as deformadas em sacos plásticos (FIGURA 7a e 7b). Na área específica do levantamento de campo há predominância de Cambissolos Háplicos.



FIGURA 7 – PROCEDIMENTO DE COLETA DE SOLO

FONTE: Feola (2008)

Nota: Foto A: preparo para coleta de amostra indeformada com anel volumétrico.

Foto B: coleta de amostra deformada com saco plástico.

Optou-se por utilizar a profundidade máxima de 30 cm devido à maior interferência ocasionada pela sobrecarga do pisoteio frente às propriedades do solo. Segundo Mantovani (1987, p. 52) e Tormena e Roloff (1996, p. 337), é nas

profundidades superficiais que ocorrem alterações, tais como adensamento e compactação.

Na análise do material coletado foi utilizada a metodologia segundo o Manual de Métodos de Análise Física do Solo, da Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária, EMBRAPA (1997). As análises físicas do solo foram desenvolvidas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solo da UFPR.

As propriedades físicas do solo avaliadas foram: porosidade total, densidade aparente, densidade de partículas, umidade gravimétrica e granulometria.

A porosidade total foi calculada por meio da densidade do solo e densidade de partículas, de acordo com a (FÓRMULA 4) descrita abaixo:

$$PT = 1 - (d_a/d_p) \times 100 \quad (4)$$

ONDE:

PT= Porosidade Total (%)

da= Densidade aparente (g/cm³)

dp= Densidade de partículas (g/cm³)

A densidade aparente foi obtida pela divisão do peso da amostra seca a 105°C pelo volume do anel, segundo a FÓRMULA 5 descrita abaixo.

$$DA = (a/b) \quad (5)$$

ONDE:

DA= Densidade aparente (g/cm³)

a = Massa do solo seco a 105°C (g)

b = Volume total do solo (cm³)

A densidade de partículas é a relação entre a massa do solo seco a 105°C e o volume do solo ocupado pelas partículas sólidas do solo seco, (FÓRMULA 6).

$$Dp = \left(\frac{a}{B} \right) \quad (6)$$

ONDE:

Dp= Densidade de partículas (g/cm³)

A = Massa do solo seco a 105°C (g)

B = Volume do solo seco (cm³)

Umidade gravimétrica foi obtida pela diferença entre solo seco e úmido dividido pelo solo seco a 105°C, (FÓRMULA 7).

$$- \quad (7)$$

ONDE:

Ug= Umidade Gravimétrica (%)

a = Peso da amostra úmida (g)

b = Peso da amostra seca (g)

Para análise granulométrica foi utilizado o método do densímetro, que tem por princípio a sedimentação das partículas sólidas que o solo contém, após a adição de um solvente químico – Hcl, (EMBRAPA, 1997).

As propriedades físicas do solo são válidas, como indicador, devido ao fato de indicar sua maior ou menor erodibilidade (MORGAN, 1996, p. 29).

3.3.5 Cobertura vegetal

Para determinar a cobertura vegetal foi utilizado o método de linhas (FIGURA 8), proposto por Canfield²⁰ (1941, *apud* Durigan, 2003).

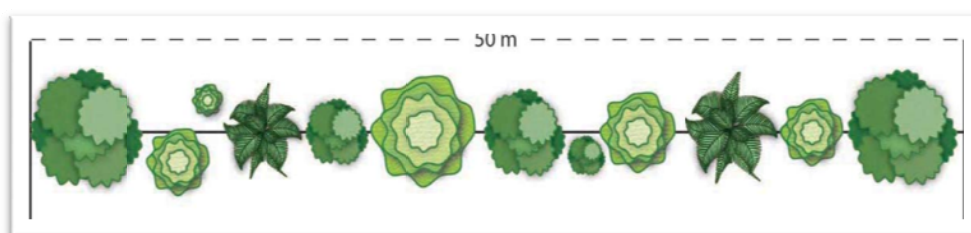


FIGURA 8 – MÉTODO DE LINHAS: VERIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL
Org: Stange Jr. (2008)

²⁰ Canfield, R. Application of line interception in sampling range vegetation. Journal of Forestry. 1941, n. 39. 388-394.

Este método consiste na soma da extensão total cobertas por todos os indivíduos arbóreos ou herbáceos, dividida pela extensão da linha (FÓRMULA 8).

$$C_v = \left(\frac{pd}{ext} \right) \quad (8)$$

ONDE:

C_v = Cobertura vegetal (m^2/m)

pd = Perímetro do dossel (m^2)

ext = Extensão linha (m)

Assim, obtém-se a cobertura vegetal da área em porcentagem. Esse indicador é significativo, pois, dependendo da porcentagem que apresenta, pode favorecer ou não à proteção do solo em relação às gotas de água da chuva, levando em consideração, é claro, a altura do dossel também.

De acordo com Roderjan, *et al*, (2002, p. 80.), o dossel que compreende o segmento da trilha analisada e da área onde foram montados os experimentos apresenta altura entre 30 e 35 m. Contudo, há presença de sub-bosque (com cobertura menos denso) e de serrapilheira.

3.3.6 Escoamento superficial

Para a quantificação do escoamento superficial, foi utilizado o método de sistema de coletores proposto por Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 282) e Morgan (1996, p. 170). Este método foi amplamente adaptado com algumas modificações à trilha. Primeiramente foi observada a área de contribuição do fluxo hídrico junto à trilha. Para isso, foi realizada observação de campo em dias chuvosos.

Para o cálculo da área da trilha, foi necessário medir o comprimento da trilha 159 m que influencia neste escoamento, multiplicado pela largura média da trilha 1,76 m, considerada como a área de influência do pisoteio. A área total da

trilha corresponde a 279,84 m². Para tentar uma aproximação mais real, foram realizadas 74 medições referentes à largura ao longo do caminho.

Na parte inferior da trilha, o fluxo foi direcionado e canalizado (FIGURA 9a) por meio de tubos de PVC de 100 mm, que convergem a água para um tambor metálico de 200 ℓ (FIGURA 9b). Esse primeiro tambor quando cheio extravasa por dois orifícios de 1,5' (FIGURA 9c) para um segundo tambor também de 200 ℓ (FIGURA 9d), que quando cheio passa para um terceiro armazenador de 2000 ℓ (FIGURA 9e, f).

O volume escoamento foi medido duas vezes por semana juntamente com o total de chuva. O volume total escoado para os coletores experimentais nos eventos de chuva foi obtido através do seguinte procedimento: a) multiplicou-se o volume recolhido no terceiro e segundo tambor pelo número de orifícios do primeiro tambor; b) posteriormente, acresceram-se os resultados anteriores ao volume depositado no primeiro tambor.

O material depositado nos tambores coletores foi homogeneizado para retirada de uma amostra representativa de 50 ml, partindo-se sempre do terceiro tambor para o primeiro, com o intuito de evitar que o material depositado fosse desviado. As amostras foram depositadas em garrafas plásticas, hermeticamente fechadas, contendo a identificação exata do tambor de origem e a data de coleta.

A quantidade de sedimento foi estimada para o volume total semanal por meio das coletas amostrais de 50 ml. As amostras foram levadas ao laboratório, e adicionado HCl para promover a floculação das partículas, posteriormente o material foi transferido para um béquer de 50 ml e colocado na estufa a 70°C para secar, por 2 dias. Esse procedimento foi realizado no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solo da UFPR.

O indicador escoamento superficial é de extrema importância, uma vez que fornece informações tanto da enxurrada quanto da produção de sedimento. Além disso, por meio deste indicador podem ser tomadas formas de manejo no que se refere à redução da velocidade da água, logo, menor potencial de erosão.



FIGURA 9 – ETAPAS DA QUANTIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

FONTE: Feola (2008)

Nota: Foto A: captação do fluxo na trilha; B: canalização do fluxo; C: primeiro tambor com duas saídas de 1,5' e capacidade de 117 l; D: tambor com capacidade para 187,5 l; E: terceiro coletor com capacidade de 2000 l; F: coletor cheio de água proveniente do escoamento superficial.

3.3.7 Erosão por salpicamento

A erosão por salpicamento foi medida no campo, por meio de coletor de salpicamento, proposto por Morgan (1996, p. 137). Este coletor consiste em um cilindro de ferro galvanizado (FIGURA 10a), com 30 cm de diâmetro e 10 cm de altura, dividido ao meio por duas placas. No centro desse cilindro foi colocado outro cilindro, com 10 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, que é enterrado no solo. A parte de baixo do cilindro maior é totalmente fechada, enquanto o cilindro central é vazado para que o solo preencha esse espaço. A (FIGURA 10b) demonstra o acúmulo de partículas do solo no interior da bandeja.

A bandeja foi fixada e enterrada na encosta com inclinação de 22°, e a parte central preenchida com solo. Uma parte do coletor ficou voltada para o topo da encosta e a outra para a base da encosta. As leituras foram realizadas semanalmente junto com o total de chuva precipitado na semana.



FIGURA 10 - BANDEJA DE SALPICAMENTO
FONTE: Feola (2008)

Foi coletado, em cada um dos compartimentos, o solo que foi salpicado para cima e para baixo da encosta, totalizando o solo que sofreu salpicamento. Sabendo-se que a área do cilindro menor é de 0,07 m², é possível extrapolar o valor de solo erodido por salpicamento para uma determinada área com metragem conhecida.

Este indicador é relevante mesmo quando uma determinada área possui uma boa cobertura vegetal, devido ao fato de a gota de água da chuva alcançar a velocidade terminal, caso o dossel seja superior a 10 metros de altura, tornando a erosão por salpicamento significativa.

3.3.8 Taxa de infiltração

A infiltração é o fenômeno de entrada de água no solo, no sentido de cima para baixo, por meio dos espaços vazios, sob a ação da gravidade (MARTINS, 1976, p. 44); (CAUDURO; DORFMAN, 1988, p. 160) e (SILVEIRA; LOUZADA e BELTRAME, 1997, p. 336).

Para verificar a taxa de infiltração de água no solo, foi utilizado o método do infiltrômetro de anéis concêntricos (FIGURA 11a), proposto por CAUDURO; DORFMAN (1988, p. 160).



FIGURA 11 – QUANTIFICAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO
FONTE: Feola (2008)

Este equipamento é constituído de dois anéis concêntricos; o cilindro externo é metálico e, possui 30 cm de altura e 30 cm de diâmetros. O cilindro interno de PVC (FIGURA 11b), possui 30 cm de altura e 20 cm de diâmetro, ambos possuem bordas biseladas, o que facilita a penetração no solo.

Esse instrumento foi cravado verticalmente no solo a uma profundidade de 10 cm. Na parte superior do cilindro, é acoplado um suporte que tem por objetivo manter verticalmente a régua com flutuador. Aplica-se água em ambos os cilindros, mantendo uma lâmina líquida de 1 a 5 cm, sendo que no cilindro interno mede-se o volume aplicado a intervalos fixos de tempo bem como o nível da água ao longo do tempo. A finalidade do cilindro externo é manter verticalmente o fluxo de água do cilindro interno, onde é feita a medição da capacidade de campo.

As leituras foram realizadas com um intervalo de tempo de 1 minuto durante os primeiros 5 minutos, uma leitura de 5 minutos e as restantes com intervalo de 10 minutos, por um período total de duas horas. As medições foram realizadas na área da trilha e na área testemunha. A taxa de infiltração de água no solo foi determinada sob umidade gravimétrica de 29,94%, na trilha e 21,37% na área testemunha, ambas para a profundidade de 0-10 cm.

A taxa de infiltração reflete maior ou menor capacidade de absorção, portanto, nos diz que um determinado solo estará ou não mais susceptível a produção de escoamento superficial, logo, maior ou menor erosão.

3.3.9 Estimativa da degradação do solo

Para esse cálculo foi utilizado o total de sedimento quantificado por meio de amostras (de 50 ml) dos coletores de sedimento instalado na trilha. A quantidade de sedimento foi estimada para o volume total semanal, e posteriormente somado ao total de perda mensal (apenas para o mês de fevereiro de 2008). Com o total do solo perdido em (Kg) dividido pela área em (m^2), em um determinado período (1 mês), e posteriormente dividido pela densidade do solo (Kg/m^3), chega-se ao volume de solo (m^3). Quando dividido pela área (m^2), obtêm-se a altura de solo que foi perdido, como preconiza Carvalho (1994, p. 47), por meio da (EQUAÇÃO 9).

$$h = \frac{E}{Yap} \left(\frac{\frac{kg}{m^2.mês}}{\frac{kg}{m^3}} \right) \quad (9)$$

ONDE:

h= é a altura de degradação do solo

E= é a produção de sedimentos

Yap= densidade específica aparente

Logo, pode-se fazer uma estimativa anual de perda de solo. No entanto, nesta pesquisa, preferiu-se por uma estimativa somente para o período de verão, uma vez que as características pluviométricas são amplamente diferenciadas. Para essa estimativa foi levada em conta a densidade aparente do solo encontrada na área (1,96 g/cm³) por meio da análise física do solo, e (1,6 t/m³) preconizada por Carvalho (1994, p. 47).

Os levantamentos que levam em conta a estimativa de perda de solo são importantes, principalmente porque podem apontar em quais épocas do ano ocorre maior ou menor degradação, e, por conseguinte, torna-se possível nortear as formas manejo e gerenciamento para épocas mais críticas.

3.3.10 Compactação do solo

Para os trabalhos de coleta de dados da resistência do solo à penetração (RSP), usou-se um penetrômetro digital *Spectrum – Fieldscout* sc-900 (FIGURA 12). Este equipamento é utilizado para medir a resistência mecânica da profundidade superficial do solo.

O penetrômetro possui uma haste e uma ponta de ferro, na parte superior, sendo composto por um sensor de profundidade (cm) e força (MPa). Para realizar a mensuração foi necessário deixar o equipamento perpendicular ao solo, e posteriormente exercer uma força para que a ponta penetre nas profundidades desejáveis. Quando a ponta penetra no solo, o sensor marca a resistência a cada 2,5 cm, obtendo-se um valor em MPa. Para este estudo foram analisados os

primeiros 30 cm do solo, devido maior interferência na compactação para essa profundidade.



FIGURA 12 – PENETRÔMETRO DIGITAL
FONTE: Feola (2008)

Segundo Mantovani (1987, p. 52), a compactação do solo é a diminuição do volume do solo ocasionada por compressão, causando um rearranjo mais denso das partículas e conseqüente redução da porosidade. De acordo com Tormena e Roloff (1996, p. 337), um valor superior a 1,0 MPa é considerado como solo compactado.

O indicador compactação é relevante devido ao fato de alterar a estrutura do solo, dificultando a infiltração e a aeração do mesmo. Logo, traz conseqüências à vegetação de borda e favorece os processos erosivos.

3.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Optou-se por usar o coeficiente de correlação linear simples (correlação de Pearson), por ser um coeficiente acessível e por quantificar a força de

associação linear entre duas variáveis. Andriotti (2003, p.68) comentou que o estudo da correlação numérica entre duas variáveis é geralmente um caminho intermediário na análise de um problema. Salientou que o coeficiente de correlação é representado pela letra (r), e pode assumir três características: $r = 0$ ausência de correlação, $r = -1$ correlação negativa e $r = + 1$ correlação positiva. Os valores do intervalo $[-1$ e $1]$, quando mais próximos de zero indicam menor correlação entre as variáveis

Preferiu-se analisar apenas as variáveis que possuem maior interação uma com a outra, a partir disso, analisou-se: densidade aparente e porosidade do solo; precipitação e escoamento; escoamento e produção de sedimentos; precipitação e remoção de partículas do solo e precipitação e perda de solo. Para obtenção de tal análise utilizou-se o programa *Analyse-it* para *Microsoft Excel – Office* 2007.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO

Obteve-se grande amplitude na variação da precipitação na área de clareira, com extremos de 5,3 e 208,87 mm durante as sete semanas de observação (ANEXO 1). O total precipitado no período foi de 709,49 mm, sendo que 396,23 mm, (55,8%) foram coletados no mês de fevereiro, demonstrando-se representativos em relação à precipitação total mensal de três estações pluviométricas instaladas na Serra do Mar. De acordo com COPEL (2008), as estações de Guaricana, Parigot de Souza e Chaminé apresentaram os respectivos valores: 291, 396 e 249 mm, para o mesmo mês.

Devido a esse fato, os valores das precipitações na área de estudo demonstram-se compatíveis com as estações pluviométricas oficiais, conforme demonstra o (GRÁFICO 1), sendo que o ponto de coleta do Parque Estadual Pico do Marumbi apresentou valores equivalentes a estação de Parigot de Souza, a qual apresentou diferença de 0,93% para os totais de chuva.

