EROSÃO SUPERFICIAL EM ENCOSTA ÍNGREME SOB CULTIVO PERENE E COM POUSIO NO MUNICÍPIO DE BOM JARDIM - RJ

Carlos André Ribeiro Mendes

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Cláudio Fernando Mahler, D. Sc.

Dr. Aluísio Granato de Andrade, D. Sc.

Prof[a]. Ana Luiza Coelho Netto, Ph. D.

Prof. Marcos Gervasio Pereira, D. Sc.

Prof. Mauricio Ehrlich, D. Sc.

Prof. Newton Moreira de Souza, D. Sc.

Prof. Roberto Francisco de Azevedo, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JANEIRO DE 2006

MENDES, CARLOS ANDRÉ RIBEIRO

Erosão Superficial em Encosta Íngreme sob Cultivo Perene e com Pousio no Município de Bom Jardim – RJ. [Rio de Janeiro] 2006

XI, 237 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2005)

Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Erosão superficial do solo

2. Modelagem matemática

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D. Sc.)

EROSÃO SUPERFICIAL EM ENCOSTA ÍNGREME SOB CULTIVO PERENE E COM POUSIO NO MUNICÍPIO DE BOM JARDIM – RJ

Carlos André Ribeiro Mendes

Janeiro/2006

Orientador: Cláudio Fernando Mahler
Programa: Engenharia Civil

O estudo da erosão superficial no Estado do Rio de Janeiro é de grande importância ambiental, considerando o predomínio do clima tropical em áreas montanhosas, solos pouco espessos e intensa produção vegetal. O objetivo deste trabalho consiste no estudo das perdas de solo por erosão superficial e suas componentes hidrológicas, em encosta com 60% de declividade, sob uso do sistema agroflorestal de pousio. O estudo foi realizado em uma microbacia no município de Bom Jardim, durante aproximadamente quatro anos, onde foram instaladas parcelas experimentais para o monitoramento destes processos e posterior calibração de modelos matemáticos. Foram registrados em torno de 40,0 ton/ha/ano de perdas de solo na parcela sob cultivo perene e 8,0 ton/ha na parcela com um ano de pousio florestal, com período crítico da erosão entre setembro e março. O modelo USLE, com revisões propostas por Nearing (1997), indicou uma diferença significativa entre os valores medidos em campo e simulados pelo modelo, apesar do R^2 = 0,98. O modelo WEPP neste estudo, analisou somente a simulação de eventos pluviométricos isolados, e mesmo com um R^2 = 0,60, obteve uma diferença não significativa entre os dados do modelo e total de 40 eventos observados nas parcelas. Apesar das práticas conservacionistas adotadas na região, constatou-se que o tempo utilizado nos cultivos e pousios nas parcelas, podem dificultar a manutenção dos recursos naturais nestes locais, comprometendo a estabilização destas encostas.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

EROSÃO SUPERFICIAL EM ENCOSTA ÍNGREME SOB CULTIVO PERENE E COM POUSIO NO MUNICÍPIO DE BOM JARDIM – RJ

Carlos André Ribeiro Mendes

January/2006

Advisor: Cláudio Fernando Mahler

Department: Civil Engineering

The study of the superficial erosion in the State of Rio de Janeiro is of great environmental importance, considering the prevalence of the tropical climate in mountainous areas, soils a little thick and intense vegetable production for food production. The objective of this work consists of the study of the soil losses for superficial erosion and their hydrologicals components, in hillside with 60% of steepness, under use of the system remaining in the Atlantic rainforest in fallow forest. The study was accomplished in a watershed in the municipal district of Bom Jardim, during approximately four years, where experimental portions were installed for the measurements of these processes and subsequent calibration of mathematical models. They were registered around 40,0 ton/ha/years of soil losses in the portion under perennial cultivation and 8,0 ton/ha in the portion with a year of fallow forest, with critical period of the erosion between September and March. The model USLE, with revisions proposed by Nearing (1997), it indicated a significant difference among the measured values in field and simulated for the model, in spite of R^2 = 0,98. The model WEPP in this study, analyzed only the simulation of isolated rainfall events, and even with a R^2 = 0,60, it obtained a difference no significant among the data of the model and total of 40 events observed in the portions. In spite of the conservationist practices adopted in the area, it was verified that the time used in the cultivations and fallow forest in the portions, they can hinder the maintenance of the natural resources in these places, committing the stabilization of these hillsides.

“Quando você tem uma meta, o que era obstáculo passa a ser uma etapa de seus planos”.

.

Gerhard Erich Boehme

Dedico este trabalho
à minha querida amada
Lanna Alves

Agradecimentos

Ao meu Senhor Deus, senhor nosso e criador de todas as coisas.

Aos meus pais Carlos Alberto Mendes e Glória Ribeiro, e meus irmãos José Alberto e Maria Angélica, por terem proporcionado oportunidades à minha formação acadêmica e profissional.

Ao prof. Cláudio Mahler, meu orientador, grande amigo, pelo acompanhamento, sugestões na realização da pesquisa e do desenvolvimento pessoal, e amizade dedicadas em todos os anos de mestrado e doutorado.

Ao Pesquisador Aluísio Granato, pelas valiosas discussões, orientações e questinoamentos levantados durante este trabalho.

Ao Centro Nacional de Pesquisas do Solos da Embrapa por ter possibilitado e apoiado a minha participação no curso de Doutorado.

Aos profs. Lombardi Neto e Marcílio Filho, pelas orientações e comunicação pessoal.

Ao Pesquisador Silvio Tavares, pela amizade e todo apoio, fundamentais em vários momentos desta trajetória.

Ao engenheiro Abdoul Aziz Diene, pela amizade e parceria profissional dedicadas neste e outros desafios.

A todos da família Mendes, pelo carinho, incentivo e confiança, em especial: a tia Ivonilde.

Aos todos os colegas de turma da Geotecnia, em particular: Adriana, Francisco, Mário, Antônio, Juliana, Julio, Saulo, Luis Carlos.

Aos funcionários da Embrapa Sr. Aroaldo Lopes (*in memoriam*), Sr. Lumbreiras e pessoal de apoio técnico.

Ao pessoal do Sítio cachoeira, Sr. Izaltino, Alexandre, Ricardo e famílias Sanden e Tardin.

Aos funcionários e técnicos da Coppe, Luis Carlos, França, Mauro, Carlinhos, Serginho, Élcio, Maria da Glória, Beth, Jairo, Rita, Raul, Marcelo, Bezerra, Telmo, Célio e Sassá.

Ao pessoal do Morgenlicht, Martina, Carlos, Chica e funcionários.

Aos meus amigos Gustavo, Carlinha, Edinho, Carla, Bia, Nordange, Mariana, Rogério, Luciano e Andréia Jardim.

Aos amigos do IGEO, prof. Nelson, Andréa Paula, Beto e Ivanilson.

A todos da Ecodinâmica, Sr. Geog e família Eharht, Lino e Simone, Júlia, Rodrigo, Marcelo e Antonino.

Aos membros da banca examinadora.

Ao Cnpq.

Agradeço ainda a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram na preparação deste trabalho.

CAPÍTULO I

1. Introdução..... 2
1.1. Revisão Bibliográfica..... 6
1.1.1. Erosão e Erodibilidade..... 6
1.1.2. Perdas de Solo..... 9
1.1.2.1. Métodos de Mensuração..... 13
1.1.3. Indicadores de Qualidade do Solo..... 14
1.2. Objetivos..... 16

CAPÍTULO II

2. Material e Métodos..... 19
2.1. Descrição da Área de Estudo..... 19
2.1.1. Localização..... 21
2.1.2. Geomorfologia..... 21
2.1.3. Vegetação..... 26
2.1.4. Solo..... 26
2.1.5. Clima..... 29
2.2. O Sistema Agroflorestal de Pousio..... 29
2.3. Caracterização Pedológica..... 32
2.3.1. Classificação – Perfis..... 33
2.3.2. Granulometria..... 35
2.3.3. Análise Química 35
2.3.4. Densidade do Solo – Massa Específica..... 36
2.3.5. Distribuição dos Agregados..... 37
2.3.6. Curvas Características de Retenção de Umidade..... 39
2.3.7. Condutividade Hidráulica..... 40
2.3.7.1. Permeâmetro de Laboratório..... 40
2.3.7.2. Permeâmetro de Guelph..... 41
2.3.8. Limites de Consistência..... 44

2.4. Parcelas de Perda de Solo..... 45
2.4.1. Seleção das Áreas de Estudo..... 46
2.4.1.1. Padrão Wischmeier..... 46
2.4.1.2. Padrão Bom Jardim..... 47
2.4.1.2.1. Instalação..... 49
2.4.1.2.2. Determinação da Extensão..... 49
2.4.1.2.3. Demarcação das Parcelas..... 50
2.4.1.2.4. O Coletor..... 51
2.4.1.2.5. Tubulação..... 53
2.4.1.2.6. Tanques..... 53
2.4.1.2.7. O Divisor..... 54
2.4.1.3. Procedimento de Amostragem nas Parcelas..... 56
2.4.2. Coberturas Vegetais Avaliadas..... 58
2.4.2.1. Milho..... 58
2.4.2.2. Feijão-Vagem..... 59
2.4.2.3. Feijão..... 59
2.4.2.4. Inhame..... 60
2.4.2.5. Banana..... 61
2.4.2.6. Pousio..... 62
2.4.2.6.1. Pousio com 6 meses a 1 ano de idade..... 62
2.4.2.6.2. Pousio com 2 a 3 anos de idade..... 63
2.4.2.7. Parcela Sem Cobertura Vegetal..... 65
2.4.3. Processamento dos Sedimentos..... 66
2.5. Instrumentação..... 69
2.5.1. Pluviômetros..... 69
2.5.2. Tensiômetros..... 69
2.5.3. Fluxo de Atravessamento..... 75
2.5.4. Papel Filtro..... 76
2.6. Ensaio de Inderbitzen..... 77

CAPÍTULO III

3. Modelagem..... 81

3.1. Equação Universal de Perda de Solo – USLE..... 83
(Modelo Empírico)

3.1.1. Fator Erosividade – R proposto..... 84

3.1.2. Fator Erodibilidade – K proposto..... 89

3.1.3. Fator Declividade/Extensão – SL discutidos..... 94

3.1.4. Fator Cobertura Vegetal/Manejo – CP tabelados..... 101

3.2. Modelos com Base na Equação da Continuidade..... 108
(Modelo Baseado em Processos)

3.2.1. Equação de Erosão Utilizada Pelo Modelo WEPP..... 110
(*Water Erosion Prediction Project*)

3.3. Tolerância das Perdas de Solo..... 115

CAPÍTULO IV

4. Resultados e Discussões..... 118

4.1. Caracterização Pedológica..... 118

4.2. Caracterização Hidrológica..... 137

4.3. Dinâmica da Água no Solo..... 139

4.4. Aspectos das Perdas de Solo..... 156

4.5. Correlações Chuva x Escoamento/Erosão..... 164

4.6. Simulação Numérica..... 169

4.7. Caracterização Química dos Sedimentos..... 175

4.8. Ensaios Complementares..... 177

CAPÍTULO V

5. Conclusões..... 187

5.1. Sugestões para Continuação da Pesquisa..... 191

Referências..... 192

Anexos..... 213

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Considerando as profundas transformações globais que vem ocorrendo a partir do final do século XX, nesse novo milênio há uma tendência da Universidade em ampliar o conhecimento teórico concebido através de toda infra-estrutura acadêmica. A aplicação prática desta produção científica são questões de grande interesse de toda sociedade moderna.

As questões relacionadas aos processos erosivos são motivos de muita preocupação em todo mundo. O uso indiscriminado do solo, através da intensificação das práticas agrícolas mecanizadas, associado aos desmatamentos, expansão urbana, construção e uso de estradas, são os principais agentes antrópicos causadores de grandes perdas de solo das paisagens. Fontes da FAO (2001), estimam que no Brasil, por ano, são perdidos aproximadamente 500 milhões de toneladas de solos através da erosão, e que juntos, Argentina, Bolívia, Brasil, Chile e Paraguai, apresentam 200 milhões de hectares de terras degradadas.

Nos locais onde ocorrem os processos erosivos, verifica-se a perda da capacidade produtiva do solo, devido à remoção dos horizontes superficiais. Por outro lado, os excedentes hídricos que chegam até a rede de drenagem das bacias hidrográficas transportam sedimentos, nutrientes e agroquímicos que contaminam as águas superficiais (Souto & Crestana, 2000). Esta forma de poluição difusa, ou seja, oriunda do escoamento superficial, é denominada também de poluição de origem não pontual.

Muitos grupos de estudos se propõem à mensuração da erosão superficial e seus processos condicionantes, dispondo-se de métodos diretos, baseados na coleta do material erodido, em campos experimentais e/ou em laboratório, ou ainda de métodos indiretos, por meio de modelagem matemática, dentre eles o que utiliza parâmetros empíricos, como o modelo da Equação Universal de Perda de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*) proposta inicialmente

por Wischmeier & Smith (1978), revista posteriormente por Renard *et.al*., (1991) e Nearing, (1997), abrangendo a erosão entressulcos (interravinar) e em sulcos (ravinar) de forma global, sendo consideradas constantes. A partir da década de 90, tem-se utilizado também, modelos com base em processos hidrológicos, como o Projeto de Predição da Erosão Hídrica (WEPP – *Water Erosion Prediction Project*), proposto por Elliot *et al*. (1989), no qual os parâmetros de erodibilidade entressulcos e em sulcos, são atribuídos como propriedades dinâmicas, alteráveis diante das modificações das superfícies geomorfológicas e demais condicionantes pedológicas.

O laboratório de Geotecnia do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, vem há mais de trinta anos desenvolvendo pesquisas sobre os processos erosivos atuantes nos solos tropicais. No período de 1975 a 1978, foi desenvolvida a pesquisa sobre “Estabilidade de Taludes” em parceria com o antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), onde foi introduzido no Brasil o ensaio de inderbitzen, proposto como ensaio geotécnico para avaliação da erodibilidade dos solos. Diversas áreas foram criadas ao longo deste tempo na intenção de aplicar suas pesquisas às necessidades sócio-econômicas de nosso país. No ano de 1996, foi criado o curso de Geotecnia Ambiental, constituindo um curso interdisciplinar no estudo da Mecânica dos Solos, com ênfase em questões como Transporte e Remediação de Contaminantes, Geohidrologia, Tratamento de Resíduos, etc. No estudo dos processos erosivos, tem havido interação entre a Engenharia Civil e outras áreas acadêmicas, proporcionado um aprofundamento dessa temática, e suas relações funcionais com os elementos bióticos, abióticos e antrópicos. Além da Geotecnia da COPPE/Ufrj, outros núcleos de Engenharia Civil mantêm pesquisas na área de erosão, como a Universidade de Brasília, a Escola de Engenharia de São Carlos, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Universidade Federal de Minas Gerais.

A partir de 2001, em parceria com o Centro Nacional de Pesquisa dos Solos da Embrapa, iniciamos um levantamento de indicadores de qualidade de solo e água em áreas degradadas da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, com recursos do Programa de Desenvolvimento de Tecnologias a Agricultura

Brasileira – PRODETAB. Foi estabelecida a estação experimental do “Sítio Cachoeira”, localizado no distrito de Barra Alegre, município de Bom Jardim, região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Esta aproximação destas unidades de pesquisa promoveu uma interface entre a Agronomia, a Geomorfologia e a Engenharia Civil, nos estudos de perdas de solo e água referentes a estas escolas.

Uma tendência natural dos estudos em Geotecnia é o desenvolvimento de uma modelagem matemática e numérica do fenômeno da erosão por fluxo superficial. Os elementos principais que compõem este modelo são: a estimativa das tensões hidráulicas atuantes pelo fluxo superficial a partir de condicionantes hidrológicas e da infiltrabilidade do solo; a resistência à erosão prevista pela coesão dos solos superficiais e sua variação com a saturação do terreno; a estimativa da perda de solo resultante com base nos dados de taxa de erodibilidade, obtidos em ensaios de laboratório como o ensaio de inderbitzen (Bastos *et al*, 2001).

O presente trabalho consiste em uma Tese de Doutorado, que tem como proposta indicar um procedimento prático e teórico no estudo da erosão superficial na região Serrana do estado do Rio de Janeiro. Nesta região ocorrem as principais áreas remanescentes de Mata Atlântica do estado, sob relevo movimentado, com solos pouco espessos e ocorrência de chuvas tropicais torrenciais. Pretendeu-se investigar os processos de erosão superficial em declividade elevada e a relação da cobertura vegetal com estabilidade da encosta. A avaliação prática foi conduzida em uma estação experimental no distrito de Barra Alegre, pertencente ao município de Bom Jardim, onde foram feitas a caracterização ambiental, mensuração das perdas de solo e seus componentes hidrológicos por meio da montagem de parcelas experimentais padrão Wischmeier & Smith (1959). O estudo foi realizado entre 2001 e 2004, correspondendo como o primeiro diagnóstico feito nesta área. A estação localizava-se na cabeceira de drenagem de uma microbacia onde é praticado o sistema agroflorestal de pousio (sistema com mão-de-obra familiar, que utiliza diferentes formas de cultivos para produção de alimentos como oleráceas, banana, café, etc., e áreas de descanso florestal após uso do solo), cobertura

vegetal predominante na região. A avaliação teórica, foi conduzida nos laboratórios da Geotecnia, Embrapa e Geociências da UFRJ, onde buscou-se indicar um procedimento de caracterização pedológica com base na metodologia utilizada pela Embrapa e pela ABNT, bem como a calibração do modelo empírico da Equação Universal de Perda de Solo – USLE, e suas revisões, e modelo matemático Projeto de Predição da Erosão Hídrica – WEPP, que usa a equação da continuidade, com base nos valores medidos em Bom Jardim. O processo de calibração contou ainda com dados da pesquisa realizada no município Paty do Alferes coordenada pela Embrapa e UFRRJ, no período de 1994 a 1996. Nesta região é praticado o uso agrícola convencional do solo, cujas características geomorfológicas são semelhantes às observadas em Bom Jardim. No ajuste e processamento dos dados requisitados pelos modelos abordados, utilizou-se uma interação entre parâmetros agronômicos, hidrológicos e geotécnicos, procedendo-se simulações entre o uso destes recursos ambientais (práticas de cultivos) e as relações com a erosão nas encostas, indicando propostas conservacionistas na condução destas atividades.

Em ultima análise, deve-se considerar que nenhum método de pesquisa em erosão possui abrangência o suficiente para ser utilizado exclusivamente e fornecer resultados sólidos e amplos para tomada de decisões em atividades conservacionistas e/ou de reabilitação de áreas degradadas pelo processo erosivo (Lane, *apud* Machado 2002). Ou seja, são métodos de abrangência limitada e alguns deles quantificam apenas parte do processo erosivo, o qual é formado por uma complexa interação de vários fatores climáticos, pedológicos, antropológicos e de outras naturezas. O ideal é a utilização de métodos que se complementam e, juntos, possibilitam uma compreensão global mais próxima da realidade. Segundo Tucci (1993), trata-se de uma metodologia muito complexa, da qual não se podem esperar resultados muito precisos.

1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1.1. EROSÃO E ERODIBILIDADE

O processo erosivo é constituído basicamente de três eventos seqüenciais caracterizados pelo desprendimento das partículas dos agregados do solo, o transporte e a deposição das partículas carreadas nas seções inferiores das paisagens. Esse destacamento e transporte é causado pela ação das gotas de chuvas e da força cisalhante do escoamento superficial, constituindo a fase inicial e mais importante da erosão hídrica (Bastos *et al*., 2001). Os mecanismos erosivos podem ocorrer também através do transporte de partículas por fluxos subsuperficiais ou, ainda, por movimentos de massa mais complexos. A cobertura vegetal exerce um papel protetor do solo, fazendo com que a remoção de solo seja lenta, sendo compensada pelos processos de formação do solo. Além disso, os vegetais correspondem aos elementos naturais de estabilização de encostas, promovida principalmente pela ação das raízes. Solos expostos, onde se efetuou a remoção total da cobertura vegetal, são ambientes de grande geração de fluxos superficiais, uma vez que não são encontrados os elementos e mecanismos que definem a condição de infiltração da água para a subsuperfície (Coelho Netto, 2003).

A erosão superficial é o primeiro estágio do processo erosivo, evoluindo conforme as ravinas são formadas, podendo culminar na formação de voçorocas, compreendendo o estágio terminal do processo. Ela é responsável pela remoção das partículas coloidais e dos íons em solução, reduzindo seu potencial produtivo de biomassa, pela baixa fertilidade. Segundo Guerra (1998), conforme a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, inicia-se o escoamento superficial. A água acumula-se em depressões na superfície do solo (microtopografia), até que começa a descer a encosta, através de um lençol, podendo evoluir para uma ravina. Este fluxo passa a ser linear, produzindo microravinas e microravinas com cabeceiras. Ao mesmo

tempo em que essa evolução vai se estabelecendo na superfície do terreno, pode ocorrer também o desenvolvimento de bifurcações, através dos pontos de ruptura das ravinas.

A erosão em encostas pode ser entendida como o produto da energia potencial da chuva, pela resistência dos componentes ambientais (solo, topografia, coberturas vegetais e práticas agrícolas). Em linhas gerais, os processos erosivos podem ser classificados em dois tipos básicos: erosão natural (também chamada de erosão geológica) e erosão acelerada (FAO, 1967).

Na erosão natural, o solo encontra-se sob cobertura vegetal nativa, ocorrendo às perdas de solo de maneira lenta e gradual. Este tipo de erosão tem ocorrido por milhares de anos. Na erosão acelerada, ocorre a interferência antrópica, causada pela remoção da cobertura vegetal endêmica e introdução de espécies vegetais de interesse agrícola, geralmente monoculturas, tornando a estrutura do solo vulnerável à ação de ventos e de chuvas (FAO, 2001).

A substituição da floresta natural por um outro tipo de uso do solo, além de acarretar a aceleração dos processos erosivos, promove um desequilíbrio na ciclagem de nutrientes via deposição e decomposição da serrapilheira, afetando o desempenho de todo o ecossistema (Andrade, *et al.*, 2000; e Drumond, 1996).

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

O significado de erodibilidade do solo é diferente de erosão do solo. A intensidade de erosão de uma área qualquer pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, do que pelas propriedades do solo. Contudo, alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença, devido às

propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (Schwab, *apud* Rego, 1978). As propriedades do solo que influenciam a erosividade pela água são: as que afetam a velocidade da infiltração da água do solo, a permeabilidade e a capacidade de retenção da água; aquelas que resistem à capacidade de dispersão ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada (Guerra, 1995).

A erodibilidade pode ser definida como a susceptibilidade do solo à erosão superficial, de modo que as partículas de solo são destacadas dos agregados e transportadas pela ação por fluxo hídrico superficial concentrado. A erodibilidade é uma das propriedades de comportamento dos solos de maior complexidade pelo grande número de variáveis intervenientes. Estudada por diferentes áreas do conhecimento (Agronomia, Hidráulica, Geomorfologia, Geologia de Engenharia e Engenharia Geotécnica), tem no meio geotécnico grande interesse na sua quantificação e entendimento dos mecanismos envolvidos (Lane, *et al*., 1992).

A busca de relações entre a erodibilidade dos solos e outras propriedades geotécnicas de solos tropicais e subtropicais brasileiros, o desenvolvimento de técnicas e ensaios e de critérios de avaliação da erodibilidade constituem os principais objetivos dos trabalhos de pesquisa presentes na literatura técnica. A metodologia estabelecida pela Mecânica dos Solos, adequada para caracterizar estes processos, é ainda insuficiente no entendimento e na quantificação do potencial da erosão (Bastos *et al.*, 2001). Os autores analisando a suscetibilidade dos solos residuais não saturados, expostos à ação da erosão hídrica por fluxo superficial, propuseram a realização da investigação de duas propriedades geomecânicas: colapsibilidade e coesão. Santos e Castro *(apud* Rego, 1978), relaciona como principais propriedades relacionadas à erodibilidade do solo, a expansibilidade, a distribuição granulométrica e a plasticidade dos solos.

Considerando a erodibilidade apenas como um parâmetro do solo, várias têm sido as tentativas, no sentido de correlacionar algumas propriedades físicas e/ou químicas do solo, como um índice indicativo da sua susceptibilidade a

erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 1993). Nas áreas interravinares (entressulcos) o impacto das gotas de chuva, gera energia capaz de desagregar e transportar as partículas de solo (Braida e Cassol, 1996). Nas áreas ravinares (sulcos), os fluxos hídricos concentrados, geram forças de cisalhamento capaz de instabilizar os agregados do solo, transportando-os através a interface solo-água (Foster, 1982).

Diferentes classes de solos podem apresentar susceptibilidade diferenciada à erosão superficial, mesmo para condições semelhantes de topografia, cobertura vegetal e práticas de manejo. Essas diferenças são devidas às propriedades do próprio solo e são denominadas de erodibilidade do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1993).

1.1.2. PERDAS DE SOLO

Nos ambientes tropicais, a erosão superficial é responsável por grandes perdas de solo. Seu início ocorre com o impacto da gota de chuva sobre uma superfície desprotegida de cobertura vegetal, causando a ruptura dos agregados, o transporte das partículas, através do escoamento superficial e a deposição nas áreas mais baixas do relevo, tais como rios, lagos, reservatórios, etc. Segundo Schawb (*apud* Rego, 1978), o impacto das gotas de chuva contra a superfície do solo pode jogar os grãos superficiais a uma distância de até 0,6 m de altura, e 1,5 m lateralmente do ponto de impacto da gota, obviamente dependendo do tamanho da gota e da partícula do solo.

Estas características de desagregabilidade e transportabilidade das partículas do solo, em geral são funções do tamanho das partículas do solo. Quanto maior o tamanho das partículas, maior sua desagregabilidade, e quanto menor seu tamanho, maior sua transportabilidade. Em vista disto, pode-se dizer que as argilas são mais facilmente transportadas que as areias, e as areias mais facilmente desagregadas que as argilas. Ainda sobre isto, Nascimento (1998), relaciona a desagregabilidade com a coesão e a transpostabilidade das partículas.

Devido à grande distinção nas condições de superfície em que ocorrem os fluxos superficiais interravinares e ravinares, o estudo em separado desses processos permite o melhor entendimento dos mecanismos da erosão hídrica. Esta separação facilita o desenvolvimento de modelos fundamentais que descrevam as perdas de solo e auxiliem no estudo de práticas de controle da erosão (Braida e Cassol, 1996). Nos processos interravinares, o destacamento das partículas do solo é quase que inteiramente realizado pelo impacto das gotas de chuva. O fluxo superficial só é capaz de transportar as partículas menores, mas o salpico pode arrastar partículas maiores, aumentando significativamente a capacidade de transporte do fluxo (Foster, 1982; Braida e Cassol, 1996).

Nos entressulcos, o impacto das gotas de chuva é o fator responsável pela desagregação das partículas da massa do solo, podendo desagregar grandes quantidades de partículas decorrentes da energia cinética das gotas, que exercem forças de pressão e cisalhamento no ponto de impacto. O transporte das partículas desagregadas é realizado, quase exclusivamente, pelo fluxo laminar raso, o qual é auxiliado em muito pela turbulência produzida pelo impacto das gotas de chuva, suspendendo e mantendo suspensas as partículas de solo (Foster *et al*., 1985).

Amorim *et al*. (2001), se refere a essa forma de erosão como sendo a erosão entre sulcos, diferindo-a da erosão em sulcos, que se caracteriza pela formação de pequenas irregularidades no sentido da declividade do terreno, fazendo com que o escoamento superficial se concentre nos pontos mais baixos, atingindo volume e velocidade suficientes para formar canais mais ou menos profundos

Do ponto de vista geomorfológico, o conhecimento do comportamento hidrológico - erosivo é fundamental para o planejamento e gestão voltados para o aproveitamento hídrico de cabeceiras de drenagem e ao manejo ambiental de áreas de montanhosas, principalmente, quando decorrentes de intervenções humanas degradantes. Contudo, é necessário maior conhecimento de elementos ambientais obtidos em campo, disponibilizando dados para que

possa ser feita a comparação entre áreas sob diferentes intervenções (Coelho Netto & Avelar, 1996).

A taxa de perda de solos por erosão é resultado da combinação de mudanças nas características e propriedades do solo, na topografia e na cobertura vegetal, tendo como conseqüência a alteração da capacidade de transporte do escoamento superficial (Lal, 1988), conduzindo a diferentes taxas de perda de solo. Tucci (1993) sugere que a qualidade de água dos mananciais que compõem uma bacia hidrográfica está relacionada com o uso do solo na bacia e com o grau de controle sobre as fontes de poluição.

Em condição de relevo montanhoso, como apresentado em Bom Jardim, as encostas sob declividades elevadas, favorecem a remoção permanente de materiais intemperizados, apresentando um alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão (Dantas, 2001). Declividade e perda de solo estão interligados entre si. Quanto maior for a declividade maior será a velocidade com que a água irá escorrer, conseqüentemente, maior será o volume carreado devido a força erosiva. O comprimento da rampa têm forte ligação com o aumento ou não da erosão. A medida em que aumenta o comprimento da rampa, maior será o volume de água, aumentando também a velocidade de escoamento. Em alguns casos o comprimento da rampa diminui o efeito erosivo, considerando-se que a capacidade de infiltração e a permealibidade do solo reduz o efeito.

Os solos apresentam capacidade diferenciada em resistir à ação dos agentes erosivos. Esta característica é denominada erodibilidade do solo. Dentre as propriedades do solo que interferem na erodibilidade, podem-se destacar: a estrutura, a estabilidade dos agregados, o teor de Matéria Orgânica e a taxa de infiltração de água (Silva, 1997). Estas propriedades, por serem dinâmicas, podem ser alteradas ao longo do tempo e sob diferentes tipos de uso do solo.

Estudos realizados por Lombardi Neto e Bertoni (1975), no Estado de São Paulo para dois agrupamentos de solos, identificaram uma maior susceptibilidade a erosão da classe dos ARGISSOLOS, em relação à classe dos LATOSSOLOS. Nesse estudo, foram consideradas para cada horizonte as

seguintes propriedades: argila natural, argila dispersa e umidade equivalente, tendo sido estudados somente os horizontes A e B de solos com B Textural e B Latossólico. As seguintes relações foram estabelecidas: relação de dispersão, definida como a relação teor de argila natural igual a dispersa em água; relação argila dispersa/umidade equivalente; relação de erosão, razão entre a relação de dispersão e a relação argila dispersa/umidade equivalente. A conclusão deste estudo foi que os solos que apresentam horizonte B Textural tem comportamentos diferenciados em relação aos solos de horizonte B Latossólico, portanto as formas de usos destes solos, devem ser diferentes nessas duas classes.

Para fins de planejamento conservacionista e uso dos solos, Mafra (1997) propôs uma hierarquia de classes de solo com a finalidade de indicar as condições de erodibilidade. Os ARGISSOLOS com horizonte B Textural, sem caráter abrupto, ou seja, sem descontinuidades texturais e estruturais bastante marcadas nos perfis, corresponderam à classe de solos com moderada erodibilidade. Os ARGISSOLOS com caráter abrupto, foram reunidos na classe dos solos com moderada a alta erodibilidade. Já os CAMBISSOLOS, agruparam à classe de solos com alta erodibilidade. Pelos dados da EMBRAPA, (1999), ambas as classes, ARGISSOLOS e CAMBISSOLOS, predominam na área de estudo.