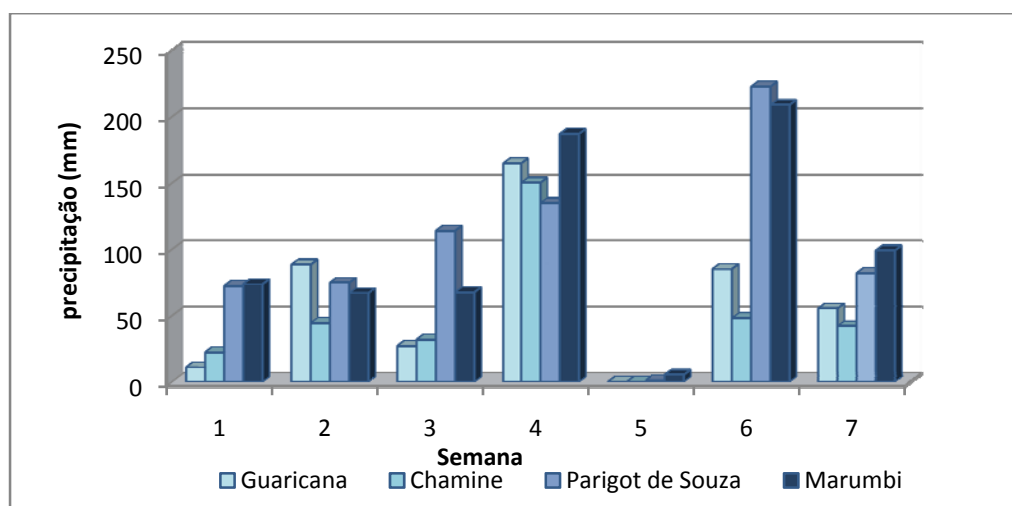


GRÁFICO 1 – COMPARAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA SERRA DO MAR.
FONTE: COPEL (2008), modificado pelo autor.

Com método de ponderação regional verificou-se precipitação de 391,12 mm para as estações pluviométricas oficiais, contra 396,23 mm averiguados em campo, ou seja, apresentou variação de 1,30%.

De todas as observações semanais averiguam-se que as de maior representatividade, no que se refere ao total de chuva, foram verificadas na 4ª e 6ª mensuração, que apresentam respectivamente um total pluviométrico de 187,89 e 208,87 mm, com média diária respectiva de 26,84 e 29,83 mm.

Esses dois episódios de chuva bem acentuados demonstram-se excepcionais em relação aos anteriores, que refletiram no maior escoamento superficial para a área da trilha com os respectivos valores de 6.427,8 e 7.169,6 l. Essas taxas relativamente altas, ratificam o que Cassete (1991, p. 57) afirmou sobre importância da água na interação com a encosta, por favorecer a erosão, solifluxão, movimentos de massa, entre outros.

Entretanto, mesmo em um mês chuvoso - fevereiro - constatou-se precipitação quase que insignificante. Por exemplo, no caso da 5ª semana, precipitou apenas 5,3 mm, com média diária de 0,76 mm. É interessante observar que para essa baixa quantidade de chuva, a taxa de interceptação foi de 44,22% a mais em relação à maior taxa interceptação apresentada pelo total de chuva de 187,89 mm, onde 28,63% foram interceptadas.

A interceptação da chuva apresentou valor médio de 29,34%, sendo que as porcentagens encontradas estão sempre nessa faixa dos 20%, com exceção da 5ª mensuração que demonstrou menor índice pluviométrico semanal (5,35 mm) refletindo-se na maior eficiência da interceptação da água de chuva pelas copas das árvores, ou seja, 51,03% desse total ficam sobre o dossel da floresta.

A baixa precipitação de 5,35 mm, além de favorecer maior interceptação da chuva pela vegetação, não ocasionou fluxo superficial, pois em nenhum dos experimentos observou-se presença de volume escoado. De acordo com os dados da COPEL (2008) para a estação de Parigot de Souza, o mínimo de pluviosidade nessa semana concentrou-se em apenas dois dias. Mesmo assim, não foi suficiente para extrapolar o potencial de infiltração e ocasionar o escoamento superficial.

Já os menores valores referentes à interceptação foram encontrados para os totais de chuvas de 66,98 e 73,67 mm, e apresentam respectivamente uma interceptação de 22,47 e 22,91% do total precipitado. Na TABELA 1, é possível observar que não há uma correlação negativa significativa entre aumento do total pluviométrico com a redução da taxa de interceptação ou o aumento do percentual interceptado com redução do total de chuva. Contudo, constatou-se que para os totais de chuva superior a 99,04 mm, iniciou-se uma modesta redução na porcentagem interceptada. Devido a esse fato, demonstra-se assim que a interceptação está mais atrelada à intensidade do que ao total de chuva, como preconizam alguns autores, entre eles Bigarella e Mazuchowski (1985, p. 95); Goudie (1995, p. 131) e Coelho Netto (2001, p. 100).

TABELA 1 - PLUVIOMETRIA NO PARQUE MARUMBI – FEV. MARÇO DE 2008

Total de chuva clareira (mm)	Total de chuva na floresta (mm)	Interceptação (%)
5,35	2,62	51,02
66,98	51,96	22,42
67,69	51,77	23,51
73,67	56,79	22,91
99,04	70,8	28,51
187,89	134,41	28,46
208,87	149,43	28,45

Org: Feola (2008)

A elevada taxa de precipitação efetiva (70,67% - valores médios), constatada com o levantamento de campo, associada ao uso e as propriedades do solo, tornam a trilha um ambiente totalmente instável em épocas de chuva. A elevada precipitação e baixa taxa de infiltração, ocasionada pela compactação, favorecem o fluxo superficial, por conseguinte o aprofundamento do leito da trilha, devido à remoção de sedimentos.

O excesso de umidade na época de verão (período chuvoso) torna o solo saturado, e após o evento chuvoso é necessário alguns dias para chegar à capacidade de campo. Com isso, é necessário evitar e, ou reduzir o tráfego de pessoas junto à trilha nessa época, devido principalmente ao fato de o solo

alcançar o máximo de compactação, mesmo com uma menor carga de peso, favorecida pela umidade.

Os valores encontrados são condizentes com as taxas de interceptação verificadas por outras pesquisas: Coelho Netto, Sanche e Peixoto (1986, p. 62) estudam o processo no Maciço da Tijuca, no Rio de Janeiro, e determinam a precipitação interna média equivalente a 88,6% da precipitação total.

Na Ilha do Mel, no Paraná, Britez *et al.* (1998, p. 67) verificaram a precipitação interna na Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixa em duas formações vegetais: floresta seca e floresta de caxetais, obtiveram precipitação interna que correspondeu a 77 e 79% para o primeiro tipo de floresta e 64 e 76% para o segundo. Arcova, Cicco e Rocha (2003, p. 261), em floresta secundária de Mata Atlântica verificaram que 81,2% da chuva alcançou o solo como precipitação interna.

4.2. SEÇÃO TRANSVERSAL DA TRILHA E ESTIMATIVA DA DEGRADAÇÃO DO SOLO

Os pontos onde foram averiguadas as medições da seção transversal da trilha apresentam os seguintes valores de área como relativo à perda de solo: P1 0,59; P2 0,47; P3 1,02; e P4 0,27 m². O valor de maior representatividade foi o ponto três (ANEXO 3). Feola (2006, p. 7), encontrou os seguintes valores para os respectivos pontos citados anteriormente: 0,82; 0,53; 1,21 e 0,47 m².

Todos quando comparados com o levantamento atual, apresentam redução na ordem de 28% para o P1; 11,3% para P2; 15,7% para P3 e 42% para P4 (GRÁFICO 2). Esta redução está ligada a possível deposição de sedimentos, que influencia na altura das medidas, logo, corrobora para a diminuição da área e conseqüentemente para o decréscimo da taxa de erosão.

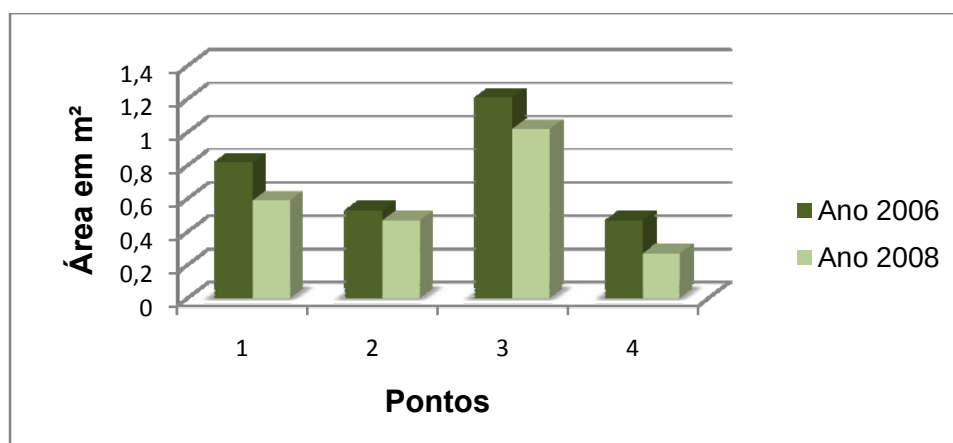


GRÁFICO 2 – VARIAÇÕES DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA TRILHA
Org: Feola, (2008)

Outro fator que pode ter interferido na redução da área do transecto é a área de influência do pisoteio, pois caso haja redução nessa área, isso influenciará diretamente no cálculo da área, e logo na erosão. Marion (2003, p. 42) salientou sobre essa problemática.

Devido a esse fato, fica evidente que a medida da seção transversal da trilha deve ser utilizada como monitoramento ao longo do tempo, ao invés de estimar a perda de solo, em um período de curto prazo. Quando comparados ao longo do tempo, podem demonstrar se houve redução ou aceleração da perda de solo, e logo diminuição ou aumento da largura e profundidade do leito da trilha.

Apesar da área da seção transversal da trilha ter apresentado redução no que se refere à perda de solo a estimativa da degradação do solo para a superfície total da trilha apresentou valores significativos. Para o total das observações foi constatado altura de 0,023 mm de perda de solo (utilizando a densidade de 1,96 g/cm³ - valor médio das amostras analisadas). O mês de fevereiro em específico produziu 50,58% dos sedimentos, ou seja, 6.454 Kg, e, por conseguinte, apresentou como degradação do solo altura de 0,011 mm mês⁻¹.

Para a densidade 1,6 g/cm³, recomendada por Carvalho (1994, p. 47), o total das observações demonstrou altura de 0,028 mm, sendo que desse total, 0,014 mm mês⁻¹, foram originados no período entre 02/02/08 a 01/03/08. O percentual de diferença entre as duas densidades aparentes apresentou para o

mês em questão, uma taxa na ordem de 21,43% a mais de perda de solo, para a menor densidade.

Essas taxas são superestimadas principalmente pelo motivo de ter-se realizado a análise do solo de forma pontual (apenas um ponto), ao longo dos 159 m de extensão. Devido a esse fato, sugere-se que novos estudos sejam realizados, levando-se em conta um levantamento minucioso ao longo da trilha. Indica-se também a quantificação do escoamento superficial nas diferentes estações do ano, para melhor caracterização dos sedimentos. Contudo, por meio do (GRÁFICO 3) é possível ter noção da relação entre total de chuva e perda de solo.

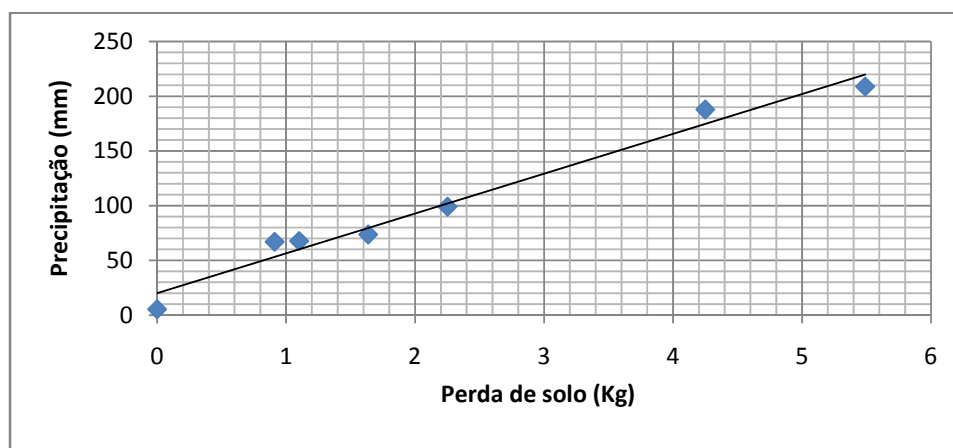


GRÁFICO 3 – CORRELAÇÃO: PLUVIOSIDADE E PERDA DE SOLO
Org: Feola, (2008)

O coeficiente de correlação linear entre pluviosidade e perda de solo, demonstrou correlação positiva muito forte²¹, conforme apresenta o (GRÁFICO 3), pois constatou-se valor de $r = 0,99$. Esse valor próximo à correlação perfeita é devido à interferência de outras variáveis, tais como declividade (que potencializa a enxurrada), além da ausência de cobertura continua do solo por serrapilheira. Esses resultados ratificam a afirmação de diversos especialistas, entre eles Nearing, Lane e Lopes. (1994, p. 129) e Morgan (1996, p. 26), sobre a relação perda de solo e quantidade de chuva.

²¹ Segundo Andriotti (2003, p. 78) a correlação pode ser: perfeita $r = 1$; muito forte $r [0,9-1]$; forte $[0,6-0,9]$; regular $r [0,3-0,6]$; $[0-0,3]$ e nula $r = 0$.

4.3. ANÁLISE FÍSICA DO SOLO

A interferência do pisoteio refletiu na menor porosidade e maior densidade do solo. Na trilha observou-se, mesmo que de forma discreta, maior porosidade na profundidade de 0-5 cm, em relação à área de floresta. Já na profundidade de 5-10 cm, seguiu-se a tendência de menor porosidade na trilha, devido principalmente à elevada densidade aparente e maior influência ocasionada pelo pisoteio. Os valores encontrados para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm são respectivamente de 42,92 e 42,49% na trilha, e 42,85 e 43,11% na floresta, demonstrando-se pouca variação (TABELA 2) e (ANEXO 4).

TABELA 2 – POROSIDADE DO SOLO

Profundidades (cm)	Porosidade (%)	
	Trilha	Área testemunha
0-5	42,92	42,85
5-10	42,44	43,11
10-20	43,92	
20-30	41,74	
40-45		42,77
45-50		43,93
50-60		44,56
60-70		43,78

Org: Feola, (2008)

As profundidades tracejadas são as profundidades equivalentes de ambos os sítios.

No caso da trilha a presença de sedimentos finos associada ao baixo teor de matéria orgânica pode favorecer a formação de crosta, portanto, menor porosidade na superfície do solo. A variação da porosidade reflete em maior ou menor proporção de volume do solo disponível para raízes das plantas, água e ar que elas requerem.

A porosidade reduzida na profundidade de 0-5 cm da área testemunha em relação à trilha pode ser explicada pela elevada densidade aparente e maior taxa de densidade de partículas, além de apresentar 19,13% a mais de areia total em relação à mesma profundidade na profundidade da trilha. No entanto, valor da porosidade é condizente a solos argilosos.

A comparação equivalente das profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm na trilha e 40-45; 45-50; 50-60 e 60-70 cm na área testemunha), apresentou pequena variação no que se refere à porosidade do solo. As menores taxas de são encontradas na trilha (TABELA 2).

Essa comparação demonstrou, com exceção da primeira profundidade, porosidade maior na área testemunha em relação à trilha, indicando ausência de compactação por pisoteio. A elevada porosidade é ocasionada pela grande quantidade de raízes e maior quantidade de matéria orgânica.

Neste contexto, Maganhotto (2003, p. 35) observou para as profundidades de 0-5 cm, redução média acima de 15% na porosidade total do solo em trilhas em relação à área sem influência de pisoteio. Já Takahashi (1998, p. 120) averiguou redução de 60%.

Figueiró e Coelho Netto (2006, p. 11) constataram redução de 11,55% na porosidade total do solo da trilha em relação à borda. Concluíram que o nível de compactação no eixo da trilha é bem superior às bordas. Esses valores remetem à maior influência do pisoteio, atrelado principalmente às primeiras profundidades do solo.

No que se refere à densidade aparente do solo, essa é normalmente alterada pela pressão mecânica exercida sobre ele, influenciada pelo pisoteio que favorece a compactação. A densidade aparente encontrada na trilha acompanhou a variação verificada na porosidade, ou seja, houve menor densidade na trilha em relação à área testemunha para a profundidade 0-5 cm, com respectivos valores; 1,96 g/cm³ e 2,02 g/cm³ (ANEXO 4) e (TABELA 3). O valor reduzido na área de influência do pisoteio pode estar atrelado à maior quantidade de matéria orgânica incorporada no solo, uma vez que a rugosidade do caminho faz com que seja depositada grande quantidade de serrapilheira, que junto com a ação antrópica, aceleram a incorporação da matéria orgânica pelo solo.

A maior taxa verificada na profundidade de 0-5 na área de floresta pode estar atrelada à densidade de partículas, pois apresentou valor de 3,53 g/cm³ contra 3,43 g/cm³ na trilha.

TABELA 3 – DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE DE PARTÍCULAS DO SOLO

Profundidades cm	Densidade aparente g/cm ³		Densidade de partículas g/cm ³	
	Trilha	Área testemunha	Trilha	Área Testemunha
0-5	1,96	2,02	3,43	3,53
5-10	2,03	1,98	3,53	3,49
10-20	1,98		3,53	
20-30	2,03		3,48	
40-45		1,96		3,42
45-50		2,06		3,67
50-60		2,01		3,63
60-70		1,94		3,46

Org: Feola, (2008)

As profundidades tracejadas são as profundidades equivalentes de ambos os sítios.