1.1.2.1. MÉTODOS DE MENSURAÇÃO

Os métodos de mensuração das perdas de solo podem ser variados, devendo-se procurar obter uma padronização dos delineamentos, para efeito de comparações posteriores entre processos localizados. Em resumo, os métodos podem ser: sistemas de parcelas (talhões) coletoras para determinação das perdas de solo e água, em condições de precipitações naturais, nas quais são montadas nas mais variadas classes de solos, coberturas vegetais (culturas agrícolas) típicas, submetidas às práticas de conservação e manejo nestes solos; possibilidade utilização de simuladores de chuvas nestas parcelas; estudos de pequenas bacias hidrográficas homogêneas, onde o tratamento com práticas simples de controle de erosão é determinado na quantidade e qualidade das perdas de solo; construção de lisímetros para estudar o movimento da água na superfície e ao longo do perfil de solo, a absorção e evapotranspiração; estudos sobre aspectos botânicos de espécies vegetais como gramíneas e leguminosas na utilização de áreas de risco à erosão como canais, travamentos e estabilização de taludes de corte e aterro.

As parcelas coletoras de perdas de solo e água pela erosão têm sido bastante utilizadas em vários países. Grande parte dos trabalhos realizados nos Estados Unidos da América do Norte utiliza parcelas com dimensões de 4,0 m de largura por 25 m de comprimento, correspondendo a uma área de 100 m^2 (USDA, 2001). Também é comum encontrar parcelas com dimensões de 1,8 m de largura por 22,0 m de comprimento, correspondendo a uma área de 40 m^2. As parcelas são cercadas por lâminas de metal ou madeira, cravadas a 15 ou 20 cm de profundidade, ficando na superfície de 10 a 15 cm de altura, limitando a área de atuação destes talhões. Os tanques coletores do material removido, localizados na parte inferior das parcelas, são construídos de metal ou concreto armado, armazenando os volumes de enxurrada e solo erodido. O primeiro tanque concentra as partículas mais grossas de solo e todo o material sedimentado. O excesso passa por um divisor onde uma fração (alíquota) é conduzida para um segundo tanque, denominado tanque de armazenamento. O divisor conhecido como GEIB (Geib, 1933), possui várias janelas que sempre se dividem em números ímpares, onde apenas uma fração localizada no meio,

chega até o tanque de armazenamento. As demais partes, iguais em cada lado, funcionam como vazadouro do sistema.

No Brasil, os primeiros sistemas coletores para a determinação das perdas de solo, foram instalados em 1942, na antiga Escola de Agricultura de Minas Gerais, atual Universidade Federal de Viçosa (Bertoni, 1949). Em São Paulo, a primeira instalação de perda de solo iniciou-se em 1944, na estação experimental de Pindorama, pertencente ao Instituto Agronômico de Campinas, seguida por instalações em Campinas, Mococa e Ribeirão Preto. No Rio de Janeiro, trabalhos desenvolvidos pela EMBRAPA, UFRRJ e PESAGRO (DESUSMO - Desenvolvimento Sustentável de Sistemas Agrícolas em Terras Montanhosas de Baixa Fertilidade com Pastagens na América do Sul), Instituto de Geociências da UFRJ (Guerra, A.J.; Fernandes, N.F.), Geoheco/Ufrj (Coelho Netto, A.L. & Avelar, A.S), Geotecnia COPPE/Ufrj (Rego, J., 1978) e Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Anjos, L. H. & Pereira, M. G) são alguns dos centros de pesquisa que contribuíram com o aprofundamento dos estudos sobre perdas de solo e os elementos que compõem todo este processo.

1.1.3. INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

O conceito de qualidade do solo começou a ser elaborado no início dos anos 90 e percepções diferenciadas surgiram desde que o tema foi proposto. O principal avanço foi o aceite da sociedade à importância de avaliar a qualidade do solo. Doran e Parkin (*apud* Conceição, 1996), consideram que um indicador de qualidade de solo eficiente, deve ser sensível às variações do uso e manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, compreensível e útil aos usuários do campo, de mensuração fácil e barata. Preferencialmente, devem ser mensurados a campo ou em condições que reflitam a real função que desempenham no ecossistema. São requeridas como características desejáveis em um bom indicador: ser de fácil avaliação, permitir a definição de limites de sustentabilidade, relacionar-se bem com a qualidade do solo,

apresentar compatibilidade amostral que permita o seu monitoramento como rotina, além de ser de fácil interpretação (Santana, 1999).

Os indicadores podem ser classificados em: visuais (cor do solo, sinais de erosão, etc.), físicos (densidade, porosidade, estabilidade de agregados, etc.), químicos (pH, salinidade, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, etc.) e biológicos (atividade microbiana, fauna edáfica, taxas de decomposição, etc.) que devem ser utilizados em conjunto por apresentar diferentes leituras do manejo adotado. Assim, os indicadores do solo adotados foram selecionados levados em conta os riscos de erosão superficial. O próximo passo é a escolha dos indicadores, que devem ser definidos como um bom indicador, demandando bastante cuidado na sua escolha (Turco e Blume, 1999; De-Polli e Guerra, 1998).

Conceição *et al*. (2002), comenta sobre a organização de um “Kit Teste de Qualidade do Solo”, desenvolvido por parte do Departamento de Solos dos Estados Unidos (USDA), que proporcione um diagnóstico em campo, rápido e confiável, permitindo ao extensionista ou produtor rural, a obtenção de dados que auxiliem na tomada de decisões. Nesse “Kit”, são avaliados atributos como: infiltração, estabilidade de agregados, pH, densidade, teor de nitrato, condutividade elétrica, presença de minhocas e qualidade da água.

A estrutura do solo é um dos atributos mais importantes para a adaptação das espécies e pode ser avaliada a partir da densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e permeabilidade, entre outros (Andrade *et al*., 2000). Estes atributos podem ser utilizados como indicadores de adensamento, compactação, encrostamento e suscetibilidade do solo à erosão, subsidiando o controle da perda da produtividade e da degradação ambiental.

Para avaliação da qualidade do solo em Bom Jardim, foram analisados os atributos textura, grau de dispersão das argilas, densidade, plasticidades, porosidade, carbono orgânico, infiltração, permeabilidade, pH e estabilidade dos agregados.

A química do solo, teor de Matéria Orgânica, complexo sortivo, saturação de bases, será utilizada neste trabalho como indicador das alterações decorrentes do sistema de corte e queima, bem como potencial de ciclagem ou imobilização de nutrientes pelos sistemas de cultivos e pousio. O fornecimento contínuo de material orgânico pela serapilheira e/ou por excreções radiculares, cujos subprodutos são constituídos por moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atuando como agente de formação e estabilização dos agregados, o que proporciona uma melhor estruturação do solo (Campos *et al*., 1995).

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consisti em realizar o monitoramento em campo das perdas de solo, escoamentos superficiais e componentes hidrológicos, utilizando-se parcelas experimentais e instrumentação, montadas em uma encosta íngreme, sob uso de cultivos de espécies agrícolas perenes e pousio florestal, em área rural pertencente ao município de Bom Jardim, RJ, promovendo ajustes e calibrações em modelos matemáticos que simulam processos de erosão superficial, dando subsídios para futuras investigações técnicas no entorno da área estudada, ou em demais regiões do estado do Rio de Janeiro com mesmas estruturas geomorfológicas.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Diagnosticar os eventos pluviométricos e suas interações com as propriedades do solo e da dinâmica hidrológica sob diferentes formas de coberturas vegetais;

- Monitorar sistematicamente as perdas de solo e escoamentos pluviais, a partir da montagem de parcelas experimentais situadas ao longo da encosta, sob uso de coberturas vegetais para produção de alimentos e descanso pós-cultivo (capoeira – fragmento de Mata Atlântica);

- Utilizar o modelo empírico R-USLE (*Universal Soil Loss Equation Revisied*) e suas revisões subseqüentes, para estimar as perdas de solo, estabelecendo fatores de erosividade (R), erodibilidade (K) e topografia (LS), por meio de calibrações com os dados gerados pelo monitoramento nas parcelas montadas na encosta, gerando simulações de perdas de solo em ton/ha/ano;

- Utilizar modelo baseado em processos físicos WEPP (*Water Erosion Prediction Project*), calibrado pela caracterização ambiental da área de estudo, correlacionando às simulações de eventos pluviométricos isolados geradas pelo modelo, com os dados registrados nos pluviômetros;

- Avaliar e selecionar parâmetros físicos e químicos do solo, utilizando metodologias da ABNT e Embrapa, correlacionando com os processos de erosão superficial atuantes na encosta, considerando a qualidade e precisão da informação, bem como facilidade e custo operacional;

- Contribuir para a formação do banco de dados de perdas de solo no Estado do Rio de Janeiro, fundamental para a utilização de métodos numéricos posteriores;

- Estabelecer uma aproximação dos dados gerados nesta área de pesquisa e outras localidades próximas, identificando correlações práticas e comuns entre suas abordagens dos processos e componentes erosivos. A avaliação desses procedimentos, identificação, coleta, manuseio e interpretação dos resultados de campo e laboratório, será útil na indicação de uma análise integrada dos processos erosivos atuantes na região.

CAPÍTULO II

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Bom Jardim, localizado na região serrana do estado do Rio de Janeiro, é um dos maiores produtores de oleráceas[1] da região. Por outro lado, de acordo com a EMATER (Empresa de Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro), a região se caracteriza por ser uma das mais importantes consumidoras de agrotóxicos do país. É também na região serrana onde se constata a maior extensão e o maior percentual de florestas em relação à sua área total, situação privilegiada devido às condições de relevo montanhoso, geralmente impróprio para o uso agrícola. Outro fato que também deve ser citado, é nessa região de Mata Atlântica, denominada Serra do Mar, onde ocorrem as principais fontes dos mananciais que abastecem a cidade do Rio de Janeiro, trecho do vale do rio Paraíba do Sul e outras áreas do Estado nas baixadas próximas à Serra, como Macaé, Campos e Região dos Lagos.

A Mata Atlântica constitui um dos Biomas mais ameaçados pela devastação. Sua área de ocorrência foi extremamente reduzida como resultado de cerca de 500 anos de exploração de atividades econômicas, tais como o pau-brasil, a cana-de-açúcar, o café e a pastagem. A expansão da ocupação urbana - industrial, juntamente com a falta de planejamento de uso do solo e a aplicação de práticas agrícolas inadequadas têm preocupado diversos setores que buscam manter os fragmentos florestais que ainda se encontram conservados.

De acordo com a SOS Mata Atlântica/INPE/ISA (2001), atualmente o Estado do Rio de Janeiro está ocupado por apenas 17% de Mata Atlântica, cujos remanescentes localizam-se, em sua maioria, em áreas de Terras Montanhosas. De acordo com Ross (1996) as Terras Montanhosas são as unidades morfológicas cujos solos estão mais susceptíveis à processos de perda, sobretudo por erosão. Segundo Carvalho Filho, *et al*., (2001) as Terras

[1] Oleráceas – espécies vegetais de cultivos temporários e importância econômica, como milho, batata, mandioca, inhame, feijão, etc.

Montanhosas compreendem cerca de 81% do Estado do Rio de Janeiro, enquanto que as Terras Baixas constituem cerca de 14% do percentual de ocorrência no estado.

As classes de solos de maior ocorrência na unidade morfológica do estado do Rio de Janeiro compreendida pelas Terras Montanhosas são os ARGISSOLOS VERMELHO AMARELO, os LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO e os CAMBISSOLOS, respectivamente (Mafra, 1997).

O município de Bom Jardim encontra-se na área sob domínio das Terras Montanhosas, com classes de declividades das encostas variando entre 20-30% a 60-70% (Ross, 1996). Nesta área, assim como em toda região serrana, a agricultura é praticada nas encostas dos estreitos vales, até as cabeceiras de drenagem. A característica topográfica de relevo montanhoso nas bacias hidrográficas e o intenso regime pluviométrico, potencializam os processos erosivos, intensificando as perdas de solo, além do carreamento de agrotóxicos e de fertilizantes para os rios, causando poluição e contaminação ambiental.

Na área de estudos, os principais tipos de uso do solo são o cultivo rotacionado de olerícolas (inhame, batata, mandioca, milho e feijão), o cultivo permanente de banana e café, a pastagem, o pousio florestal com 3 a 5 anos (talhões onde ocorrem a regeneração natural da Mata Atlântica), e áreas com mais de 70 anos de idade.

2.1.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se no Sítio Cachoeira, de propriedade do Sr. Antônio Izaltino Tardin, nas coordenadas geográficas 22º 09' 62" S e 42º 17' 14" W e altitude em torno de 900 m, Barra Alegre, no 4º distrito do município de Bom Jardim, região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (Figura 2.1).

2.1.2. GEOMORFOLOGIA

O Estado do Rio de Janeiro contém uma grande diversidade de paisagens e usos da terra. Possui uma área de 43.909,7 Km^2 de extensão (CIDE, 1997), sendo 81 % de sua superfície compreendida dentro do domínio de *Terras Montanhosas*, cujas unidades morfológicas apresentam formas denudacionais, ou seja, são susceptíveis a processos de perda, sobretudo por erosão superficial (Ross, 1996).

Esta região está enquadrada na unidade geomorfológica do reverso das colinas e maciços costeiros do Planalto da Serra dos Órgãos. Apresenta litologia metamórfica e tipos de rochas predominantes como granito, gnaisse granitóide, migmatitos e associações (FAPERJ, 1980).

Trata-se de uma das mais importantes unidades geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2001). Esse extenso planalto situa-se no reverso da Serra do Mar, entre as serras de Miguel Pereira e do Couto, a oeste, e a serra do Desengano, a leste. Prolonga-se, a norte, até a escarpa reversa do Planalto da Região Serrana, próximo ao gráben do médio-baixo curso do rio Paraíba do Sul (Figura 2.2). De sul para norte, pode-se individualizar três unidades morfológicas distintas no Planalto Reverso da Região Serrana, ressaltando uma gradativa redução das amplitudes de relevo, em direção ao Vale do Paraíba: uma escarpa reversa logo após a linha de cumeada da escarpa da Serra do Mar, sendo esse relevo expressivo principalmente no Reverso da Serra dos Órgãos, entre as cidades de Petrópolis e Nova Friburgo.



Fonte: Portal do Cidadão
www.bomjardimrj.com.br



Fonte: Portal do Cidadão
www.bomjardimrj.com.br



Fonte: Portal do Cidadão
www.bomjardimrj.com.br

Figura 2.1. Localização da área de estudo: distrito de Barra Alegre, zona rural do município de Bom Jardim, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.

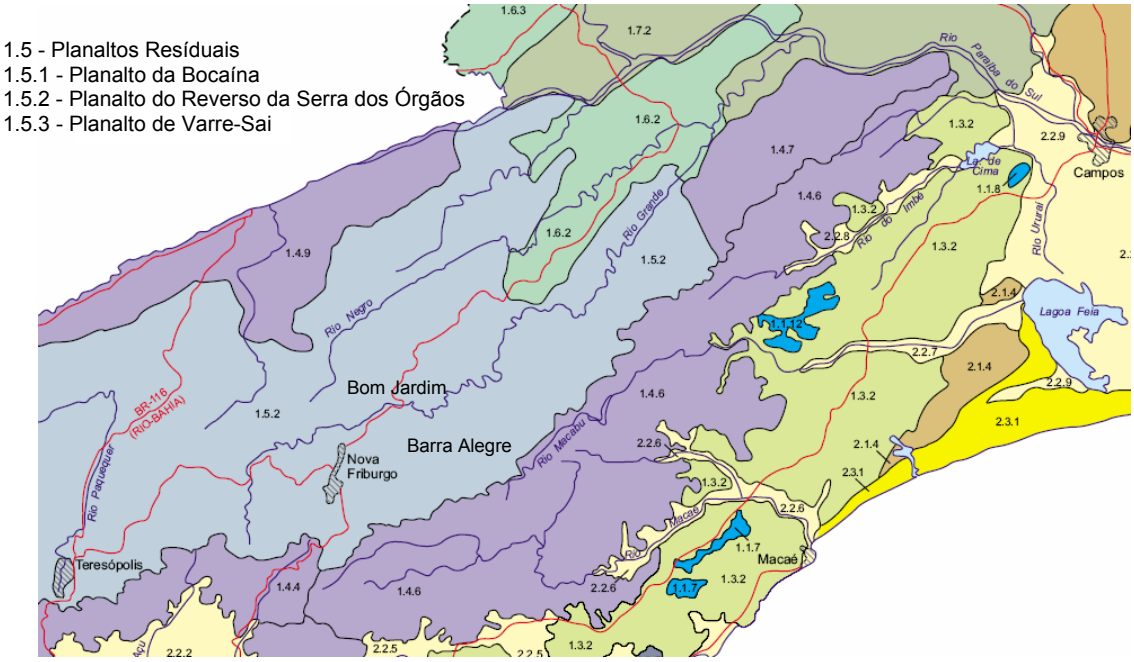


Figura 2.2. Mapa de Unidades Geomorfológicas da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. (modificado de CPRM, 2001).

A unidade é definida, predominantemente, pelos sistemas de Relevo Domínio de Morros Elevados e Domínio Montanhoso, que, gradualmente, substitui o relevo acidentado de vertentes íngremes e rochosas do domínio montanhoso por um relevo de amplitudes de relevo menores e vertentes menos íngremes, apresentando, contudo, um relevo bem mais movimentado que o ambiente colinoso. Um aspecto relevante no planalto da Região Serrana é a ocorrência de alvéolos de relevo suave, subordinados ao domínio montanhoso. Destacam-se nesse setor montanhoso do planalto os núcleos urbanos de Bom Jardim, Monnerat, Amparo, São José do Ribeirão, Barra Alegre, Dr. Elias, Trajano de Moraes, Visconde de Imbé, Manuel Moraes, São Sebastião do Alto e Santa Maria Madalena, e, nos terrenos menos elevados, as localidades de Duas Barras, Cordeiro, Cantagalo, Santa Rita da Floresta, Euclidelândia e Macuco.

As bacias dos rios Grande e Negro, formadores do rio Dois Rios, drenam praticamente toda essa porção do planalto. Assim como os rios das Areias e do Quilombo, que drenam uma pequena extensão do trecho menos elevado do planalto diretamente para o rio Paraíba do Sul. Nesse trecho do planalto, a

escarpa reversa da Serra do Mar é menos expressiva e o domínio montanhoso é menos elevado que na porção central (Figura 2.3).

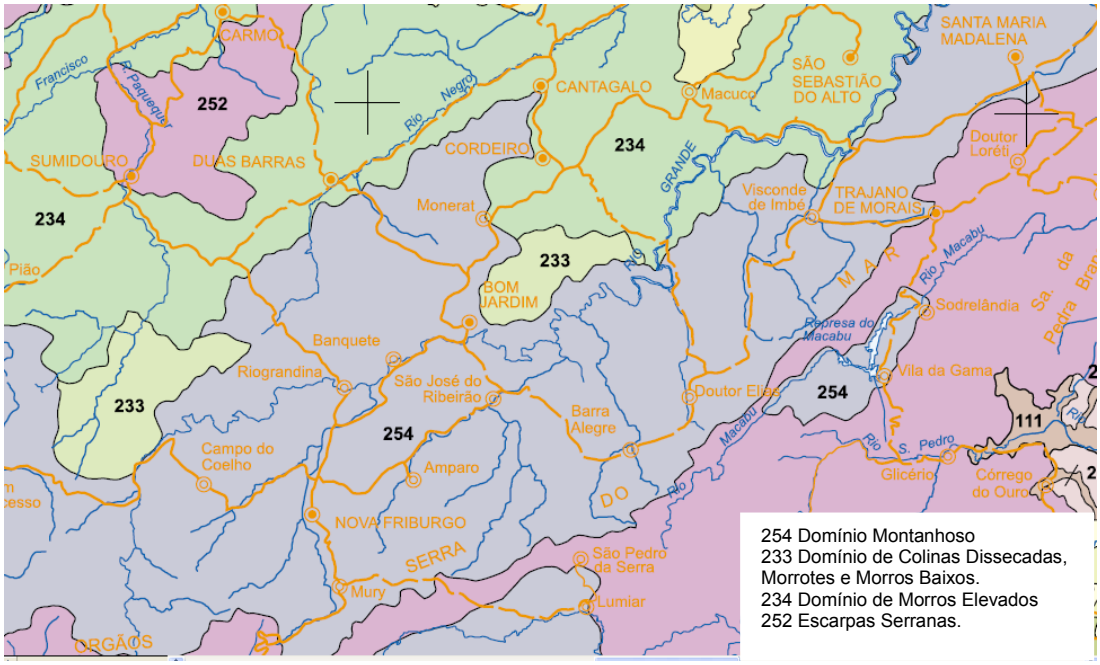
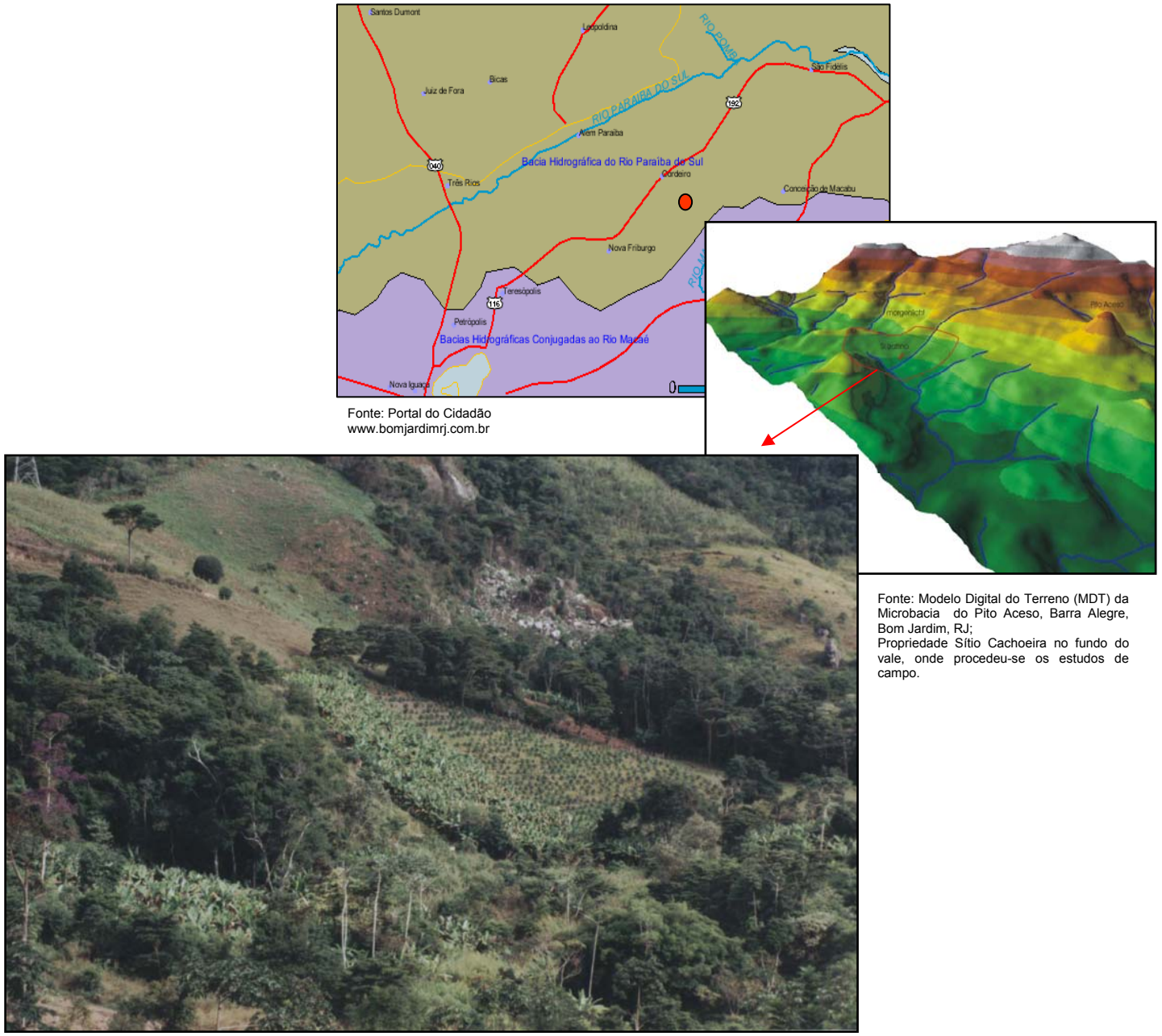


Figura 2.3. Mapa de Unidades Geomorfológicas da Região de Barra Alegre - Bom Jardim – RJ. (modificado de CPRM, 2001).

O relevo montanhoso, de morfologia bastante acidentada, com presença de pequenos alinhamentos serranos e paredões rochosos, abrange uma área significativa desse setor do planalto, apresentando cotas entre 900 a 1.000 m, podendo registrar picos com 1.300 m de altitude. Em direção a leste, o setor montanhoso do planalto torna-se menos expressivo, associado a uma profunda dissecação promovida pelo rio Grande no seu médio curso, apresentando cotas entre 700 e 800 m e picos ainda bastante elevados. Mais ao norte, a superfície de morros elevados demonstra uma nítida inclinação de oeste para leste, visto que da localidade de Duas Barras para as localidades de Euclidelândia e Macuco as cotas decrescem gradativamente de 800 para 400 m. Caracteriza-se por um bloco montanhoso homogêneo de relevo bastante acidentado, com presença de pequenos alinhamentos serranos, paredões rochosos e picos elevados. Apresenta relevo local e regional montanhoso. A região está inserida na bacia do Rio Paraíba do Sul (Figura 2.4).



Fonte: Portal do Cidadão
www.bomjardimrj.com.br

Fonte: Modelo Digital do Terreno (MDT) da Microbacia do Pito Aceso, Barra Alegre, Bom Jardim, RJ;
Propriedade Sítio Cachoeira no fundo do vale, onde procedeu-se os estudos de campo.

Figura 2.4. Localização Hidrográfica da área de estudo – área de contribuição da Bacia do Rio Paraíba do Sul; Modelo Digital do Terreno (MDT) da microbacia de estudo (Fonte: Folha Quartéis, escala 1:50000 – IBGE); Encosta sob diferentes formas de cultivos.

2.1.3. VEGETAÇÃO

Oliveira *et al.* (1995), afirmam que a grande maioria dos remanescentes da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro são de matas secundárias em diferentes estágios sucessionais e com idade variando entre 25 e 150 anos, alteradas pelas atividades agropecuárias ou exploração madeireira, possuindo estrutura florística e fitossociológica bastante diferenciada das matas mais conservadas. O domínio florístico é a Floresta Ombrófila Densa (vide 2.4.2.6.2).

No sistema agroflorestal de pousio, a sucessão vegetal tem a finalidade de adicionar grandes quantidades de matéria orgânica no solo, de modo a manter a produção de vegetais sem afetar drasticamente a estrutura da floresta. O detalhamento da composição fitossociológica do sistema agroflorestal de pousio, podem ser observados nos estudos realizados por Freitas (1998) e Reis (2002).

2.1.4. SOLO

As classes de solos de maior ocorrência no Estado do Rio de Janeiro distribuídas neste domínio são os ARGISSOLOS VERMELHO AMARELO, os LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO e os CAMBISSOLOS, respectivamente. Sendo este último a classe dominante na região serrana, geralmente ocorrendo em associação com os LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO, em relevo montanhoso e forte ondulado; ou ainda associados a Neossolos LITÓLICOS e afloramentos de rocha, nas áreas de relevo mais acidentado (Embrapa , 1999).

A litologia predominante na região é o Migmatito da Unidade Rio Negro, sendo que os solos apresentam como material originário sedimentos provenientes de altera_ ções desta litologia.

Para uma melhor caracterização dos solos na área, foram abertas seis trincheiras com diferentes tratamentos (formas de cultivos e/ou pousios), sendo apresentado na Figura (2.5) um croqui das classes de solos observadas (Embrapa,1997).

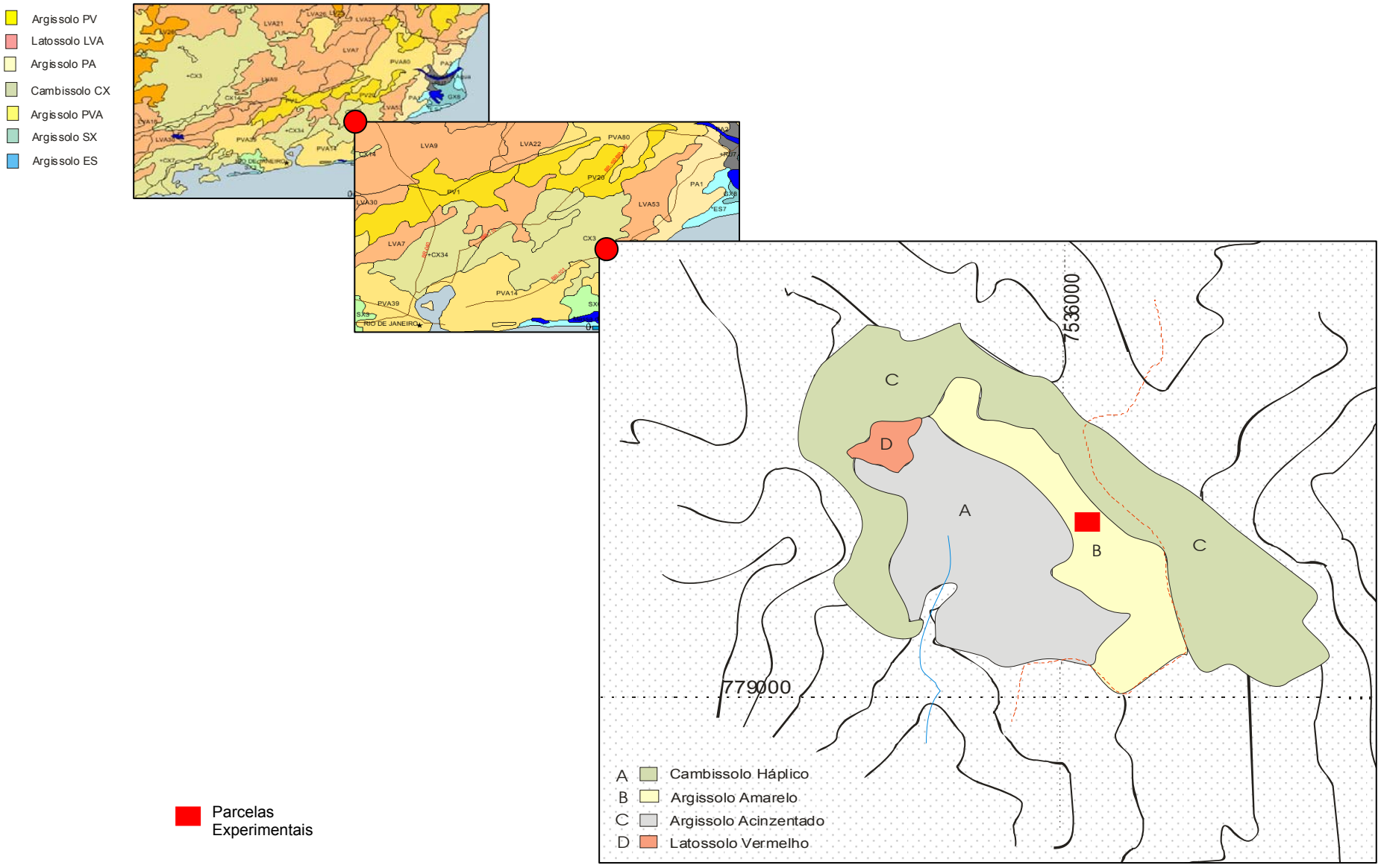


Figura 2.5. Croqui das classes de solos encontradas na área de estudo comparadas com as principais classes de solos do Estado do Rio de Janeiro e da região Serrana (CNPS/Embrapa). Fonte: modificado da foto aérea na escala 1:5000 (CERJ).