O incremento na densidade de partículas é a consequência de maior volume de sólidos no solo, refletindo em maior densidade aparente. A própria textura mais arenosa (areia total 19,13% superior em relação à trilha), pode contribuir para esta densidade.

Para as profundidades de 5-10 cm, houve maior densidade aparente na trilha do que na área testemunha, as quais apresentam os respectivos valores: 2,03 e 1,98 g/cm³. Essa inversão de valores em relação às profundidades de 0-5 cm refletiu-se também na densidade de partículas, onde, a trilha demonstrou taxa superior de 3,53 g/cm³ contra 3,49 g/cm³ para a área testemunha, como demonstra a (TABELA 3). Além disso, a maior densidade de partículas é encontrada em subsolos do que em solos de superfície, devido à menor quantidade de matéria orgânica.

Portanto, a densidade aparente demonstrou-se diferente do esperado na trilha, ou seja, a maior densidade teoricamente era para ser nos primeiros centímetros da superfície do solo, devido à transferência de carga ocasionada pelo pisoteio ser reduzida às partículas do solo em maior profundidade. Contudo, foram averiguadas maiores densidades aparente para as maiores profundidades em relação à profundidade superficial (0-5 cm). Este fato talvez esteja atrelado às condições de umidade do solo, uma vez que o teor de umidade é maior na superfície do solo, além da incorporação de matéria orgânica que ocorre naturalmente por deposição de folhas, galhos e outros restos vegetais.

Os resultados estão vinculados a fatores como textura, lixiviação de partículas finas carregadas às profundidades inferiores (eluviação), acréscimo da profundidade do perfil devido principalmente a redução de matéria orgânica, menor agregação, reduzida penetração de raízes e peso das profundidades superiores. Entretanto, comparando os perfis como um todo, de ambos os sítios, as taxas de densidade aparente obtiveram pouca variação, apresentando os seguintes valores: 0,13 e 0,12 g/cm³ respectivamente para a área da trilha e área testemunha.

A análise estatística do coeficiente de correlação linear entre densidade aparente e porosidade total, demonstrou-se com baixa correlação negativa, conforme apresenta o (GRÁFICO 4), pois, constatou-se valor de $r = -0,12$. A priori, esperou-se correlação negativa forte, uma vez que aumentando a densidade aparente ocorre a redução na porosidade, como afirmou Guerra (1996, p. 160).

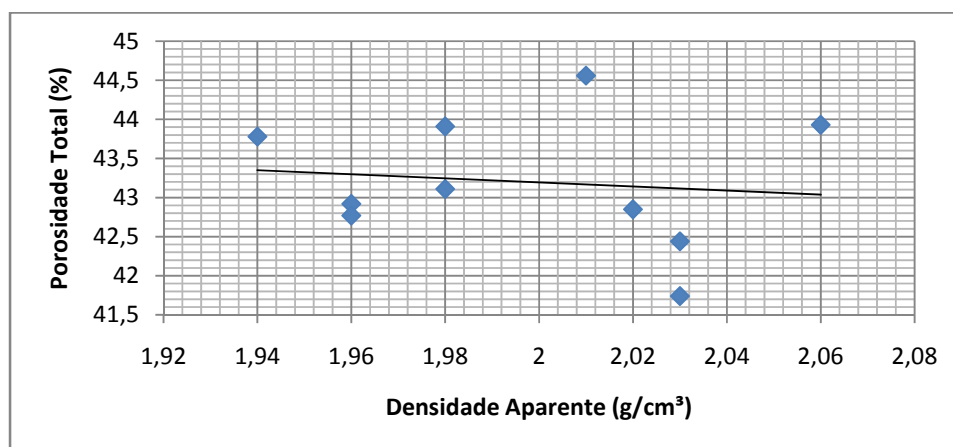


GRÁFICO 4 – CORRELAÇÃO DENSIDADE APARENTE E POROSIDADE
Org: Feola (2008)

A falta de correlação linear, não quer dizer que não há outro tipo de correlação, possivelmente pode ser explicada por influência de outras variáveis não analisadas, por exemplo, a diferenciação entre macroporosidade (aumento dos microporos e redução dos macroporos).

No que tange a densidade aparente, os resultados encontrados nesta pesquisa são condizentes com os encontrados por outros pesquisadores tais

como, Vaschenko (2006, p. 69), que verificou aumento de 41% na trilha para Cambissolos Háplico, e 72% para os Neossolos Litólicos, em relação à área testemunha. Boçon (2002, p. 51) e Figueiró e Coelho Netto (2006, p. 11) também encontram aumento na densidade aparente do solo na área da trilha.

A elevada taxa da densidade aparente do solo influencia no desenvolvimento da vegetação, devido à menor disponibilidade de água e ar, logo, reduz a regeneração natural na borda da trilha. Isso vai de encontro com alguns autores, entre eles (TORMENA, *et al.*, 2000, p. 799).

A comparação equivalente das profundidades da trilha e área testemunha demonstrou-se que, houve pouca variação em relação à densidade aparente para essas profundidades. A densidade aparente na trilha apresentou as seguintes variações: 0-5 cm, não houve variação; 5-10 e 10-20 cm demonstraram-se respectivamente 1,45 e 1,49% menos densa; já a profundidade de 20-30 cm apresentou aumento de 4,43% em relação à área testemunha, conforme demonstra o (GRÁFICO 5).

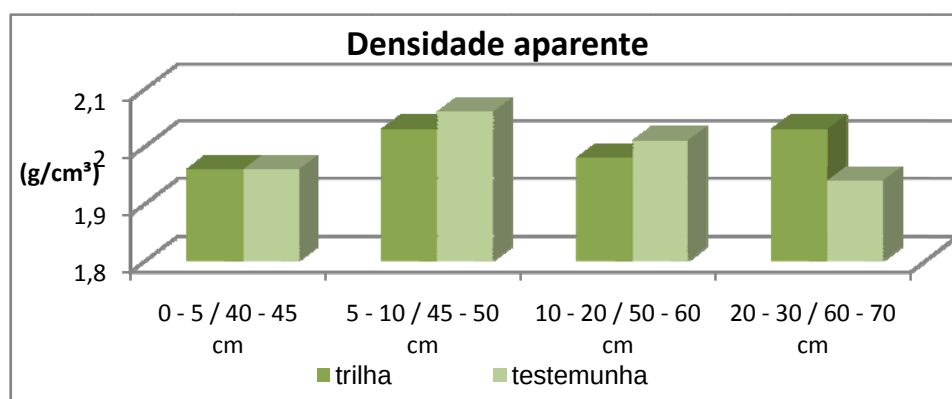


GRÁFICO 5 – COMPARAÇÃO: DENSIDADE APARENTE E PROFUNDIDADES EQUIVALENTES
Org: Feola (2008)

No que se refere à granulometria tanto os solos da trilha quanto da área testemunha, são classificados como argilosos, pois ambos apresentam teor de argila superior a 50%, (TABELA 4).

TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DO SOLO

Profundidades cm	Trilha				Área testemunha					
	0-5	5-10	10-20	20-30	0-5	5-10	40-45	45-50	50-60	60-70
A.T. (%)	20,51	22,47	21,9	29,93	25,55	24,35	24,51	22,4	21,89	20,89
A.G. (%)	17,51	18,66	18,77	19,47	21,65	20,2	20,18	18,61	17,78	17,13
A.F. (%)	3,0	3,81	3,13	10,46	3,9	4,15	4,33	3,79	4,11	3,76
ARG. (%)	55	52,33	50,83	48,33	53,33	46,66	50,41	56,66	60,08	54,16
SIL. (%)	24,48	25,18	27,27	21,74	21,12	28,99	25,11	20,94	17,70	24,83

Org: Feola, (2008)

Nota: A.T.: Areia total, A.G.: Areia grossa, A.F.: Areia fina, ARG: Argila, SIL: Silte. (valores médios).
As profundidades tracejadas são as profundidades equivalentes de ambos os sítios.

A comparação das profundidades superficial (0-5 e 5-10 cm) entre a trilha e área testemunha demonstrou-se com pouca variação, sendo o teor de argila mais representativo com o percentual de 9,93 % a mais em relação à área testemunha. Em contra partida, os teores de areia fina e silte foram respectivamente 15,42 e 1 % menos na área da trilha.

Comparando a granulometria das profundidades superficiais 0-10 cm com um todo (GRÁFICO 6) e (ANEXO 4.1), é possível constatar-se que a mais vulnerável aos processos erosivos teoricamente seria a área testemunha, por apresentar maior teor de silte e areia fina em relação a trilha.

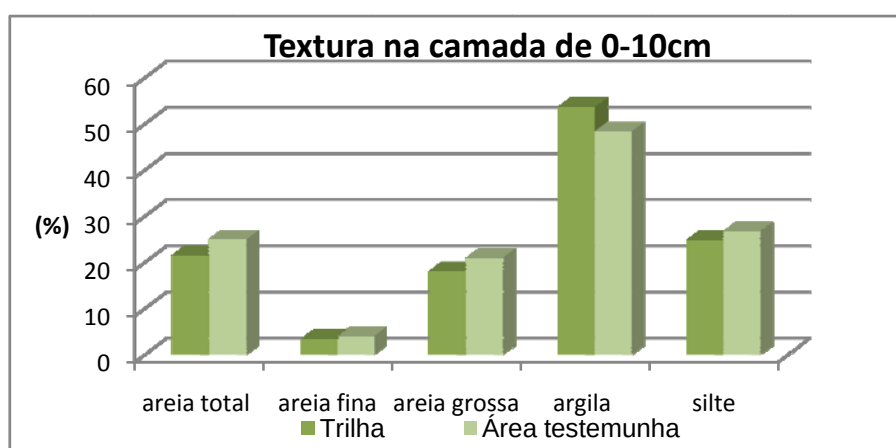


GRÁFICO 6 - COMPARAÇÃO GRANULOMETRICA DOS SÍTIOS
Org: Feola (2008)

Este fato deve-se as características de maior erodibilidade tanto da areia fina quanto do silte, refletindo-se em uma textura de maior suscetibilidade à desagregação e ao transporte. O silte em específico atua principalmente na desagregação do solo, na reduzida capacidade de retenção de água, e na menor capacidade de movimentação de ar.

Contudo, devido ao uso, a concentração de fluxos hídricos, favorecido pela formação de ravinas, a presença de selagem na superfície do solo e a ausência de matéria orgânica, torna a trilha mais vulnerável aos processos erosivos, mesmo possuindo características granulométricas que possibilitem menor grau de erodibilidade em relação à área testemunha.

Fica evidente que não é apenas uma variável, como por exemplo, textura, que torna o solo mais ou menos susceptível ao processo de degradação, mas, sim o conjunto de outras propriedades do solo, conforme preconiza Guerra (1999, p.156).

As variáveis que atuam na minimização dos processos erosivos na área testemunha são: a cobertura do solo por serrapilheira decomposta ou não, que protege o solo contra a erosão por salpicamento; baixa compactação do solo e boa porosidade, que facilitam a infiltração, logo, reduzindo o escoamento superficial. Além é claro, da ausência de uso, pelo pisoteio.

A maior presença de matéria orgânica nesse sítio, corrobora para que o solo possua melhor qualidade em suas propriedades, o qual influencia na maior absorção e retenção de água, diminuição da lixiviação dos micronutrientes, fonte de energia para os microorganismos, estabilização tanto dos micros quanto dos macros agregados, no desenvolvimento da estrutura granular, no aumento das bases mineralógicas e na menor suscetibilidade a compactação do solo

No que concerne à comparação das profundidades equivalente do perfil como um todo (GRÁFICO 7), tanto da trilha como da área testemunha demonstrou-se com pouca variação, sendo os teores médios de areia fina e silte os mais significativos, os quais demonstraram as respectivas taxas: 21,96 e 4,65 % superior em relação a trilha. Esses percentuais tornam à área mais suscetível a erodibilidade. Contudo, alguns fatores já discutidos anteriormente nas

profundidades superficiais relacionados à erosão, demonstram o maior potencial à degradação na área da trilha. Não foi observado modificações expressivas na textura do solo favorecida pelo uso, quando comparadas as duas áreas de análise.

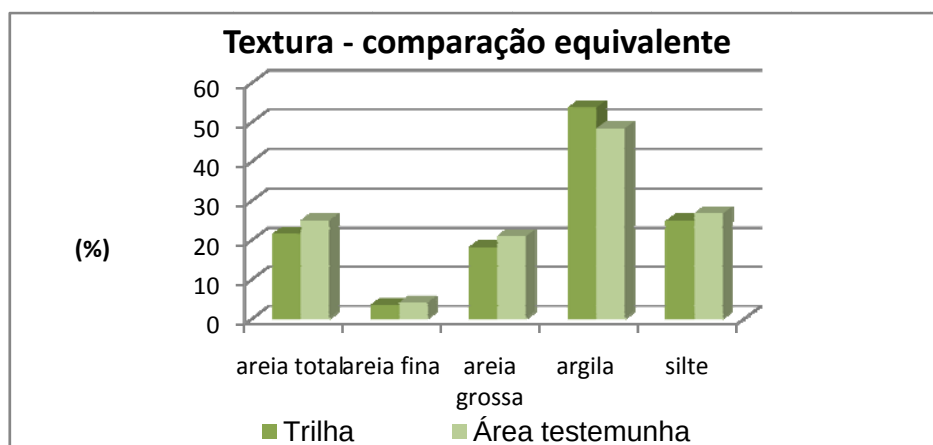


GRÁFICO 7 – COMPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA - PROFUNDIDADES EQUIVALENTE.
Org: Feola (2008)

No que se refere à área de deposição foi constatado um percentual muito elevado de areia total na ordem de 70,8%, sendo que 61,3% são compostos por areia grossa e 9,5% por areia fina. As frações de argila apresentam taxa de 20% e de silte 9,2%. Esses valores evidenciam o caráter seletivo do transporte pelo fluxo superficial, ou seja, os materiais mais pesados alojam-se em quaisquer irregularidades do terreno, enquanto que, as partículas finas continuam sendo removidas para um determinado nível de base.

Devido a esse fato, fica evidente, a competência do transporte das partículas encosta abaixo, principalmente atrelada à alta declividade que favorece maior velocidade ao fluxo hídrico e conseqüentemente maior competência no arraste das partículas, principalmente por ter demonstrado a capacidade de transportar partículas grandes, de areia grossa até pequenos fragmentos de rocha. Essas observações ratificam a afirmação Morgan (1996, p. 18) sobre a capacidade de transporte do fluxo de ravinas.

Portanto, ao longo dos 159 m da trilha observaram-se vários pontos intermediários susceptíveis à sedimentação mesmo que temporária, devido à

rugosidade da superfície, presença de raízes que atuam com obstáculos a força da água, barrando, tanto sedimentos como material orgânico, como demonstra a (FIGURA 13a e 13b). A atuação dos obstáculos ratifica o que Sharma (1995, p. 130) e Morgan (1996, p. 12) afirmam sobre a interferência desses na velocidade da enxurrada.



FIGURA 13 – EXPOSIÇÃO DE RAÍZES E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS.

Fonte: Feola (2008)

Nota: foto A: exposição de raízes que atuam na redução da energia cinética da enxurrada. Foto B: raiz atuando como obstáculo aos sedimentos e materiais orgânicos

De forma empírica e experimental, constatou-se predomínio de areia nessas áreas de deposição, como demonstra a (FIGURA 14a). Averiguou-se também, fragmentos de rocha, como carga de fundo nos tambores de monitoramento e coleta do fluxo superficial, com tamanhos de até 0,5 cm (FIGURA 14).

No que se refere à compactação do solo, constatou-se como era esperada, maior valor na área da trilha, principalmente pela influência do pisoteio e presença de selagem na superfície do solo. O (ANEXO 9) demonstram de forma detalhada essas variações nos dois sítios.



FIGURA 14 – CARGA DE FUNDO NOS COLETORES
FONTE: Feola (2008)

Apesar de o valor médio da resistência à penetração do solo ter apresentado taxa superior a 1,0 MPa (TABELA 5), na profundidade de 0-5cm na superfície da trilha, averiguou-se em 6 dos 10 pontos mensurados (ANEXO 9), valores inferiores a 1,0 MPa. Contudo, um dos pontos (2,244 MPa), demonstrando-se restritivo à penetração de água e aeração das raízes. Esses valores segundo Tormena e Roloff (1996, p. 337) são respectivamente impeditivo e restritivo ao desenvolvimento da vegetação.

TABELA 5 - VARIÁVEIS ENTRE A TRILHA E ÁREA TESTEMUNHA

Profundidades (cm)	Trilha				Área testemunho			
	MPa	U.G. (%)	D.A	P.T.	Mpa	U.G. (%)	D.A	P.T.
0-5	1,128	32	1,96	42,85	0,488	19,65	2,02	42,77
5-10	0,990	27,64	2,03	42,49	0,588	23,12	1,98	43,26
10-20	0,961	27,46	1,98	43,90	0,622			
20-30	1,076	26,74	2,03	41,66	0,742			

Org: Feola (2008)

NOTA: MPa: Mega Pascal, U.G.: Umidade Gravimétrica, D.A.: Densidade Aparente
P.T.: Porosidade Total. Valores médios.