A classificação geotécnica do solo pela sua origem (Pinto, 2002), denomina-se Solo Residual Maduro de Migmatito. Freitas (1997), apresenta a classificação Agronômica nesta região, considerando os solos como delgados nas vertentes (LITOSSOLOS e CAMBISSOLOS), espessando-se na cabeceira de drenagem (LATOSSOLOS) ou compostos por depósitos coluviais, ricos em blocos.

As investigações indicaram o predomínio da classe de solo CAMBISSOLO Háplico Tb Distrófico, presente na metade dos perfis observados. A distribuição das classes observadas apresentou comportamento semelhante ao encontrado por Freitas (1997), com os CAMBISSOLOS distribuídos nas encostas, ARGISSOLOS distribuídos no terço médio/inferior da paisagem e LATOSSOLO também no terço médio, porém em outra vertente.

As parcelas de perda de solo foram instaladas sobre ARGISSOLO AMARELO. Esta classe apresenta um incremento de argila nos horizontes subsuperficiais, (abaixo de 1,0 m de profundidade). Esta mudança textural acarreta diferenças na velocidade de infiltração de água, promovendo um fluxo subsuperficial, que conjugado com a declividade acentuada, torna estas áreas com alta suscetibilidade à erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 1993).

2.1.5. CLIMA

O tipo climático é o Mesotérmico Úmido, com temperaturas elevadas bem distribuídas o ano todo e com pouco ou nenhum déficit hídrico (Faperj, 1980). A precipitação média anual, segundo a estação meteorológica de Nova Friburgo é de 1400 mm, concentrados no verão. Na Figura (2.6) são apresentadas as precipitações médias anuais para os anos de 2000 – 2001 (Morgenlicht[2]) e 2002 – 2004 (fase da pesquisa).

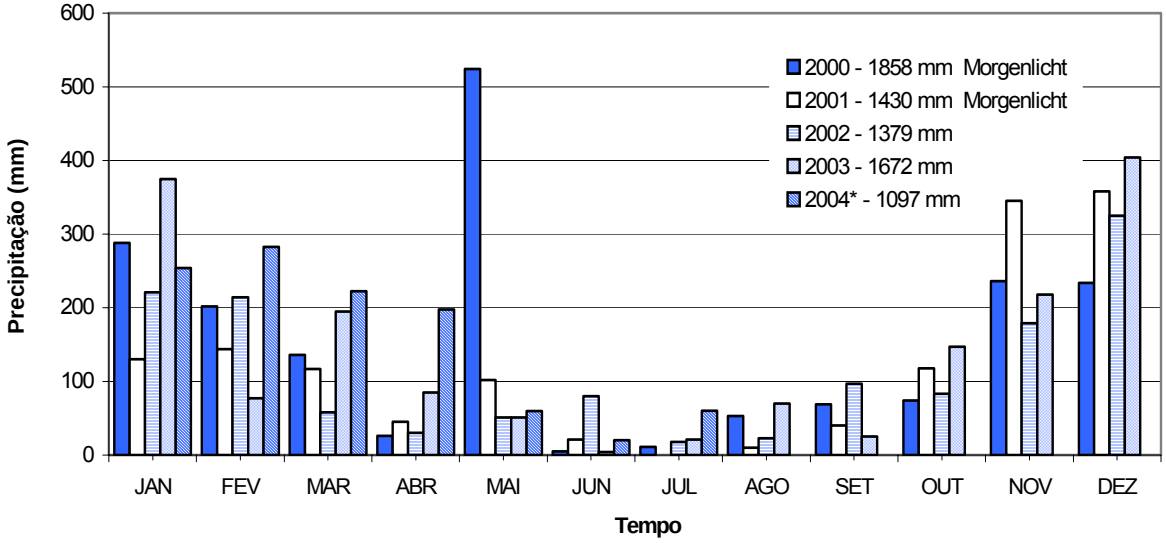


Figura 2.6. Histórico das chuvas ocorridas na área de estudo. 2000 – 2001 (Morgenlicht); 2004* período de Janeiro a Julho.

2.2. O SISTEMA AGROFLORESTAL DE POUSIO

O sistema agroflorestal de pousio, ou de agricultura migratória ou Itinerante é caracterizado como a forma de uso do solo com o descanso florestal (pousio[3]) para repor os nutrientes exportados pela produção agrícola, a partir da elevada deposição de serapilheira propiciada pelos sistemas florestais, permitindo, ainda, melhorias nas características físicas e biológicas destes solos. Diversos autores citam que, na região tropical, esta forma de uso do solo é sem dúvida uma das mais adaptadas ao regime de pequena propriedade agrícola, com baixos níveis de insumos e elevada disponibilidade de mão-de-obra (Reis, 2002).

[2] Morgenlicht: Espaço de convivência com serviços de hotelaria instalado em Barra Alegre, Bom Jardim, localizado próximo ao Sítio Cachoeira (área de estudo).

No Rio de Janeiro, o sistema agroflorestal de pousio é empregado em duas regiões de Mata Atlântica distintas: ao longo da Baía da Ilha Grande, caracterizado como sistema de roça caiçara, praticado há pelo menos 150 anos pelas comunidades tradicionais indígenas e caiçara. Os cultivos são, em geral, de subsistência com predomínio de mandioca, feijão, guandu, inhame, abóbora, milho, arroz, mamão, melancia e batata-doce, sem aplicação de nenhum insumo. A principal forma de limpeza da área neste caso é a queimada, processada na época de menor incidência de chuvas. Segundo Oliveira, *et al*., (1995) este sistema é conduzido por mão de obra familiar, predominantemente feminina e baseia-se na derrubada e queima da mata, seguida de plantio durante três anos, e pousio que pode variar de 3 a 10 anos ao final do terceiro ano de cultivo. É parte integrante do sistema o enriquecimento da capoeira com plantas úteis (medicinais e condimentares) e mais recentemente com palmáceas de importância econômica.

A região serrana do Estado do Rio de Janeiro, notadamente a região de Nova Friburgo e Bom Jardim, constitui a segunda área onde são praticados o sistema agroflorestal de pousio. Colonizada por imigrantes europeus (suíços e alemães), os agricultores mantém esta forma de agricultura até os dias atuais. Comparando-se com o sistema praticado na Baía da Ilha Grande, algumas diferenças são encontradas no sistema adotado nessa região. Segundo Freitas, *et. al*. (1997), a seqüência de cultivos e pousios na Região Serrana, se processa numa escala de tempo menor do que o descrito anteriormente, com 2 a 3 anos de cultivo, seguido de apenas 3 a 4 anos de pousio. Além disso, é feita uma queima controlada dos restos de cultivo, que preserva a maior parte da matéria orgânica acumulada e os cultivos são adubados, atingindo níveis de produtividades acima da média regional.

No município de Bom Jardim a pressão conservacionista, sobre os remanescentes da Floresta Atlântica, exercida pelos órgãos de fiscalização tem feito com que os pequenos produtores que utilizam esta prática reduzam o período de pousio, evitando o enquadramento destas áreas no categoria geral de capoeira em estágio avançado de sucessão (Decreto N.º 750 de fevereiro de 1993), impedindo a possibilidade de reutilização da área para a

[3] Pousio: área que se encontra em descanso após uso agrícola por um período de tempo; área em regeneração da Mata Atlântica, onde há o predomínio de espécies vegetais pioneiras de crescimento rápido.

função produtiva. Além dos aspectos relacionados ao curto pousio, este sistema se difere do anteriormente descrito por utilizar corretivos, fertilizantes e pesticidas e por ter um valor agregado comercial do que produtos de subsistência, predominando os cultivos de maior mercado, como a batata-inglesa, o inhame, o café, a banana e o cítrus, sendo a importância do pousio florestal, principalmente, de restituição da matéria orgânica ao solo.

A sustentabilidade do sistema de pousio, porém, vem sendo bastante questionada, principalmente em regiões sujeitas ao aumento da densidade demográfica, que conduz a uma redução no tempo do descanso florestal, com conseqüências não previsíveis. Deve-se relatar também, que por não estar relacionados a propostas de conservação dos solos, este sistema possue problemas como diminuição da fertilidade e aumento da erosão laminar, o que tende a se agravar ainda mais com o passar dos anos.

O Quadro (2.1) a seguir, apresenta o histórico da área em estudo, com as principais culturas e insumos utilizados no sistema de agricultura de pousio praticado em Bom Jardim.

Quadro 2.1. Histórico da área sob diferentes cultivos. Sítio Cachoeira, Barra Alegre, Bom Jardim, RJ

	2000	2001	2002	2003	2004
Parcela sob cultivo de Banana (15 anos)	Calcáreo (Jan.) adubado NPK 4/14/8	Desbaste Calcáreo (Jan.)	Desbaste Calcáreo (jan) Adubado NPK* 4/14/8	Desbaste Calcáreo (Jan.)	Desbaste Calcáreo (jan) Adubado NPK 4/14/8
Parcela sob cultivo de oleráceas - **Rotacionado**	Desmatou e plantou batata em maio. Em set/out inhame	Colheu inhame em julho/agosto Em setembro. montou parcela. Milho em outubro	Colheu feijão Fev. usou adubo NPK (4/14/8); Vagem, Abandonou	Jan. aplicou *Roundup*** e plantou feijão preto	Segunda de inhame (4/14/8) cova e (6/12/6) cobertura (usou *Gramoxone****)

* NPK – Adubo mineral químico (Nitrogênio, Fósforo e potássio)
** É hábito fazer a limpeza da área com herbicida Roundup^{R}
*** É hábito aplicar herbicida Gramoxone^{R} na cultura de inhame e batata

2.3. CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA

Considerando-se que a área em estudo apresentava declividade acentuada de 60 %, buscou-se uniformizar os pontos onde deveriam ocorrer a amostragem dos indicadores físicos e químicos do solo. A metodologia para determinação destes indicadores, consistiu-se na sub-divisão das áreas em três terços em cada topossequência das parcelas estudadas, caracterizando-se como unidades amostrais de TS (terço superior da paisagem); TM (terço médio da paisagem); e TI (terço inferior da paisagem). Foram coletadas três amostras compostas por cada terço, totalizando nove repetições por área (tratamentos). As amostragens de solo para as determinações acima citadas, foram realizadas nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 - 20 cm, com três amostras simples formando uma amostra composta, repetidas nas topossequências. Foram realizadas sondagens a trado retirando amostras deformadas e abertura de trincheiras, para retirada de amostras indeformadas. Para a determinação da condutividade hidráulica, porosidade, densidade e curva característica de retenção de umidade, foram retiradas amostras nas mesmas profundidades onde foram instalados os tensiômetros nas profundidades de 15, 30 e 60 cm.

As propriedades do solo que afetam a erosão superficial são variadas (Guerra, 1995). Entre elas, se destacam: a textura, a densidade do solo, a porosidade, o teor de Matéria Orgânica, a estabilidades dos agregados e o pH do solo. “A degradação dos solos tropicais, embora reconhecido como um problema grave e generalizado, ainda carece de estudos que avaliem aspectos físicos, químicos e ambientais, de forma integrada” (Oldeman *et al*., 1990).

A caracterização pedológica consistiu-se na investigação agronômica e geotécnica da área de estudo. Após localização das áreas de amostragem, procedeu-se a descrição e a coleta dos perfis de solos nas áreas mais representativas da área de estudo, conforme Lemos e Santos (1984). Foram realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas. Na caracterização agronômica, foram determinados a granulometria, utilizando NaOH como agente dispersante, análise química dos macroelementos, carbono orgânico,

índice de estabilidade de agregados, densidade real e aparente, porosidade, macro e micro, curva característica de retenção de umidade e testes de infiltração, seguindo metodologia adotada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). Para a caracterização geotécnica, foram determinados as umidades naturais, limite de liquidez e plasticidade, granulometria, com e sem defloculante, e peso específico do solo, seguindo os procedimentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984, 1986).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três tratamentos (áreas/parcelas) e três repetições (terços da encosta/paisagem). Para tanto, foram empregados pacotes estatísticos como o sistema de análises estatísticas e genéticas (SAEG), versão 9.0 (*beta*), disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa.

2.3.1. CLASSIFICAÇÃO – PERFIS

A descrição morfológica e as análises do solo dos perfis selecionados identificaram o CAMBISSOLO e ARGISSOLO Amarelo como as classes predominantes da área (Quadro 2.2). Estes solos apresentam alta susceptibilidade à erosão e baixa fertilidade natural, sendo necessária a adoção de práticas que promovam o aumento dos teores de Matéria Orgânica no solo associadas a técnicas de conservação, visando sua proteção contra a erosão.

As investigações indicaram o predomínio da classe de solo CAMBISSOLO Háplico Tb Distrófico, presente em cinco dos oito perfis observados na propriedade rural. A distribuição das classes observadas apresentou comportamento semelhante ao encontrado por Freitas (1997), com os CAMBISSOLOS distribuídos nas encostas, ARGISSOLOS distribuídos no terço médio/inferior da paisagem e LATOSSOLO também no terço médio, porém em outra vertente.

As classes de solos predominantes foram levantadas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 1999).

Quadro 2.2. Caracterização de relevo local e da classe de solos para cada tratamento: Pousio recente/inhame, inhame, pasto, banana e pousios 3 anos, 15 anos, 30 anos e >70 anos.

Tratamentos	Situação de Relevo Local	Classe de Solos
Parcela em pousio recente	Relevo montanhoso	CAMBISSOLO HÁPLICO tb distrófico*
Parcela sob cultivo rotacionado	Relevo montanhoso	CAMBISSOLO HÁPLICO tb distrófico*
Banana (15 anos)	Relevo montanhoso	ARGISSOLO AMARELO tb distrófico câmbico

* Os dados obtidos no levantamento e na classificação dos perfis, indicaram uma transição do perfil pedológico entre Cambissolos e Argissolos.

A Figura 2.7 apresenta o perfil do ARGISSOLO AMARELO, Tb Distrófico câmbico, textura média, A proeminente, hipodistrófico, ácido, relevo montanhoso, declive de 60 a 70%, onde o uso foram montadas as parcelas de banana, cultivo rotacionado e pousio recente.



Figura 2.7. Perfil do solo da encosta onde foram montadas as parcelas de perdas de solo.

A espessura de cada horizonte e o arranjo estrutural do solo é definida por:
Ap (0-23cm): forte/moderada pequena e média granular e blocos angulares e subangulares; A (23-63cm): moderada média e pequena blocos subangularess; BA (63-74cm) e Bt1 (74-122cm): moderada média blocos angulares; Bt2 (122-185cm): fraca/moderada média blocos angulares Tradagem (185-200cm); CR (200-300cm):sem estrutura

2.3.2. GRANULOMETRIA

A textura é um dos fatores de caráter físico que mais influi na quantidade de solo arrastado pela erosão. Segundo Ferreira (*apud* Correchel, 2003), a distribuição do tamanho das partículas é um dos maiores determinantes da erodibilidade. As partículas mais finas do solo são mais facilmente transportadas, enquanto que as partículas maiores resistem à remoção tendendo a se acumular na superfície (Resende, 1985). O Grau de floculação foi calculado pela expressão (2.1):

$$GF = \frac{\%\ \text{Argila Total} - \%\ \text{Argila Dispersa em Água}}{\%\ \text{Argila Total}} \times 100 \qquad (2.1)$$

No segundo método, após o processo de peneiramento, utilizou-se como agente defloculante o hexametofostato de sódio (NBR 7181 - ABNT, 1984), procedendo-se agitação da solução até atingir a homogenização, e repouso.

2.3.3. ANÁLISES QUÍMICAS

A química do solo foi utilizada neste trabalho como indicador das alterações decorrentes do sistema de cultivo/pousio relacionando as propriedades físicas do solo, e os processos erosivos atuantes.

Estudos do efeito da queima sobre a disponibilidade de nutrientes têm mostrado um aumento significativo de elementos como o potássio, cálcio, magnésio, sódio entre outros, além de um aumento no pH do solo, e redução significativa nos teores de matéria orgânica, C- orgânico, N-orgânico, alumínio e hidrogênio trocável (Reis, 2002).

Os efeitos desses acréscimos, no entanto, são bastante questionáveis, uma vez que apresentam um efeito temporário, pela sua adição via cinzas, sendo passíveis de perdas por erosão ou lixiviação. O aumento no pH do solo apresenta um efeito mais duradouro já que torna indisponível o H^+ e Al^{+++} em excesso na solução do solo. A redução nos teores de matéria orgânica do solo, devida sua queima, representa uma perda considerável, com efeito direto sobre características físicas e biológicas do solo (De-Polli & Guerra, 1999).

A Matéria Orgânica modifica a estrutura do solo proporcionando melhores condições de arejamento e de retenção de água. Nos solos arenosos, a matéria orgânica promove a aglutinação de partículas, fortalecendo a estrutura e diminuindo o diâmetro dos poros, aumentando, assim, a capacidade de retenção de água e diminuindo a suscetibilidade do solo a erosão. Os óxidos de ferro (hematita e goethita) e de alumínio (gibbsita) são considerados agentes indicadores de propriedades (permeabilidade e coesão do solo) que influenciam a erodibilidade dos solos, pois funcionam como agentes cimentantes, elevando a coesão entre as partículas e, conseqüentemente, modificando a estrutura e a permeabilidade do solo (Brady, 1989). Rego (1978), resume a correlação entre o teor de Matéria Orgânica do solo e os processos erosivos atuantes, como uma relação inversamente proporcional.

As análises químicas do solo foram realizadas nas parcelas experimentais, com intuito de compreender os percentuais dos elementos contidos no solo, decorrentes de sucessivas adubações, com outras propriedades do solo, como a estabilidade dos agregados. Os atributos avaliados foram: N-total (Dirceu,1990); pH - em potenciômetro na relação solo: água de 1:2,5 (EMBRAPA-SNLCS,1979); C-orgânico - pelo método volumétrico com $K_2Cr_2O_7$ e titulação com sulfato ferroso amoniacal (EMBRAPA / SNLCS, 1997); Ca , Mg e Al trocáveis em extrator de KCl 1 N, segundo EMBRAPA / SNLCS, 1979; K e Na trocáveis em solução extratora “Norte Carolina” e determinação por fotometria de chama; P assimilável por colorimetria; Acidez trocável (H + Al) por extração com acetato de cálcio a pH 7,0; Valor S - pela soma das bases trocáveis, sendo: $S = Ca^{++} + Mg^{++} + Na^{+}$; Valor H – pela soma de $H^{+} + Al^{+++}$; Valor T – pela soma algébrica dos cátions trocáveis, estimando a capacidade de troca catiônica, sendo T = S + H.

2.3.4. DENSIDADE DO SOLO – MASSA ESPECÍFICA

A densidade do solo (Ds) ou massa específica dos solos, é medida em g/cm^3, e também pode ser considerada como um fator controlador dos processos erosivos, pois está relacionada ao maior ou menor grau de compactação dos solos.

Existe uma correlação entre a densidade do solo e o teor de Matéria Orgânica do solo. Desse modo, à medida que o teor de Matéria Orgânica diminui, aumenta a ruptura dos agregados, formando crostas na superfície do solo, aumentando sua compactação.

A densidade das partículas (Dp), foi obtida medindo-se o volume ocupado por 20 g de terra fina seca a 105ºC, usando-se álcool etílico absoluto e balão aferido a 50 ml segundo recomendações de Neto *et al*., (1999).

A porosidade está relacionada de forma inversa a densidade do solo. À medida em que a densidade do solo aumenta, a porosidade diminui, ocorrendo a redução da infiltração da água no perfil de solo. A porosidade total foi calculada pela expressão 2.2 (Embrapa, 1979):

$$P = \frac{100\,(Dp - Dap)}{Dp} \qquad (2.2)$$

A microporosidade foi determinada pela aplicação de uma tensão de 0,006 MPa no aparelho extrator de Richards, o que representa uma altura de 60 cm de coluna d'água (Embrapa, 1979). A macroporosidade foi obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Neto *et al*., 1999).

2.3.5. DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS

A estrutura do solo influencia na resistência à erosão devido as propriedades físicas e químicas da argila que faz com que os agregados permaneçam estáveis em presença de água e de propriedades biológicas devido à presença de matéria orgânica humificada. Quanto maior à estabilidade dos agregados em água, maior a permeabilidade do solo e menor a desagregação, e conseqüentemente menor o escoamento superficial e o arraste de partículas individuais pela água. A maior força de coesão das partículas nos solos argilosos torna-os mais resistentes à erosão.

Morais *et al*. (2004), descreve o ensaio de desagregação utilizado na Engenharia Civil para avaliar a erodibilidade. O ensaio consiste na modelagem

de um corpo de prova cúbico com 6 cm de aresta e submetê-lo a diferentes níveis de submersão, observando-se a desagregação da amostra em cada estágio. A submersão das amostras ocorre em quatro estágios: no primeiro, coloca-se a amostra sobre uma placa porosa submersa em água destilada para saturação por capilaridade por 30 min. Nos dois estágios subseqüentes, eleva-se o nível d'água a 1/3 e 2/3 da amostra durante 15 min. No último estágio, a amostra é totalmente submersa por 24 h.

Foram coletadas três amostras indeformadas para o ensaio de estabilidade dos agregados, em cada talhão de cultivo, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, terços inferior, médio e superior (usados posteriormente com as repetições do ensaio).

A separação dos tamanhos de agregados em água, assim como sua estabilidade, foram determinadas segundo método descrito por Yoder (1936), modificado com duas repetições para cada amostra e três repetições por talhão de cultivo. A separação foi feita a partir de 50 gramas de amostra (passadas em peneiras de 8 a 4 mm) e constituiu-se das classes de diâmetro de > 2,00, 2,00-1,00, 1,00-0,50, 0,50-0,25 mm e menor que 0,25 mm. O diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados foi calculado a partir do somatório dos produtos entre o diâmetro médio de cada fração de agregado e a proporção da massa da amostra em %, que é obtida pela divisão da massa de agregados retidos em cada peneira pela massa da amostra corrigida em termos de umidade (corrigida para massa seca em estufa a 105°c).

As expressões (2.3, 2.4 e 2.4a) utilizadas para estes cálculos foram:

$$\mathbf{DMP} = \sum_{i=1}^{n} \left(xi.wi \right) \qquad (2.3)$$

Onde:

wi = proporção de cada classe em relação ao total;
xi = diâmetro médio das classes (mm).

$$\mathbf{DMG = EXP}\ \frac{\sum_{i=1}^{N} wp.\log xi}{\sum_{I=1}^{N} wi} \qquad (2.4)$$

Onde:

wp = peso dos agregados de cada classe (g)

$$\mathbf{IEA =}\left(\frac{Peso.da.amostra.\sec a - wp25 - areia}{Peso.da.amostra.\sec a - areia}\right)\mathbf{x\ 100} \qquad (2.4a)$$

Onde:

wp25 = peso dos agregados da classe < 0,25 mm.

2.3.6. CURVA CARACTERÍSTICA DE RETENÇÃO DE UMIDADE

As curvas características de retenção de umidade foram obtidas pela câmara de pressão ou aparelho extrator de Richards. Esta técnica permite avaliar variação do teor de umidade gravimétrica do solo (grau de saturação) com a variação da sucção mátrica.

O equipamento utilizado consiste em uma câmara hermeticamente fechada, contendo em seu interior uma pedra porosa que permite a entrada de ar. A câmara possui um orifício lateral onde é conectado uma mangueira direto ao compressor de ar (Fredlund & Rahardjo, 1993).

O ensaio inicia-se com a disposição dos corpos de prova sobre a placa porosa, procedendo-se em seguida a saturação dos corpos de prova. Em seguida, faz-se a selagem da câmara e aplica-se sucessivamente diferentes tensões (0,01; 0,33; 0,1; 0,5; e 1,5 MPa), em amostras indeformadas previamente retiradas no campo.

A cada estágio de tensão, a amostra é retirada da câmara de pressão e feita a pesagem para determinação do teor de umidade, retornado o processo. A duração dos ensaios variou em cada corpo de prova, estendendo-se por meses algumas amostras.

A microporosidade foi determinada através da aplicação de uma tensão de 0,006 MPa na câmara de pressão de Richards, o que representa uma altura de 60 cm de coluna d'água. A macroporosidade foi obtida pela da diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

No Capítulo IV serão apresentados a determinação da curva característica de retenção de umidade por meio do método do papel filtro.

2.3.7. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

Dentre as características dos fluxos hídricos através dos solos, está o coeficiente de permeabilidade (K_{PERM}) ou condutividade hidráulica, que indica a taxa de infiltração de um fluido em um meio poroso. Foram realizados ensaios de laboratório e de campo, para a determinação da velocidade de infiltração básica, utilizando o método dos anéis concêntricos e a condutividade hidráulica, através do permeâmetro de carga constante e do permeâmetro de guelph.

2.3.7.2. PERMEÂMETRO DE LABORATÓRIO

Neste ensaio, as coletas das amostras de solo no campo foram feitas sob condições controladas, preferencialmente como amostras indeformadas, sendo submetidas aos ensaios de carga constante e/ou variável. Em ambos os casos, as amostras foram colocadas em cilindros de comprimento L e área transversal A, fechadas entre duas placas porosas.

No ensaio de carga constante, as amostras foram submetidas a uma carga constante H até que se atingissem a saturação, com vazão de saída Q, constante. A permeabilidade é calculada pela equação 2.5 proposta por Darcy:

$$K = \frac{QL}{AH} \tag{2.5}$$

No permeâmetro de carga variável, é utilizada a diferença entre as cargas em um determinado intervalo de tempo. A equação 2.6 para o cálculo da condutividade hidráulica é a seguinte:

$$K = \frac{aL}{At} \ln\left(\frac{H_0}{H_1}\right) \tag{2.6}$$

Onde:

a = área da seção transversal do tubo onde a variação de carga é medida
H_0 = carga inicial
H_1 = carga final
t = intervalo de tempo

2.3.7.3. PERMEÂMETRO DE GUELPH

O permeâmetro Guelph é um permeâmetro de carga constante que mede a condutividade hidráulica saturada de campo (K_{SAT}) acima do lençol freático.

Em resumo, o permeâmetro de Guelph, é composto de um cilindro de *Mariotte* que controla a carga constante de água dentro do furo de sondagem, um tubo de acrílico com uma régua graduada onde a água é introduzida e um tripé que permite adaptar o aparelho a terrenos irregulares (Aguiar, 2001).

Após algum tempo, que dependerá, dentre outros fatores, da umidade antecedente do solo e da sua textura, uma pequena área em torno do furo estará saturada e, então, o fluxo torna-se constante. Este valor de fluxo é utilizado no cálculo da permeabilidade.

A recarga de água no furo de sondagem está submetida a três tipos de fluxo: um de pressão radial ao longo das paredes e dois verticais na base, um de pressão e outro gravitacional. Ao considerar a variação desses fluxos ao longo da base e das paredes do furo de sondagem, desenvolveu-se um método semi-analítico e numérico para a estimativa das propriedades do solo (permeabilidade saturada e não saturada, potencial matricial e o parâmetro α, que depende das propriedades do solo). Mas, para a aplicação destes métodos, algumas condições têm que ser consideradas:

- Meio poroso, homogêneo e isotrópico;
- Fluxo em equilíbrio constante;
- Domínio de fluxo em um semi-espaço infinito.

A partir do somatório destes três fluxos considerando a Lei de Darcy e as características geométricas do furo de sondagem, Reynolds *et al*., (*apud* Viera, 2001), desenvolveram uma equação para quantificar a K_{sat} a partir dos valores do fluxo (Q) obtidos no campo com o permeâmetro de Guelph. Mais detalhes são observados na equação (2.7) a seguir:

$$K_{sat} = \frac{CQ}{2\pi H^2 \left[1 + \frac{C}{2}\left(\frac{a}{H}\right)^2\right]} \qquad (2.7)$$

Onde

K_{sat} – condutividade saturada [cm/h]
a – raio do furo [cm]
C – constante de proporcionalidade adimensional
Q– fluxo constante medido no campo (Q= R x A) [cm^3/h]
H – carga constante aplicada [cm]

A constante C representa a distribuição do gradiente de pressão ao redor do furo de sondagem, sendo dependente diretamente do raio (a) e da carga aplicada (H). Com uso de métodos numéricos e analíticos, Reynolds *et al*., (1983) discutem a melhor forma de se encontrar este valor C para o cálculo da condutividade hidráulica e verificam que a solução numérica é a mais apropriada, uma vez que esta permite uma melhor definição das condições de contorno. O produto final da solução é a relação entre a carga aplicada (H), o raio do furo de sondagem (a) e o tipo de material investigado.

Na tentativa de melhor representar as condições de campo, Reynolds *et al.* (1983), avaliaram a teoria original e reescreveram a equação (2.7), considerando as forças de capilaridade do solo, representada na equação

(2.8) pelo potencial de fluxo matricial (ϕ_m). Todo o desenvolvimento dessa equação pode ser consultado em Reynolds *et al.*, (1983).

$$Q = \left[\left(\frac{2\pi H^2}{C}\right) + \pi a^2\right] K_{sat} + \left(\frac{2\pi H}{C}\right)\phi_m \quad (2.8)$$

Como nesta equação existem duas incógnitas, K_{sat} e ϕ_m, não se pode calcular diretamente o valor final da condutividade hidráulica. Desta forma, utiliza-se o método das equações simultâneas proposto por Reynolds *et al*. (1983), em que duas cargas constantes H_1 e H_2 são aplicadas em um mesmo furo, eliminando uma dessas duas incógnitas, obtendo-se assim dois valores de fluxos, Q_1 (Q_1=R_1 x A) e Q_2 (Q_2= R_2 x A), respectivamente. Desta forma, resolvendo o sistema de equações para o cálculo da K_{sat}, determina-se o termo ϕ_m.

Para os cálculos do coeficiente de permeabilidade, geralmente são feitos ensaios com duas cargas de pressão (H_1 e H_2). Optou-se pelos valores de H_1 = 3,0 cm e H_2 = 6,0 cm, conforme proposto por Viera (2001). O valor de C (constante adimensional), foi avaliado conforme as características pedológicas do material de estudo, sendo o valor de C = 0,5 (solos estruturados argilosos e siltosos) e α = 0,12.

Os dados conhecidos nos ensaios em campo se obtém as vazões (Q_1 e Q_2) apresentadas na equações 2.9, 2.10 e 2.11 citadas por Reynolds *et al*.,(1983):

$$K = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \quad (2.9)$$

Onde:

$$G_1 = \frac{H_2 C_1}{\pi\left[2H_1H_2(H_2 - H_1) + a^2(H_1C_2 - H_2C_1)\right]} \quad (2.10)$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi\left[2H_1H_2(H_2 - H_1) + a^2(H_1C_2 - H_2C_1)\right]} \quad (2.11)$$

Onde:

a = raio do furo de sondagem
C = parâmetro retirado do gráfico C x H/a

A condutividade hidráulica também foi avaliada diretamente no campo com o método do permeâmetro de Guelph (Figura 2.8).



Figura 2.8. Ensaio do Permeâmetro de Guelph realizado em campo; Bom Jardim – RJ.

2.3.8. LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Os limites de consistência são muito utilizados como propriedades de identificação e classificação geotécnica dos solos, para fins de avaliação do grau de estabilidade geotécnica e para o planejamento de intervenções mecânicas.

O limite de liquidez (W_L) ao contrário do ensaio de limite de plasticidade (W_P) é um ensaio essencialmente de resistência de cisalhamento, porém ambos delimitam uma faixa de umidade na qual o solo tem comportamento plástico. A diferença entre o W_L e o W_P é conhecida como índice de plasticidade (IP).

O índice de plasticidade apresenta correlação inversa com a erosão, logo, quanto maior a plasticidade, menor a erosão do solo (Rego, 1978).

Os ensaios foram realizados em laboratório, conforme especificações da NBR 6459 (ABNT, 1984) e da NBR 7180 (ABNT, 1986), utilizando-se amostras deformadas coletadas em campo na profundidade de 10,0 cm, respectivamente para a determinação dos índices físicos limite de liquides e limite de plasticidade.

2.4. PARCELAS DE PERDAS DE SOLO

Os estudos sobre o levantamento das perdas de solo é uma atividade de grande potencial, porém o período de tempo na geração desses dados podem conduzir a informações prematuras sobre o comportamento da erosão dos solos em certos casos estudados. Essa problemática é comum em pesquisas de teses por exemplo. Algumas soluções numéricas como a equação universal de perda de solo são descritas como ferramentas que podem subestimar os processos avaliados. Uma preocupação para os membros do conselho da Organização para a Agricultura e Alimentação (Hudson, 1993) da Nações Unidas, são questões políticas em razão de administradores estarem preocupados em obter números para justificar programas de conservação, ou persuadir os produtores rurais a mudar certos sistemas de produção agrícola.

Uma variedade de tipos e formas de parcelas podem ser encontradas na literatura. Aspectos como o tamanho das parcelas e os locais de armazenamento das enxurradas, devem ser relevantes no planejamento dos estudos de perdas de solo (Hudson, 1993). É comum a perda de eventos importantes devido ao transbordamento dos escoamentos formados nas parcelas.

O uso de parcelas experimentais de perdas de solo serve para demostrar indicadores dos efeitos dos escoamentos superficiais, nas taxas de perdas de solo em comparação com uma ou outra cobertura vegetal, e a evolução desses processos ao longo das encostas.

2.4.1. SELEÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Ao examinar os vários métodos e manejos praticados nas áreas onde se pretendem realizar os estudos, é preciso encontrar um local que tenha espaço suficiente para inserir todas as parcelas necessárias nas investigações, observando as mesmas classes de solo na rampa (encosta) e que tenham uma utilização historicamente homogênea (Bertoni & Lombardi Neto, 1993). Além disso, é necessário que as áreas escolhidas para montagem das parcelas experimentais sejam representativas para região inteira, a fim de que haja uma extrapolação posterior dos dados obtidos preliminarmente nas parcelas para as demais áreas da região.

2.4.1.1. Padrão WISCHMEIER

Várias redes de estudos experimentais de perdas de solo montadas, recomendaram um padrão de desenho para facilitar a comparação e compilação de resultados. Por muitos anos os campos experimentais nos Estados Unidos da América do Norte, usaram certas características comuns de tamanho, forma e tratamento, mas esse foi o começo da adoção de um padrão nacional e não era nenhuma tarefa fácil para combinar o enorme banco de dados que resultou na construção do modelo da USLE[4].

De acordo com o Serviço Norte Americano de Conservação dos Solos (USDA, 1997), a forma e o tamanho das parcelas é extremamente arbitrário, porém a mais comum deve apresentar dimensões de 2,0 m de largura por 22,0 m de comprimento. A justificativa em se padronizar o tamanho das parcelas é a prática direta na comparação dos dados gerados. Em se tratando de uma unidade métrica universal, recomenda-se a construção de parcelas com dimensões de 4,0 m de largura e 25,0 m de comprimento. Estas medidas, evitam os efeitos de borda ao redor das parcelas.

A equação universal de perda de solo que na realidade não é “universal” enquanto aplicável em parte do território dos Estados Unidos da América do Norte. Deve ser considerado que a USLE esta fundamentada em um banco de

dados de aproximadamente 10.000 parcelas de perdas de solo distribuídas em 46 estações de pesquisa, monitoradas por mais de 50 anos, sendo irreal imaginar variações de diferentes classes de solos e/ou climas, construídos a partir de resultados de eventos observados em períodos de tempo de um ou dois anos.

2.4.1.2. Padrão BOM JARDIM

Considerando a existência de outras parcelas de perdas de solo construídas no estado do Rio de Janeiro, com dimensões de 22,0 m de comprimento e 4,0 m de largura, como nos municípios de Paty do Alferes, Rio de Janeiro e Seropédica, optou-se pela construção das parcelas na área estudo no município de Bom Jardim, com estas mesmas dimensões, para efeito de padronização experimental das áreas observadas. Na Figura 2.9 é apresentado o desenho esquemático da instalação das parcelas de perdas de solo no sítio Cachoeira em Barra Alegre, Bom Jardim, e suas respectivas coberturas vegetais.

[4] USLE *: Universal Soil Loss Equation*

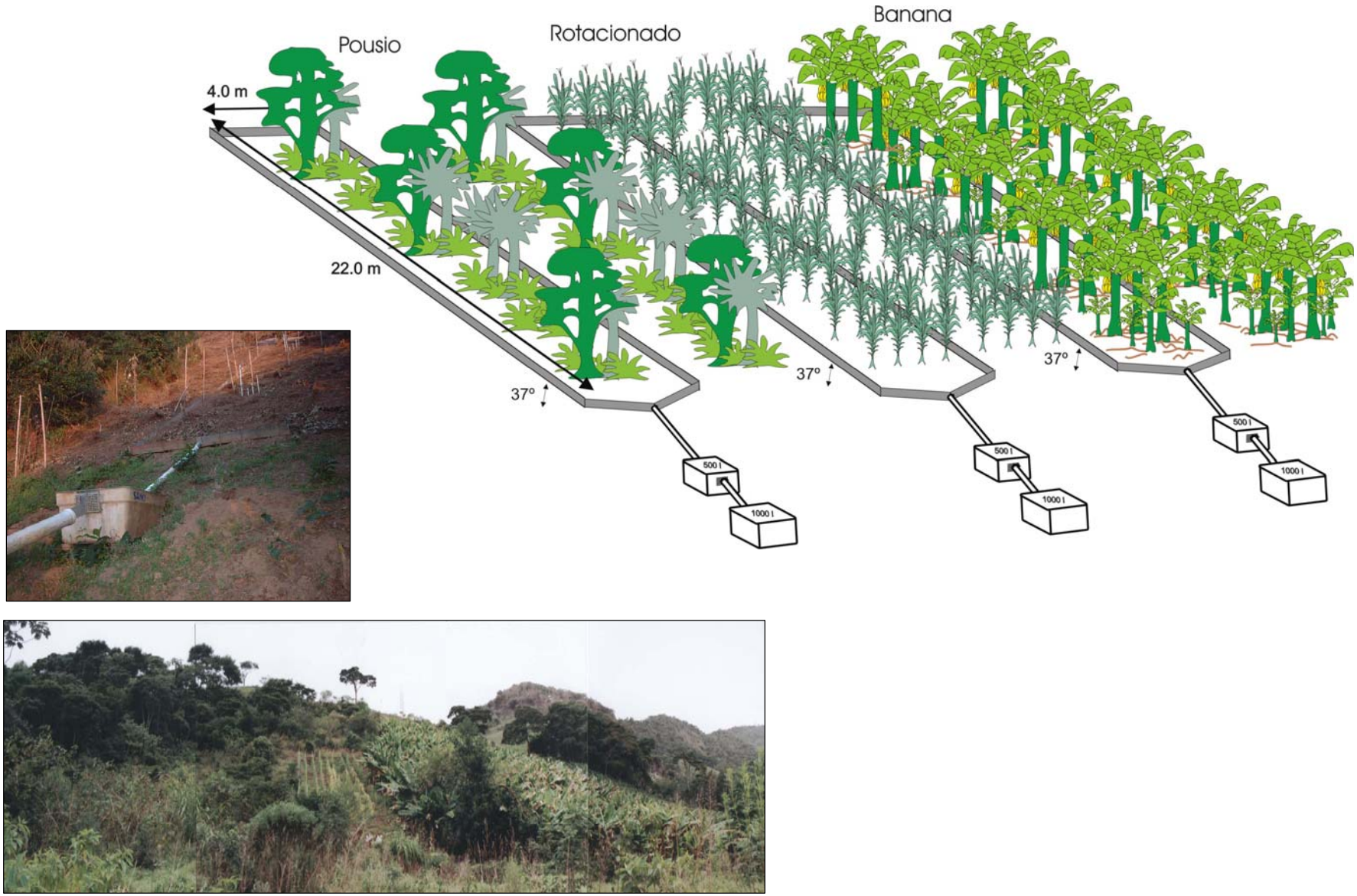


Figura 2.9. Desenho esquemático das parcelas de perdas de solo, padrão Wischmeier & Smith (1959), sob diferentes formas de cultivos (coberturas vegetais).

2.4.1.2.1. INSTALAÇÃO

Até o momento não existe uma descrição precisa e uniforme sobre a instalação de parcelas. Para muitos pesquisadores essa é a razão porque é tão difícil receber dados seguros e claros sobre elas. Em conseqüência disso há um número enorme de tipos e modelos diferentes de parcelas, sistemas coletores e de divisores. Na maioria das vezes só a prática experimental pode mostrar a melhor solução. Isso significa que existem várias soluções possíveis para a realização destes estudos.

2.4.1.2.2. DETERMINAÇÃO DA EXTENSÃO

O tamanho das parcelas é definido pelo tipo de cobertura vegetal que se pretende avaliar, regime pluviométrico da região e quais os processos que atuam nas perdas de sedimentos por erosão laminar. Microparcelas de 2,0 m^2 podem não ser indicadas para se avaliar tratamentos que causam transbordamentos decorrentes de eventos de chuva de maiores proporções.

Chaplot e Le Bissonnais (2000), em seus estudos, indicam que o tamanho das parcelas podem interferir na avaliação dos processos erosivos. Parcelas com dimensões de 1,0 m^2, a velocidade do escoamento é inferior a parcelas com dimensões maiores, o que pode interferir na avaliação das enxurradas, principalmente na sua velocidade, e, possivelmente subestimar esse parâmetro, bem como os valores de perdas de solo. Os mesmos autores sugerem a montagem de parcelas de perdas de solo com dimensões superiores a 10,0 m^2.

Devem ser considerados dois fatores ao projetar o tamanho e capacidade do sistema de coletor de enxurrada: controlar o máximo índice provável de fluxo e também armazenar a máxima quantidade provável de escoamentos superficiais. Eventos extremos pouco freqüentes podem contribuir uma grande proporção dos escoamentos superficiais e perdas de solo anuais. Em condições de clima tropical, isto pode chegar a três quartos das perdas de solo anual que ocorre

durante uma única tempestade, assim o sistema deve ser projetado para controlar também eventos extremos.

Como já foi mencionado, as “parcelas padrão” são as que apresentam dimensões na ordem 100 m^2, sendo 4,0 m de largura e 25,0 de comprimento (Hudson, 1993). Para efeito de padronização nos estudos de perdas de solo no Estado do Rio de Janeiro, considerando as existência de pesquisas já realizadas e algumas ainda em andamento, como em Paty do Alferes (estação experimental da PESAGRO Rio), Aeroporto Internacional do Galeão (EMBRAPA/CNPS), prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, entre outros. Stieler (1996), condicionou o comprimento da parcela em 22,0 m de comprimento e 4,0 m de largura (Wischmeier, 1959; Wischmeier e Mannering, 1969), serem suficientes para manter insignificantes as interferências da borda nos resultados medidos.

O uso da parcelas padrão de 100 m^2 de área, é bastante comum em parcelas sob práticas de manejo agrícola (mecanização e rotação de culturas) de maneira que mesmo sendo de tamanhos reduzidos, possam representar cenários de perdas de solo em escala real de campo.

2.4.1.2.3. DEMARCAÇÃO DA PARCELAS

Para delimitar as parcelas e evitar que a água do escoamento das precipitações de fora, entre, ou a água dentro das parcelas saia, foram colocadas chapas de zinco n^o 16, com 2,0 m de comprimento e 30 cm de largura cada percorrendo todo o perímetro das parcelas. Cada chapa foi cravada até 10,0 cm de profundidade, deixando 20,0 cm exposto a superfície. Entre as chapas, houve uma sobreposição de 20,0 cm evitando possíveis entradas ou saídas de água de enxurradas nos eventos de precipitações que ocorreram.

No caso da propriedade do Sítio Cachoeira em Barra Alegre, Bom Jardim, procurou-se instalar as parcelas de perda de solo em uma área (encosta) com condições topográficas e pedológicas uniformes, considerando que o sistema

agroflorestal de pousio, praticado na propriedade, apresentava uma variedade de áreas em cultivos e em pousios florestais, em diferentes períodos de tempos de usos e “abandonos”. Neste sentido, foram feitas a caracterização pedológica e altimétrica da propriedade, sob a coordenação da EMBRAPA CNPS, permitindo identificar as possíveis áreas com características homogêneas de classe de solo e declividade. No local indicado, haviam dois tipos de cultivos, sendo um bananal com idade de 15 anos, e uma área cultivada com olerícolas com idade de um ano. Optou-se por escolher ambas as áreas, em razão da características de homogeneidade já discutidas, e também pelo fato de estarem localizadas uma ao lado da outra. A preocupação em monitorar também uma área em pousio nesta pesquisa e considerando que as demais áreas em pousio na propriedade estarem desproporcionais as características encontradas nas primeiras áreas, levaram a dividir ao meio a áreas de cultivo de um ano localizada ao lado da área cultivada com banana, transformando-se em pousio florestal. Em uma mesma encosta com as mesmas características de declividade e classe de solo, montaram-se três parcelas experimentais sob três formas de uso do solo por diferentes coberturas vegetais: cultivo permanente de banana, cultivos temporários (anuais) de oleráceas e área sob pousio florestal (capoeira).

2.4.1.2.4. O COLETOR

Para recolher a enxurrada e o solo removido, na base de cada parcela foram construídas calhas feitas do mesmo material das chapas de zinco nº 16 que envolveram o perímetro das parcelas. Essas calhas apresentam uma forma de funil, tendo uma inclinação para o centro e em direção aos tubos que levam o material para os tanques de armazenamento. Para evitar que a água escorresse para baixo do coletor, foi colocada uma lâmina de perfil retangular com dobradura em 90º, cravada na base do coletor.

Para pequenas parcelas, o volumes de escoamentos podem ser armazenados diretamente em um tanque de largura próxima da largura da parcela, mas para

larguras maiores, são necessárias alguma forma de “canaletas” para conduzir os volumes das enxurradas para as caixas coletoras. A Figura 2.10 apresenta o coletor das parcelas montadas em Bom Jardim.



Figura 2.10. Vista do coletor montado nas parcelas de perdas de solo em Bom Jardim; detalhe da borda do coletor.

O coletor é a parte da parcela onde ocorrem os maiores erros na interpretação dos dados de perdas de solo. Se a extremidade do coletor for mais alta que a superfície do terreno, o sedimento é totalmente coletado e transformado diretamente em perda de solo por unidade de área. Se a extremidade do coletor for mais baixa que a superfície do terreno, haverá erosão excessiva neste local e há possibilidade de iniciar pequenos fluxos que atravessem a borda da parcela. Deve-se sempre assegurar que a extremidade do coletor esteja ao nível da superfície original. Às vezes o solo é escavado junto às calhas do coletor. Isto pode gerar um fluxo preferencial nesses pontos, prejudicando a entrada dos volumes de enxurrada nos tanques coletores. Outro método é construir uma aproximação plana lisa ao coletor instalando uma tira de metal ou gesso ou concreto.

2.4.1.2.5. TUBULAÇÃO

Na saída de cada calha, foram conectados tubos de PVC (tubos comerciais utilizados em sistemas de esgoto doméstico) com 100 mm de diâmetro, conduzindo a água do coletor aos tanques, armazenando água e solo removido.

2.4.1.2.6. TANQUES

Para coletar as frações de solos removidos pela ação das enxurradas em grandes volumes foram necessários a construção de dois tanques. No primeiro tanque, utilizou-se uma caixa d'água de 500 litros, para acumular as enxurradas que contivessem as frações mais grosseiras de solo, entrando em processo de decantação. O que transbordasse foi levado ao segundo tanque, utilizando uma caixa d'água de 1000 litros. O detalhe é que havia um divisor com 15 fendas entre o primeiro e o segundo tanque, conhecido como "quarteador". Somente uma das fendas é encaixada ao tubo que conduz o material do primeiro ao segundo tanque. Dentro do tanque de 500 litros é colocado um balde de 30 litros no ponto de entrada do tubo oriundo das parcelas para agilizar a amostragem de pequenas enxurradas, facilitando o trabalho de limpeza dos tanques coletores. O segundo tanque é para o armazenamento do material em suspensão.

Foi preciso a construção de uma base bem sólida para suportar o peso do tanques quando estiverem cheios. Utilizou-se uma base de alvenaria com acabamento de madeira tratada com material impermeabilizante aumentado a vida útil dos componentes das parcelas em campo. A Figura 2.11 apresenta o sistema de tanques utilizados nas parcelas em Bom Jardim.



Figura 2.11. Sistema de tanques coletores (caixas d`água de amianto de 500 e 1000 litros) das parcelas de perdas de solo em Bom Jardim.

No caso de pequenas parcelas, todo o escoamento é conduzido a um único tanque coletor onde é armazenado até que possa ser medido, amostrado e registrado. Para parcelas maiores, ou quando são esperadas quantias grandes de enxurradas, não é muito prático armazenar todo o escoamento, algum dispositivo é usado para dividí-lo com precisão, de forma que apenas uma fração conhecida pode ser separada e armazenada no tanque.

2.4.1.2.7. O DIVISOR

Sempre que houver quantias consideráveis de material orgânico flutuando nos escoamentos superficiais, e isto deverá ser filtrado e separado por meio de telas ou por qualquer tipo de divisor ou classificador. Às vezes uma tela de malha de arame é colocada em cima do tanque, ou alternativamente podem ser colocadas uma ou mais telas nos tanques coletores. Um dispositivo extensamente usado no Estados Unidos da América do Norte, por muitos anos é o Divisor de GEIB (Geib, 1933), que consiste em várias aberturas retangulares iguais. Depois de cheio o tanque de decantação, a enxurrada atravessa o divisor de janelas, na qual uma fração de água mais sedimentos é levada até o segundo tanque, e as demais são liberadas pra fora do primeiro tanque (Bertoni, 1949). Isto requer um alto grau de precisão na sua fabricação e assim várias alternativas mais simples vem sendo desenvolvidas.

Na região de Bom Jardim, como em quase toda região serrana, as chuvas fortes causam grandes enxurradas. Por isso foi necessário instalar na saída do primeiro tanque, caixa d'água de 500 litros, um divisor de 15 fendas (Figura 2.12). Este divisor conduz ao segundo tanque, somente uma pequena parte da enxurrada total que atinge o primeiro tanque, deixando escoar o restante para fora da caixa de amianto (tanque de sedimentação). Foi construído um divisor com 15 fendas verticais, conforme descrito por Hudson (1993). Apenas uma das 15 fendas conduz a suspensão das enxurradas pelo tanque de decantação. Em princípio, a confecção deste divisor foi relativamente simples, utilizando-se o mesmo material que compuseram as parcelas (chapas de zinco nº 16). É importante observar que os divisores devem ser instalados na posição horizontal em relação aos tanques para facilitar a passagem da água sobre eles.

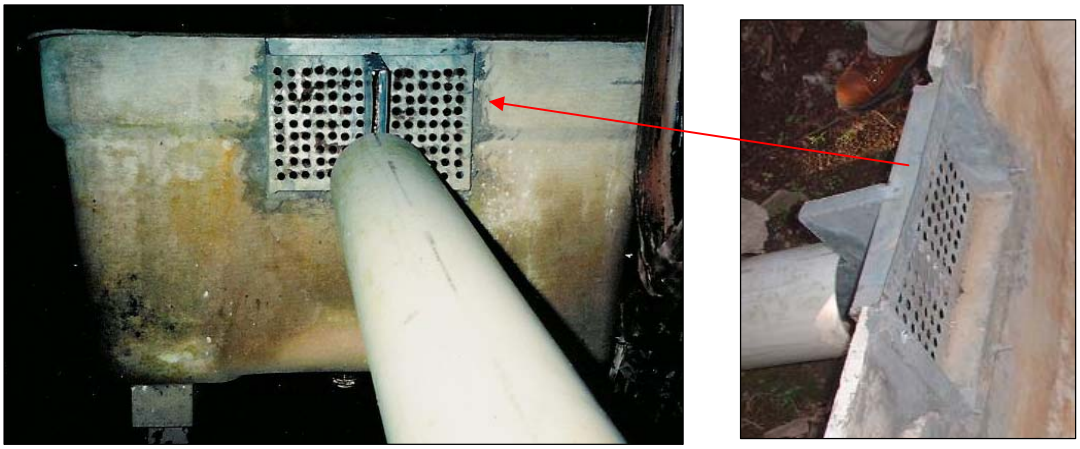


Figura 2.12. Modelo de divisor de 15 fendas construído nas parcelas em Bom Jardim; detalhe da parte interna do tanque.

Os divisores devem ser conferidos previamente a instalação nas parcelas, para ver se a fração que será separada, encontra-se na proporção que se supõe. Há várias possíveis fontes de erros, como os pontos de amostragem que não estão exatamente no mesmo nível, bloqueios totais ou parciais de algumas das saídas, interferem com os fluxos pelo divisor. A velocidade de aproximação para cada abertura, ou entalhe, deve ser as mesmas. Se o divisor é construído em um canal estreito o fluxo pelas aberturas pode ser reduzido pelo atrito nas paredes de canal.

2.4.1.3. PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM NAS PARCELAS

O processo de amostragem, medição dos volumes e quantificação do solo e água de enxurrada, foi executado conforme metodologia proposta por Cogo (1978). A cada evento pluviométrico um volume de escoamento superficial foi registrado no conjunto de tanques localizado na seção inferior das parcelas. Essa solução encontrada nos tanques, era homogeneizada com auxílio de um bastão, e em seguida, eram retiradas amostras de cada parcela (tratamento) para serem levadas a laboratório de GEOTECNIA da COPPE/UFRJ. Cada amostra continha 500 ml de volume. Esta alíquota foi filtrada em papel filtro "*Marka Selecta – RFP*", com especificação de 18,5 cm de diâmetro (vide item 2.4.3), onde ocorreram a separação das frações água e sedimentos. Os discos de papel filtro com os sedimentos retidos, são levados à estufa a 65º C durante 24 h. Tem-se então o peso de sedimento (perda de solo) equivalente ao evento pluviométrico em observação. Com o passar do tempo, devido ao grande número de amostras (potes de 500 e 1000 ml) levadas ao laboratório, optou-se pela filtragem em campo, levando somente os discos de papel filtro com os sedimentos. Nesse caso, cada disco foi pesado em balança de três casas decimais (0,001g), antes de ser levado a campo. A marcação de cada disco foi feita a lápis, permanecendo após o umedecimento da amostra a ser filtrada. Na Figura 2.13 são apresentadas algumas enxurradas armazenadas nos tanques em razão dos eventos pluviométricos incididos nas parcelas em Bom Jardim.



Figura 2.13. Volumes de enxurradas armazenados nos tanques coletores das parcelas de perda de solo em Bom Jardim.

Em cada calha havia um pequeno orifício, conectado por um tubo de PVC a um tanque (de capacidade de 500 litros). Posteriormente, as misturas de água e sedimentos retidos em cada tanque foram homogeneizadas, sendo coletadas amostras individuais de 1,0 litro para cada evento pluviométrico. Estas amostras foram levadas para o laboratório e passadas em papel filtro, previamente pesado. Posteriormente cada papel filtro foi seco em estufa a 65^{o} C, pesando-se novamente. A diferença entre o peso inicial do papel filtro e o peso com os sedimentos, foi multiplicada pelo volume em litros registrados durante cada monitoramento pluviométrico. Este total foi somado aos sedimentos que foram retirados de cada calha, e secos ao ar no laboratório.

Os sedimentos coletados nas caixas coletoras foram submetidos ainda a análise química de rotina, determinando-se o teor de nutrientes nas partículas desagregadas da superfície da encosta, com a inclusão de carbono e nitrogênio, de acordo com o manual de análises de solo da Embrapa, (Embrapa, 1997).

Há modos alternativos de coletar e analisar as amostras nos tanques (Hudson, 1993). Considerando que o problema é como trabalhar com uma amostra representativa de uma mistura de água e partículas de solo de tamanhos diferentes. O método mais simples é mexer a mistura vagorosamente e retirar uma amostra que será filtrada, secada e pesada. É possível que este método subestime as perdas de solo, porque as grandes partículas desagregam rapidamente, sendo difícil de deter em suspensão enquanto a amostra está sendo levada ao laboratório. A solução é adicionar um floculante na amostra (Hudson, 1993). Algumas substâncias químicas de floculantes muito efetivos, atualmente são disponíveis comercialmente.

Outro método que evita o tempo gasto em processos de laboratório, é fixar um volume de solo com sua umidade e depois comparar com o peso de um volume igual de água. Depois de fazer uma compensação para a água que arrastou o solo, calcula-se o peso de solo seco na solução (Hudson, 1993). Este método evita a necessidade do trabalho de laboratório, e também podem ser pesadas amostras de vários tamanhos.

2.4.2. COBERTURAS VEGETAIS AVALIADAS

2.4.2.1. MILHO

O milho (*Zea mays L*.) é uma planta de origem andina, pertencente a família das gramíneas, sendo bastante cultivado em todas as regiões do Brasil. A profundidade do sistema radicular chega até 1,5 m (sendo 80% até 30 cm de profundidade no solo), atingindo um raio de cerca de 50 cm em torno da planta (Bull, 1993). O crescimento das raízes em geral termina antes do florescimento. É uma planta relativamente rústica, cultivada principalmente no período de setembro a março. Na região de Bom Jardim, além do cultivo tradicional com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre covas com duas plantas/cova (Figura 2.14), é comum fazer o plantio em linha no sentido do declive, consorciado inhame. Estas linhas podem ter entre 10 a 15 metros de distância uma da outra.



Figura 2.14. Parcela de perda de solo sob cultivo de milho (*Zea mays L*.).

2.4.2.2. FEIJÃO-VAGEM

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris L.*) pertence à família das leguminosas, é uma planta que se adapta bem a climas frescos, com temperaturas inferiores a 30^{o}C. Em Bom Jardim, o feijão vagem normalmente é cultivado após a safra principal de verão, final de março, e se irrigado pode-se estender por dois ciclos de cultivos. O cultivo é feito em estacas de bambu (Figura 2.15), com espaçamento de 1,0 m entre estacas e 0,2 m entre plantas, com duas plantas/cova (Figueira, 2000).



Figura 2.15. Parcela de perda de solo sob cultivo de feijão vagem (*Phaseolus vulgaris L.*)

2.4.2.3. FEIJÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) pertence à família das leguminosas, é uma planta de pequeno porte, de ciclo vegetativo curto (60 a 100 dias), e possui um sistema radicular precário, necessitando de boas condições de fertilidade do solo para seu desenvolvimento (De-Polli, 1988). A profundidade efetiva do sistema radicular (80% das raízes) da cultura do feijoeiro se encontra a 20 cm abaixo da superfície do solo. O feijão cultivado na parcela, foi a variedade do feijão preto (Figura 2.16), plantado no final de outubro de 2002 e colhido em fevereiro de 2003. O espaçamento no plantio é de 0,5 m entre linhas e 0,2 m ente covas com 2 plantas/cova.



Figura 2.16. Parcela de perda de solo sob cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris*).

2.4.2.4. INHAME

O inhame (*Dioscorea cayenensis*) pertence a família das dioscoreaceas, é uma planta de origem africana, sendo cultivado no mundo inteiro por se tratar de um alimento energético e de alto valor nutritivo (Figueira, 2000). Constitui o principal cultivo na região de Bom Jardim. O espaçamento de cultivo é de entre 0,6 m linhas e 0,2 m entre covas (Figura 2.17). O período de plantio vai de setembro a maio, com dois ciclos de cultivos por área plantada.



Figura 2.17. Parcela de perda de solo sob cultivo de inhame (*Dioscorea cayenens*).

O inhame é a principal cultura da região, sendo cultivado em cada gleba durante dois ciclos, que se estendem de setembro a maio. Considerando que as áreas de cultivo se encontram em encostas, o uso de mecanização é

inviável. O manejo é feito utilizando-se enxadas, na ocasião do plantio e da colheita, e a limpeza é feita utilizando-se herbicidas. O herbicida mais comum, é o Gramoxone^{R}, de classe toxicológica II, altamente tóxico, de grupo químico paraquat. Em geral, fazem-se duas aplicações de herbicidas, capina química, durante o ciclo do inhame. A capina da área em cultivo promove a exposição da área à insolação e ao impacto das gotas de chuvas. A medida em que ocorre a maturação do inhame, parte subterrânea, as folhas tendem a murchar, parte aérea. Esse processo aliado à exposição do solo por ação dos herbicidas, promove o destacamento das camadas superficiais do solo, principalmente se considerarmos que nessa época ocorrem as chuvas mais intensas.

2.4.2.5. BANANA

A banana (*Musa spp*.) pertence à família das musáceas, é uma planta muito popular no Brasil, com produção contínua ao longo do ano. A profundidade efetiva do sistema radicular (80% das raízes) da banana se encontra a 40 cm abaixo da superfície do solo, podendo chegar a 50 e 70 cm de profundidade (Borges, *et alii*., 1997). Em Bom Jardim, seu cultivo predominante é da espécie “nanicão”, com produção quase que exclusivamente para doce, o que requer poucos tratos culturais nas glebas cultivadas. O espaçamento de plantio é de 3,0 m entre linhas e 3,0 m entre covas. A área cultivada observada apresenta 15 anos sob cultivo. A bananeira é uma planta herbácea, com porte entre 2,0 e 8,0 m, com raízes fibrosas e superficiais. O caule verdadeiro é subterrâneo (rizoma), as folhas têm bainhas (os pecíolos) que se justapõem formando um falso caule (pseudo caule) aéreo. A inflorescência tem flores masculinas e femininas e por vezes hermafroditas; os frutos (bananas), não provem de polinização (nocárpicos). Não há sementes viáveis. A parcela de perda de solo sob cultivo de banana é apresentada na Figura 2.18:



Figura 2.18. Parcela de perda de solo sob cultivo de banana (*Musa spp*.).

2.4.2.6. POUSIO

Ao final do período de cultivo as glebas são abandonadas para o pousio florestal. Estas áreas entram em processo de sucessão vegetal e com a dinâmica rotativa dos cultivos em diferentes idades. Surge uma paisagem como um mosaico de diversas comunidades vegetais, com estruturas características de acordo com o tempo e a capacidade de regeneração da cada gleba recém abandonada após uso agrícola. A área onde foi montada a parcela em pousio, havia sido cultivada com inhame anteriomente, e logo após a colheita, iniciou-se o processo de regeneração natural. Foram feitas a identificação das espécies vegetais encontradas no interior das parcelas no período em que sucedeu a pesquisa.

2.4.2.6.1. POUSIO COM 6 MESES A 1 ANO DE IDADE

Nas formações florestais iniciais ocorreu um pequeno número de espécies, porém em grande número de indivíduos. Segundo Martinez-Ramos (1985), áreas de campo aberto, com total exposição à luz solar, são benéficas ao surgimento e desenvolvimento de espécie de plantas pioneiras, com reprodução precoce.