Verificou-se significativa variação na compactação do solo da trilha em relação à área testemunha (TABELA 5). A resistência à penetração na área com influência do pisoteio apresentou porcentagem superior, o que demonstra o

quanto a trilha foi compactada a mais em relação à área com ausência de pisoteio (49,53% para a profundidade de 0-5; 34,66% de 5-10 cm; 35,27% para 10-20 cm; e 31% para a profundidade de 20-30 cm). Esses valores de compactação na trilha ratificam as afirmações de alguns pesquisadores, entre eles, Andrade (2005, p. 250); Marion e Oliver (2006, p. 4), de que quanto maior a quantidade de pisoteio, maior será a compactação do solo.

Constatou-se certa tendência entre umidade gravimétrica e compactação do solo nos primeiros 30 cm, pois, com a redução da umidade houve aumento na resistência à penetração na trilha. Para os primeiros 30 cm do perfil da trilha, ocorreu redução do teor de umidade com o acréscimo da profundidade. Contudo, essa tendência não foi constatada na área testemunha, pois houve menor taxa de umidade próxima à superfície em relação à profundidade mais elevada.

A trilha apresentou maior umidade gravimétrica em relação à área testemunha, o que poderia diminuir a resistência à compactação. No entanto, mesmo com valores de umidade gravimétrica superior, averiguaram-se maiores taxas de compactação, onde a profundidade de 20-30 cm demonstrou-se mais afetada por esse processo. Esse fato é ocasionado principalmente pelo peso das camadas superiores e, em menor proporção, pelo pisoteio.

Sobretudo, essa maior resistência à penetração não deve estar associada apenas à transferência de carga do pisoteio - uma vez que essa interferência é ativa nos primeiros 10 cm - mas sim a fatores como densidade aparente, densidade de partículas e textura, além da lixiviação de partículas finas carreadas para as profundidades inferiores.

É possível verificar na (TABELA 5) que as profundidades referentes à área testemunha também acompanharam a tendência, de maior resistência à penetração conforme o aumento da profundidade. Isso poderia estar atrelado principalmente à condicionante da menor taxa de umidade gravimétrica. Contudo, essa taxa também teve acréscimo com a profundidade em relação às profundidades superficiais. Fatores que podem contribuir para o aumento da resistência à penetração com a profundidade são: a densidade de partículas (que aumenta com a profundidade das profundidades, chegando a apresentar valor

máximo de $3,67\text{g/cm}^3$, na profundidade de 45-50 cm) e a densidade aparente elevada, superior a $1,94\text{g/cm}^3$, em todas as profundidades.

Os valores encontrados são condizentes com resultados obtidos por outros pesquisadores. Takahashi (1998, p. 98), verificou valores de 1.256 e 1.128 MPa, respectivamente para trilha e fora dela. Magro (1999, p. 85), em área montanhosa verificou compactação média de $46,97\text{Kgf/cm}^2$. Entretanto, muitos dos pontos apresentaram valor superior a 60Kgf/cm^2 .

Também em área montanhosa Feola (2006, p. 7) constatou que dos 34 pontos avaliados, 94,1% apresentaram solos compactados nos primeiros 10 cm, ou seja, valores superiores a 20kgf/cm^2 . Desse total, 55,87% apresentam o dobro do valor mínimo de compactação.

A textura do solo em questão apresentou-se como argilosa, com teores médios de argila superior a 53%, e valor equilibrado entre fração de areia total e silte. Há também, pouca variação da textura quando comparadas a trilha e a área testemunha, caracterizadas por maior susceptibilidade aos processos de compactação, por ser constituída de partículas de diferentes tamanhos, como preconiza Mantovani (1987, p. 53).

As propriedades do solo são dinâmicas, ou seja, podem ser alteradas o tempo todo e sob diferentes tipos de uso do solo. Sendo assim, áreas com ou sem manejo possibilitam grau menor ou maior de erodibilidade que acompanham essa dinâmica.

4.4. COBERTURA VEGETAL E EROSÃO POR SALPICAMENTO

A cobertura vegetal encontrada na área experimental, onde foi montado o pluviômetro de calha e a bandeja de salpicamento, apresentou taxa aproximada de $3.148,94\text{ m}^2/50\text{m}$ (TABELA 6) e (ANEXO 5), sendo que, 86,97% são representadas por dossel superior a 10 m de altura e, 13,03% caracterizam-se como sub-bosque, com altura inferior a 10 m. Essa diferenciação nas alturas dos

dosséis explica o potencial da erosão por salpicamento, mesmo com boa cobertura vegetal.

TABELA 6 – CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA VEGETAL

Cobertura vegetal	Área floresta	Área trilha	
		Segmento -1	Segmento -2
m ² / m	51,49	41,18	24,09
m ² / 50 m	3.148,94	2.059,24	1.204,50
Dossel > 10 m	2.738,70	1.983,90	1.189,60
Dossel < 10 m	410,24	75,34	14,9

Org: Feola (2008)

Na área da trilha, em dois segmentos, (TABELA 6) foram constatados valores inferiores em relação à área experimental, ou seja, na trilha a cobertura vegetal apresentou os respectivos valores de: 2.509,24 e 1.204,5 m²/50m. Constatou-se que a porcentagem dos dosséis com altura superior a 10 m representaram respectivamente 96,35 e 98,77%. Devido a esse fato, é possível mencionar que a trilha está mais susceptível ao processo erosivo por salpicamento em relação à floresta, por apresentar menor taxa na cobertura vegetal e maior porcentagem dos dosséis superior a 10 m. Essas características ratificam a afirmação de alguns pesquisadores, entre eles Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 47) e Morgan (1996, p. 16), que afirmam que isso se deve ao fato de as gotas de chuva não serem amortecidas pelo dossel e alcançarem nova velocidade terminal.

O levantamento demonstrou que no interior da floresta, a cobertura vegetal por metros quadrados é de representatividade superior em relação à trilha, por apresentar os seguintes índices: 51,49 m²/m, contra os respectivos valores para área da trilha de 41,18 e 24,09 m²/m, ou seja, respectivamente 20 e 53,21% menos de cobertura em relação à floresta (GRÁFICO 8).

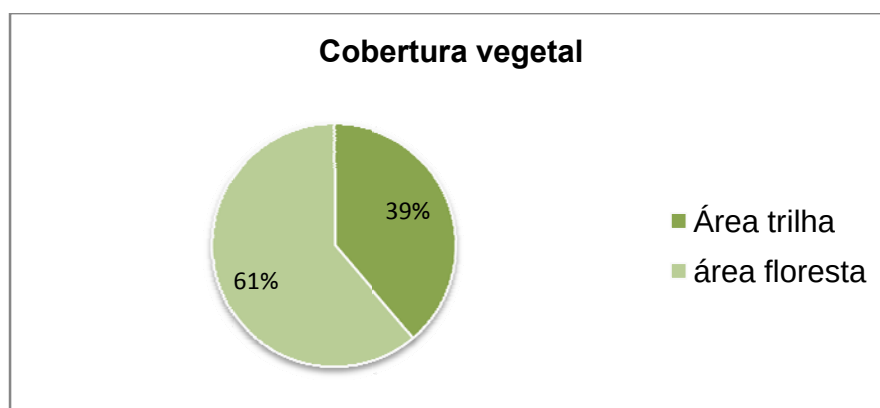


GRÁFICO 8 – PORCENTAGEM DA COBERTURA VEGETAL.

Org: Feola (2008)

Nota: utilizou-se valor médio da cobertura vegetal da área da trilha.

Entretanto, mesmo a área da floresta ter apresentado boa cobertura vegetal, a erosão por salpicamento demonstrou-se significativa. Essa forma de erosão demonstrou maior intensidade para os totais de chuva entre 208,87 e 187 mm, e para elevadas taxas de interceptação – devida aglomeração das gotas de água da chuva, como preconizam Molchanov (1963, p. 27) e Coelho Netto (2001, p. 111).

Os maiores valores de perda de partículas do solo pelo impacto da gota da chuva, mesmo em área onde há maior taxa de interceptação, podem ser explicados pela altura do dossel, ou seja, o dossel pode ser denso, no entanto se estiver a uma altura superior a 10 m não vai proteger o solo dos impactos pelo salpicamento (devido ao fato de a gota alcançar nova velocidade terminal). Pelo contrário, dosséis como esse podem até agravar esse tipo de erosão, devido à concentração das gotas por alguns tipos fisionômicos da vegetação. O dossel da área onde foram coletadas as amostras de erosão por salpicamento apresenta altura entre 30 e 35 m, o qual deixa o solo vulnerável aos impactos da gota de chuva. A característica desse dossel é condizente com a afirmação de Roderjan, *at al*, (2002, p. 80).

O menor valor removido de partículas do solo (0,11 g) pelo impacto do salpicamento verificou-se na 3ª observação, que apresentou também, o menor índice pluviométrico (5,35 mm) de todas as mensurações. Para esse total precipitado, 51,03% foi barrado pela vegetação.

Os valores de remoção das partículas do solo verificados na (TABELA 7) e (ANEXO 7), foram extrapolados para o segmento da trilha, onde constatou-se valores significativo no que se refere à perda de solo por salpicamento na área total da trilha. Entretanto, essas taxas de remoção do solo ratificam as afirmações de Goudie (1995, p. 131) e Bigarella *et. al.* (2003, p. 914).

TABELA 7 – RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO E EROSÃO POR SALPICAMENTO

Obs:	Total de chuva	Interceptação (%)	Remoção de partículas do solo g/0,07 m ²	Remoção g/m ²	Estimativa de remoção na área da trilha (kg)
1	67,69	23,52	1,48	21,142	5,916
2	187	28,63	5,1	72,85	20,388
3	5,35	51,03	0,11	1,571	0,439
4	208,87	28,46	5,65	80,714	22,585
5	99,04	28,46	2,20	31,428	8,794
Total	567,95	32,02 (média)	14,54	207,70	58.122

Org: Feola (2008)

Nota: remoção de partículas do solo g/0,07 m², equivalente a área da bandeja de salpicamento

Contudo, esses valores são super estimados, uma vez que ao longo da trilha, há variação na declividade, a cobertura vegetal não é uniforme, e o solo próximo às laterais da trilha geralmente possui cobertura por serrapilheira. Além disso, no curso da trilha existe grande quantidade de raízes expostas e alguns fragmentos de rocha junto à superfície do solo.

Entretanto, verificou-se uma correlação positiva muito forte entre aumento do índice pluviométrico e a remoção de partículas do solo, com o seguinte valor de $r = 0,99$, como demonstra o (GRÁFICO 9). O fato da correlação quase perfeita é ocasionado pelos dosséis que possuem altura superior a dez metros. Mesmo com bom índice de cobertura vegetal (51,49 m²/m), as gotas de chuva chegam ao solo com nova velocidade terminal, logo maior potencial de remoção de partículas. Essa correlação é preconizada por alguns autores, entre eles Santos, *et al* (2001, p. 238), que ressaltam que a produção de sedimentos é fornecida pela remoção detrítica das encostas.

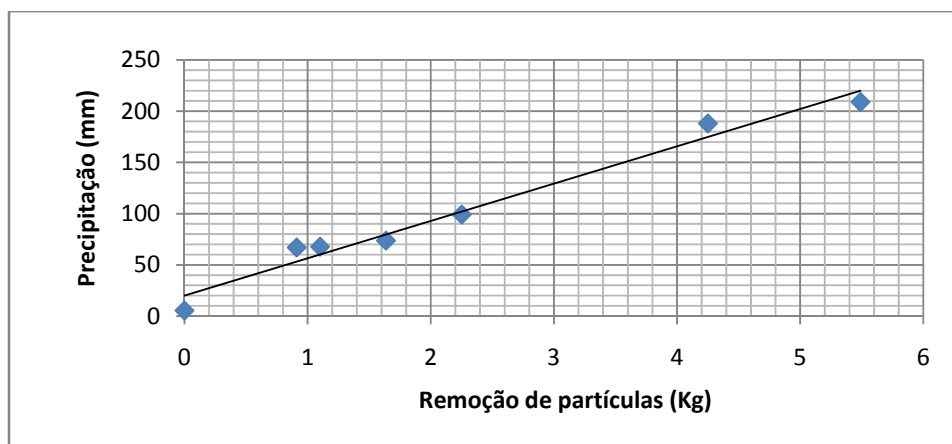


GRÁFICO 9 – CORRELAÇÃO PLUVIOSIDADE E REMOÇÃO DE PARTÍCULAS.
Org: Feola, 2008.

4.5. ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DECLIVIDADE

O escoamento superficial demonstrou-se significativo, uma vez que a trilha atua como ponto de convergência do fluxo hídrico da encosta. O total de escoamento superficial constatado com as observações de campo foi de 23.397,12 ℓ para o total de precipitação de 708,60 mm em área de clareira e 517,84 mm de chuva efetiva (ANEXO 6).

A média do escoamento superficial foi de 3.342,44 ℓ por semana. No entanto, houve oscilações significativas que acompanharam as variações de precipitação (TABELA 8).

TABELA 8 – VARIAÇÕES DO ESCOAMENTO E PRECIPITAÇÃO

Observação	Escoamento (ℓ)	Precipitação (mm)
1ª	2.388,30	73,67
2ª	2.162,50	66,98
3ª	2.146,80	67,69
4ª	6.427,80	187,89
5ª	0,00	5,35
6ª	7.169,60	208,87
7ª	3.101,60	99,04

Org: Feola (2008)

Exemplo são os dois episódios de maior amplitude, ou seja, na 5ª semana que apresentou a menor taxa de precipitação de 5,2 mm e, na 6ª semana com a maior altura de chuva registrada - 208,87 mm.

Essa oscilação refletiu-se também, no escoamento e na produção de sedimentos, pois apresentou para a menor chuva um escoamento de 0 e 7.169,6 ℓ , para a maior pluviometria, e quantidade de sedimento, respectivamente de 0 e 4.537 kg (ANEXO 6). Nas chuvas onde o total precipitado é menor, pode-se observar que o escoamento superficial é reduzido quando comparado com as precipitações mais elevadas, visto que a infiltração da água no perfil do terreno é mais significativa naquela situação.

O maior valor do escoamento superficial apresentou uma distribuição de 25,62 ℓ/m^2 para área da trilha. Associado a esse valor, está a concentração desse escoamento em dois principais episódios de chuva durante a semana, com os respectivos valores 55,2 e 125,2 mm / 24h, em dias consecutivos, de acordo com dados da estação de Parigot de Souza (COPEL, 2008).

O escoamento associado à declividade do terreno, potencializa a turbulência do fluxo superficial, com grande potencial erosivo, atrelado à remoção e transporte, que favorece principalmente o ravinamento por meio do aprofundamento do leito da trilha. O segmento da trilha demonstrou-se com declividade alta, com valor médio de 21,54 graus de inclinação. Contudo, um dos pontos foi classificado como muita alta, por apresentar declividade de 26 graus (ANEXO 2).

Quanto maior a declividade e o comprimento do segmento, associado à maior velocidade da enxurrada maior será a quantidade de material transportado, como demonstra o (GRÁFICO 9). Devido esse fato foi verificada na área grande quantidade de ravinas (FIGURA 15). Isso ratifica a afirmação de Cogo, Levien e Schwarz (2003, p. 750) e Garcia *et. al.* (2003, p. 539) ao comentarem sobre perda de solo relacionado à declividade e enxurrada. À medida que a precipitação aumenta, ocorre incremento no volume de enxurrada e, por conseguinte, acréscimo na sua velocidade. A maior velocidade reflete em maior poder de abrasão e arraste de partículas do solo, sendo a inclinação do terreno um dos

principais fatores relacionados à erosão do solo nas encostas, que deixa grande quantidade de raízes expostas ao longo do caminho dificultam o desenvolvimento da vegetação de borda.



FIGURA – 15 PRESENÇA DE RAVINAS NA TRILHA NOROESTE

FONTE: Feola, (2008)

Empiricamente, constatou-se em campo que durante os episódios de chuva mais intensos, a potencialidade da enxurrada em transportar partículas de areia e resíduos de matéria orgânica. Logo, após os episódios pluviais foi possível notar ao longo da trilha que vários locais formavam pequenos bancos de areia e de serrapilheira. Entretanto, esses espaços de sedimentação estão sempre se modificando com a dinâmica do escoamento superficial. Este processo condiz com o que Santos, *et al* (2001, p. 237) referiram sobre a deposição de sedimentos na própria encosta, ocasionados pelo processo erosivo.

Houve correlação positiva perfeita entre pluviosidade e escoamento, a qual demonstrou valor de r igual a 1,0 (GRÁFICO 10). As variáveis que corroboram para a correlação perfeita são: compactação do solo e baixa taxa de infiltração, que favorecem maior escoamento superficial. A trilha tem um papel ímpar nessa correlação, pois converge a água da chuva, a qual atua como um

“pseudo-rio intermitente”. A atuação dessas variáveis é condizente com a afirmação de Yoda e Watanabe (2000, p. 117).