Na área da parcela sob pousio no primeiro ano, a vegetação que predominou era constituída de espécies herbáceas e arbustivas, perenes e semi-perenes,

como *tripogannta diurética* (Commelinaceae), *Senecio brasiliensis* (Compositae) e *Melinis minutiflora* (Graminae). Essas plantas são de grande importância para o processo de sucessão vegetal e ciclagem de nutrientes, uma vez que, são as primeiras espécies a colonizarem a área. Estas mesmas espécies foram observadas por Freitas (1998).

Estas espécies caracterizam-se por uma produção elevada de biomassa aérea e de raízes, o que possibilita uma intensa ciclagem de nutrientes, minimizando as perdas de nutrientes aplicados durante a fase de cultivo, e melhorando as condições (climáticas e edáficas) para o estabelecimento da vegetação arbórea (Piña-Rodrigues, *et al*., 1997).

Arbustos e árvores da família das leguminosas também foram observados na área, porém com portes inferiores a 1,3 m de altura e 16,0 cm de diâmetro de tronco. Ainda assim, a presença de leguminosas é de grande importância para a incorporação de nitrogênio ao solo, característica destas espécies na associação com bactérias (*rizóbio*) fixadoras de nitrogênio atmosférico, transferindo-o ao sistema solo-planta, objeto de grande importância aos estudos de recuperação de áreas degradadas e sistemas agroflorestais (Franco *et al*., 1995; Franco & Faria, 1997).

As espécies arbustivas de maior porte encontradas nesta área, foram a *Vernonia polyanthes,* popularmente conhecida como assa-peixe. O gênero Vernonia é muito presente em áreas alteradas de Mata Atlântica. De acordo com Lima & Guedes-Bruni (1997) e Ivanauskas *et al*. (1999), as espécies pertencentes a este gênero, apresentam dispersão de sementes principalmente pela ação dos ventos, colonizando preferencialmente áreas abertas como clareiras ou bordas de florestas. Estas espécies são tidas como espécies pioneiras ou heliófitas.

2.4.2.6.2. POUSIO COM 2 A 3 ANOS DE IDADE

Após dois anos de idade, a área da parcela em pousio florestal (Figura 2.19) apresentou um maior número de indivíduos, sendo amostrados um total de 23, distribuídos em sete famílias. Levantamentos de campo realizados por

Carvalho, Guapyassú, Torezan, e Bloomfield *et al*., *apud* Reis (2002), observaram a presença o predomínio de famílias com espécies de pioneiras e secundárias iniciais e sucessionais, típicas de áreas alteradas de Mata Atlântica.



Figura 2.19. Parcela de perda de solo sob pousio recente (2 anos).

No Quadro 2.3, encontra-se listada a relação florística de sete famílias botânicas: Cecropiaceae, Compositae, Leguminosae mimosoideae, Leguminosae papilonoideae, Myrsinaceae, Solonaceae e Urticaceae.

Quadro 2.3. Lista florística das espécies amostradas em Bom Jardim – RJ * (fragmento florestal com 2 a 3 anos de pousio).

Família	Nome Científico	Nome Vulgar
CECROPIACEAE	*Cecropia glaziovi*	Embaúba
COMPOSITAE	*Vernonia polyanthes Less*	Assa-peixe
LEGUM. Mimosideae	*Mimosa artemisiana*	Roseira
LEGUM. Papilionoideae.	*Machaerium nictitans*	Jacarandá bico de pato
MYRSINACEAE	*Rapanea ferruginea*	Capororoba
SOLANACEAE	*Solanum argentum*	----------
URTICACEAE	*Myriocarpum* sp.	----------

*Modificado de Reis (2002)

Apesar da área em pousio ainda ser considerada como sucessional inicial, foi possível verificar a ocorrência de espécies que dispõem de mecanismos de dispersão de sementes por animais, como a embaúba e capororoba, indicando que esta área já apresenta uma capacidade de atrair a fauna local, pássaros e roedores, o que pode contribuir para o aumento da diversidade vegetal nesta áreas em revegetação natural.

2.4.2.7. PARCELA SEM COBERTURA VEGETAL

No meses de abril a setembro de 2003, a parcela que estava sendo cultivada com espécies de ciclo curto de desenvolvimento, permaneceu sem cobertura vegetal. A metodologia de parcelas de perdas de solo, proposta por Wischmeier & Smith (1959), prevêem a instalação de uma parcela "testemunha" adjacentemente ao conjunto de parcelas cultivadas. Os dados gerados por esta parcela, darão as perdas de solo sem a influência das características botânicas das espécies cultivadas, bem como da forma de uso conservacionista do solo, em relação à interceptação da precipitação.

A dificuldade de se estabelecer uma parcela sem cultivo (solo nú), em razão da falta espaço físico, foi compensada pela permanência da parcela descoberta em intervalos sem cultivos (Figura 2.20).



Figura 2.20. Parcela de perda de solo sem cobertura vegetal.

2.4.3. PROCESSAMENTO DOS SEDIMENTOS

A cada evento pluviométrico, foram retiradas amostras nos tanques coletores das parcelas de perdas de solo sob diferentes formas de coberturas vegetais (cultivos e pousio). Em cada parcela retiravam-se três amostras individuais para serem analisadas. Cada amostra era constituída de um volume de 500 ml (Figura 2.21). Após processamento das amostras, efetuou-se a média simples, obtendo-se uma amostra composta de cada parcela, em cada evento pluviométrico registrado.



Figura 2.21. Amostras em potes de 500 e 1000 ml.

Inicialmente, essas amostras foram levadas a laboratório e submetidas à centrifugação, conforme metodologia adotada por Stieler (1996). O equipamento disponibilizado no laboratório, mais precisamente os “frascos” onde eram colocadas as amostras, não se mostraram eficientes, devido ao grande volume de amostras, bem como à perda de sedimentos em suspensão após a retirada do sobrenadante. O processamento por evaporação em estufa, proposta por Souza (2003), também apresentou-se ineficiente, em razão da demora na secagem das amostras. Nesse método o que mais inviabilizou o processamento das amostras, era a faixa de temperatura, em torno de 105º C, considerando que pretendiam-se realizar análises químicas dos sedimentos após secagem. As amostras submetidas a essas temperaturas, comprometem as estruturas de carbono e nitrogênio,

dificultando a obtenção dos percentuais de matéria orgânica. As temperaturas ideais são de 65º C.

O método da filtração, descrito por Souza (2001), foi o mais eficiente, não só pela velocidade de processamento da amostras, economia de recursos financeiros e espaço físico, como também pela vantagem de realizar a separação da fração de solo removido da encosta e água de enxurrada, no próprio campo. As amostras dos sedimentos retidos nos filtros de papel foram levadas a laboratório e feitas análises dos elementos químicos. Utilizaram-se membranas de filtros de papel "*Marka Selecta – RFP*", NR 589, com dimensão de 18,5 cm de diâmetro (Figura 2.22).



Figura 2.22. Disco de papel filtro NR 589 de 18,5 cm de diâmetro.

O método da filtração em papel foi fundamental para realização desta pesquisa, considerando-se que grande parte dela foi realizada em campo, daí a presença de um operador habilitado a esse e aos demais registros, pré-determinadas, exigiam metodologia ao mesmo tempo simples, de baixo custo e quando possível, de fácil operação.

Como pode ser visto na Figura 2.23, foi improvisada uma bancada de laboratório em campo, onde as amostras coletadas nas parcelas, foram submetidas aos procedimentos propostos na logística desta pesquisa.



Figura 2.23. Separação do solo removido da encosta da água de enxurrada por meio de filtros de papel 80 G, acomodados em suportes de plástico.

A perda de solo proveniente dos sedimentos em suspensão foi calculada através da fórmula (2.12):

$$Cs = \frac{Pf - Pi}{Vol} \qquad (2.12)$$

Onde:

Cs = concentração de sedimentos em suspensão (mg/l);
Pf = peso da membrana de papel filtr incluindo os sedimentos (g);
Pi = peso da membrana de papel filtro (g).

Observou-se que em alguns recipientes a quantidade destes sedimentos não foi suficiente para ser mensurada, especialmente na amostras coletadas na parcela sob pousio florestal.

2.5. INSTRUMENTAÇÃO

Optou-se pela utilização de uma instrumentação simples, de baixo custo e de bom grau de eficiência na área de estudo, em razão do reduzido orçamento destinado para a realização desta pesquisa, bem como o desempenho de outros grupos de pesquisa dentro e fora da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que vem utilizando estes materiais alternativos como técnicas de monitoramento ambiental.

2.5.1. PLUVIÔMETROS

Os eventos pluviométricos foram contabilizados pela da instalação de um conjunto de pluviômetros “alternativos”, com abertura de 100 mm de diâmetro, feitos de garrafas PET, fixados em estacas de madeiras, com elevação da borda dos coletores a 1,5 m da superfície do solo, no sentido de evitar contribuições indesejadas do impacto das gotas de chuva sobre o solo (Freitas, 2003). A água acumulada no interior da garrafas, foi lida com auxílio de provetas graduadas (Coelho Netto, 2003). Utilizou-se como calibração destes “pluviômetros”, uma proveta pluviométrica. Os pluviômetros foram instalados próximos às parcelas na área de estudo, sendo a análise dos eventos pluviométricos, cálculo do absoluto em milímetros, realizados em intervalos de 24 h, no período de 2001 a 2003, e a cada evento pluviométrico, no período de 2004, contabilizando os intervalos de cada evento (intensidade de precipitação) manualmente.

Esses dados foram correlacionados com os totais do escoamento superficial (água e sedimentos), captados pelas caixas de amianto instaladas na base das parcelas.

2.5.2. TENSIÔMETROS

O monitoramento da dinâmica da água no solo foi feito com a instalação de tensiômetros de manômetro de mercúrio, obtendo-se a sucção do solo (potencial matricial) em kPa. O tensiômetro empregado foi um instrumento

barato, simples e eficiente para pesquisa de campo, principalmente quando se pretende utilizar um grande número de pontos de investigação. Ele é constituído por um tubo de PVC (ponivinil clorídrico), preenchido com água desaerada, onde em sua parte superior encontra-se uma tampa de vedação, enquanto que em sua parte inferior possui uma cápsula porosa de porcelana (Faria & Costa, 1987; Fernandes *et al*., 1989; Libardi, 1995; Bernardo, S., 1995; Andrade Junior, S. A. & Bastos, E. A., 1995; Reichardt, K., 1987, Torre Neto, 1995, entre outros). Próximo à tampa no corpo do tubo de PVC tem-se uma mangueira (microtubo de nylon de 1,5 mm de diâmetro preso na haste de alumínio) conectando-o ao manômetro de mercúrio (cuba de vidro de 1,0 cm de diâmetro), de modo a permitir a medição da pressão da água no interior do tubo. A Figura 2.24 a seguir, apresenta o esquema básico de um tensiômetro:

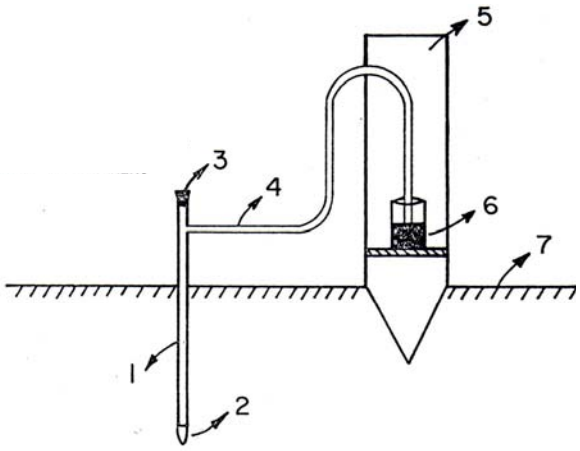


Figura 2.24. Esquema dos componentes de um tensiômetro manual de Hg. (modificado de Fernandes, 1989)

Onde:

1. Tubo de PVC;
2. Cápsula porosa;
3. Cap com vedação de borracha;
4. mangueira de nylon;
5. Suporte de madeira ou alumínio;
6. Cuba de mercúrio;
7. Superfície do solo;

Os tensiômetros indicam as variações do potencial matricial pela elevação e queda da coluna de mercúrio. O cálculo resumido da sucção do solo segundo Andrade Junior (1992), é apresentado pela equação 2.13:

$$H = \frac{(10{,}2 \times T_S) + h_1 + h_2}{12{,}6^*} \qquad (2.13)$$

Onde:

H = leitura da coluna de mercúrio (cm);
T_S = tensão da água no solo (kPa);
h_1 = altura do nível de mercúrio no recipiente em relação à superfície do solo (cm);
h_2 = profundidade de instalação do tensiômetro (cm).

Libardi (1995) considera que a relação entre H e h_1, pode comprometer o processo de leituras dos tensiômetros, pois toda vez que se obtem a leitura de H (leitura do mercúrio na haste de alumínio), tem-se que efetuar também a leitura h_1 da cuba de mercúrio (leitura do nível de mercúrio em relação a superfície do solo), tornando-se muito trabalhoso. Entretanto, isto pode ser facilmente contornado da seguinte maneira:

a) Antes de colocar o microtubo de leitura, preenche-se a cuba de mercúrio, fazendo uma marca na posição da superfície do mercúrio em relação ao solo;

b) O diâmetro da cuba de mercúrio será identificado como D e o microtubo de leitura como d . Tem-se a expressão (2.14):

$$\pi \frac{D^2}{4} (H - H^*) - \frac{\pi d^2}{4} (H - H^*) = \frac{\pi d^2}{4} H^* \qquad (2.14)$$

Onde o membro da esquerda da equação (2.19) representa o volume de mercúrio retirado da cuba e o da direita o mesmo volume que deu origem à altura H* (Libardi, 1995).

Para efeito de simplificação operacional dos tensiômetros, Naysmith (*apud* Torre Neto, 1995), expressam o fator de correção da depressão capilar em

H* - relação entre as densidades do mercúrio e da água.

cm H_2O, dada pela expressão Q = 11,8 / D, onde D é o diâmetro interno do microtubo de nylon, o qual neste caso será de 1,5 mm, fazendo Q = 7,86. Uma vez instalado, a pedra porosa de tensiômetro entra em contato com a matriz do solo, estabelecendo-se um equilíbrio. A diferença de pressão é indicada pelo manômetro, composto pelo microtubo em forma "U", devido a ascensão ou rebaixamento da coluna de mercúrio e água, indicando respectivamente o umedecimento e secamento do solo. A equação 2.15 é apresentada abaixo:

$$\Psi_m = \frac{H - 12{,}6h - Q}{10{,}2} \qquad (2.15)$$

Onde:

Ψ_m = potencial matricial (kPa);
H = distância do topo do reservatório de mercúrio até a cápsula porosa (cm);
h = altura da coluna de mercúrio (cm);
Q = fator de correção = 7,86.

Em cada parcela delimitada pelas dimensões de 4,0 m de largura e 22,0 m de comprimento, instalaram-se dois conjuntos de tensiômetros, nas profundidades de 15, 30 e 60 cm, nas seções de cota superior e cota inferior da encosta, totalizando seis tensiômetros de mercúrio por parcela. Ao todo, foram dezoito instrumentos instalados, monitorando continuamente a sucção ao longo da encosta estudada.

Para caracterizar a distribuição espacial da sucção do solo diariamente, a mensuração foi realizada duas vezes ao dia, às 7 horas da manhã e às 5 horas da tarde, no período do verão, e uma vez ao dia, ao entardecer, no período de estiagem, possibilitando assim uma melhor avaliação da resposta dos instrumentos na dinâmica da água no solo em relação aos totais de precipitação. No período de janeiro a julho de 2004, foram feitas as leituras anteriores e posteriores a cada evento pluviométrico, contribuindo no detalhamento dos processos hidrológicos do solo. Souza (2003), em seus estudos sobre instrumentação em parcelas de perda de solo, utilizou esta mesma configuração de tempo e distribuição da instrumentação na "rampa" avaliada (localização das parcelas experimentais).

Os dados potenciais matriciais observados em campo permitiram uma melhor compreensão da dinâmica da água no perfil do solo nas diferentes parcelas (diferentes coberturas vegetais), antes, durante e depois de cada evento pluviométrico (Figura 2.25).



Figura 2.25. Conjunto de tensiômetros instalados em diferentes profundidades nas parcelas sob cultivo de banana, cultivo rotacionado e em pousio.

A análise estatística dos dados foi feita com a média simples entre os dados diários de potencial matricial segundo Vieira, S. & Hoffmann, R., 1989). As variações espaciais e temporais do potencial matricial foram também avaliadas com alguns eventos pluviométricos, ou seja, pela mensuração em pequenos intervalos de tempo (escala de minutos). A Figura 2.26 ilustra a disposição em que se encontram os instrumentos instalados nas parcelas em campo, e suas respectivas profundidades.

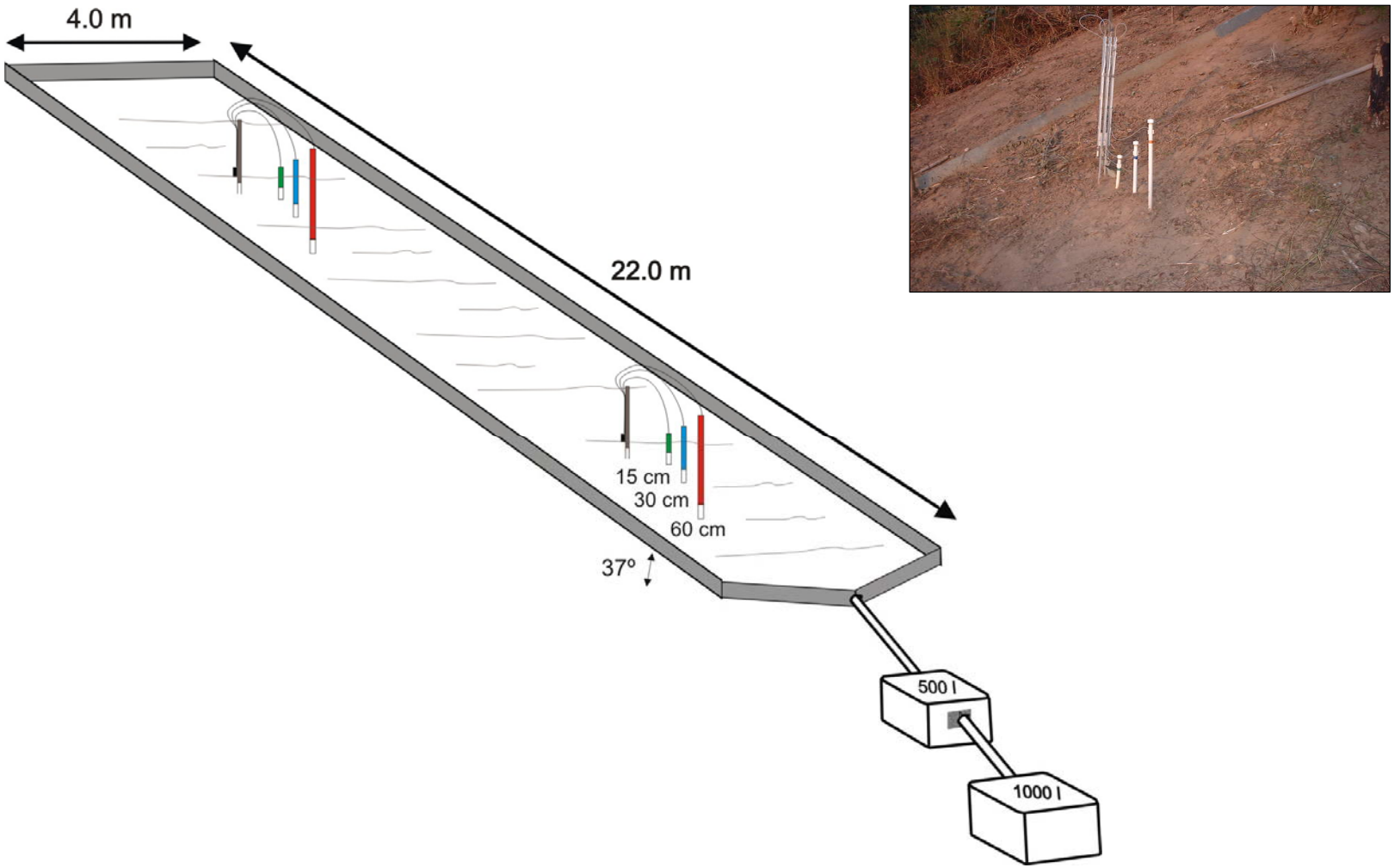


Figura 2.26. Desenho esquemático do posicionamento dos tensiômetros de Hg instalados a 15, 30 e 60 cm de profundidade nas parcelas de perdas de solo.

2.5.3. FLUXO DE ATRAVESSAMENTO

As mensurações dos fluxos de atravessamentos foram realizadas a cada evento pluviométrico, calculados a partir de 12 pluviômetros ou “atravessômetros”, como descrito por Freitas (2003), distribuídos aleatoriamente sob as copas das coberturas vegetais nas parcelas experimentais. Os coletores de fluxos foram construídos a partir de materiais reciclados como garrafas PET de 2,0 litros, cabos de energia e hastes de bambu (Figura 2.27). Cada coletor ficou suspenso a 1,5 m da superfície do terreno, nas parcelas sob cultivo de banana e em pousio, e a 0,5 m na parcela sob cultivo rotacionado. Os valores dos fluxos de atravessamentos em cada parcela, foram obtidos pela média simples de 12 coletores, calculados em milímetros, e transformados em taxas em relação ao percentual de precipitação.



Figura 2.27. Conjunto de pluviômetros PET instalados na parcela sob cultivo de banana.

Com relação ao fluxo de tronco, optou-se pela não realização neste estudo, considerando a dificuldade encontrada na construção e instalação destes equipamentos, bem como a irrelevância dos dados gerados, como descritos por Miranda (1992) em áreas de regeneração de florestas, onde os valores totais dos fluxos de atravessamentos, apresentaram-se em torno de 1,8 %, e por Freitas (2003), em área sob cultivo de banana, com valores em torno de 2,97%. Estes parâmetros foram adaptados e contabilizados no balanço hidrológico total, considerando a proximidade das características gerais nas

áreas de estudo observados por estes autores, em relação às características encontradas na região de Bom Jardim.

2.5.4. PAPEL FILTRO

O método do papel filtro baseia-se na hipótese que no estado de equilíbrio, o potencial de água de uma certa quantidade ou região de solo e o potencial de água em um papel filtro em contato com o solo.

A consideração do tempo necessário para o papel filtro atingir o equilíbrio no campo com o meio do seu entorno é de extrema importância e pode variar ao longo do ano, tendo em vista as condições ambientais.

A medida da sucção *in situ* com papel filtro é um procedimento de forma geral bastante simples Mahler & Dias de Oliveira (1997), podendo ser usado para determinação da sucção quando em contato direto total com o solo ou matricial quando não existe o contato direto. Vale observar que:

$$S_{Total} = S_{Matricial} + S_{Osmótica}$$

Chandler & Gutierrez (1986), mostraram que o método de papel filtro atua melhor em solos de textura mais argilosa, e com um alto grau de saturação. O grau de contato entre o papel filtro e a amostra de solo, é muito importante. Cuidados devem ser tomados, para evitar que o “disco” de papel filtro seja comprimido, caso contrário a absorção de água será restringida. Os autores consideram ainda que o tempo de equilíbrio entre a amostra e o “disco” seja em torno de 7 dias, sendo que pelo menos 5 dias são requeridos.

Segundo Crilly & Schreiner (1991), as amostras após serem retiradas do solo, deverão ser pesadas em um balança analítica, graduada em quatro casas decimais, com um erro aproximado de $\pm$ 0,0001 g. Após permanecer em uma estufa a $\pm$ 105º C, por um período de 24 h, a sucção é dada em kPa.

Para o papel filtro Whatman nº 42 (Chandler *et al*., 1992), temos as seguintes equações (2.16 e 2.17), em função do teor de umidade do papel.

Umidades > 47%

$$\text{Sucção (kPa)} = 10^{(6,05-2,48 \log w)} \quad (2.16)$$

Umidades $\leq$ 47%

$$\text{Sucção (kPa)} = 10^{(4,84-0,0622w)} \quad (2.17)$$

Pretendeu-se estabelecer uma curva característica entre a sucção e a umidade do solo da área em estudo em laboratório, através da técnica do papel filtro, o que pode ser uma opção menos onerosa na obtenção da sucção total e a relação com a umidade do solo. Foram coletadas amostras indeformadas por anéis de metal em cada parcela, nas profundidades de 0 a 10 cm. As amostras foram levadas a laboratório e envolvidas com filme plástico mantidas em ambiente controlado. Nas extremidades dos anéis, foram colocados discos de papel filtro Whatman nº 42, sendo envolvidos pelo filme de PVC em seguida. A cada quinze dias foi feita uma leitura da sucção e umidade equivalente, a partir da pesagem dos discos de papel filtro.

Marques *et al*., (2003) observou uma complementação entre os ensaios de papel filtro e câmara extratora de Richards, permitindo bons ajustes em termos de umidade. Apesar disso, o autor observou pequena variação em relação ao grau de saturação nos métodos avaliados.

2.6. ENSAIO DE INDERBITZEN

Com o objetivo de avaliar a erodibilidade dos solos em laboratório, foi escolhido o ensaio de Inderbitzen, executado com equipamento construído em laboratório na concepção original de Inderbitzen (1961). Bastos *et al*. (1999), afirmaram que o ensaio de inderbitzen constitui um ensaio de baixo custo, promissor na avaliação geotécnica da erodibilidade. A perda de solo e o fator erodibilidade K retratam o potencial de erosão dos solos.

O equipamento consiste de uma rampa de inclinação variável na qual uma amostra indeformada ou compactada de 15 cm de diâmetro é colocada rente

ao fundo, e então é aplicado uma lâmina d`água de vazão definida, produzindo um fluxo uniforme que passa sobre a amostra presa na rampa (Figura 2.28).



Figura 2.28. Esquema do equipamento modelo “Inderbitizen” para investigação da erodibilidade do solo; em detalhe, o recipiente onde é armazenada a água utilizada no ensaio, a inclinação do equipamento e a disposição da amostra na rampa (Vilela, 2003).

No ensaio o ângulo do talude e o grau de compactação devem seguir as condições de campo e, a duração e intensidade do escoamento superficial, devem levar em conta a intensidade e o tempo de concentração das chuvas da região (Inderbitzen, *apud* Motta *et al*., 2003).

A perda de solo é medida em peso de solo seco erodido com relação a área da amostra e ao tempo do fluxo da lâmina d`água. O ensaio foi conduzido no laboratório do Instituto de Geociências da UFRJ, utilizando o equipamento modificado por Vilela (2003). Para efeito de comparação com a declividade original na encosta estudada, a declividade da rampa no ensaio foi ajustada para um ângulo de 37º (equivalente a ± 60 % de declividade da encosta). As amostras foram trazidas do campo em forma de blocos indeformados (Figura 2.27), onde foram retirados os corpos de provas de tubos de PVC de 15 cm de diâmetro e 10 cm de altura.



Figura 2.27. Detalhe das amostras inseridas nos cilindros de 15 cm de diâmetro, extraídas dos blocos indeformados (25 x 25 cm) de solo coletados em campo.

Durante o ensaio, verificou-se o destacamento e carreamento de pequenos agregados de partículas, em intervalos de tempo variáveis, ocasionando aparente estabilização em determinado instante e, retomada do aumento de perda de solo em seguida.

Provavelmente, o escoamento satura progressivamente as agregações de partículas, diminuindo a resistência das mesmas (Motta, 2001). Em determinado instante, após o início da saturação, a capacidade de arraste do escoamento supera a resistência das agregações carreando-as. Fácio (1991), em seus ensaios de Inderbitizen, observou que a erodibilidade dos solos é inversamente proporcional ao grau de saturação da amostra. Pereira *et al*. (2003), também observou tendência da perda de solo nos primeiros cinco minutos do ensaio, vindo a se estabilizar aos 10 minutos. Não foi observado a estabilização das perdas de solo após o intervalo de 10 minutos conforme Rego (1978).

Os resultados obtidos nos ensaios de Inderbitzen, apresentados por Bastos (1999), permitiram categorizar os solos quanto sua resistência à erosão. O autor sugere que os solos mais erodíveis apresentam taxa de erodibilidade superiores a 0,1 g/cm^2/min e que os solos mais resistentes à erosão apresentam valores inferiores a 0,001 g/cm^2/min/Pa. No entanto, vale ressaltar que esse ensaio não simula os impactos das gotas das chuvas no solo, sendo que esse impacto auxilia a desagregação das partículas da camada superficial do solo (Santos *et al.*, 2002).

CAPÍTULO III

3. MODELAGEM

A medição e o monitoramento de áreas e/ou parcelas experimentais para a determinação das perdas de solo, bem como os processos e as propriedades edafoclimáticas, é uma tarefa difícil e cujos resultados apresentados são pontuais no tempo e no espaço. Além disso, nem sempre são possíveis, pois além de requererem quantidade expressiva de recursos humanos e financeiros nessas ações, o que dificulta a realização dessas mensurações em muitos pontos da paisagem.

Os modelos utilizados no estudo da erosão superficial do solo são equações matemáticas para representar os processos erosivos atuantes neste recurso natural. Eles são aplicados no dimensionamento de estruturas de controle da erosão, avaliação das práticas de manejo do solo, avaliação e planejamento ambiental. Segundo Cochrane & Flanagan (1999), infelizmente é muito dispendioso e impraticável monitorar a erosão em toda bacia hidrográfica, por isso a necessidade de predizer a erosão com o uso de modelagem, desde que se conheçam bem as estruturas numéricas de cada modelo.

A modelagem matemática tem sido uma ferramenta muito usada para a estimativa e predição dos processos erosivos. Muitos grupos de pesquisa tem aprimorado a determinação dos parâmetros que envolvem os modelos à medida em que se avançam as pesquisas de campo e do processamento de dados. Apesar disso, a idéia básica da Equação Universal de Perda de Solo, publicada na década de cinqüenta (Wischmeier & Smith, 1978), pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos, tem sido utilizada ainda como embasamento nos modelos mais atuais.

Mesmo considerando-se que os modelos atuais, baseados em processos físicos, apresentam um grande potencial de predição e aplicação, apesar disso, existem grandes limitações nestes modelos, o que dificulta a substituição dos modelos empíricos mais populares, como a USLE (Foster & Lane, 1987). Uma destas limitações, consiste no volume de recursos e tempo requeridos para a obtenção e compilação de dados e parâmetros, necessários para a aplicação adequada nas novas versões de modelos para predição e avaliação da erosão superficial do solo. Haan (1989), considera também que existem incertezas nas diferentes etapas do processo de modelagem, como a variabilidade espacial e temporal dos processos hidrológicos e sedimentológicos, somada às limitações das estruturas numéricas e aos processos de calibração destes modelos. Laften (1996), comenta sobre o uso do modelo matemático WEPP (*Water Erosion Prediction Project*), projetado para substituir a USLE nos EUA.

No Brasil o uso da modelagem matemática no estudo dos processos geomorfológicos ainda encontra-se incipiente. Os trabalhos de caráter quantitativo, de modo geral, limitam-se a uma abordagem de cunho experimental ou estatístico, visando à mensuração dos processos no campo. Assim, a modelagem matemática para investigação da erosão superficial, baseada em processos físicos, precisa ser vista como uma importante componente no desenvolvimento de hipóteses e conceitos que possibilitem a compreensão de fenômenos, inclusive aqueles que não podem ser mais mensurados (Fernandes, 1996).