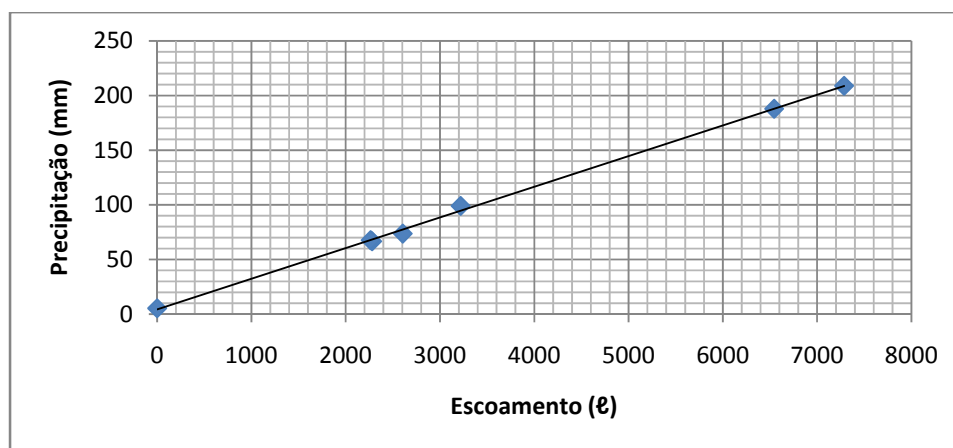


GRÁFICO 10 – CORRELAÇÃO PLUVIOSIDADE E ESCOAMENTO.
Org: Feola (2008)

As análises dos sedimentos contidos nos tambores de coleta do escoamento superficial demonstraram a eficiência, no transporte de partículas do solo com o aumento da pluviosidade. É possível notar correlação positiva entre escoamento e total de sedimento carregado: conforme o aumento do volume escoado, há acréscimo de sedimentos transportados (TABELA 9) e (ANEXO 6).

Observou-se também, a correlação positiva entre aumento da precipitação (seja ela na área da clareira ou dentro da floresta) e o acréscimo tanto do escoamento superficial (ℓ/m^2) quanto da remoção de sedimentos, conforme demonstra a (TABELA 9).

TABELA 9 - PRECIPITAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Total chuva (mm)		Escoamento (ℓ)	Total de sedimentos (g)	Escoamento (ℓ/m^2)
Clareira	Terminal			
5,35	2,62	0	0	0
66,98	51,96	2.163,5	0.823	7,73
67,69	51,77	2.146,8	0.966	7,67
73,67	56,79	2.488,3	1.333	8,89
99,04	70,85	3.101,6	1767	11,08
187,89	134,42	6.427,8	3.366	22,96
208,87	149,43	7.169,6	4.537	25,62

Org: Feola (2008)

Quando os totais de chuva extrapolam a capacidade de infiltração, são fator preponderante na produção do escoamento superficial, e, conseqüentemente, na remoção e transporte dos sedimentos.

Essa tendência pode ser verificada no (GRÁFICO 11). Isso está de acordo com Bigarella *et. al.* (2003, p. 925) ao mencionar o aumento da produção de sedimento com o incremento da enxurrada. O total de sedimentos mensurados nos coletores demonstrou variações significativas no que se refere a acumulação dos mesmos.

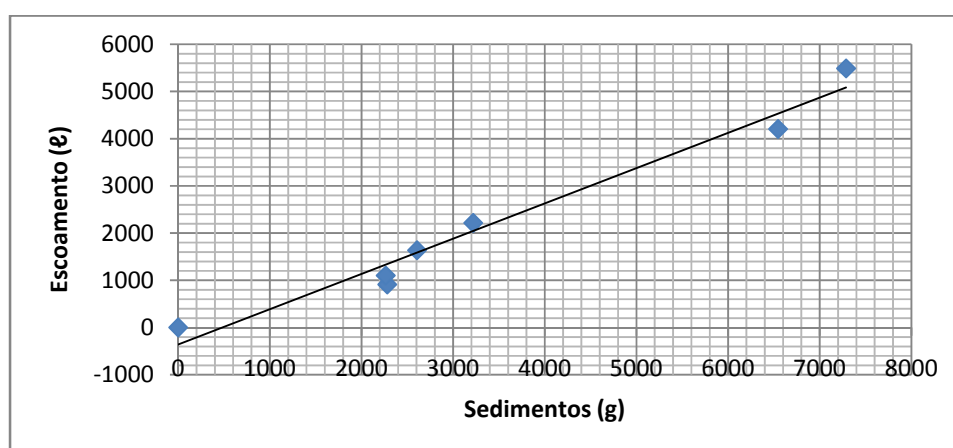


GRÁFICO 11 – CORRELAÇÃO: ESCOAMENTO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS.
Org: Feola (2008)

No coeficiente de correlação linear entre escoamento e produção de sedimentos, verificou-se o seguinte valor de r igual a 0,99, ou seja, correlação positiva muito forte entre as variáveis, conforme mostra o (GRÁFICO 11). Uma variável que corrobora para essa correlação positiva é a declividade, devido o fato de atuar diretamente sobre a velocidade da enxurrada, e, por conseguinte, na capacidade de desagregação. Esses resultados ratificam a afirmação de diversos pesquisadores, entre eles Cogo e Bertol (1998, p. 59).

Sabe-se que a água constitui-se como a principal causa de erosão nas trilhas, revestindo-se de grande importância a captação e o disciplinamento dessas águas, de forma a eliminar seu efeito destruidor, acumulando-a em locais determinados e forçando sua penetração na terra, o que favorece o abastecimento do lençol freático e, conseqüentemente, alimenta fontes e nascentes naturais.

Devido a esse fato, o procedimento mais comum para prevenir danos provocados pela erosão em trilhas, é controlar o escoamento superficial da água das chuvas.

No que se refere à distribuição tanto do volume escoado quanto do sedimento armazenado, as mensurações demonstraram-se das seguintes formas: no primeiro coletor, constatou-se significativa quantidade de carga de fundo, o que não foi constatado nos outros coletores. Esse coletor representou em média 3% do total de volume de todas as observações, em contrapartida foi responsável por 21,92% de todo o sedimento removido e armazenado nos coletores, ou seja, dos 12.758 Kg, 2.795 ficaram depositados no primeiro coletor.

O segundo utensílio apresentou as seguintes porcentagens: 9,61% para o volume e 13,62% para o total de sedimentos. Já o terceiro coletor representou 87,38% do volume total escoado, sendo responsável pelo armazenamento de 64,49% dos sedimentos (TABELA 10).

TABELA 10 – CARACTERÍSTICAS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
Escoamento superficial

Coletores	Volume coletados		Sedimentos armazenados	
	Litros	% do total	Gramas	% do total
Verde	702	3,0	2.795	21,90
Vermelho	2.250,0	9,61	1.738	13,62
Azul	20.445,12	87,38	8.225	64,49
Total	23.397,12	100	12.758	100

Org: Feola (2008)

Nesse último caso, mesmo com maior capacidade de armazenamento de água, é possível observar que não há um significativo armazenamento de sedimentos quando comparado com o primeiro coletor.

4.6. TAXA DE INFILTRAÇÃO

As taxas de infiltração de água no solo foram determinadas sob umidade gravimétrica de 29,94% na trilha, e 21,37% na área testemunha, ambas para a

profundidade de 0-10 cm. A taxa de infiltração, nos tempos iniciais, apresentou-se altamente variável, como demonstrado o (GRÁFICO 12).

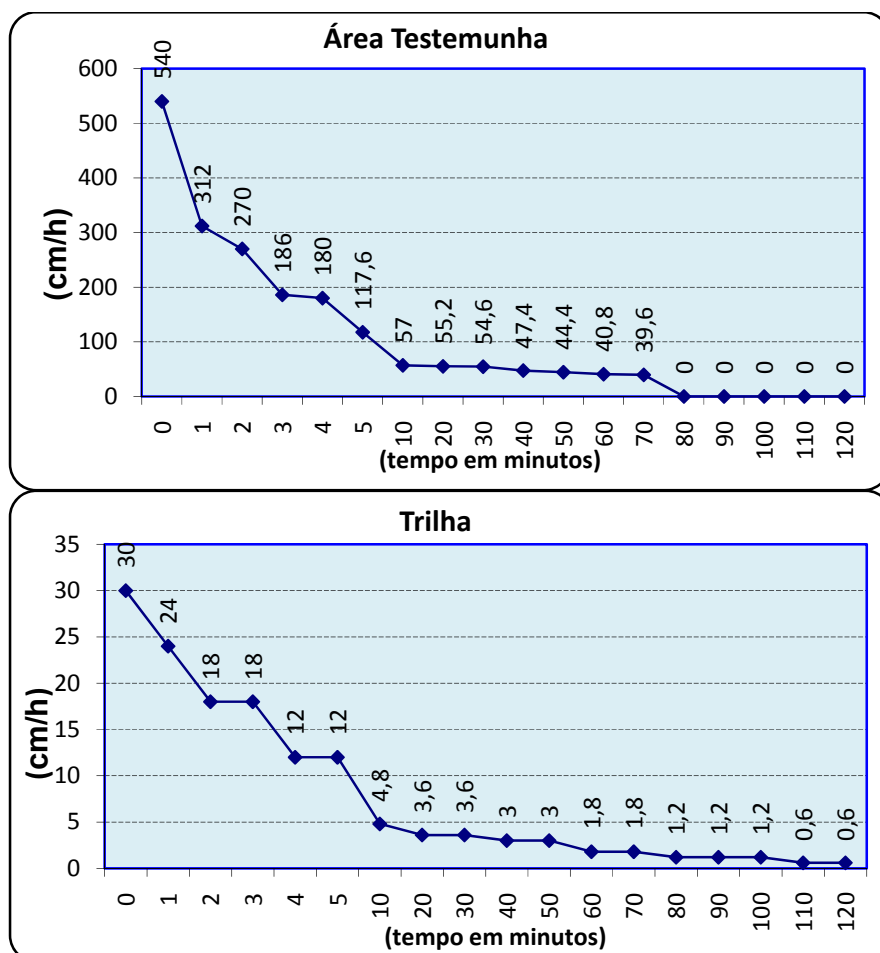


GRÁFICO 12 – CARACTERÍSTICAS DAS TAXAS DE INFILTRAÇÃO
Org: Feola (2008)

Tanto na trilha quanto na área testemunha. Após o 5º minuto de observação, os valores da taxa de infiltração demonstraram-se relativamente constantes (ANEXO 8).

Condizentes com as taxas acima, Molchanov (1963, p. 161) encontrou em áreas de pastagem onde ocorre pisoteio de gado, porosidade inferior em relação a áreas onde não houve essa interferência. Logo, a taxa de absorção da água é superior. Nos solos onde não ocorreram alterações, a velocidade de infiltração foi de 5,2 mm/min. Já nas áreas de pisoteio, foi de 1,6 mm/min.

Na área da trilha (GRÁFICO 12), os valores se refletiram em reduzida taxa de infiltração, ocasionados por diferentes fatores, entre eles: a selagem do solo, ocasionada pelo impacto da gota de chuva, e a compactação favorecida pelo pisoteio

Durante levantamento de campo, constatou-se a formação da selagem durante eventos chuvosos, como demonstra a (FIGURA 16). Essa selagem está associada principalmente à erosão por salpicamento. Esses valores ratificam o que Bertoni e Lombardi Netto (1993, p. 76), Guerra (1999, p. 23), e Guerra (2001, p.17) afirmam sobre essa interferência junto ao solo.



FIGURA 16 – SELAGEM NA SUPERFÍCIE DO SOLO
FONTE: Feola (2008)

Outra variável que interfere no processo de infiltração é a compactação do solo. Na trilha constatou-se elevado grau de compactação, seja ela, ocasionada pelo pisoteio ou por processos naturais, apresentando os seguintes valores máximos: 1.848 e 1.193 MPa para as respectivas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, e valor médio de 1.520 MPa, para profundidade de 10 cm esses valores de compactação são referentes ao local onde foi realizado o experimento de infiltração (ANEXO – 9).

Relacionado ao processo de compactação, a densidade aparente do solo na trilha, à profundidade de 0-10 cm apresentou valor de 1,99g /cm³, e porosidade

de 42,67% contra 2,00 g/cm³ e 43,01% na área testemunha. Esses valores apresentaram pouca variação, provavelmente ligados à presença de matéria orgânica em ambos os sítios.

A textura do solo também afeta o movimento da água no solo. Por meio da análise granulométrica constatou-se que solos da trilha nos primeiros 10 cm são argilosos, apresentando alta porcentagem de argila, com valor médio de 53,66% - chegando, contudo, a 60%. Já sobre as frações de areia total e silte, a porcentagem foi equilibrada, demonstrando valores médios respectivos de, 21,5 e 24,86%.

O alto teor de argila dificulta a infiltração da água no solo e favorece o escoamento superficial. A menor taxa de infiltração e circulação de gases contribui de forma negativa para o sistema radicular das plantas próximas à borda da trilha. O (GRÁFICO 13) demonstra a variação média da textura do solo nos primeiros 10 cm da trilha e da área testemunha. Entretanto, as argilas possuem características de maior resistência a remoção pelo fluxo superficial.

Diferentemente, as condições na área testemunha demonstraram taxa de infiltração superior em relação ao leito da trilha. Esse resultado já era esperado, uma vez que, as profundidades do solo não são compactadas, não há formação de selagem e a cobertura do solo por matéria orgânica, é preservada.

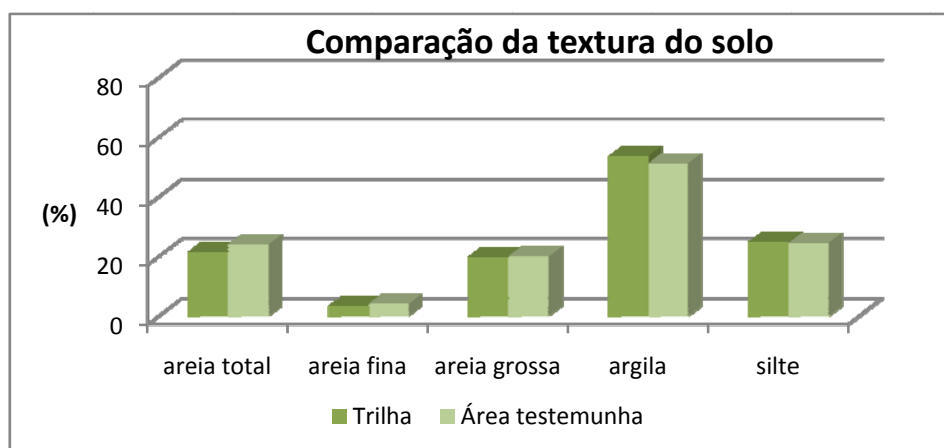


GRÁFICO 13 – TEXTURA NOS PRIMEIROS 10 CM DO SOLO
Org: Feola (2008)

Mesmo com pouca diferença no teor de argila (6,83% a menos em relação à trilha), os teores de areia total constatados na área testemunha foram 13,82% superior. A textura arenosa é outra variável que colabora com absorção da água pelo solo. As diferenciações no que se refere à granulometria entre área da trilha e área testemunha podem ser visualizadas no (GRÁFICO 12).

É importante salientar que as variações nas taxas de infiltração estão relacionadas também ao tipo do horizonte do solo. No caso da trilha, o cilindro concêntrico foi colocado direto sob o horizonte B, já a área testemunha, possui o horizonte A preservado, de Cambissolo Háplico. A infiltração nos horizontes vai depender principalmente da densidade aparente e porosidade dos solos, sendo o horizonte B, mais compacto em relação ao horizonte A, apresentando assim, baixa permeabilidade. O acúmulo de argila nesse horizonte também favorece redução da infiltração.

Apesar de a profundidade de 10 cm na área testemunha ter apresentado densidade aparente 2,00 g/cm³ (ou seja, maior densidade aparente e pouca variação na porcentagem de porosidade 43,01% em relação à área da trilha), a taxa de infiltração na área da floresta demonstrou-se superior. A (TABELA 11) demonstra algumas variáveis que interferem nesse processo.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS PARA AS PROFUNDIDADES DE 10 cm.

Local	Trilha	Área testemunha
Porosidade (%)	42,67	43,01
Densidade aparente g/cm ³	1,99	2,00
Densidade de partículas g/cm ³	3,48	3,51
Umidade gravimétrica (%)	29,94	21,37
Argila (%)	53,66	48,33
Compactação MPa	1.520	0,280

Fonte: Feola (2008)

Uma das explicações para maior taxa de infiltração está associada à baixa umidade gravimétrica de 21,37%, que é quase 30% menor em relação à trilha, condizentes com as afirmações de Molchanov (1963, p. 154) e Thomas (1994, p. 129). Além disso, há a presença de matéria orgânica, baixa compactação do solo (0,309 MPa) e ausência de selagem na superfície do solo.

Sobre a matéria orgânica Vallejo (1982, p. 60), em experimentos, constatou que ao tirar essa proteção do solo há alterações na taxa de infiltração, principalmente para chuvas de maior intensidade, onde observou-se redução de quase 80%.