3.1. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO – USLE (Modelo Empírico)

A Equação Universal de Perdas de Solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE) é um modelo empírico desenvolvido para predizer a perda média de solo, provocada pela erosão superficial, em áreas específicas no campo, para a cobertura vegetal e sistema de manejo do local, considerando um longo e contínuo período de tempo (Wischmeier & Smith, 1978).

Essa equação serve como guia para o planejamento do uso do solo e determinação das práticas de conservação do solo mais apropriadas a uma dada área.

A USLE exprime a ação dos principais fatores que determinados empiricamente influenciam na erosão pela chuva. É expressa pela equação (3.1), a seguir:

$$\mathbf{A = R \,.\, K \,.\, L \,.\, S \,.\, C \,.\, P} \qquad (3.1)$$

Onde:

A = perda de terra calculada por unidade de área, t/ha/ano;
R = fator chuva - erosividade MJ.mm/ha.h;
K = fator solo - erodibilidade - t.h/MJ.mm;
L = fator comprimento da encosta m;
S = fator grau do declive %;
C = fator uso e manejo (adimensionais);
P = fator prática conservacionista (adimensionais).

Finalmente, cabe ressaltar que, em função das limitações metodológicas originadas pela aplicação da USLE em grandes áreas utilizando parâmetros obtidos em pequenas parcelas experimentais, os resultados devem ser tomados somente como indicativos das perdas de solo na bacia de drenagem.

3.1.1. FATOR EROSIVIDADE – R Proposto

O potencial da chuva em causar erosão pode ser avaliado por meio de índices de erosividade que se baseiam nas características das chuvas de cada região. Wischmeier & Smith (1958) concluíram que o produto da energia cinética total pela intensidade máxima em trinta minutos (EI_{30}) é a relação que melhor expressa o potencial da chuva em causar erosão, considerando as fases de impacto das gotas de chuva, desagregação do solo e turbulência do fluxo, e transporte das partículas. Entretanto, segundo Lal (1988), o modelo de Wischmeier & Smith (1958) subestima a energia cinética das chuvas nas regiões tropicais por estas estarem relacionadas à velocidade dos ventos, à distribuição do tamanho das gotas e à alta precipitação. Estes fatores vêm contribuindo para o desenvolvimento de outros índices de erosividade. A equação 3.2 desenvolvida por Wischmeier & Smith (1958) é apresentada a seguir:

$$\mathbf{EI_{30} = 0,119 + 0,0873\ Log\ I} \qquad (3.2)$$

Onde:

I é intensidade de chuva em mm/h medidas em pluviógrafos.

Assim, para as condições tropicais da África, Hudson (1965) encontrou melhor correlação das perdas de solo com índice KE>25. Este índice considera a energia cinética total das chuvas com intensidade superior a 25 mm/h (Hudson, 1981; Morgan, 1986).

Segundo Wagner & Massambani (1988), a energia cinética associada à chuva pode ser calculada diretamente a partir da distribuição do tamanho e da velocidade terminal das gotas. No Brasil são raros os estudos detalhados sobre esses parâmetros. Nesse sentido, Wagner & Massambani (1988) determinaram a relação entre a energia cinética e a taxa de precipitação, obtida a partir de 533 eventos de chuvas, com amostras de distribuição de gotas de chuva providas de precipitações predominantemente convectivas (pequeno volume, curta duração

e alta intensidade) para a região de São Paulo. Os autores concluíram que a equação para o cálculo da energia cinética, obtida a partir dos dados observados, não difere significativamente da equação de Wischmeier & Smith (1958). A equação 3.3 desenvolvida por Wagner & Massambani (1988) é apresentada a seguir:

$$\mathbf{EI = 0{,}153 + 0{,}0645\ Log\ I} \qquad (3.3)$$

Onde:

I é intensidade de chuva em mm/h medidas em pluviógrafos.

Para determinação de R, soma-se o resultado dos valores mensais do índice de erosividade (3.4) em cada estação pluviométrica:

$$\mathbf{R = \sum_{i=1}^{n} EI_{30}} \qquad (3.4)$$

Onde:

E = é a energia cinética da chuva por área (J m^{-2});
I = é a intensidade da chuva (mm h^{-1});
i = é o índice da chuva e;
n = é o número de chuvas.

Silva *et al*. (1997), em seus estudos, utilizou dados de 433 eventos de chuvas, coletados no período entre 1989 e 1993, para o estabelecer o índice de erosividade na região de Goiânia, através dos métodos EI_{30} e KE>25, propostos por Wischmeier & Smith (1958) e Wagner & Massambani (1988). O autor concluiu que não houve diferenças significativas entre ambas as equações para o cálculo da energia cinética total, portanto optou-se em discutir os resultados obtidos pela equação do EI_{30}, considerando que essa é padrão do modelo proposto na Equação Universal de Perda de Solo por Wischmeier & Smith (1978). No Quadro 3.1 são apresentados alguns valores do fator R para algumas localidades do Brasil.

Quadro 3.1. Valores do parâmetro erosividade (R) para algumas localidades brasileiras *.

Local	Valor de **R** MJ mm/ha.h.ano	Autores
Brasília	8319	Dedecek (1978)
São Paulo (Mococa)	7747	Carvalho et al. (1989)
Mato Grosso (Cáceres)	8493 e 7830	Morais et al. (1991)
Goiânia	8353	Silva M. (1997)

* Modificado de Silva (1997).

A obtenção do índice de erosividade (EI_{30} e KE>25) é demorada e requer dados de precipitação registrados em pluviógrafos, que em muitos locais não existem. Por esse motivo, Fournier (1960) obteve um índice de erosividade com base na precipitação e no coeficiente de chuva, somente a partir de dados pluviométricos, conforme descrição de Bertoni & Lombardi Neto (1993). Entretanto, estas equações somente devem ser utilizadas em regiões que possuam condições climáticas semelhantes às do local em que foram desenvolvidas.

O valor de R pode ser calculado de dados de pluviômetros, segundo modelo proposto por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) é apresentado na equação (3.5). Foram computados valores de precipitação volumétrica no período de 2000 a 2004. Os registros dos anos de 2000 e 2001, foram cedidos pela Dona Martina de propriedade do “Morgenlicht” localizada cerca de 1,0 km do local de estudo. Os demais anos de registros, 2002 a 2004, foram feitos pelos pluviômetros instalados na área de estudo. Para efeito comparativo da erosividade, foram feitos os cálculos de R para o município de Nova Friburgo, estação meteorológica mais próxima de Bom Jardim, com base na série histórica entre 1961 e 1990.

$$\mathbf{EI_{30} = 89{,}823\ (r^2/P)^{0{,}759}} \qquad (3.5)$$

Onde:

EI = índice de erosão média mensal/anual (MJ.mm/h.ha);
r = precipitação média mensal (mm);
P = precipitação média anual (mm)

O quadro 3.2 abaixo apresenta os cálculos do índice de erosão IE_{30} para o município de Bom Jardim (área de estudo) e para Nova Friburgo (estação meteorológica do INMET, distante a ± 30 km da área de estudo).

Quadro 3.2. Cálculos de Índice de Erosão IE_{30} segundo modelo de Lombardi Neto & Moldenhauer (1992).

	EI_{30} MJmm/hah	
Meses	Bom Jardim	Nova Friburgo
JAN	1456,7	1331,9
FEV	935,3	952,0
MAR	627,4	815,5
ABR	236,7	266,6
MAI	707,2	132,5
JUN	32,0	58,4
JUL	35,5	37,0
AGO	84,5	46,6
SET	153,6	114,0
OUT	396,6	331,2
NOV	1319,7	969,3
DEZ	2175,1	1634,3
TOTAL	**8160,4**	**6689,4**

A erosão hídrica pode ser estudada a partir da correlação entre as características da chuva e suas respectivas perdas de solo (Wischmeier, 1959; Wischmeier & Smith 1978; Hudson, 1981). A correlação obtida é expressa pelo modelo linear (y = a+bx) onde y representa as perdas de solo e x, a erosividade da chuva, sendo o fator K representado pelo coeficiente de regressão b, quando os dados são obtidos sob condição da parcela padrão, conforme propuseram Wischmeier & Smith (1958).

Apesar da falta de dados de pluviógrafos para processar nos modelos de Wischmeier (1958) e Wagner & Massambani (1998), com base nas tomadas de tempos de alguns eventos pluviométricos, onde foram registrados manualmente os tempos de início e término das chuvas, fez-se às correlações intensidade x precipitação, obtendo-se os valores de índice de erodibilidade (IE) na área de

estudo de acordo com os modelos citados anteriormente. As correlações são apresentados nos gráficos 3.1 e 3.2:

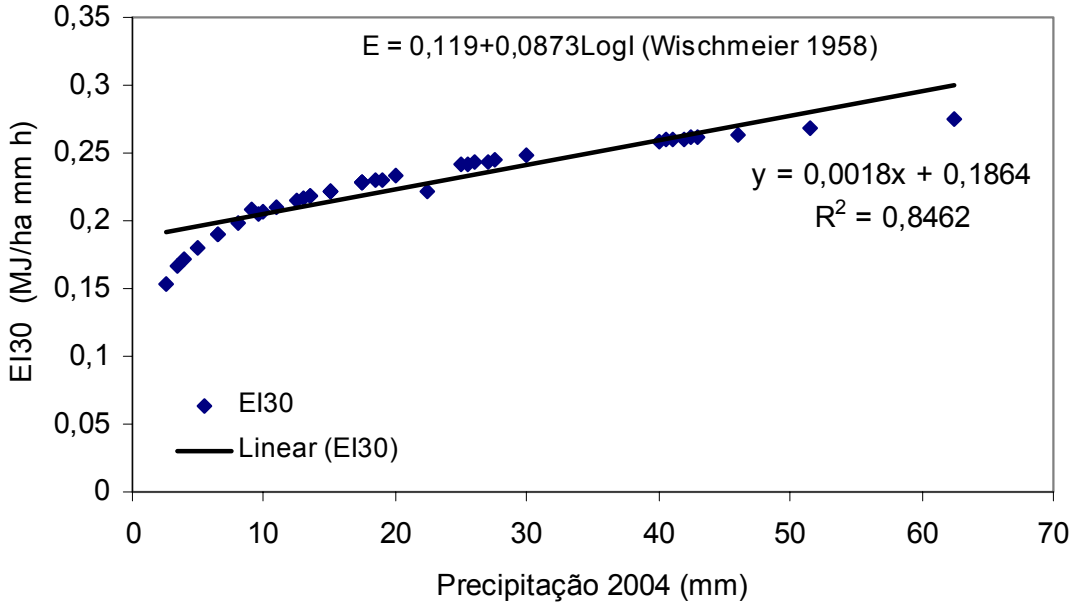


Gráfico 3.1. Calculo do EI a partir dos dados pluviométricos (modelo de Wischmeier 1958, para dados de pluviógrafos).

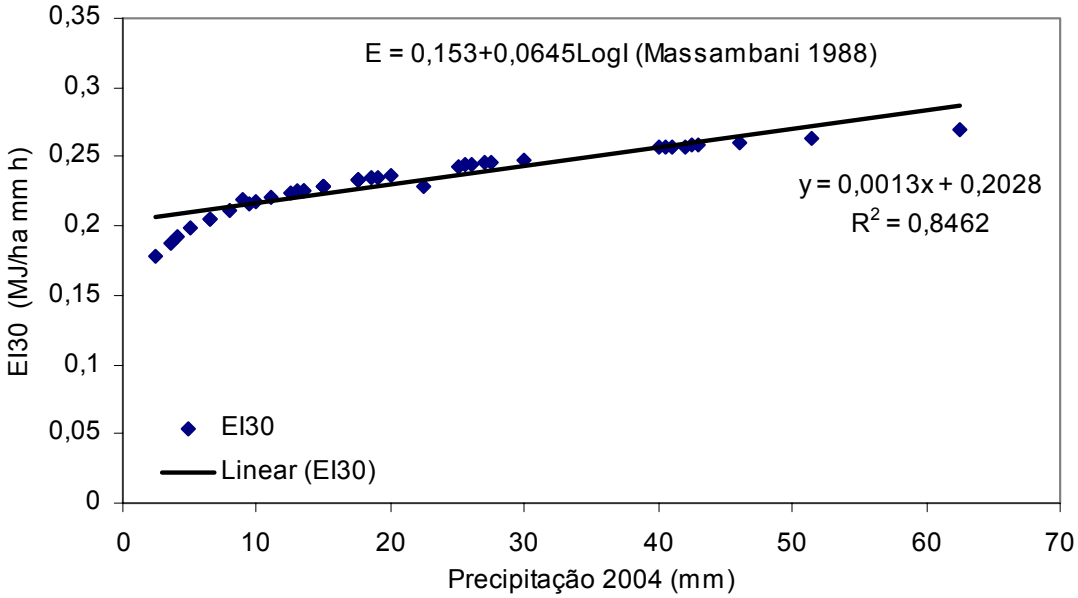


Gráfico 3.2. Calculo do EI a partir dos dados pluviométricos (modelo de Massambani 1988, para dados de pluviógrafos).

Pode-se observar que apesar da insuficiência dos dados gerados, houve uma correlação significativa (R^2 0,85) entre a precipitação e seus Índices de Erosividade (IE_{30}) equivalentes aos modelos propostos por Wischmeier (1958) e Wagner & Massambani (1998).

3.1.2. FATOR ERODIBILIDADE – K Proposto

O fator K pode ser determinado diretamente no campo com chuva natural ou simulada em parcelas padrão ou por determinações indiretas, empregando-se métodos empíricos. Quando determinado em parcelas padrão (Wischmeier, *et al*., 1959), é considerado como valor real da erodibilidade do solo.

As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são aquelas que: a) afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; b) resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

Wischmeier, *et al*. (1971), propuseram a estimativa do valor de K através das propriedades granulométricas e do teor de Carbono Orgânico, conforme equação (3.6) aseguir:

$$\mathbf{K = 2{,}8\ (10)^{-7}\ M^{1{,}14}\ (12\text{-}MO) + 4{,}3 \times 10^{-3}\ (EST\text{-}2) + 3{,}3 \times 10^{-3}\ (PER\text{-}3)} \qquad (3.6)$$

Onde:

K - é o valor estimado para o fator K, em Mg h MJ^{-1} mm^{-1};

M – é a soma dos teores de silte (%) e areia fina(%) multiplicada por 100 menos o teor de argila (%), sendo a análise granulométrica feita com o uso de NaOH 1molL^{-1} como dispersante;

MO – é o teor de matéria orgânica (%);

EST e PER são índices adimensionais, correspondentes à estrutura e permeabilidade do solo, respectivamente, conforme descrição de Wischmeier, *et al*., 1971. O fator 0,1317 na equação refere-se à conversão da unidade original do fator K para o sistema métrico internacional, de acordo com Foster, *et al*., (1981).

As classe de estrutura e permeabilidade foram codificadas com base na descrição geral dos perfis dos solos e na descrição morfológica do horizonte A.

A estrutura foi codificada em:

a. muito pequena granular = 1
b. pequena granular = 2
c. média a grande granular = 3
d. bloco, laminar ou maciça = 4

A utilização direta do nomograma de Wischmeier & Smith (1978) para solos do Brasil é desaconselhável, pois ele geralmente superestima os valores de K para os solos tropicais (Dangler *et al*., 1976; Lo *et al*., 1985).

Bertoni & Lombardi Neto (1993) estabeleceram para vários solos o valor de K (equação 3.7), bem como de sua tolerância de perda.

$$K = [(\text{Argila Natural}/\text{Argila})/(\text{Argila}/\text{UE})] \times (1/9.81) \quad (3.7)$$

Argila natural ou argila dispersa em água (%);
Argila - argila dispersa em soda (%);
UE – umidade equivalente ou equivalente de umidade (%).

Denardin (1990) estabeleceu um modelo para determinar o fator K (3.8) que foi modificado por Levy (1995) que é o seguinte:

$$K = 7{,}48\times10^{-6} \times M + 4{,}48059\times10^{-3} \times \text{Permeabilidade} - 6{,}31175\times10^{-2} \times \text{DMP} + 1{,}039567\times10^{-2} \times R_1 \quad (3.8)$$

Onde:

M – novo silte x (novo silte + nova areia)
novo silte = silte + areia fina - em %
nova areia = areia grossa – em %
Permeabilidade – coeficiente de permeabilidade
1 = muito rápida
2 = rápida
3 = moderada
4 = lenta
5 = muito lenta
6 = imperfeitamente drenado

DMP – diâmetro médio ponderado dos agregados do solo
DMP = [(0,65 x AG) + (0,15 x AF) + (0,0117 x Silte) + (0,00024 x Arg)]/100
AG – teor de areia grossa, em %;
AF – teor de areia fina, em %;
Silte – teor de silte, em %,
Arg – teor de argila, em %
R_1 = NA x MO/100
NA – nova areia (teor de areia grossa em %)
MO = 1,73 x carbono em %
Carbono – teor de carbono em %

A erodibilidade dos solos brasileiros é muito variável. Isso é decorrência da variabilidade climática que influi na erosividade das chuvas, bem como da variedade de solos com propriedades diferenciadas que influenciam sua resistência hídrica. Os métodos para o cálculo do fator K, devem incluir estas variabilidades dos solos. Abaixo no Quadro 3.3 são apresentados alguns valores do índice de erodibilidade (fator K) obtidos em solos brasileiros.

Quadro 3.3. Valores de erodibilidade para alguma das localidades brasileiras e suas respectivas classes de solos (Modificado de Silva, 1997).

Local	Valor de **K** t ha h/ha MJ mm	Autores
Paraná (PR)	0,0033 a 0,047	Biscaia et al. (1981)
Minas Gerais (Zona da Mata)	0,0038 a 0,0178	Resck et al. (1981)
Ceará (Ibiapaba)	0,001 a 0,033	Távora et al. (1985)
Paraíba (semi-Árido)	0,004 a 0,066	Silva et al. (1986)
São Paulo – PVAeut	0,0232	Carvalho et al. (1989)
Pernambuco (região Agreste)	0,00047 a 0,0038	Cantalice & Margolis (1993)
Santa Catarina (Lages)	0,016	Bertol (1994)
Goiânia – Lvec	0,009	Silva M. (1997)
Passo Fundo (RS) – Lvec	0,021	Denardin e Wunsche (1981)
Planaltina (DF) – Lvec	0,013	Dedecek et al. (1986)
Jaboticabal (SP) – Lvec	0,009	Martins F. e Pereira (1993)
Paranavaí (PR) – Lvec	0,0084 e 0,0086	Jacobs et al. (1994)
Ponta Grossa (PR) – Lvec	0,00858 e 0,0086	
Lavras (MG) - LVec	0,004	Lima (1987;1991);Silva (1994)

Denardin (1990), na tentativa de desenvolver um modelo para determinação indireta da erodibilidade dos solos brasileiros, analisou dados experimentais de 31 solos submetidos à chuva natural e simulada. Desses, nove eram LATOSSOLOS com valores de erodibilidade entre 0,002 a 0,034 t h/MJ mm. Foster *et al*. (1981), classificam os valores observados para o fator K em t h/MJ mm em 0,010, 0,030 e 0,060, respectivamente, como: baixo, moderado e alto.

Considerando que a análise granulométrica ter sido processada em NaOH (Embrapa, 1997), foi utilizado o modelo proposto por Denardin (1990) para determinar o fator K. No Quadro 3.4 são apresentados os parâmetros e os cálculos deste modelo, a partir das caracterizações físicas e químicas do solo.

A vantagem da utilização de métodos indiretos com base em parâmetros físico-químicos são a rapidez na determinação da erodibilidade dos solos, em comparação com os métodos diretos convencionais, e a possibilidade de sua estimativa por meio de parâmetros obtidos por análises laboratoriais de fácil execução. Infelizmente, a indefinição do método mais adequado para a maior amplitude possível de solos dificulta a padronização de obtenção do fator K para a aplicação da USLE, mesmo para condições regionais (Correchel, 2003).

Quadro 3.4. Valores do fator de erodibilidade K através do método de Denardin (1990), a partir dos dados obtidos na caracterização do solo *.

Parcelas	Prof	AG %	AF %	S %	Arg %	C %	Perm	M	Fator Perm	DMP	Fator R (MO)	K MJ.mm/ha.h
	5	52,04	17,93	7,91	21,33	1,59	3	0,015	0,013	0,023	0,015	0,020
	10	51,90	18,60	8,50	21,44	1,22	3	0,016	0,013	0,023	0,011	0,018
Banana	20	52,27	18,27	6,67	22,22	0,94	3	0,014	0,013	0,023	0,009	0,013
media		*52,07*	*18,27*	*7,69*	*21,67*	**1,25**	*3*	*0,015*	*0,013*	*0,023*	**0,012**	**0,017**
	5	44,18	11,80	24,78	20,22	1,55	3	0,022	0,013	0,019	0,012	0,028
Rotacionado	10	44,92	10,87	24,66	20,00	1,37	3	0,021	0,013	0,020	0,011	0,026
	20	44,61	9,07	24,74	20,11	1,19	3	0,020	0,013	0,019	0,010	0,023
media		*44,57*	*10,58*	*24,73*	*20,11*	**1,37**	*3*	*0,021*	*0,013*	*0,019*	**0,011**	**0,026**
	5	46,02	11,13	16,67	23,33	1,34	3	0,015	0,013	0,020	0,011	0,020
Pousio	10	46,27	17,67	16,89	24,00	1,18	3	0,021	0,013	0,021	0,010	0,023
	20	45,09	13,73	16,67	25,33	0,89	3	0,017	0,013	0,020	0,007	0,018
media		*45,79*	*14,18*	*16,74*	*24,22*	**1,14**	*3*	*0,018*	*0,013*	*0,020*	**0,009**	**0,020**

* Modificado de Bertoni e Lombardi (1993).

3.1.3. FATOR DECLIVIDADE/EXTENSÃO – LS Discutidos

A intensidade de erosão pela água é grandemente afetada tanto pelo comprimento da encosta quanto pelo seu gradiente.

Esses dois efeitos, pesquisados separadamente, são representados na USLE por L e S respectivamente. Para a aplicação prática da equação são considerados conjuntamente como um fator topográfico: LS.

O fator LS é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes a uma parcela unitária de 22 metros de comprimento com 9% de declive (Bertoni & Lombardi Neto,1993).

Li *et al,* (*apud* Chaves, 1996), através de uma derivação analítica e dimensional do processo erosivo em uma vertente, mostraram que, tanto para escoamentos laminares (Re < 900) quando para escoamentos turbulentos (Re > 2000), a erosão é proporcional a ($L^{0,67}$ $s^{1,33}$) no caso laminar, e a ($L^{1,17}$ $s^{1,33}$), no caso turbulento.

Na USLE original, os expoentes obtidos para o comprimento de rampa (L) e para a declividade da vertente (s) são apresentados na equação (3.9):

$$\mathbf{LS_{USLE}} = \left[\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{22,1}}\right]^{\mathbf{m}} \mathbf{(0,00654s^2 + 0,0456s + 0,065)} \qquad (3.9)$$

Onde:

L = comprimento da encosta (m)
m = variável em função da declividade (S)
S = declividade (%)

O expoente (m) varia entre 0,2 e 0,5, em função da declividades. No caso do expoente da variável (s), este varia entre 0 e 2, no polinômio de 2° grau da equação (3.9) Isto demonstra que, apesar de empírica, a estrutura da USLE está de acordo com os conceitos físicos, como demonstraram Li *et al*. (1973).

A mesma equação é descrita em (3.10a) por Bertol *et al*. (2001):

$$LS_{USLE} = \left[\frac{L}{22,1}\right]^{m} (65,41 sen\theta^2 + 4,56\ sen\theta + 0,065) \quad (3.10)$$

Onde:

θ = representa o ângulo de declividade da encosta (graus)

Martins Filho (1999), em seus estudos sobre erosão entre sulcos em Latossolos, apresenta a equação (3.10b) com algumas modificações:

$$LS = \left[\frac{L}{22,1}\right]^{m} (65,41\ sen^2 s + 4,56\ sen\ s + 0,065) \quad (3.10b)$$

Onde:

s = arctg (d%/100) = Θ
d% = declividade em porcentagem do terreno.

Bertoni & Lombardi Neto (1993) estabeleceram a equação (3.12), propondo a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação as perdas de solo correspondentes a uma parcela unitária de 25 metros de comprimento com 9% de declive.

:

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \quad (3.12)$$

Onde:

LS = fator topográfico
C = comprimento de rampa (m);
D = percentual de declividade (%).

Bertol (1994), faz observações para o uso da equação (3.9 e 3.10), considerando que elas foram concebidas por meio de parcelas “padrão da USLE”, sob declividade é de 9,0 % (Wischmeier & Smith, 1978). O autor propõe correções destas equações nas condições de declividades estudadas.

Para uma parcela de 8,5 % de declividade, a correção foi de 1,08 e para uma parcela com 10,0 % de declividade, o ajuste foi de 0,83. Estes correções, foram feitas procedendo-se o levantamento das perdas de solo ocasionadas por uma

chuva qualquer ocorridas nas parcelas experimentais com declividade de 8,5 % (Bertol, 1994) e 10 % (Bertol *et al*., 2001), calibradas para as perdas de solo ocasionadas por chuvas de mesma intensidade, sob declividade de 9,0 % (parcela padrão). Estas correções são apresentadas em (3.13 e 3.14):

$$\mathbf{A_{9,0\,\%} = 1,08 \,.\, A_{8,5\%}} \quad (3.13)$$

$$\mathbf{A_{9,0\,\%} = 0,83 \,.\, A_{10,0\%}} \quad (3.14)$$

Onde:

$A_{9,0\,\%}$ = perdas de solo ocasionada por uma chuva qualquer, corrigida para uma declividade de 9,0 %;

$A_{8,5\%}$ = perdas de solo ocasionada por uma chuva qualquer, ocorridas em uma parcela experimental com declividade de 8,5 %;

$A_{10,0\%}$ = perdas de solo ocasionada por uma chuva qualquer, ocorridas em uma parcela experimental com declividade de 10,0 %.

Os valores de perda de solo obtidos em Bom Jardim na declividade 60 %, correlacionados aos valores obtidos em parcelas com declividade de 9,0 % (parcela padrão Wischmeier, 1959) através de simulações pela USLE, é dado por (3.15).

$$\mathbf{A_{9,0\%} = 0,1374 \times A_{60\%}} \quad (3.15)$$

Onde:

$A_{9,0\%}$ = é perda de solo de uma chuva qualquer, corrigida para declividade de 9,0 %;

$A_{60\%}$ = é a perda de solo de uma chuva qualquer, ocorrida em declive de 60 % da parcela de campo em Bom Jardim;

0,1374 é o fator de correção correspondente.

Com tudo, a aplicação adequada da USLE depende de um banco de dados que possa abrangir as condições ambientais da região em questão. Além disso, para que se atinja uma estabilidade hidrológica para a estimativa confiável de EI_{30}, LS e C, são necessários pelo menos 22 anos de dados (Wischmeier, 1976). Apesar deste tipo de informação ser disponível em muitas regiões dos Estados Unidos, as curtas séries históricas e a falta de continuidade na coleta de dados de parcelas-padrão, podem limitar a utilização da USLE em países em desenvolvimento, como o Brasil (Chaves, 1996).

Nas atualizações mais recentes do modelo, Renard *et al.* (1991) considera o fator LS em função da relação da erosão entre sulcos e em sulcos, onde a erosão entre sulcos está submetida a ação das gotas de chuvas e a erosão em sulcos, pela ação do escoamento superficial. Perdas de solo computadas em declividades menores que 20 % são similares a USLE e RUSLE. Entretanto, em declives íngremes, os dados computados reduzem quase da metade com a RUSLE.

O fator comprimento e declividade de rampa (LS), é definido como a proporção das perdas de solo no comprimento da rampa a ser analisado no campo, pelo comprimento estabelecido 22,1 m da parcela padrão Wischmeier proposto inicialmente pela USLE.

O fator comprimento e declividade de rampa (LS) é obtido pela equação (3.16) segundo Renard *et al*. (1991):

$$LS_{RUSLE} = \left[\frac{L}{22,1}\right]^{m} \qquad (3.16)$$

Onde:

L = comprimento horizontal da encosta (m);
m = variável em função da relação da erosão sulcos e entre sulcos.

Os valores do expoente (m) podem variar entre 0,02 e 0,83, em função do grau de severidade da erosão em sulcos (baixa, media ou alta), e da declividade da pendente passando a ser calculado pela equação (3.17):

$$m = \frac{B}{1 + B} \qquad (3.17)$$

onde (B) é o quociente entre a erosão em sulcos e a erosão entre sulcos, típica da vertente, podendo ser calculado segundo a expressão (3.18) (McCool *et al*., 1989):

$$B = \frac{\frac{\text{sen } \theta}{0.0896}}{3-(\text{sen } \theta)^{0,8}+0,56} \quad (3.18)$$

Onde:

θ = é o ângulo em graus do declive da pendente.

No caso do fator (S), na USLE é definido como a proporção das perdas de solo a ser analisado no campo, comparadas a parcela padrão Wischmeier concebida sob gradiente de declividade de 9 %. E equação utilizada na RUSLE, apresentada no *Agriculture Handbook* 537 (Wischmeier & Smith, 1978), indica uma superestimativa das perdas de solo em encostas com declividades superiores a 9%. McCool *et al*. (1989) desenvolveram uma revisão do fator (S), o qual é utilizado na RUSLE

O fator declividade da encosta (s) é avaliado pelas expressões (3.21a e 3.21b):

$$S = 10,8 \text{ sen } \Theta + 0,03 \quad (p/s < 9\%) \quad (3.21a)$$

$$S = 16,8 \text{ sen } \Theta - 0,50 \quad (p/s \geq 9\%) \quad (3.21b)$$

Onde:

Θ = representa o ângulo em graus da encosta.

Observações feitas por Renard *et al*. (1991), demonstram que em encostas menos íngremes, o fator LS calculado pela RUSLE apresenta-se próximo dos valores estabelecidos pelo método da USLE. Entretanto, em condições de declividades mais acentuadas, os valores LS determinados pela RUSLE, são equivalentes a metade do valores LS obtidos na USLE.

Liu *et al.* (1994), em suas pesquisas em regiões montanhosas na China, propôs modificações nas equações de McCool *et al.* (1987, 1989), para situações de declividade elevadas. A equação proposta é apresentada em (3.19):

$$S = 21.91 \sin \theta - 0.96 \quad (3.19)$$

Onde:

Θ = representa o ângulo em graus da encosta.

Uma equação que unifica as equações para o fator de declividades elevadas de RUSLE e a equação para vertentes com declives mais íngremes de Liu *et al.* (1994), foi proposto por Nearing (1997) conforme a equação (3.20):

$$S = 1{,}5 + \frac{17}{1 + \exp(2.3 - 6.1 \operatorname{sen} \theta)} \quad (3.20)$$

Onde:

Θ = representa o ângulo em graus da encosta.

Barrios (2000), numa tentativa de modelar as perdas de solo em pendentes de uma microbacia na Venezuela Andina, utilizou o fator LS da RUSLE. As encostas estudadas apresentavam declividades entre 40 e 60% de declividade. Em Bom Jardim, a extensão da rampa da encosta, foi de 22,0 metros de comprimento, equivalente ao tamanho da parcela, a declividade apresenta um ângulo de 37º (60%). Estes parâmetros foram introduzidos nos modelos pesquisados para a determinação do fator LS, sendo apresentados no Quadro 3.5 abaixo:

Quadro 3.5. Valores do fator LS determinado por diferentes métodos.

Modelo	LS
USLE, Wischmeier (1978)	26,3
Martins Filho (1999)	8,2
RUSLE, Renard (1991)	7,2
Bertoni e Lombardi (1992)*	8,6
Liu (1994)	12,2
Nearing (1997)	15,6

* Valores corrigidos com parcelas padrão de 9,0% declividade (Bertoni & Lombardi Neto, 1993)

A metodologia para o cálculo do fator LS descrita por Nearing (1997), foi a que se adaptou melhor as condições geomorfológicas observadas em Bom Jardim, obtendo o valor de 15,6.

Wischmeier & Smith (1978), em seus estudos sobre predições da USLE, concluíram que as 84% das predições do modelo apresentaram um erro inferior a 5 t/ha, quando comparadas com dados de parcelas experimentais. Risse *et al.* (1993), analisando a eficiência em uma série de dados de 208 parcelas dos EUA, concluíram que este modelo explica 58% da variabilidade da perda de solo observada nas parcelas, a nível anual, e 75% da variabilidade quando médias anuais eram usadas. De acordo com estes autores, os fatores que mais influenciaram a eficiência das predições do modelo foram os de uso e manejo (C) e topográfico (LS).

As limitações inerentes à USLE devem ser reconhecidas, sob risco de se obter predições incorretas (Wischmeier. 1975). Além da deposição em pés de encosta, a USLE não incorpora o processo de erosão em voçorocas. Este fato é responsável por subestimativas de perda de solo pelo modelo, quando ocorrem os processos de voçorocamento (Kreznor *et al*., 1992).

Apesar da natureza empírica da equação (3.9), há modelos fisicamente embasados, abordados no item 3.2, como o WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) e o CREAMS *(Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)*, capazes de simular condições de encostas não uniformes e suas interações hidrológicas e geomorfológicas da paisagem (Haan *et al*., 1989). Este modelo é relativamente complexo e requer um detalhamento dos parâmetros climáticos (Nearing, *et al*., 1989), principalmente o parâmetro IE_{30} obtido a partir de uma base de dados de pluviógrafos.

3.1.4. FATOR COBERTURA VEGETAL/MANEJO – CP Tabelados

O fator (C) uso e manejo do solo é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuadamente descoberto e cultivado (Wischmeier & Smith, 1965).

Os efeitos das variáveis uso e manejo não podem ser avaliados independentemente, devido às diversas interações que ocorrem (EPAGRI, 1994).

Assim, uma cultura pode ser plantada continuamente em um mesmo local ou então em rotação com outras. Seus restos podem ser removidos, queimados, deixados na superfície, incorporados próximos à superfície ou totalmente enterrados com o preparo do solo. Quando deixados na superfície, podem ser cortados ou mantidos como foram colhidos.

O preparo do solo pode deixar a superfície do terreno bastante irregular ou lisa. Diferentes combinações dessas variáveis tendem a apresentar diferentes efeitos nas perdas de solo.

A efetividade do manejo dos restos culturais dependerá da quantidade de resíduos existente, que, por sua vez, é função da chuva, fertilidade do solo e manejo da cultura.

A proteção da cobertura vegetal não só depende do tipo de vegetação, do estande e de seu desenvolvimento como, também, varia grandemente nos diferentes meses ou estação do ano. A eficácia de reduzir a erosão, portanto depende da quantidade de chuvas erosivas que ocorrem durante esse período, quando a cultura e as práticas de manejo apresentam uma proteção mínima.

O fator C mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo acima enumeradas.

A proteção oferecida pela cobertura vegetal, durante o seu ciclo vegetativo, é gradual. Para fins práticos, Bertoni & Lombardi Neto (1993), dividiram o ano

agrícola em cinco períodos ou estágios da cultura, definidos de tal modo que os efeitos de cobertura e manejo possam ser considerados aproximadamente uniformes dentro de cada período, a saber:

a) período 0 - preparo do solo: do preparo ao plantio;
b) período 1 - plantio: do plantio a um mês após o plantio;
c) período 2 - estabelecimento: do fim do período um até dois meses após o plantio;
d) período 3 - crescimento e maturação: de dois meses após o plantio até a colheita;
e) período 4 - resíduo: da colheita até o preparo do solo.

As intensidades de perdas de solo são computadas para cada um desses estágios e para cada cultura, sob várias condições (sequência de culturas, níveis de fertilidade, produção, quantidade de restos culturais).

O fator (C) na Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), proposta por Renard *et al*. (1991), mede o efeito das formas de uso e manejo do solo nos processos erosivos, em função das variáveis de cada subfatores. Esta estimativa é denominada razão de perdas de solo (RPS), apresentada na equação 3.22:

$$RPS = UAS.\ CC.\ CS.\ RS.\ US \qquad 3.22$$

Onde:

UAS = subfator de Uso Anterior do Solo
CC = subfator de Cobertura de Copas
CS = subfator de Cobertura do Solo
RS = subfator de Rugosidade de Solo
US = subfator de Umidade do Solo

A RPS é estimada pela combinação destes subfatores em um período de tempo determinado, em função do fator erosividade (R) correspondente a mesmo período.

→ subfactor Uso Anterior do Solo (UAS)

O subfator uso anterior do solo (UAS), refere-se ao uso anterior solo, refletindo os efeitos dos resíduos acumulados na camada superficial após os ciclos de cultivos. Este efeito da biomassa, raízes e resíduos de cultivos enterrados na

camada de 10 cm de solo, são expressos como fator (RSU), na unidade de kg/ha.mm^{-1}. A (UAS) é expressa em (3.23):

$$UAS = CON \exp^{(-0,012\ RSU)} \quad (3.23)$$

A variável (CON), refere-se ao fator de consolidação dos resíduos no solo, variando entre 0,5 a 1,0 (adim.), sendo o valor 1,0 referente a área composta de resíduos de ciclo de cultivo recente (Dissmeyer & Foster, 1981), diminuindo progressivamente com o tempo, principalmente se a estrutura do solo for mantida (Renard *et al*., 1991).

→ subfator Cobertura das Copas (CC)

O subfator de cobertura de copas (CC), incorpora o efeito da proteção da cobertura vegetal sob efeito das chuvas, reduzindo o impacto das gotas na superfície do solo. O estágio de crescimento da cobertura vegetal proporciona uma relação inversa a ação efetiva das chuvas (Laflen *et al*., 1985). A chuva interceptada também vai para o solo por folha ou talo da vegetação, mas a ação em causar erosão, é menos efetiva. O efeito da cobertura de copas é dado pela expressão (3.24):

$$CC = 1 - FC\ [\exp(-0,34\ H)] \quad (3.24)$$

Onde:

FC = é a fração da superfície do solo coberta por copa (adim.);
H = é a altura da copa das plantas (m).

→ subfator Cobertura do Solo (CS)

O subfator de cobertura do solo (CS), também é responsável no processo erosivo, reduzindo a capacidade de transporte de sedimentos ao longo superfície do solo. Pequenas bacias, leiras ou terraços que acumulam estes sedimentos, além de resíduos de cultivos reduzem a ação erosão. O cálculo do subfator (CS) é apresentado na expressão (3.25):

$$SC = \exp^{(-3,5M)} \quad (3.25)$$

Onde:

M = é a fração da superfície do solo coberta por resíduos (adim.).

De acordo com Laflen *et al*. (1985), os valores calculados de RPS pela equação (3.22) se aproximam bastante daqueles estimados pelas tabelas da USLE.

→ subfator Rugosidade do Solo (RS)

O subfator rugosidade do solo (RS), incorpora o efeito das deformações que compõem a superfície do solo. A superfície do solo possui muitas depressões e/ou ondulações, que agem como barreiras, reduzindo a velocidade dos fluxos hídricos, atenuando na erosão. A rugosidade do solo produz maiores taxas de infiltração da água no solo, do que em superfícies lisas. Na expressão (3.26) são apresentados o subfator (RS):

$$RS = \exp^{[-0,026\,(RB-6)]}\,[1-\exp^{(-0,035\,Rsi)}] \quad (3.26)$$

Onde:

RB = é a rugosidade aleatória do solo (mm), (Renard *et al*., 1996);
Rsi = é a quantidade de resíduos na camada arável (kg/ha).

→ subfator Umidade do Solo (US)

O subfator umidade do solo (US) representa influência da infiltração da água na ação do escoamento superficial do solo. Este parâmetro deve ser estimado em testes de infiltração e permeabilidade em campo e/ou laboratório. Este subfator não é computado na RPS. Ele deve ser incluído na obtenção dos demais dados (UAS. CC. CS. RS), como indicador do estado de umidade do solo, promovendo uma caracterização mais efetiva do fator (C), como em 3.27 (Pudasaini, 2003).

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{n} (RPS)\,(IE_{30})}{\sum_{i=1}^{n} (RPS)} \quad (3.27)$$

Onde:

RPS = Razão de Perda de Solo (Ton/ha);
IE_{30} = intensidade máxima dachuva em 30 minutos (mm/h);
i = índice da chuva;
n = número de chuvas

De acordo com Laflen *et al*. (1985) e Silva & Schulz (2001), os valores calculados de (RPS) pela equação (3.27) se aproximam bastante daqueles estimados pelas tabelas da USLE.

A vantagem da metodologia da RUSLE é a possibilidade da determinação indireta de (RPS), por meio da obtenção dos parâmetros relativos às culturas (RSU, FC, H) e aos tipos de implementos/manejo usados (CON. RB e M), requerendo uma série de dados consideravelmente mais curta do que no caso tradicional. Entretanto, essas relações devem ser previamente validadas, se as condições de aplicação forem distintas daquelas onde elas foram obtidas (Chaves, 1996).

Martins Filho (2005) (*comunicação pessoal*), indica a equação (3.27) para a obtenção do valor (C), cujas intensidades de perdas de solo de cada período de cultivo, são combinadas aos dados relativos à chuva incidente em um mesmo período, e a relação em porcentagem da distribuição do índice de erosão (EI_{30}) anual para determinado local.

Bertol *et al.* (2001), na intenção de estabelecer estes “estágios”, adotou procedimento proposto por (Wischmeier, 1960), onde foi feito a divisão em cinco períodos desenvolvimento de cada cultivo, estabelecendo uma razão de perda de solo (RPS), calculada entre a perda de solo a cada período de cultivo, e a perda de solo total deste cultivo ocorrida na parcela padrão.

A fração de índice de erosão (FEI_{30}), foi obtida pelo quociente do valor da erosão em cada período de cultivo, para a erosividade, EI_{30}, nesse período e tempo, e o valor total da erosividade, nos demais cultivos. O fator (C) específico para cada fase de cultivo, foi obtido pelo produto de RPS e FEI_{30}. O somatório de cada valor específico do valor (C), permite obter o valor (C) da espécie cultivada.

A dificuldade em compor estes dados, seja pela distância do local das parcelas experimentais, a indisponibilidade de recursos humanos, a ausência de informações de intensidade pluviométrica para cada espécie cultivada, inviabilizaram a aquisição destes dados em campo. Entretando, diversos autores como: Hua Lu, *et al.,* 2003; Barrios, *et al*., 2002; Machado, 2002; Cavalcante da Silva, *et al*., 2001; Valente, *et al*., 2001; Millward, *et al*., 1999; Santos, *et al*., 1999; Pimenta, 1998; Mello Batista, 1997; Cavalieri, 1997; entre outros, utilizam dados pré-estabelecidos experimentalmente em suas pesquisas utilizando-se ferramentas matemáticas na avaliação das perdas de solo. Por esta razão, foram utilizados valores tabelados do fator (C) e do fator (P), obtidos por Bertoni & Lombardi Neto (1993) ao longo de 40 anos de pesquisas.

No Quadro 3.6, são apresentados valores do fator (C) propostos por Bertoni & Lombardi Neto (1993) para o Estado de São Paulo, utilizados por Santos (1999) em seus estudos sobre a modelagem de perdas de solo em pequenas bacias hidrográficas no Estado de Santa Catarina.

Quadro 3.6. Fator C para alguns usos de solo para o estado de São Paulo.

Usos		**Fator C**
Culturas	Anuais	
	Milho	0,0827
Culturas	Perenes	
	Café formado	0,1350
	Citros formado	0,1350
Outros	Usos	
	Pastagem	
	Degradada	0,050
	Sem manejo	0,010
	Com manejo	0,001
	Nativa	0,005
Reflorestamento		
	Eucalipto (corte a cada 7 anos)	0,047
Mata e vegetação nativa		0,0004

* Modificado de Bertoni & Lombardi Neto (1993);
** Culturas anuais preparo com arado de disco, restos incorporados e plantio contínuo.

O fator (P) é a relação entre a intensidade de perdas de terra com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo).

As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternâncias de capinas. O Quadro 3.7 apresenta os valores de P para algumas práticas conservacionistas.

Quadro 3.7. Valor de P da equação de perdas de solo, para algumas práticas conservacionistas.

Práticas conservacionistas	**Valor de P**
Plantio morro abaixo	1,0
Rotacionado	0,75
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

* Modifcado de Bertoni & Lombardi Neto (1993).

3.2. MODELOS COM BASE NA EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE (Modelos Baseados em Processos)

Além dos modelos empíricos como a USLE, existem outros modelos que fazem uma descrição mais física do fenômeno erosivo, tanto no espaço quanto no tempo, por meio de equações diferenciais baseados em processos físicos. Chaves (1996), comenta sobre a vantagem dessa forma de modelagem, principalmente no detalhamento dos sub-processos e suas inter-relações, além da descrição quantitativa a nível espacial e temporal. Meyer e Wischmeier (1969), descrevem analiticamente os agentes causadores da erosão em solos coesivos, separando em sub-processos de destacamento e transporte pela chuva e pela enxurrada.

Foster e Meyer (*apud* Vilar, 1989), desenvolveram uma relação para o destacamento pela enxurrada, em função do excesso de energia cisalhante desta e da relação entre a carga de sedimentos no escoamento e a sua capacidade de transporte. Os autores propuseram um modelo com base na equação da continuidade, em que a erosão é tratada de acordo com as fontes de origem do solo erodido: área interravinar (interssulcos) e área ravinar (sulcos). Na primeira predomina a ação do impacto da gota de chuva associado à película de água que recobre a área e, na segunda, compete ao fluxo superficial destacar e transportar as partículas.

O modelo proposto por Vilar (1989), sugere que a carga de solo erodido em determinado ponto da encosta, ocorre em função dos subprocessos atuantes das áreas em interravinas e em ravinas, expresso em (3.28):

$$\mathbf{PS = TF_{RAVINAR} + TF_{INTERRAVINAR}} \qquad (3.28)$$

Onde:

PS = perda de solo erodido (Kg/m^2);
$TF_{RAVINAR}$ = capacidade de transporte de solo pelo fluxo nos sulcos;
$TF_{INTERRAVINAR}$ = capacidade de transporte de solo pelos subprocessos atuantes nas áreas intersulcos.

PS, $TF_{RAVINAR}$ e $TF_{INTERRAVINAR}$, tem como dimensão massa/comprimento x tempo; no trabalho, expressos em kg/m.min.

A equação da continuidade para o solo pode ser expressa na equação (3.29, 3.30a e 3.30b):

$$\frac{\partial PS}{\partial x} + \rho s(1-n) \cdot \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \qquad (3.29)$$

Onde:

ρs = massa específica dos sólidos (kg/m^3);
n = porosidade (adimensional);
z = cota da superfície do terreno (m);
x = comprimento da encosta (m);
t = tempo (min).

$$TF_{RAVINAR} = A.x.S_0 \qquad (3.30a)$$

Onde:

x = distância (m);
S_0 = declividade
A = coeficiente obtido a partir de dados experimentais.

$$TF_{INTERRAVINAR} = B_1.I^2.S_0 \qquad (3.30b)$$

Onde:

I = relação de intensidade de precipitação e capacidade de transporte dos subprocessos.

Diversos modelos numéricos utilizam princípios físicos tais como: **CREAMS** (*Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems,* Foster *et al*., 1981); **EPIC** (*Erosion Productivity Impact Calculator*, Williams, 1985); **EUROSEM (***European Soil Erosion Model*, Morgan, 1994; Morgan *et al.*, 1994); **ANSWERS** (*Aereal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*, Beasley & Higgins, 1982) e **LISEM (**Limburg Soil Erosion Model, De Roo *et al.*, 1996), são alguns exemplos dessas pesquisas. A evolução destes modelos matemáticos com base em processos físicos, foi aperfeiçoada por Nearing *et al*, (1989) expressa no modelo **WEPP** (*Water Erosion Prediction Project*) como descrito por Vilar (comunicação pessoal).

3.2.1. EQUAÇÃO DE EROSÃO UTILIZADA PELO MODELO WEPP (*Water Erosion Prediction Project*)

O modelo WEPP utiliza a equação de continuidade constante do sedimento, para estimar a rede de destacamento e deposição do solo ao longo da encosta. A relação básica de continuidade para a erosão total (Chaves, 1996; Cochrane, 1999; Jardim, *in prep*., Pudasaini, 2004, entre outros), é dada pelo estado contínuo variando espacialmente, representado pela equação 3.31 de continuidade de sedimento:

$$\frac{\partial G}{\partial x} = \underbrace{K_r (\tau - \tau_c)\left(1 - \frac{G}{T_c}\right)}_{D_r} + \underbrace{K_i I_e \sigma_{ir} SDR_{RR} F_{NOZZLE}\left(\frac{R_s}{w}\right)}_{D_i} \qquad (3.31)$$

Onde:

Dr = taxa de erosão ravinar (+ para destacamento, - para deposição) (kg/m^2.s);
Di = taxa de erosão interravinar (kg/m^2.s);

K_r = parâmetro de erodibilidade em sulcos (s/m);
τ = tensão de cisalhamento do fluxo que atua nas partículas de solo (Pa);
τ_c = a tensão crítica para se iniciar o destacamento da particular; parâmetro de resistência ao cisalhamento (Pa);
G = carga de sedimento em um ponto x (m) da encosta (kg/m.s);
T_c = capacidade de transporte de sedimento do escoamento (kg/m.s);
K_i = o parâmetro de erodibilidade interravinar (kg.s/m^4);
I_e = a intensidade efetiva da chuva (m/s);
σ_{ir} = a taxa de escoamento interravinar (m/s);
SDR_{RR} = a taxa de chegada de sedimento (adimensional);
F_{NOZZLE} = o fator de ajuste para a variação da energia da irrigação por aspersão (adimensional);
R_s = espaçamento médio interravinar (m);
W = largura média das ravinas da vertente (m).

Chaves (1996), descreve os componentes hidrológicos feito por meio da equação da onda cinemática, e a erosão calculada com a equação de continuidade de sedimento (equação 3.31), como um termo representando a erosão interravinar (produto a esquerda) e outro a erosão ravinar (produto à direita).

A equação (3.31) utiliza a taxa de pico do escoamento como entrada e as taxas de erosão interravinares e ravinares. Nota-se que D_i e D_r são taxas de destacamento por unidade de área e não pelo comprimento da ravina. Os parâmetros K_i, K_r e t_c devem ser determinados experimentalmente para cada

solo (Machado *et al*., 2003), através de experimentos em parcelas de perda de solo com chuva simulada, ou em parcelas com chuva natural.

A rede de destacamento é relacionada ao destacamento potencial e à capacidade de transporte pela equação (3.32):

$$D_r = D_{rc} \left(1 - \frac{G}{T_c}\right) \quad (3.32)$$

Onde:

D_{rc} = o potencial de destacamento (Kg/m.s);
T_c = a capacidade de transporte;
G = carga de sedimento em um ponto x (m) da encosta (kg/m.s).

Quando $G > T_c$, ou seja, quando houver condições de deposição no sulco, essa será estimada por (3.33):

$$\frac{\partial G}{\partial x} = (\beta_r \frac{V_f}{q}) (T_c - G) \quad (3.33)$$

Onde:

β_r = coeficiente de turbulência induzida pelos impactos das gotas de chuva (adimensional ≈ 0,5);
V_f = velocidade de sedimentação de uma certa classe (diâmetro) de sedimento (m/s);
q = vazão por largura unitária do sulco (m^2/s).

→ Os valores negativos obtidos na equação anterior indicam deposição.

A equação de deposição, (3.33), contém parâmetros de remoção ou acúmulo de partículas do solo, os quais, juntamente com as estimativas realizadas pontualmente, evitam alterações bruscas nos padrões de erosão e de deposição no tempo e no espaço (Machado *et al*., 2003).

O potencial de destacamento D_{rc} é definido pelo excesso de cisalhamento, apresentado na equação (3.34):

$$D_{rc} = K_r (\tau - \tau_c) \quad (3.34)$$

Onde:

K_r = a erodibilidade da ravina;
τ = a tensão efetiva atuando nas partículas (tensão de cisalhamento do fluxo) do solo (Pa);
τ_c = a força tractiva crítica (resistência ao cisalhamento) crítica (Pa).

→ Quando τ é menor que τ_c, o destacamento é zero (Haan *et all*.; 1994).

A tensão de cisalhamento crítica e os parâmetros de erodibilidade ravinares e interravinares são estimados a partir da textura do solo e do conteúdo de matéria orgânica, os quais foram desenvolvidos em experimentos de simulação de chuva, conduzidos durante a pesquisa do programa WEPP (Elliot *et al*, 1989). A taxa de fornecimento de sedimento, SDR_{RR}, descreve a taxa total de sedimento interravinar destacado que efetivamente chega às ravinas, podendo ser considerada uma medida indireta da capacidade de transporte do fluxo interravinar. A taxa de fornecimento de sedimentos é estimada com base na rugosidade aleatória da superfície, das fileiras resultantes do processo de aragem e da textura do solo (Schröder, 2000).

A tensão de cisalhamento τ é dada pela equação (Chaves, 1996):

$$\tau = \gamma R S \qquad (3.35)$$

Onde:

γ = é o peso específico da água (kg/m^2s^2); (N/m^3);
R = é o raio hidráulico do escoamento (m);
S = é a declividade da ravina (m/m).

A capacidade de transporte T_c é estimada por de uma simplificação da equação de Yalin (*apud* Cochrane, 1999), que utiliza, entre outros fatores, a tensão de cisalhamento τ sobre o solo, sendo calculada através da equação 3.36:

$$T_c = k \tau^{3/2} \qquad (3.36)$$

Onde:

T_c = é a capacidade de transporte de sedimentos (kg.s/m);
k = é o coeficiente de transporte de sedimento ($m^{0,5}.s^2/kg^{0,5}$);
τ = tensão de cisalhamento do fluxo que atua nas partículas de solo (Pa);

Os cálculos da capacidade de transporte do fluxo ravinar, são realizados para cada classe de granulométrica (areia fina, areia grossa, silte, argila e matéria orgânica) do solo erodido. O excesso de carga em uma destas classes é distribuído para as outras. Uma checagem do balanço de massa ao final de cada região de deposição assegura que a massa total da fração de partícula que deixa a seção, não exceda a que entra, contabilizando-se também a contribuição interravinar. Assim, a composição da nova superfície do solo na

área de deposição torna-se a entrada para os cálculos de erosão no evento chuvoso seguinte (Schröder, 2000).

O componente K_i é a contribuição ao sulco das áreas interravinares (erosão entre sulcos). Alberts *et al*. 1995, considera a erodibilidade em área interravinares como uma medida da suscetibilidade do solo à desagregação pelo impacto das gotas de chuva. As áreas interravinares no modelo WEPP são tratadas como as principais nos cálculos do fornecimento de sedimentos. Os cálculos de capacidade de transporte de deposição são realizados somente para o fluxo ravinar. Os resultados são então convertidos em valores por unidade de área, descrevendo assim, a distribuição espacial da erosão ao longo do perfil de encosta. Entretanto, nestes cálculos, é necessária a especificação da geometria ravinar. Caso o usuário não a faça, o WEPP estima o espaçamento e outras características das ravinas por funções empíricas (Schröder, 2000).

Do ponto de vista físico, a distinção entre as áreas ravinares (destacamento dominado de solo pelo "salpico") e interravinares (destacamento e transporte do solo pelo fluxo hídrico nas ravinas), auxilia a descrição em separado de processos relevantes (Chaves, 1996).

Lima & Andrade (2001), em seus estudos, determinaram a erodibilidade interravinar (K_i) para duas principais classes de solos do Brasil (LATOSSOLOS e ARGISSOLOS). Foram utilizadas parcelas experimentais em campo, sob ação de chuva simulada. As intensidades médias das chuvas aplicadas, as declividades das parcelas e as taxas médias de erosão entressulcos nos diversos tempos de coleta durante cada chuva aplicada, após a estabilização da enxurrada, foram introduzidas na equação (3.37) seguinte:

$$K_i = \frac{D_i}{(I^2 S_f)} \qquad (3.37)$$

Onde:

K_i = erodibilidade entressulcos (kg s m^{-4});
D_i = taxa de erosão entressulcos (kg m^{-2} s^{-1});
I = intensidade de chuva (m s^{-1});
$S_f = a - be^{-4sen\theta}$, em que a e b = constantes,
e = a base dos logaritmos naturais e $sen\theta$ = seno do ângulo do declive em graus.

O fator declividade do solo entressulcos foi calculado a partir da expressão de desenvolvida por Lie-benow *apud* Braida e Cassol (1996) conforme a equação 3.38:

$$S_f = 1,05 - 0,85e^{-4sen\theta} \quad (3.38)$$

Onde:

S_f = fator de declividade do solo em entressulcos;
e = base do logaritmo natural;
θ = ângulo do declive.

Dessa forma, o modelo estimou os processos hidrossedimentológicos ocorrentes na vertente, prevendo, entre outros, o volume de escoamento superficial, a vazão de pico, a perda de solo e a deposição média na vertente, a perda e deposição máximas e suas posições, o aporte de sedimentos (que deixa a vertente) e a relação de enriquecimento de finos do sedimento. Essas previsões podem ser tanto em nível de evento, de média mensal ou de média anual (Chaves, 1992).

Os termos de declive e comprimento de rampa no WEPP, pode ser obtido pela taxa de escoamento superficial e a relação de chegada de sedimento. No caso da relação de chegada de sedimento, se o declive médio do perfil é maior que o declive do lado interravinar, a declividade média da encosta é usada para o parâmetro interravinar (Cochrane, 1999).

Para a utilização do modelo WEPP, parâmetros hidrológicos e de solo (K_i, K_r, t_c) devem ser obtidos para a situação em questão. Elliot *et al*. (1989) levantaram esses e outros parâmetros para mais de 30 solos de diferentes regiões dos EUA, por meio de experimentos em parcelas de erosão em sulcos e entressulcos. Estes parâmetros podem ser também obtidos por meio de otimização, usando-se dados de parcelas-padrão tipo USLE, conhecendo-se a pluviometria e as perdas de água e solo (Nearing *et al*., 1989b).

3.3. TOLERÂNCIA DAS PERDAS DE SOLO

Decidir qual o grau de erosão do solo é permissível ou tolerável não é muito simples. Considerando o tempo do processo de formação do solo equivalente a intensidade de sua remoção por erosão, a resposta seria imediata. Mas isso não ocorre. Esse tempo não pode ser determinado com precisão. Estudos realizados nos Estados Unidos da América do Norte (Hudson, 1981), estimam que na natureza para formação de 25 mm de solo, seriam necessários 300 anos, e que esse mesmo solo, sob intensas ações de manejo agrícola, perderia essa mesma espessura de solo no período de 30 anos, o que corresponde a uma perda de solo de 12,5 toneladas por hectare em um ano.

Em geral, perdas de solo em torno de 12,5 toneladas/hectare/ano são toleráveis para solos bastante profundos, permeáveis e bem drenados. Valores de perda de solo em torno 2 a 4 toneladas/hectare/ano são admissíveis em solos com subsolo desfavoráveis, pouco profundos (FAO, 1967). O Quadro 3.8 apresenta as perdas de solo estimada para os dois solos, os diferentes comprimentos de rampa e os diferentes manejos da cultura do milho, na declividade de 7%.

Quadro 3.8. Perdas de solo toleradas *.

comprimento de rampa	**LATOSSOLO**			**ARGISSOLO**		
	AD	**ES**	**SP**	**AD**	**ES**	**SP**
m	t/ha/ano			t/ha/ano		
100	7,7	3,9	1,6	22,3	11,2	4,5
50	5,0	2,5	1,1	14,1	7,2	2,9
25	3,2	1,6	0,7	9,3	4,6	1,9
22	3,0	1,5	0,6	8,6	4,3	1,7
18	2,6	1,3	0,5	7,5	3,8	1,5
15	2,3	1,2	0,5	6,7	3,3	1,3

* Modificada de Bertoni & Lombardi Neto (1993).
AD = arado de disco
ES = escarificador
SP = sem preparo.

A tolerância de perdas de solo do LATOSSOLO vermelho-amarelo fase arenosa é 15 t/ha/ano e para o ARGISSOLO vermelho-amarelo (var. Marília) é de 6,0 t/ha/ano Bertoni & Lombardi Neto (1993).

Os dados do quadro 18 mostram que no LATOSSOLO podemos cultivar o milho nos três sistema e em qualquer comprimento de rampa, pois as perdas estimadas são menores do que 12,5 t/ha/ano. No ARGISSOLO o sistema de manejo com arado de disco só é possível se o espaçamento entre terraços for menor do que 15,0 m pois as perdas seriam iguais as toleráveis, isto é igual ou menor do que 6,0 t/ha/ano. Se o preparo for com o escarificador, os terraços podem ter espaçamento de 25,0 m e se for preparo (plantio direto) o espaçamento pode ser de 100m pois as perdas estimadas são menores do que as toleráveis para esse solo.

Morgan (1986), estabeleceu um limite de tolerância de perda de solo equivalente a 11,0 ton/ha/ano, definido como aqueles em que a fertilidade do solo possa ser mantida por um período de 20 a 25 anos. Em casos de solos pouco espessos e/ou muito suscetíveis a erosão, Hudson (1981), estabeleceu valores de perdas de solo entre 2,0 a 5,0 ton/ha/ano.

Faria Sales (1997), em suas pesquisas utilizando-se o modelo empírico da USLE, avaliou as perdas de solo em um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, sob relevo acidentado e uso e ocupação distintos, localizados nos municípios de Pacoti e Guarapiranga, O estudo comparativo nessas áreas permitiu comprovar o acelerado estágio do processo de erosão laminar, verificando-se que no terço superior da vertente desmatada ocorreu o desgaste da camada superficial e na vertente recoberta com capoeira a massa de solo existente é de 1.240 t/ha. A vertente vegetada com mata nativa possui uma massa de 3.540 t/ha. Quanto a perda de solo, verificou-se que na vertente recoberta com mata nativa a perda foi de apenas 3,0 t/ha/ano, seguidas de 86,7 t/ha/ano em área de capoeira e de 847,2 t/ha/ano para a área desmatada. Pela relação existente entre a massa e a perda de solo na camada superficial determinou-se o tempo decorrido para o desgaste desse solo em torno de 26,5 anos, resultado bastante coerente com o evento do desmatamento ocorrido na década de 70 na região de Baturité.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇAO PEDOLÓGICA

Considerando um estudo de monitoramento em áreas que apresentavam pequena amplitude de contrastes nos manejos adotados, nas caracterizações efetuadas, os dados passaram por tratamento estatístico de análise de variância, teste F e comparações de médias pelo uso do teste Tukey com 5% de significância, segundo metodologia adotada por Vieira & Hoffmann (1989). Optou-se também pelo teste Duncan no parâmetros agregados (Portocarrero, 2002) e química do solo, pelo fato de ser um teste menos rigoroso na comparação dos contrastes, bem como pelo fato dos atributos avaliados apresentarem naturalmente variações elevadas não controláveis.