Sobretudo, a capacidade de infiltração varia não apenas em solos com composição diferentes, mas também com a intensidade da chuva, onde ocorre um decréscimo após o seu início, a umidade do solo que preenche inicialmente a maioria dos poros; as finas partículas lixiviadas que obstruem os poros e às vezes formão a selagem; a expansão da argila 2:1 que favorecem a menor permeabilidade do horizonte B e a baixa movimentação lateral, evitando a saturação do solo mesmo em condições de chuva forte.

Nas coletas de solo na área testemunha foi observada grande quantidade de raízes e micro-raízes, que facilitam a penetração da água no solo, devido a sua decomposição, que contribui com a permeabilidade ao ar e com a infiltração e armazenamento de água no solo.

A menor taxa de infiltração encontrada na trilha está associada principalmente ao solo compactado, ao elevado teor de argila, à selagem da superfície, à redução da porosidade, à maior densidade aparente do solo, ao horizonte B com maior compressibilidade, além da umidade gravimétrica elevada.

Em síntese a (TABELA 12) demonstra de forma otimizada, os resultados obtidos com o levantamento de campo. Os dados estão dispostos dessa forma favorecendo melhor entendimento de suas correlações entre as diferentes variáveis, ou seja, demonstrando a ação sistêmica dos processos erosivos junto à trilha.

TABELA 12 – SÍNTESE DOS DADOS DE CAMPO

Pluviometria – erosão									
Semana	Precipitação (mm)		Interceptação (%)		Erosão por salpicamento (g/0,07 m²)		Remoção de sedimentos (Kg)		Escoamento (ℓ)
1	73,67		22,91		-		1.332		2.388,30
2	66,98		22,44		-		0,822		2.162,50
3	67,69		23,51		1,48		0,965		2.146,80
4	187,89		28,46		5,1		3.335		6.427,80
5	5,35		51,02		0,11		0		0,00
6	208,87		28,45		5,65		4.337		7.169,60
7	99,04		28,51		2,20		1.767		3.101,60
Perda de solo									
Área da seção transversal da trilha (m²)			Estimativa de degradação do solo						
P1	0,59		Densidade aparente 1,96 g/cm²				Densidade aparente 1,60 g/cm²		
P2	0,47		0,023 mm				0.028 mm		
P3	1,02								
P4	0,27								
Análise física do solo									
Propriedades físicas do solo – profundidade	Densidade aparente		Densidade de partículas		Umidade gravimétrica		Porosidade total		
	Trilha	Área testemunha	Trilha	Área testemunha	Trilha	Área testemunha	Trilha	Área testemunha	
	0-5 cm	1,96	2,02	3,43	3,58	32,48	23,12	42,92	42,85
	5-10 cm	2,03	1,98	3,53	3,49	27,91	19,63	42,44	43,11
	10-20 cm	1,98	2,01	3,53	3,63	27,44	23,23	43,91	44,56
	20-30 cm	2,03	1,94	3,48	3,46	39,21	23,49	41,74	43,78
	Granulometria	Areia total (%)		Argila (%)		Silte (%)			
Trilha		Área testemunha	Trilha	Área testemunha	Trilha	Área testemunha			
0-5 cm	20,52	25,25	55	45	24,48		29,45		
5-10 cm	25,81	24,35	52,33	51,66	25,18		23,98		
10-20 cm	21,90	21,88	50,83	60,41	21,27		17,7		
20-30 cm	29,93	20,90	55	54,16	15,07		24,83		
Compactação do solo (Kgf/cm)		Trilha	Área testemunha						
0-5 cm		1.128,41	0,488						
5-10 cm		0,990	0,588						
10-20 cm		0,961	0,622						
20-30 cm		1.076,08	0,742						

Org: Feola (2009)

Nota: precipitação refere-se aos totais de chuva semanal; erosão por salpicamento refere-se à área da bandeja; análise física do solo e compactação do solo são representados por valores médios.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trilhas em paisagem de montanha são mais suscetíveis aos impactos negativos, tanto os ocasionados pelos processos erosivos quanto aqueles ocasionados pelo uso público, devido ao fato de serem áreas frágeis por causa da alta declividade – que favorece a concentração e o incremento da velocidade da enxurrada, além de favorecer a instabilidade dependendo de sua inclinação. E, características pedológicas específicas – por apresentarem solos pouco desenvolvidos. Devido a essas características, a abertura e utilização de trilhas sem planejamento e manejo favorecem e potencializam o surgimento de impactos negativos.

A utilização de diferentes procedimentos metodológicos demonstrou-se satisfatória, pois, por meio dos indicadores do meio físico propostos, foi possível constatar a real atuação dos processos erosivos junto à trilha. Nesse contexto, todos os indicadores foram preponderantes à análise.

No que se refere aos resultados: à pluviometria no Parque Estadual Pico Marumbi demonstrou-se coerente com a média histórica da Estação Véu de Noiva. Obteve-se equivalência também com a Estação Parigot de Souza. Para novas pesquisas sugere-se que sejam utilizadas essas duas fontes de dados.

A área da seção transversal da trilha foi comparada com observações feitas em 2006, e demonstraram-se reduções em todos os pontos, devido a dois fatores principais: 1) redução da área do pisoteio e 2) deposição temporária de sedimentos ao longo da trilha. Aconselha-se que, seu aproveitamento é mais significativo quando utilizado para o monitoramento em longo prazo.

As propriedades físicas do solo demonstraram-se relevantes à análise de comparação da área da trilha e da área testemunha, principalmente no que se refere à granulometria e densidade aparente. A trilha apresentou alterações significativas para essas propriedades. Essa área possui menor suscetibilidade a erosão (no que se refere à textura), em relação a área testemunha, no entanto, devido ao uso e concentração de água, tornam o caminho uma área de

degradação do relevo. Devido a esse fato, recomenda-se a utilização principalmente de matéria orgânica no eixo da trilha, com objetivo de reverter esse quadro.

A cobertura vegetal possui dossel denso, onde as taxas médias de interceptação da chuva foram compatíveis com resultados alcançados por outros pesquisadores, em áreas de Mata Atlântica. Contudo, os dosséis não proporcionam efetiva proteção do solo, frente aos impactos por salpicamento, por possuírem altura superior a 10 m. Devido essa característica, salienta-se a importância dessa variável.

A erosão por salpicamento demonstrou-se significativa, por causa primeiramente da altura dos dosséis. Constatou-se, para o maior evento pluviométrico, taxas de remoção de partículas na ordem de 80,71g/m². Mesmo de forma arbitrária, para esse mesmo evento chuvoso estimou-se para a área da trilha remoção de partículas equivalente a 22,585 kg.

O escoamento superficial apresentou características marcantes no que se refere ao potencial de transporte de sedimento ao longo do segmento da trilha. Demonstrou também, correlação linear positiva entre precipitação e produção de sedimentos. O escoamento atrelado a alta declividade, potencializa a velocidade da enxurrada que favorece o desprendimento e remoção das partículas do solo. Contudo, para melhor caracterização hidrológica sugerem-se novos levantamentos de campo para as diferentes estações do ano, para melhor caracterizar a perda de solo.

A perda de solo no segmento da trilha é refletida em vários pontos com erosão em ravinas no leito do caminho. Já nas laterais há predomínio de exposição de micro-raízes, ocasionada pela erosão entre ravinas e erosão por salpicamento. Contudo, esse valor é superestimado, devido ao fato de ter-se realizado a análise do solo de forma pontual (apenas um ponto), ao longo dos 159 m de extensão.

Os tipos de erosão evidenciados são condizentes com os resultados obtidos pela estimativa de perda de solo. Para esse indicador, aconselha-se que

seja utilizada sempre que possível a própria densidade aparente do solo em questão, para evitar distorções nos resultados, como constatados nesta pesquisa.

Com a taxa de infiltração demonstrou-se significativamente superior na área testemunha em relação à trilha, aconselha-se que seja utilizado apenas com comparação de áreas com diferentes usos.

A compactação do solo apresentou valores restritivos e até impeditivos ao desenvolvimento radicular da vegetação. Para a área com influência do pisoteio a compactação foi de 42,37% a mais em relação à área testemunha. Devido a esse fato, sugere-se que sejam realizados trabalhos com o objetivo de constatar a influencia da compactação junto à vegetação de borda.

No que diz respeito ao manejo de trilha, indica-se principalmente duas frentes de atuação. A primeira está atrelada à redução da velocidade do escoamento superficial, que poderá ser feita por desvio e redução da distância desse fluxo ao longo do caminho. Para a redução da velocidade da enxurrada, poderão ser utilizados fragmentos de rocha, troncos e dormentes. Para a redução da distância do fluxo, o ideal é construir pequenos canais de desvio para o interior da floresta.

Em um segundo momento, após a estabilização da velocidade, recomenda-se recobrir o solo exposto da trilha com serrapilheira, “material de empréstimo” do interior da floresta. Essa cobertura de matéria orgânica favorecerá algumas propriedades físicas do solo, e logo, trará melhor estrutura de infiltração e retenção de água, e, por conseguinte, menor degradação. Além disso, essa medida ajuda a proteger a superfície da trilha dos impactos das gotas da chuva, a qual reflete em menor remoção de partículas do solo.

Recomenda-se ainda que, além dos levantamentos de campo para o monitoramento, é imprescindível o gerenciamento do uso público nessa área, pois são os visitantes que podem atenuar ou acelerar tais processos. Quanto ao uso público recomenda-se restrição de acesso em períodos chuvosos (Verão), devido fato de o solo alcançar o limite de compactação com menor pressão.

6. REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil**. São Paulo: Ed. Ateliê. 2003, 159 p.
- ANDRADE, W. J. Implantação e Manejo de Trilhas. In: Org. Silvia W. Mitraud. **Manual de Ecoturismo de Base Comunitária: ferramentas para um planejamento responsável**. Brasília: Ed. da WWF – Brasil. 2005. p. 247-259.
- ANDRADE, W. J; ROCHA, L. M. Planejamento, implantação e manutenção de trilhas. In: **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais...Campos do Jordão: 1990, p. 786-794.
- ANDRIOTTI, J. L. S. Correlação e Regressão lineares. In: **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Ed. Unisinos. 2003, p. 68-80.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em cunha – São Paulo. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, vol. 27, nº 2. p. 257-262, Mar./Abr. 2003
- ARGENTO, M. S. F. Desequilíbrio ambiental no sistema encosta. **Anuário de geociência**. UFRJ. Rio de Janeiro. Vol 4, p. 32-53. 1980.
- ASSOULINE, S.; BEN-HUR, M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. **Catena**, vol. 66, nº 3, p. 211-220, jun 2006.
- BARROS, M. I. A. **Caracterização da visitação, dos visitantes e avaliação dos impactos ecológicos e recreativos do planalto do Parque Nacional do Itatiaia**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiros- UNIVERSIDADE de SÃO PAULO. Piracicaba 2003.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETTO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ed. Ícone. 1993. 355 p.
- BIGARELLA, J.J. *et al.* Processos Erosivos. In: BIGARELLA, J.J. *et al.* **Estrutura e origem da paisagem tropical e subtropical**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2003, v.3., p.884-939.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem da paisagem tropical e subtropical**. Florianópolis: Ed. UFSC, 1996, v. 2., 442 p.
- BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. Maringá: Ed. ADEA/ABGE. 1985, 329 p.
- BLAIR, T. A. Condensação da água na atmosfera. In: BLAIR, T. A. **Meteorologia**. Rio de Janeiro: Ed. Livro técnico. 1964. p. 123-143.

BOÇON, R. **Caracterização de solos, vegetação e uso público alvo como indicadores no planejamento de trilhas interpretativas**. 57 f. Dissertação – (Mestrado em Agronomia) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Curitiba. 2002.

BRADFORD, J. M.; HUANG, C. Splash and detachment by waterdrops. In: Agassi, M. **Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation**. New York: Ed. Marcel Dekker. 1995. p. 61-76.

BRITEZ, R. M.; REISSMANN, C. B.; SILVA, S. M.; ATHAYDE, S. F.; LIMA, R. X. Interceptação das chuvas em duas formações florestais, na planície litorânea da ilha do Mel, PR. In: **Fórum Geo-Bio-Hidrologia: Estudos em vertentes e microbacias hidrográficas**, 1., Curitiba. UFPR, p. 60 - 69. 1998.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro. Ed. CPRM. 1994. 372p.

CASTILHO, C. P. G. **Interceptação de chuvas na cultura de cana-de-açúcar**. 274 f. Dissertação – (Mestrado em Engenharia Agrícola na área de concentração “Água e Solo”) UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Campinas. 2000.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Ed. Contexto, 1991. 147p.

CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. Taxa de infiltração. In: CAUDAURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaio de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI-IPH – UFRGS. 1988.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1999. 236p.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento Geomorfológico nos projetos e planejamentos. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.; Org **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2001. p. 415-440

CIFUENTES, M. **Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas**. CATIE. Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales. Serie técnica, nº 194, 1992. 29 f.

COELHO, M. C. N. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas – Teorias, Conceitos e Métodos de Pesquisa. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 21-46.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.; Org **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2001. p. 93-144

COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**. Rio de Janeiro, vol.4, nº 5, p. 55-71, 1986.

COELHO NETTO, A. L.; SANTOS, A. A. M.; MEIS, M. R. M. Os solos e a hidrologia das encostas do alto rio Cachoeira. **Revista Brasileira de Geografia**, nº 42, p. 585-611, 1980.

COGO, N. P.; BERTOL, I. O papel das práticas mecânicas e não-mecânicas no controle da erosão hídrica do solo: conceitos e princípios. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1998. p. 53 - 75.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica por método de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, n. 27, p.743-753, 2003.

COLE, D. Changes on Trails in the Selway-Bitterroot Wilderness, Montana, 1978-89. In: **Department of Agriculture Forest Service Intermountain Research Station Research Paper**. INT-450, p.1 – 7, Nov. 1991.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 01, CONAMA, artigo 1^o, de 23.01.86. In: Antunes, P. de B. **Direito Ambiental**. 7 ed. Rio de Janeiro: Ed. Lumen Júris, 2004. p. 100-107.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Dados Pluviométricos**. 2008.

CORDANI, U. G.; GIRARDI, V. A. V. Geologia da folha de Morretes. **Boletim da Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, n. 26, p. 1- 37, 1967.

COSTA. S. M.; GAMA, S. V. G.; MOURA, J. R. S. As trilhas como unidade de análise ambiental: o caso do maciço Gericinó-Medanha (RJ). In **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 10., 2003, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: 2003. CD-ROM.

COSTA, V. C. Planejamento e manejo de trilhas, impactos pelo uso do turismo desportivo e equestre: alguns exemplo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E MANEJO DE TRILHAS**, 1., 2006. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: 2006. CD-ROM.

COSTA, N. M. C.; COSTA, V. C.; MELLO, F. A. P. Planejamento de trilhas no contexto do manejo e gestão do ecoturismo de Unidades de Conservação urbanas. **OLAM Ciência e Tecnologia**. Rio Claro/SP. Ano VII Vol. 7, N° 3, p. 115-136. Dez / 2007

DAIGLE, J. J.; WATSON, A. E.; GLENN, E. H. National Forest Trail Users: Planning for Recreation Opportunities. In: HASS, E. **The wilderness library**. Forest Service. 1994. 16 p.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research** Nº 11. 1988. p. 199–238.

DURIGAN, G. Métodos para análise de vegetação arbórea. In: CUELLEN, L. RUDHAN, R. VALLADARES-PADUA, C. **Método de estudos em biologia da conservação manejo da vida silvestre**. Curitiba: Ed. UFPR, 2003. p 455-480.

DSG. Divisão de Serviço Geográfico do Exército – **Cartas Topográficas MI 2843-3 SO**. Porto Alegre. Escala: 1:25.000. Material Cartográfico em Ambiente Digital, 2002.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de classificação de solo**. Brasília: 1999. 412 p.

FAVERATTO, N.; COGO, N. P.; BERTOL, O. J. Degradação do solo por erosão e compactação. In: **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba, Ed. UFPR. 2006, p. 255-292.

FEOLA, E. **O uso público em unidades de conservação da natureza**: os impactos negativos na trilha Noroeste-Abrolhos do Parque Pico do Marumbi, Morretes-PR. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E MANEJO DE TRILHAS**, 1., 2006. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: 2006. CD-ROM.

FEOLA, E.; NUCCI, J. C.; SANTOS, L. J. C. Avaliação de impactos do uso público em uma trilha no Parque Estadual do Pico do Marumbi – PR. **Geografia**. Rio Claro, V. 33, nº 1, p. 157-175, jan/abr 2008.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. São Paulo: Ed. Nova Fronteira. 1986, 1960 p.

FIGUEIRÓ, A. S.; COELHO NETTO, A. L. Análise do impacto produzidos por trilhas em áreas de borda florestal no maciço da Tijuca – Rio de Janeiro – RJ. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E MANEJO DE TRILHAS**, 1., 2006. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: 2006. CD-ROM.

FOSTER, E. E. Atmospheric Moisture and Precipitation. In: FOSTER, E. E. **Rainfall and runoff**. New York: Ed. Macmillan. 1949. p. 21-55.

GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Ed. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1984, 278 p.

GARCIA, A. R. *et. al.* Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. In: **Revista Árvore**. Viçosa, V. 27, nº 4, p. 535-542, 2003.

GERRARD, J. **Soil Geomorphology**. London: Ed. Chapman e Hall. 1992. 269 p

GUERRA, A.T.J. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solo. **Anuário do Instituto de Geociências**. Vol. 13. 1990, p-43-52

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B; Org. **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2001. p. 149-197.

GUERRA, A. J. T. O início dos processos erosivos nas encostas In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solo. Conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand do Brasil. 1999, p. 17-55

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **A questão Ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2007, p. 191-218.

GUERRA, A. J. T. BOTELHO, R. G. M. Erosão dos solos. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.; Org. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1998. p. 181-228

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2008, 648p.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil, 2006. 189 p.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2004, p. 225-256.

GUERRA, A. J. T.; SENNA, C. P.; LEAL, J. R. Geomorfologia de montanha: estabilidade de encosta e movimento de massa. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 1.**, 1996. Uberlândia. Universidade Federal Uberlândia: 1996, p.122-127. .

GUILLAUMON, J. R. Análise das trilhas de interpretação. São Paulo. **Instituto Florestal**. nº 25, 1977. 57p.

GOUDIE, A. Slope processes. In: GOUDIE, A. **The changing Earth: rates of geomorphological processes**. 5. ed. Oxford: Ed. Blackwell Publishers. 1995. p.122-157.

GRISSINGER, E. H. Rill and gullies erosion. In: Agassi, M. **Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation**. New York: Ed. Marcel Dekker. 1995, p.153-167.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Pico do Marumbi**. Curitiba. 1996. 114 p.

ITC – Instituto de Terras e Cartografia. **Cartas Topográficas 6-M-III-0902**. Curitiba. Escala: 1:10.000. Material Cartográfico Impresso, 1980.

JEWELL, M. C.; HAMMITT, W. E. Assessing Soil Erosion on Trails: A Comparison of Techniques. In: Cole, D. N.; *et al.* **Wilderness ecosystems, threats, and management**. Missoula. U.S.D.A. Forest Service. May 2000. p. 23 – 27.

KRUMPE, E. The Role of Science in Wilderness Planning—A State-of-Knowledge Review. In: **Wildness science in a time of change conference: Wilderness visitors, experiences, and visitor management a time of change conference**. Missoula. USDA, Forest Service, v. 4. 2000. p.134-141

LAL, R.; Erosion by wind and water: problems and prospects. In: LAL, R. **Soil erosion research methods**. 2. ed. Ankeny: Ed. Soil and Water Conservation Society. 1994, p. 1-10.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil erosion research methods**. 2. ed. Ankeny: Ed. Soil and Water Conservation Society. 1994, p. 181-208.

LECHNER, L. Planejamento, Implantação e Manejo de Trilhas em Unidades de Conservação. **Cadernos de Conservação**, Curitiba, Ano 3. nº 3, Fundação O Boticário de Proteção a Natureza, 2006, 125 p.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Ed. SBCE. 1996, 84 p.

LIMA, W. P. A água do solo e o crescimento da floresta. **Série técnica IPEF**, nº 59. 1979. 6 p.

LEUNG, Y.; MARION, J. L. Recreation Impacts and Management in Wilderness: A State-of-Knowledge Review. In: Cole, D. N.; *et al* **Wilderness science in a time of change conference**. Missoula: U.S.D.A. Forest Service. v 5., 2000. p. 23-48

MACHADO, M. A. M., FAVERATTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: LIMA, M. R. L.; *et al*. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: Ed. UFPR. 2006. p. 233-254.

MAGANHOTTO, R. F. **Fragilidade, impactos e prevenções das trilhas em áreas naturais protegidas: estudo de caso reserva ecológica Itaytyba - RPPN**. 139 f. Curitiba. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geografia, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. 2006.

MAGRO, T. C. **Impactos do uso público em uma trilha no planalto do parque nacional do Itatiaia**. 135 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. São Carlos 1999.

MAGRO, T. C.; FREIXÊDAS, V. M. Trilhas: como facilitar a seleção de pontos interpretativo. Departamento de Ciências Florestais. **Circular Técnica: IPEF**, ESALQ/USP, n. 186, p. 4-10, set. / 1998

MAGRO, T. C.; TALORA, D. C. Planejamento e manejo de trilhas e impactos na flora. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E MANEJO DE TRILHAS**, 1., 2006. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: 2006. CD-ROM.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informativo agropecuário**. nº 13. p. 52-55, mar. / 1987.

MARTINS, J. A. Infiltração. In: PINTO, N. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1976, p. 44-55.

MARION, J. L. **Camping Impact Management on the Appalachian National Scenic Trail**. Appalachian Trail Conference. Virginia: August 2003. 116 p.

MARION, J. L.; LEUNG, Y. Trail Resource Impacts and An Examination of Alternative Assessment Techniques. **Journal of Park and Recreation Administration**. v. 19, n. 3. 2001. p. 17-37

MARION, J. L. OLIVER, N. **Assessing and Understanding Trail Degradation: Results from Big South Fork National River and Recreational Area**. Virginia: National Park Service, 2006. 84 p.

McCOOL, S. F. Limits of acceptable change: a framework for managing national protected areas – experiences from the United States. **Workshop on Impact Management in Marine Parks**, sponsored by Maritime Institute of Malaysia. MALAYSIA: August 1996. 15 p.

MELLO, G. H. Relação entre a fração mineral do solo e a qualidade dos sedimentos – o solo como fonte de sedimentos. In: POLETO, G., MERTEN, G.H. **Qualidade dos sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2006. p. 39-82.

MEYER, L.D. Rainfall simulators for soil erosion research. In: LAL, R. **Soil erosion research methods**. 2. ed. Ankeny: Ed. Soil and Water Conservation Society. 1994, p. 83 - 103.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; RÖMKENS, M. J. M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Agriculture Research Service. **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources**. Washington: USDA. ARS-S, n. 40. 1975. p. 177-189.

MINEROPAR. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: 2001, 116 p.

MINEROPAR. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba: 2006, 63 p.

MOLCHANOV, A. A. **Hidrologia florestal**. Lisboa: Ed. Fundação Calouste Gulbenkian. 1963, 419 p.

MORETI, D.; CARVALHO, M. P.; MANNIGEL, A. R.; MEDEIROS, L. R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Miguel – SP. **Revista brasileira ciência do solo**, nº 27. p. 713-725, 2003.

MORGAN, R. P C. **Soil erosion and conservation**. 2. Ed. England: Ed. Longman, 1996. 198 p.

MUTCHLER, C. K.; MURPHERR, C. E.; MCGREGOR, K. C. Laboratory and field plots for erosion research. In: LAL, R. **Soil erosion research methods**. 2. ed. Ankeny: Ed. Soil and Water Conservation Society. 1994, p. 11-37.

MUZILLI, O. Manejo de solo em sistema de plantio direto. In: CASÃO JÚNIOR, R. *et al.*, **Sistema plantio direto com qualidade**. Iapar, Londrina, 2007, p. 9-27.

NEARING, M. A.; LANE, L. J.; LOPES, V. L. Modeling soil erosion. In: LAL, R. **Soil erosion research methods**. 2. ed. Ankeny: Ed. Soil and Water Conservation Society. 1994, p. 127- 156.

NEPAL, S. K.; AMOR-NEPAL, S. A. Visitor Impacts on Trails in the Sagarmatha (Mt. Everest) National Park, Nepal. **Royal Swedish Academy of Sciences**. August 2004. *Ambio* v. 33, n. 6. 2004. p. 334-340.

NCNST - NORTH COUNTRY NATIONAL SCENIC TRAIL. **A Handbook for Trail Design, Construction, and Maintenance**. Ed. North Country National Scenic Trail. 1996. 108 p. Disponível em <http://www.dec.ny.gov/39658.html> acesso em 10 de Abril de 2008.

OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E. Geomorfologia da área do parque Marumbi, Serra do Mar (PR). In: **SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 3, 1987. Curitiba. Anais...Curitiba: v. 1. 1987, p. 41-58.

ONCHEV, N. G. Universal index for calculating rainfall intensity. In: EL-SWAIF, S. A.; MOLDENHAUER, W. C.; LO, A. **Soil erosion end conservation**. 1984. Hawai: Ed. Soil Conservation Society of America, p. 424-431.

OTONNI FILHO, T.B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, nº 27. 2003, p. 211-222.

PAGANI, M. I.; SCHIAVETTI, A.; MORAES, M. E. B.; TOREZAN, F. H.; Trilhas interpretativas da natureza e ecoturismo. In: LEMOS, A. I .G de; Org. **Turismo e impactos socioambientais**. São Paulo: Ed. Hucitec, 2001. p. 151-163.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand do Brasil, 2003, p. 59-122

PAREIRA, V.P. Erosão hídrica e indicadores ambientais. MARTOS, H. T; MAIA, N. B. **Indicadores Ambientais**. Sorocaba: (s.n.). 1997. p 175-183.

PASSOLD, A.J. **Seleção de indicadores para o monitoramento do uso público em áreas naturais**. 75 f. Piracicaba. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Piracicaba 2002.

PASSOS, E. **Classificação fitogeomorfológica de ecossistemas Florestais numa porção do setor oriental do Estado do Paraná**. 244 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor Ciências Agrárias – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Curitiba 2000.

PASSOS, E.; BIGARELLA, J. J. Superfícies de erosão. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 1998, p.107-141.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: Ed. IBGE, 1980, 185 p.

RODERJAN, C. V., *et al.* As unidades fitigeográficas do Paraná. In: **Ciência e ambiente**. Santa Maria: nº 24. p. 74-92, jan/jun 2002.

RÖMKENS, M. J. M. The soil erodibility factor: A perspective. In: El-Swaify, S. A.; MOLDENHAUER, W. C.; LO, A. **Soil erosion end conservation**. Hawai: Ed. Soil Conservation Society of America. 1984, p. 445-461.

ROSS, J. Geomorfologia ambiente e planejamento. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2005, 85 p.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista brasileira ciência o solo**, nº 17. p. 439-444, 1993.

SANTOS, I. *et al.* **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Ed. ITD.2001. 372p.

SANTOS, L. J. C. *et al.* Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. In: **Revista Brasileira de geomorfologia**, nº 2. Ano 7, p. 3-12, 2006.

SHAINBERG, I.; LEVY, G. J. Infiltration and seal formation processes. In: Agassi, M. **Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation**. New York: Ed. Marcel Dekker. 1995, 401p, p. 1-22.

SHARMA, P. P. Interrill erosion. In: Agassi, M. **Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation**. New York: Ed. Marcel Dekker. 1995, 401p, p.125-152.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena** nº 57. p. 251–259, 2004.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solo. Conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand do Brasil. 1999, p. 101-126.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e armazenamento de água no solo. In: TUCCI, C. E. M.; ORG. **Hidrologia ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre. ABRH. 1997, p. 336-372.

SINGH, G.; BABU, R.; CHANDRA, S. Research on the universal soil loss equation in India. In: LAL, R. **Soil erosion research methods**. 2. ed. Ankeny: Ed. Soil and Water Conservation Society. 1984, p. 181-208.

STANKEY, G. H.; COLE, D.; FRISSEL, P. S. S. **The Limits of Acceptable Change (LAC) System for Wilderness Planning**. USDA - Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden, 1985, 43 p.

STRUMINSKI, E. Avaliação do estado de conservação de uma trilha do conjunto Marumbi, Serra do Mar paranaense. In: **CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS**, 20., 1992, São Paulo. Anais... São Paulo: 1992. v. 4 p. 1094-1099.

STRUMINSKI, E. **Parque Estadual do Pico do Marumbi**. Curitiba: Ed. UFPR. 2001. 179 p.

TAKAHASHI, L.Y. **Caracterização dos visitantes, suas preferências e percepções e avaliação dos impactos da visitação pública em duas unidades de conservação do Estado do Paraná**. 129 f. Tese (doutorado em ciências florestais) – Setor Ciências Agrárias – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Curitiba 1998.

THOMAS, M. F. **Surface processes in tropical climates**. In: Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes. New York: Ed. Wiley, 1994, p. 127-187.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas: n. 20, p.333-339, 1996.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência a penetração em Latossolos cultivados sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 4, p. 795-801, out /dez 2002

TORRI, D. Slope, aspect and surface storage. In: Agassi, M. **Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation**. New York: Ed. Marcel Dekker. 1995. p. 77-106

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J. C. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH - UFRGS, 1997. p.177-241.

VALLEJO, L.R. **A influência do “litter” na distribuição das águas pluviais**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Rio de Janeiro 1982.

VASHCHENKO, Y. **Caracterização da trilha e o impacto do montanhismo nos picos Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultante do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n. 28. p. 763-774. 2004.

WAGAR, J.A. **The carrying capacity of wildlands for recreation**. Washington D. C. Society of American Foresters. Forest Science Monograph. n. 7. 1964. 24 p.

WAGAR, J.A. Recreational carrying capacity reconsidered. **Journal of Forestry**. 1974, v. 72, n. 5, p. 274-278.

WASHINGTON, D. C. Rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains: guide for selection practices for soil and water conservation. U.S.D.A, **Handbook**. n. 282, 1972, 49 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses. Guide to conservation farming, U.S.D.A. **Handbook**, n. 537, 1978, 58 p.

WOODY, H. **Trail Construction and Maintenance Notebook**. USDA – Forest Service. 2004, p.74.

YODA, A. WATANABE, T. Erosion of Mountain Hiking Trail Over a Seven-Year Period in Daisetsuzan National Park, Central Hokkaido, Japan. In: Cole, D. N.; *et al.* **Wilderness science in a time of change**. U.S.D.A. Rocky Mountain Research Station. 2000, v. 5 p. 172-178

ANEXOS

ANEXO 01 – CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS DO MARUMBI FEV. MARÇO 2008

ANEXO 01 – CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO MARUMBEI PEV: MARÇO 2008

Pluviometria							
Datas	Dados				Média semanal	Chuva terminal (%)	Interceptaç ão (%)
	Precipitação clareira		Precipitação floresta				
	(ml)	(mm)	(ml)	(mm)			
06/02/08	721	26,81	8369	21,68	(mm)	-----	-----
09/02/08	1260	46,86	13.552	35,1		-----	-----
Total semanal	1981	73,67	21921	56,79	10,52	77,09	22,91
13/02/08	1056	39,27	11352	29,4		-----	-----
16/02/08	745	27,52	8706	22,55		-----	-----
Total – semana	1801	66,98	20058	51,96	9,57	77,58	22,47
20/02/08	636	23,64	5880	14,45		-----	-----
23/02/08	1184	44,03	14104	36,53		-----	-----
Total – semana	1820	67,69	19984	51,77	9,67	76,48	23,52
27/02/08	3384	125,86	34764,2	90,06		-----	-----
01/03/08	1668	62,03	17122,7	44,35		-----	-----
Total – semana	5052	187,89	51887	134,41	26,84	71,53	28,47
04/03/08	0	0	0	0		-----	-----
08/03/08	144	5,35	1014	2,62		-----	-----
Total semana	144	5,35	1014	2,62	0,76	48,97	51,03
11/03/08	1684,4	44,65	17304	44,83		-----	-----
15/03/08	3931,6	146,22	40376	104,6		-----	-----
Total semana	5616	208,87	57680	149,43	29,83	71,54	28,46
18/03/08	1480	55,04	16250	42,09		-----	-----
15/03/08	1183	44	11100	28,72		-----	-----
Total semana		99,04		70,85	14,41	71,53	28,47

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 1.1 – ALTURA DE CHUVA (mm) ESTAÇÃO VÉU DE NOIVA 1941-1996

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	Dez
1941	227,7	412,3	444,4	77,2	325,1	71,1	47,1	182,5	217,1	195,4	212,8	167,4
1942	204,7	535,9	228,8	237,2	137,6	107,4	150,8	132,2	212,7	228,7	267,2	243,7
1943	191,7	331,8	215,6	90,2	78,8	197,7	85,7	150,6	263,6	460	247,3	231,4
1944	175,8	281,5	221,1	163	74,9	36,8	85,4	180,8	186,1	256,3	621,7	637,3
1945	302	469,4	392,6	170,3	125,3	284,5	252,1	38,9	565,2	540,7	339,7	591,6
1946	681,4	640,2	374,4	206,9	148	151,7	221,6	192,3	144,3	554,5	213,9	456,6
1947	478,4	766,4	611,1	167,5	142,4	167	201,4	222,4	507,9	792,2	618,6	687,9
1948	174,7	702,6	325,8	213,9	316,3	83	314,2	239,6	131,6	123,8	218,6	268,9
1949	250,7	116,4	506,3	305,4	0	205,9	218,8	342,1	360,8	430,7	384,1	249,5
1950	503,5	328,6	420,5	183	226,1	135,3	115,85	170,1	335,9	429,6	520,7	363,1
1951	338,8	670	368,4	147,2	108,8	141,1	66,2	182,3	270,9	559,5	405,2	376,1
1952	517,9	425,9	866,6	76,6	72,2	291,3	57,5	152,1	340,3	482,5	425,1	105
1953	363,4	330,9	503,1	205,2	346,2	70,9	244,9	164,4	271,4	503,9	476,1	729
1954	303,5	438,5	467,6	304	442,9	316,9	246,9	191,3	408	563,9	290,3	230,8
1955	416,4	341	382,8	420,4	219,6	342,5	248,2	113,8	335,2	331,2	244,9	400,7
1956	378,9	272,3	251,5	400,7	269,2	259,7	84,4	311	246	642,8	218,4	453,4

1957	381	275,2	299,2	344,8	273,8	246,4	712	308,2	409,3	345	293	316,7
1958	208,9	206,3	226,2	186,6	244,8	112,6	30,6	180,2	183,2	374,4	391,8	419,6
1959	456,8	291,8	352,8	200,4	135	54,4	103,2	199	303,3	392,2	380,4	382,8
1960	522,6	388,3	215,1	198,5	211,8	137,3	135,8	372,6	276,6	392,1	826,5	248,4
1961	425,8	573,6	414,6	282,4	135,2	203,6	132	30,8	471,4	335,2	439,9	362,5
1962	307,7	217,5	286,6	153	66,1	66,2	168,7	215	461,4	657,8	286,8	347,2
1963	607,8	253	706	115	55,2	155,6	187	109,6	327	578	549	479,2
1964	434,8	486,2	411,1	443,7	229,8	399,8	135,2	305	316,3	364,8	381,2	620,6
1965	576,4	250,4	395,8	545,6	379	173,6	287,8	156	258,6	277,8	421,2	591
1966	357	434,8	301	438,8	267,8	145	92	188,2	347,3	543,5	363,2	695,6
1967	683,6	672,8	585,6	179,8	100,8	260,2	126,5	115,6	328,8	324,6	437,6	418
1968	296,8	167	299,2	141,2	50	128	66,2	128,2	231	641,2	220,6	624
1969	370,1	300,8	384,6	356,2	305,8	641,8	229,9	151,6	240,4	459,8	735,8	429,9
1970	452,8	475	422,4	363,4	211,4	450,9	285,4	230,8	408,2	578,4	255,3	483,4
1971	372	338,7	499,2	198,4	359,8	245,6	92,3	253,6	366,3	237,2	195,1	294,6
1972	499,2	404,8	344,2	121,2	31	49,4	50	118,2	301,6	503,7	704	554,2
1973	306,6	246,5	311,1	329,8	238,2	125,6	156	494,4	618,7	473,8	271,4	525,6
1974	469	286	735,2	234,2	47,6	221,6	122,6	153,4	269,6	363,6	213	664,1
1975	456,8	445,6	304,8	127,4	313,4	145	120,8	228,8	461,4	557	470,4	383,4
1976	711,6	304,4	468	188,6	371,8	109,4	194,8	183,5	258,2	208,2	154,2	105,2
1977	449,4	207,2	434,2	229,8	107,4	100,8	71,8	139,8	299,8	659,8	507,4	588,6
1978	341	244,4	305,8	133,2	118,2	92,6	158,2	186,4	232,6	589	365,4	276,4
1979	206,2	238,2	378,8	209,6	295,2	181,4	131,6	117,8	127,6	285,2	363,2	337,2
1980	519,8	316,4	388,2	175,6	48,6	53,2	217	201	223,4	474,2	233,8	694,2
1981	890,4	406,4	393,6	212,6	323,8	96,8	243,6	252,2	138	678,2	414,8	424,8
1982	365,4	442,2	492,1	298,8	217,2	345,6	126,9	130,4	218,6	267,7	148,4	262,9
1983	244,3	314,8	222,4	249	693,9	302,6	482,1	127,4	392,2	243	148,2	181,2
1984	83,2	87,9	209,6	177,9	54,9	116	59,6	423	81,9	201,5	494,9	248,9
1985	194,6	171,4	161,8	171,8	79,5	39,7	54	35,5	357,2	327,1	408,3	242,3
1986	303	406,8	213,5	210	94,6	27,1	265,1	188	445,1	294	412,8	705,4
1987	303,5	284	164,8	355,7	270,9	186,3	67,7	145,9	313,5	344,1	271,2	322,7
1988	391,6	438,3	271,9	429,2	424,2	141,9	86,1	63,9	554,7	410,7	173,2	324,9
1989	811,6	290,2	261,2	226,8	195,6	178,8	191,3	154,3	356,9	245,9	247,2	668,9
1990	363,9	160,7	487	450	148,2	163,4	364,6	291	318,7	349,3	123,7	222,3
1991	267,1	214,9	431,1	180,1	232,1	342	75,5	149,7	404,2	424,9	761,6	530,2
1992	236,6	97,2	649	90,8	330	197,4	472,5	449,2	315,4	429,6	488,9	297,7
1993	345,6	358,6	328,3	172	231,4	187,5	167,6	56,4	662,8	342,2	142,1	429,1
1994	472,3	313,3	666,1	421	164,5	161,2	184,8	205,6	301,3	508,2	342,1	327,6
1995	683,8	710,1	227,1	71,6	58,5	191,1	228,9	198,7	189,7	251,1	245,5	368,1
1996	346,5	401,8	452,6	366,6	76,8	237,4	202	0	0	0	0	0
MÉDIA	396,8	356,9	385,7	238,5	199,7	181,4	177	195,6	315,4	419,3	365,5	407,2

FONTE: COPEL 2008.

ANEXO 1.2 – ALTURA DE CHUVA (mm) ESTAÇÕES OFICIAIS – FEV. 2008

Estações	Pluviometria (mm)
Guaricana	306,8
Parigot de Souza	396,8
Vossoroca	249
Chaminé	259,4

FONTE: COPEL 2008.

ANEXO 02 – DECLIVIDADE

Declividade			
Pontos	Declividade (graus)	Metragem da trilha (m)	
1	18	0	
2	19	18	
3	24	24	
4	19	14	
5	21	15	
6	20	9	
7	24	13	
8	26	17,5	
9	22	12	
10	22	17	
11	22	19,5	
Valor médio	21,54	Comprimento da trilha	159

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 03 – ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA TRILHA

Pontos				
Altura da linha em relação a superfície do solo (cm)	P1	P2	P3	P4
	12,5	23,8	26	22,2
	31	44	21,4	53,9
	42,5	18,8	20,4	60,4
	42	23	18	41
	32,5	26	17,5	15,3
	24,8	21	19	
	21,8	8,5	42	
	21		53,8	
	11,5		48,5	
			49,6	
			39	
Índice de erosão (m²)	0,59	0,47	1,02	0,27

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 04 – ANÁLISE FÍSICA DO SOLO

Profundida des	Densidade aparente	Densidade de partículas	Umidade gravimétrica	Porosidade total
0-5	1,9	3,31	35,95	42,59
Trilha	2,02	3,56	29,01	43,25
Média	1,96	3,43	32,48	42,92
5-10	1,97	3,48	36,82	43,39
trilha	2,1	3,59	19	41,50
Média	2,03	3,53	27,91	42,44
10-20	2	3,56	24,71	43,82
trilha	1,96	3,5	30,17	44
Média	1,98	3,53	27,44	43,91
20-30	2,02	3,5	49,23	42,28
trilha	2,04	3,47	29,2	41,21
Média	2,03	3,48	39,21	41,74
0-5	2	3,53	20,73	43,34
testemunha	2,04	3,54	18,54	42,37
Média	2,02	3,53	19,63	42,85
5-10	2	3,53	22,31	43,34
testemunha	1,97	3,45	23,93	42,89
Média	1,98	3,49	23,12	43,11
40-45	2,02	3,45	27,54	41,44
testemunha	1,9	3,4	21,77	44,11
Média	1,96	3,42	24,65	42,77
45-50	2,06	3,62	27,77	43,09
testemunha	2,06	3,72	23,04	44,77
Média	2,06	3,67	25,4	43,93
50-60	1,99	3,63	24,78	45,17
testemunha	2,04	3,64	21,68	43,95
Média	2,01	3,63	23,23	44,56
60-70	1,88	3,34	25,47	43,71
testemunha	2,01	3,58	21,51	43,85
Média	1,94	3,46	23,49	43,78

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 4.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Profundidades	Amostra	areia %	Areia fina	areia grossa	argila %	silte %
0- 5 trilha	1	16,8	2,05	14,75	60	23,2
	2	19,4	1,55	17,85	60	20,6
	3	25,36	5,42	19,94	45	29,64
5 – 10 trilha	4	23,65	2,9	20,75	59,5	16,85
	5	22	3,25	18,75	55	23
	6	21,8	5,3	16,5	42,5	35,7
10 – 20 trilha	7	22,15	2,5	19,65	57,5	20,35
	8	20,3	1,95	18,35	60	19,7
	9	23,26	4,94	18,32	35	41,78
20 –30 trilha	10	24,7	2,65	22,05	55	20,3
	11	19	2,45	16,55	60	21
	12	46,09	26,27	19,82	50	3,91
0 – 5 testemunha	13	22,9	2,9	20	55	22,1
	14	21,85	2,95	18,9	55	23,15
	15	31,9	5,83	26,07	25	43,11
5 – 10 testemunha	16	21,95	3,1	18,85	57,5	20,55
	17	23,75	3,8	19,95	57,5	18,75
	18	27,36	5,56	21,8	40	32,64
40 – 45 testemunha	19	23,6	3,95	19,65	55	21,4
	20	22,8	2,5	20,3	56,25	20,95
	21	27,05	6,45	20,6	42,5	30,45
45 – 50 testemunha	22	20,75	2,4	18,35	65	14,25
	23	19,95	2,95	17	65	15,05
	24	26,5	6	20,5	40	33,5
50 – 60 testemunha	25	22,15	3,2	18,95	60	17,85
	26	20,95	2,95	18	61,25	17,8
	27	22,55	6,15	16,4	60	17,45
60 – 70 testemunha	28	20,55	3,05	17,5	65	14,45
	29	18,5	2,1	16,4	62,5	18,7
	30	23,65	6,15	17,5	35	41,35
Área de deposição	31	70,8	9,5	61,3	20	9,2

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 4.2 – VALORES MÉDIOS DE GRANULOMETRIA

Amostra – profundidade		Areia total	Areia fina	areia grossa %	argila %	silte %
0-5	Trilha	20,52	3,01	17,51	55	24,48
5-10	Trilha	22,48	3,82	18,66	52,33	25,19
10-20	Trilha	21,9	3,13	18,77	50,83	27,27
20-30	Trilha	29,93	10,46	19,47	48,33	21,74
0-5	Testemunha	25,55	3,9	21,65	53,33	21,12
5-10	Testemunha	24,35	4,15	20,2	46,66	28,99
40-45	Testemunha	24,48	4,33	20,18	50,41	25,11
45-50	Testemunha	22,4	3,79	18,61	56,66	20,94
50-60	Testemunha	21,88	4,1	17,78	60,08	81,96
60-70	Testemunha	20,9	3,77	17,13	54,16	29,94

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 05 – TAXA DE COBERTURA VEGETAL

Cobertura vegetal						
Trilha				floresta		
Extensão 1		Extensão 2		Extensão 1		
Diâmetro (m)	Área (m²/ 100 m)	Diâmetro (m)	Área (m²/ 50 m)	Diâmetro (m)	Área (m²/ 50 m)	
15	176,62	10	78,5	10	78,5	
2	3,14	4	12,56	8	50,24	
1	0,78	12	133	30	706,5	
18	254,3	2	3,14	10	78,5	
30	706,5	1	0,78	25	490,6	
5	19,62	8	50,24	8	50,24	
14	153,8	20	314	12	113	
6	28,26	10	78,5	8	50,24	
18	254,3	15	176,62	5	19,62	
2	3,14	1	0,78	10	78,5	
4	12,56	10	78,5	20	314	
6	26,26	8	50,24	10	78,5	
7	38,46	1	0,78	10	78,5	
6	28,26	15	176,62	8	50,24	
5	19,62	8	50,24	2	3,14	
5	19,62			5	19,62	
20	314			20	314	
				1	0,78	
				18	254,3	
				4	12,56	
				3	7	
				14	153,8	
				9	63,5	
				3	7	
				9	63,5	
				4	12,56	
				-	-	
Cob / veg (m² / m)	41,18		24,09		51,49	
	(m²)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)
Total cobertura vegetal	2059,24	100	1204,5	100	3.148,94	100
Total dossel > 10 m de altura	1983,9	96,35	1189,6	98,77	2.738,70	86,97
Total dossel < 10 m de altura	75,34	3,65	14,9	1,23	410,24	13,03

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXOS 06 – DADOS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DE SEDIMENTOS

Sedimentos							
Amostra	tambor	Vol. Total (ℓ)	sedimento (g) / 50 ml	Sedimento g/ ℓ	total sedimentos (g)	Sedimentos (Kg)	total semana
1	verde	117	0,13	2,6	304,2	0,304	
2	vermelho	375	0,031	0,62	232,5	0,232	
3	azul	1896,3	0,021	0,42	796,44	0,796	1.332
4	verde	117	0,038	0,76	88,92	0,088	
5	vermelho	375	0,04	0,8	300	0,3	
6	azul	1671,5	0,013	0,26	434,59	0,434	0,822
7	verde	117	0,058	1,16	135,72	0,135	
8	vermelho	375	0,049	0,98	367,5	0,367	
9	azul	1654,8	0,014	0,28	463,34	0,463	0,965
10	verde	117	0,372	7,44	870,48	0,870	
11	vermelho	375	0,028	0,56	210	0,21	
12	azul	5935,8	0,019	0,38	2255,6	2,255	3.335
	0	0	0	0	0		0
13	verde	117	0,407	8,14	952,38	0,952	
14	vermelho	375	0,033	0,66	247,5	0,247	
15	azul	6677,6	0,025	0,5	3338,8	3,338	4.537
16	verde	117	0,191	3,82	446,94	0,446	
17	vermelho	375	0,051	3,72	382,5	0,382	
18	azul	2609,6	0,018	0,36	939,45	0,939	1.767
Subtotal	Verde	702,0					2.795
	Vermelho	2250,0					1.738
	Azul	20445,6					8.225
Total		23.397,12					12.758

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 07 – EROSÃO POR SALPICAMENTO

Remoção partículas do solo (g/0,07cm ²)	Remoção g/m ²	Estimativa da remoção de partículas na trilha (kg)
1,48	21,142	5,916
5,1	72,85	20,388
0,11	1,571	0,439
5,65	80,714	22,585
2,20	31,428	8,794

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 08 – CARACTERÍSTICAS DA TAXAS DE INFILTRAÇÃO

Tempo de Infiltração (min)	Leitura em (cm)		Lâmina infiltrada (cm)		Intervalo de tempo (min)	Taxa de infiltração (cm/h)	
	Trilha	Testemunha	Trilha	Testemunha		Trilha	Testemunha
0t	5,0	4,0	0	0	0	30	540
1t	5,5	13,0	0,5	9	1	24	312
2t	5,9	7,8	0,4	5,2	1	18	270
3t	6,2	12,3	0,3	4,5	1	18	186
4t	6,5	9,2	0,3	3,1	1	12	180
5t	6,7	12,2	0,2	3,0	1	12	117,6
6t	7,1	2,4	0,4	9,8	5	4,8	57
7t	7,7	11,9	0,6	9,5	10	3,6	55,2
8t	8,3	2,7	0,6	9,2	10	3,6	54,6
9t	8,8	11,8	0,5	9,1	10	3	47,4
10t	9,3	3,9	0,5	7,9	10	3	44,4
11t	9,7	11,3	0,4	7,4	10	1,8	44,4
12t	10,1	3,9	0,4	7,4	10	1,8	40,8
13t	10,4	10,7	0,3	6,8	10	1,2	39,6
14t	10,6	4,1	0,2	6,6	10	1,2	
15t	10,7		0,2		10	1,2	
16t	10,9		0,2		10	0,6	
17t	11,0		0,1		10	0,6	

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.

ANEXO 09 – COMPACTAÇÃO DO SOLO

compactação trilha (kg/cm²)											
cm	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	média
0-5	853,66	2,244	971	526,33	608	1018	1848	992,6	1041	1181,6	1128,41
5-10	853,66	1695,66	971,33	748,66	725	1017,66	1193,3	853,6	994,3	853,6	990,67
10-20	1031,6	1827,4	849,2	849,2	680,6	933,6	877	1031	773,2	758	961,08
20-30	1200,2	1797,4	968,8	1440	779	751	1073,8	1206,6	758	786	1076,08
30-40	1065,75	1720,2	1235,4	687,8	519,2	749	1172,2	1261,6	617,4	758	978,6
Compactação na área testemunha (kg/cm²)											
cm	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	média
0-5	690,33	456,3	186,66	351	536	468	549,66	549,66	631,66	467,3	488,65
5-10	760,3	631,66	549,33	268,66	619,66	444,33	760,33	690	690	467,66	588,19
10-20	842	666,8	751	329,8	589	631,6	687,8	610,6	624,6	491	622,42
20-30	786	772	702	568,6	659,8	798	863,4	772	763	736,8	742,16
30-40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Org. Feola, 2008, levantamento de campo.