A análise granulométrica foi determinada pelo método da EMBRAPA (1997) e da ABNT (1984). No primeiro método, realizou-se a sedimentação e peneiramento, empregando-se hidróxido de sódio, como agente de dispersão, e agitador de alta rotação. Os dados podem ser analisados no Quadro 4.1:

Quadro 4.1. Distribuição das frações granulométricas das parcelas em diferentes profundidades, valores em % - método EMBRAPA (1997).

Solo	Profundidade (cm)	Ar. Grossa	Ar. Fina	Silte	Argila
Banana	0 – 5	52,0	17,9	7,9	21,3
	5 – 10	51,9	18,6	8,5	21,4
	10 – 20	52,3	18,3	6,7	22,2
Rotacionado (feijão - milho)	0 – 5	44,2	11,8	24,8	20,2
	5 – 10	44,9	10,9	24,7	20,0
	10 – 20	44,6	9,1	24,7	20,1
Pousio	0 – 5	46,0	11,1	16,7	23,3
	5 – 10	46,3	17,7	16,9	24,0
	10 – 20	45,1	13,7	16,7	25,3

De acordo com o triângulo textural para análise granulométrica descrito por Brady (1989), o solo das três parcelas experimentais, se classifica como um solo de textura franco argilo arenoso (Figura 4.1).

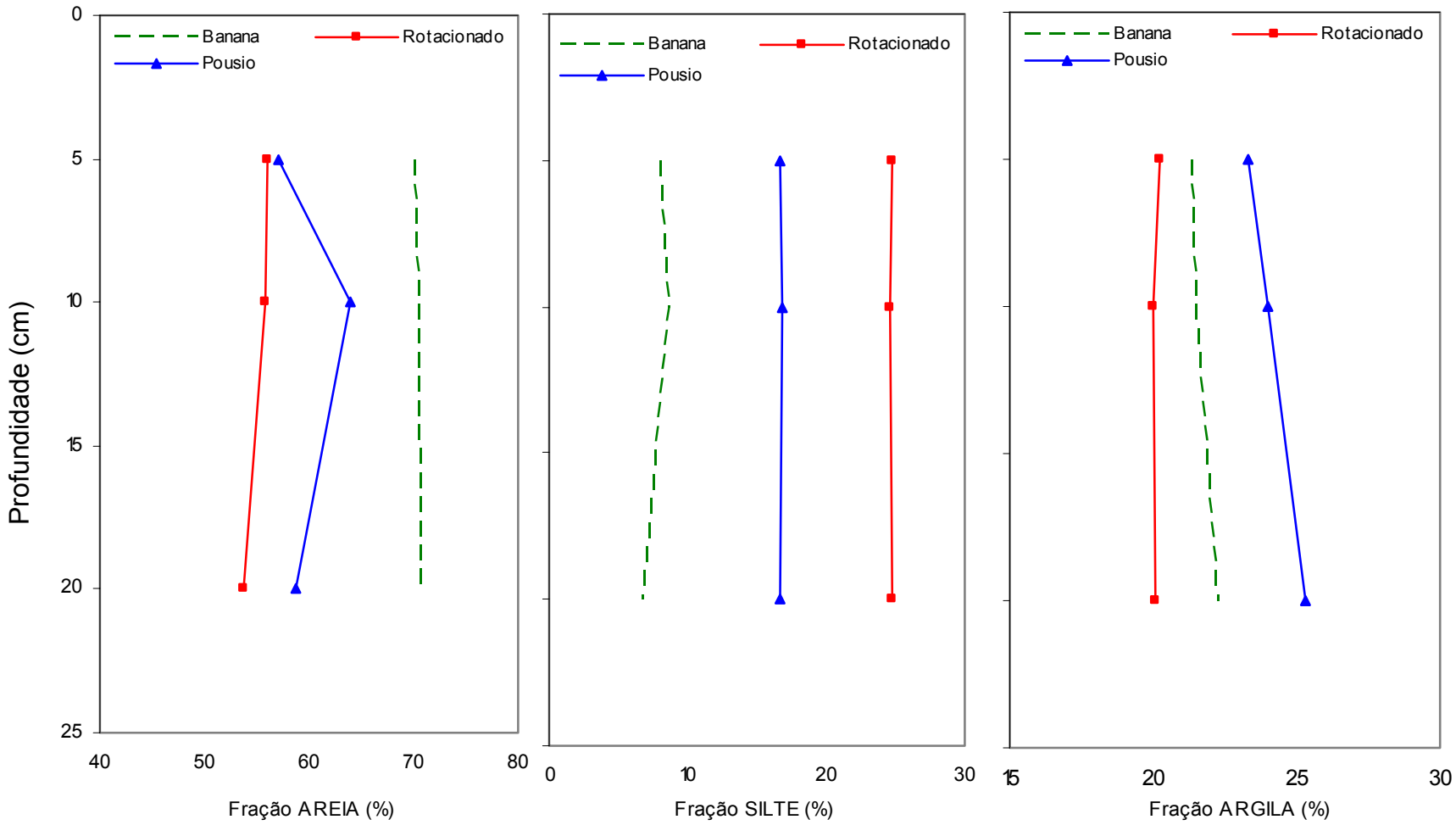


Figura 4.1. Distribuição das frações granulométricas ao longo do perfil de solo, nas parcelas de cultivo permanente (Banana), cultivo temporário rotacionado (feijão - milho) e área de pousio florestal.

Coeficiente de Variação = 2,50 %. Variância entre médias não significativo a nível de 5% com o teste Tukey.

	Areia Grossa	Fina	Silte	Argila
Desvio Padrão	3,50	3,78	7,40	1,88

A argila dispersa em água foi determinada por sedimentações e pesagem, sendo usado agitador de alta rotação e água destilada como agente de dispersão.

Considerando as demais frações granulométricas, areia grossa, areia fina e argila, observou-se uma variação destas frações em torno de 10% entre os tratamentos. Eltz *et al*. (2001), considera que quanto maior o teor de argila dispersa em água, menores são as taxas de infiltração da água no solo e maior a erodibilidade entre sulcos. O mesmo autor considera como limite crítico para este processo, o teor de argila igual ou superior a 35%.

Os valores obtidos na profundidades de 0 a 10 cm foram: 21,4% (parcela / banana), 20,0% (parcela / rotacionado / oleráceas) e 24,0% (parcela / pousio florestal). Estes valores foram considerados altos para argila naturalmente dispersa. Quanto maior o teor de argila dispersa em água, menores são as taxas de infiltração da água no solo e maior a erodibilidade entre sulcos (Eltz *et al*., (2001).

Os valores do grau de floculação encontrados foram: 24,8% (parcela / banana; 40,2 % (parcela / rotacionado / oleráceas) e 49,1% (parcela / pousio). Estes valores indicaram um grau de estabilidade dos agregados relativamente baixo.

Nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4, são apresentados as curvas granulométricas obtidas por esse método:

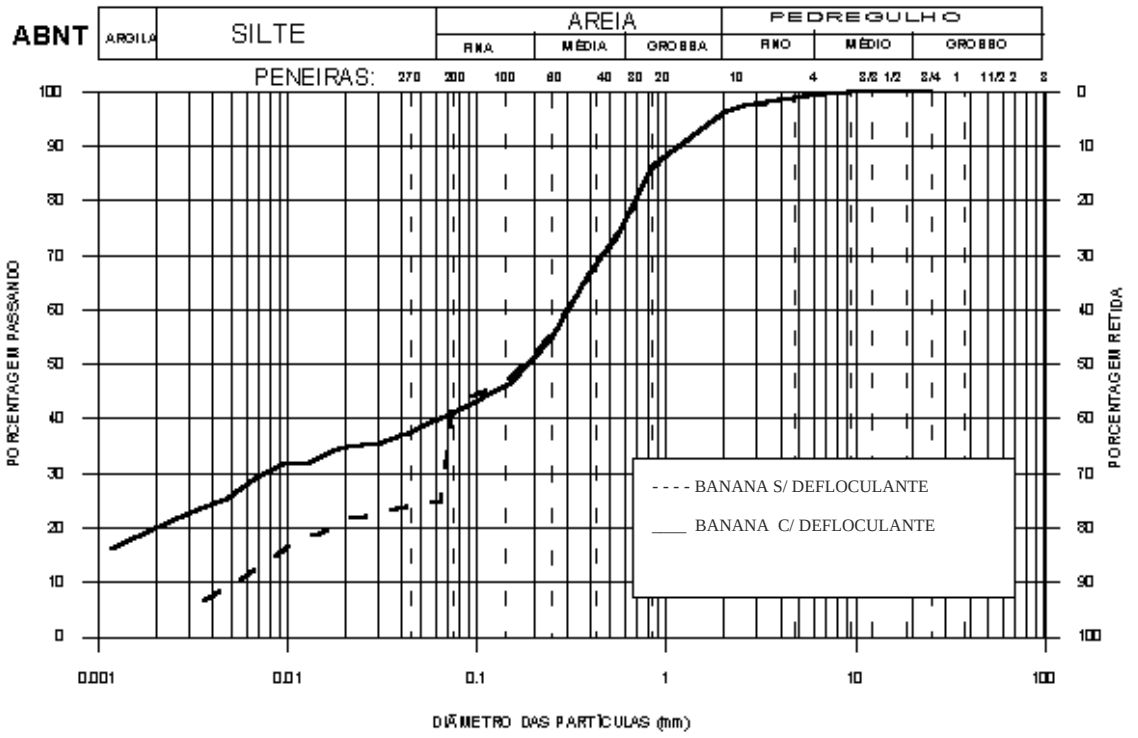


Figura 4.2. Curva granulométrica com e sem defloculante da parcela de cultivo de banana.

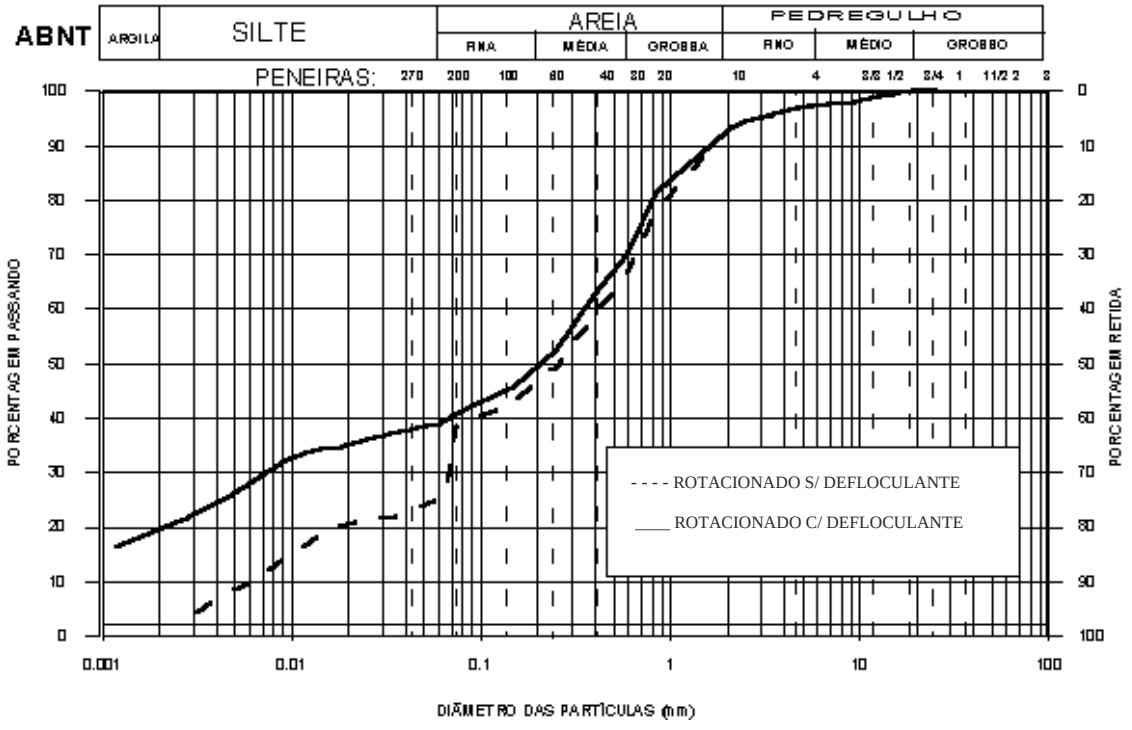


Figura 4.3. Curva granulométrica com e sem defloculante da parcela de cultivo rotacionado (feijão - milho).

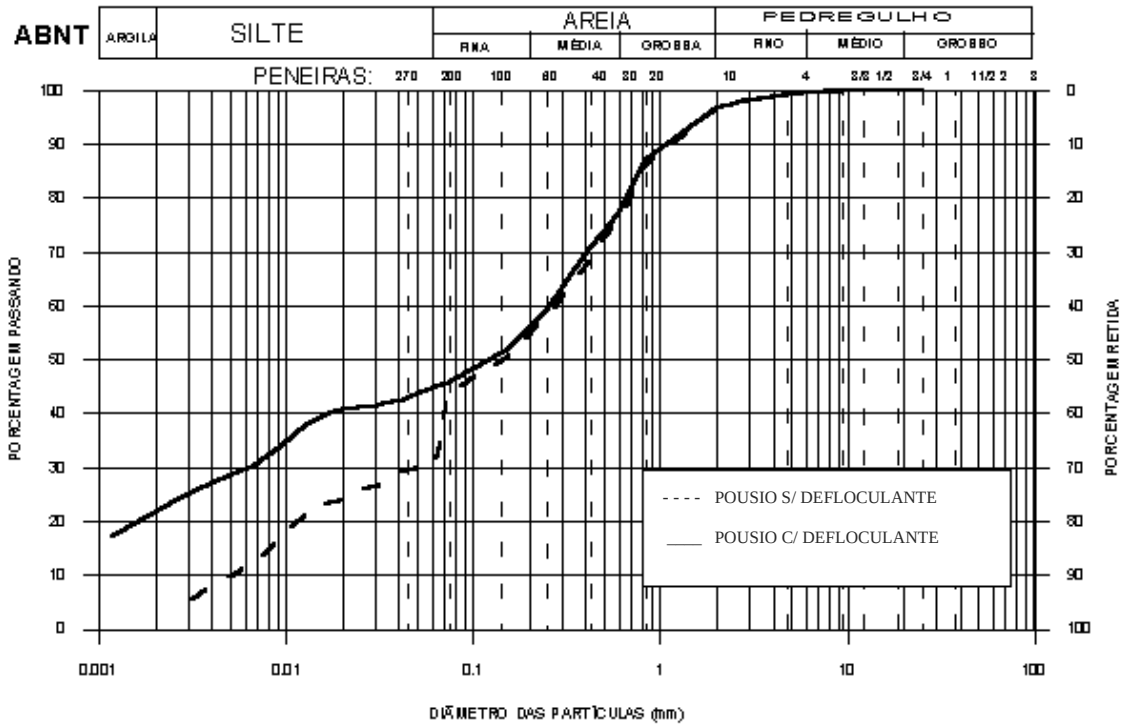


Figura 4.4. Curva granulométrica com e sem defloculante da parcela de em pousio florestal.

Os resultados do ensaio de granulometria com e sem dispersante, demonstraram uma sensível redução da percentagem de argila nos ensaios realizados sem uso de dispersante, comparados aos ensaios com uso de dispersante. O defloculante age na fração mais argilosa do solo desfazendo as microagregações. As microagregações são estáveis em presença de água e ação mecânica, mas instáveis a ação do defloculante. Esta redução da percentagem da fração argila resultou em um aumento proporcional de partículas maiores, como a areia fina (partículas entre 0,075 e 0,2 mm). De fato, a utilização de dispersante permite uma melhor dispersão das partículas, o que é evidenciado pelo aumento da percentagem de argila em relação aos ensaios sem uso de defloculante (Motta, 2003). As frações granulométricas são apresentadas no Quadro 4.2 abaixo:

Quadro 4.2. Distribuição das frações granulométricas obtidas com dispersante pelo método ABNT (1984).

frações / parcelas	Areia Grossa	Areia Media	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila
Banana	20	24	13	57	19	20
Rotacionado	23	21	16	55	19	20
Pousio	19	22	11	52	23	22

O coeficiente de variação entre as médias avaliadas, foi considerado baixo (CV = 2,5%). Apesar disso, a percentagem da fração argila, silte e areia fina na amostra da parcela sob pousio florestal, foi relativamente maior do que nas demais parcelas. De acordo com Wischmeier *et al*. (1971), Evans, Mutter e Burnham, *apud* Guerra (1995), a erodibilidade tende a aumentar principalmente com aumento do teor de silte no solo.

A análise granulométrica indicou uma maior variação na fração silte, com valores obtidos na profundidade de 0 a 10 cm, em torno de 7,7% na parcela sob cultivo de banana, 24,7% na parcela sob cultivo rotacionado e 16,7% na parcela em pousio recente. Pode-se notar um aumento de dois terços da fração silte na parcela sob cultivo rotacionado em relação a parcela sob cultivo de banana, e cerca um terço em relação a parcela em pousio recente. A relação da fração silte com os processos erosivos, é descrita por Wischmeier & Mannering (1971), Guerra (1995), entre outros. Os dados são apresentados no Quadro 4.3:

Quadro 4.3. Principais características químicas do solo, Fazenda Cachoeira, município de Bom Jardim, amostragem 2003, profundidade 0 – 20,0 cm. Média de 3 repetições.

Áreas amostradas	**pH** em H_2O	**Al**	**Ca +Mg**	**Ca** $cmol_c.dm^{-3}$	**Mg**	**P**	**K** $n.g.kg^{-1}$	**Na**	**H^+ + Al**	**C–** org g/Kg	**S**	**T**	**N** total %	**V** (%)
Banana	5,17	0,3	5,65	4,65	0,99	18,2	108	1,29	5,9	12,5	5,82	11,7	1,46	48,9
Rotacionado	5,48	0,2	6,27	5,35	0,92	74,5	208,7	1,79	5,07	13,6	6,81	11,83	1,67	56,57
Pousio	5,37	0,34	4,97	4,11	0,86	40,03	148,1	0,4	5,32	11,36	5,5	10,85	1,35	50,25
F calculado	0,68	6,54*	3,85	3,89	0,18	1,52	5,38*	0,77	0,051	9,86*	6,40*	6,48*	2,65	3,99
CV %	3,15	31,7	12,9	14,1	14,9	66,8	36,6	78,7	8,6	10,7	12,4	6,5	11,9	8,9

Teste de médias não significativo à nível de 5% com o teste Duncan.

Parâmetro	Desvio padrão
pH	0.16
AL	0.14
CA+MG	0.96
CA	0.88
MG	0.13

Parâmetro	Desvio padrão
P	31.45
K	82.12
NA	0.89
H+AL	0.41
Corg	2.40

Parâmetro	Desvio padrão
S	1.15
T	1.15
N	0.21
V	5.55

Na obtenção do teor de Matéria Orgânica do solo, utilizou-se os teores de carbono em % multiplicados pelo fator 1,724, conforme descrição de De Polli (1988). O autor estabelece um limite de Matéria Orgânica do solo em função da estabilidade de agregados superior a 3,5 %. Os maiores percentuais de Matéria Orgânica foram encontrados na parcela sob cultivo rotacionado, 2,34%, seguido da parcela sob cultivo de banana, 2,15% e da parcela em pousio recente, 1,95. De Ploey e Poesen, *apud* Guerra (1995), indicam solos com teores de Matéria Orgânica do solo inferiores a 2,0%, possuem baixa estabilidade de agregados. Esta relação apresenta-se coerente com os valores de índice de agregados já discutidos.

Na avaliação dos parâmetros de porosidade e densidade solo, observou-se que na parcela sob cultivo rotacionado, a porosidade é maior do que na parcela sob cultivo de banana, bem como a densidade. Estes valores indicam um maior grau de compactação na parcela sob cultivo de banana, pois esta área encontra-se estável por um período de 15 anos, enquanto que na parcela sob cultivo rotacionado, a cada três anos há uma alteração entre cultivos e pousio. Este comportamento também foi investigado por Freitas (1998). Apesar disso, observou-se um maior grau de compactação nas profundidades inferiores a 20 cm na parcela sob cultivo rotacionado. Martins Filho *et al.* (2001), indicam que o manejo convencional do solo e principalmente mecanizado, aumentam o grau de compactação do solo, aumentando a densidade e reduzindo a porosidade total na camada cultivável, o que reduziu a taxa de infiltração, aumentando as taxas de escoamento superficial e perdas de solo por erosão.

A densidade do solo (peso específico) foi determinada pelo método do anel volumétrico de Kopeck (EMBRAPA, 1997), obtendo um coeficiente de variação entre as médias de 4,7%, que pode ser considerado baixo. Os resultados podem ser observados na Figura 4.5:

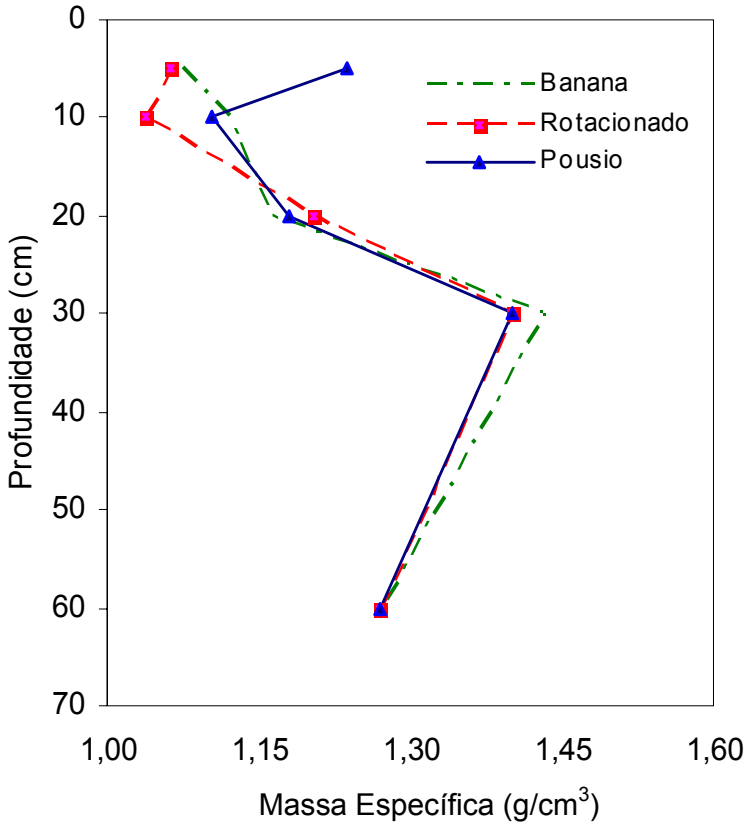


Figura 4.5. Distribuição da densidade do solo em diferentes profundidades em g/cm^3 obtida pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

O comportamento da densidade do solo nas parcelas, indica que há uma compactação maior na parcela sob cultivo de banana em relação à parcela sob cultivo rotacionado (oleráceas). Este resultado apresentaram-se coerentes com os tratamentos avaliados, considerando-se o tempo de cultivo entre as parcelas, banana com idade de 15 anos e cultivo rotacionado recente (2 anos). Apesar disso, deve-se observar que em pequenas profundidades, inferiores a 20 cm, a densidade na parcela sob cultivo rotacionado é maior do que na parcela sob cultivo de banana. Porém, essa diferença não é significativa adotando-se o teste Tukey com 5% de significância. O constante uso do solo nesta parcela, conforme se alternam os ciclos de cultivos e os períodos de descanso em períodos de tempo cada vez menores, podem estar ocasionando a compactação nas camadas inferiores até 30,0 cm do perfil de solos nessas áreas. A densidade das partículas (Dp), apresentada no Quadro 4.4:

Quadro 4.4. Valores de Densidade das Partículas (Dp) sob diferentes formas de cultivos.

Prof (cm)	Banana	Rotacionado	Pousio
5	2,1	2,5	2,7
10	2,3	2,4	2,6
20	2,3	2,4	2,6

Na Figura (4.6) a seguir, encontram-se os dados de porosidade total obtidos em laboratório, utilizando os dados de densidade do solo e densidade das partículas, obtidos nas amostras de solo coletadas na área das parcelas em campo.

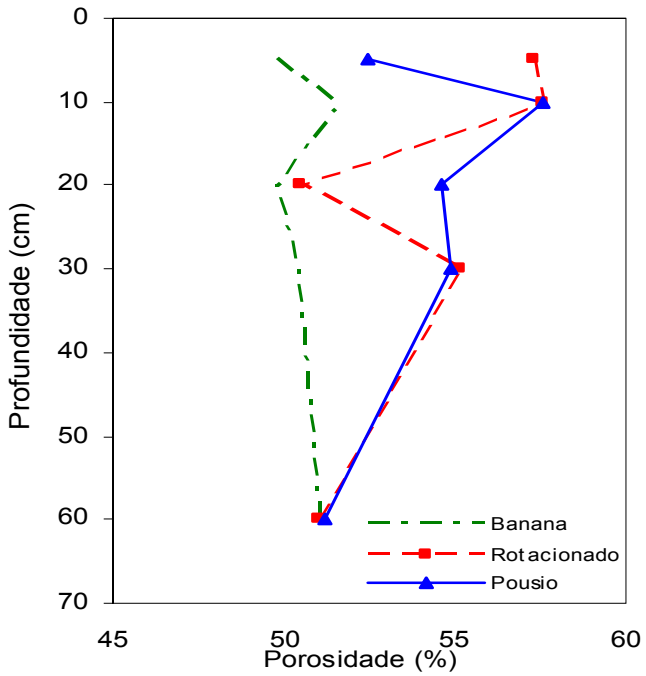


Figura 4.6. Valores de Porosidade Total sob diferentes formas de cultivos.

Os valores de microporosidade e macroporosidade do material estudado, são apresentadas nas Figuras 4.7 e 4.8 a seguir:

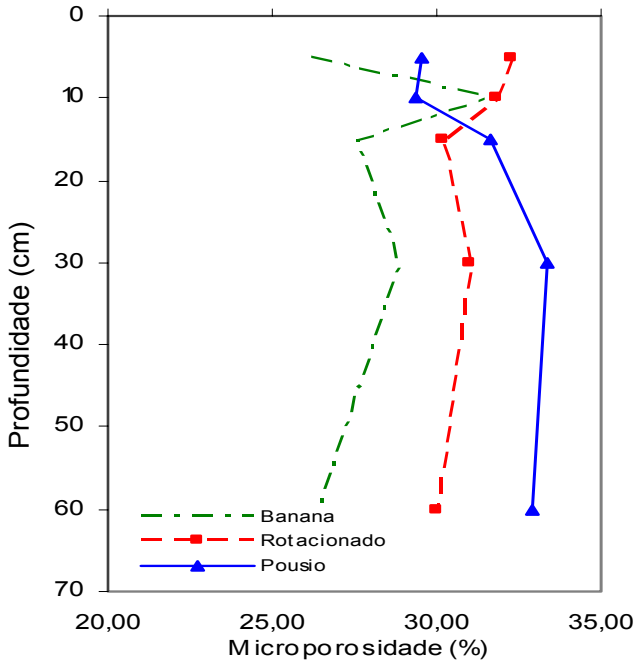


Figura 4.7. Valores de microporosidade sob diferentes formas de cultivos.

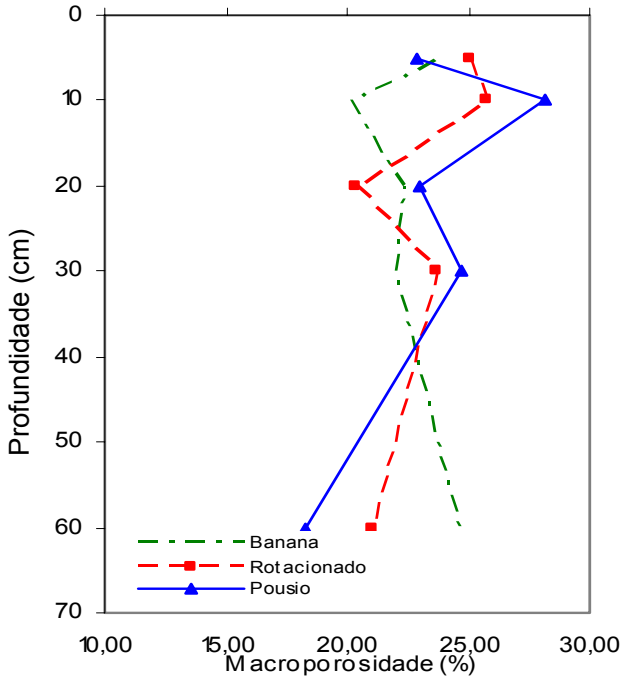


Figura 4.8. Valores de macroporosidade sob diferentes formas de cultivos.

A análise estatística dos dados constou da análise da variância, com aplicação do teste F e o teste Tukey com 5% de significância para comparação de médias. Os coeficientes de variação 3,9%, foram considerados valores baixos, com desvio padrão de 2,52 para porosidade total; 13,11, com desvio padrão de 2,23 para macroporosidade; 5,96, com desvio padrão de 2,4, para microporosidade, não havendo diferenças significativas entre as médias observadas.

A avaliação da estabilidade dos agregados nas diferentes coberturas vegetais indicaram coeficientes de variação na ordem de 29,79 e 37,04%, para as profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, respectivamente. Estes coeficientes podem ser considerados aceitáveis.

Com base nos resultados obtidos pelo teste de Duncan para a comparação de médias, foram constatados maiores valores de diâmetro médio das partículas (DMPs), não havendo diferenças significativas à nível de 5%. Os dados podem ser observados no Quadro 4.5:

Quadro 4.5. Valores de DMP e DMG nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, em diferentes coberturas vegetais na área de estudo.

	0 – 5 cm		5 – 10 cm	
	DMP	DMG	DMP	DMG
Banana	3,38	1,42	3,36	1,27
Pousio recente	2,99	1,24	3,22	1,26
Rotacio	3,44	1,25	3,59	1,29
Pousio 3 anos	2,57	1,06	3,52	1,19
Pousio 5 anos	4,40	1,38	4,40	1,30

* DMP – diâmetro médio das partículas
DMG – diâmetro médio dos grãos

A análise dos agregados do solo, representado pelo índice de estabilidade de agregados e diâmetro médio ponderado (DMP) na profundidade de 0 a 10 cm, indicou uma maior estabilidade de agregados na parcela sob cultivo de banana (DMP = 3,17 mm), parcela sob cultivo rotacionado (DMP = 2,96 mm), seguido da parcela em pousio recente (DMP = 2,04 mm). Pode-se observar que os valores de DMP observado na parcela sob cultivo rotacionado, é maior

do que o DMP observado na parcela em pousio recente (2 anos – 2001/2003). Portocarrero & Andrade (2002) observaram que, em áreas de pousios superiores à três anos, houve um aumento dos valores de DMP, permanecendo mais estáveis do que os agregados observados na parcela sob cultivos. Santos, *et al*. (2002), descrevem que valores de DMP inferiores a 2,3 mm são mais susceptíveis aos processos erosivos.

As análises dos agregados do solo indicaram ainda que a parcela sob cultivo rotacionado apresentou o menor percentual de agregados na classe maior que 2,0 mm (que são considerados os mais importantes para a boa estruturação dos solos).

Os maiores valores obtidos para o cultivo da banana e para o pousio parecem estar associados ao maior período sem revolvimento do solo, ao crescimento da vegetação de capoeira, e ao efeito do cultivo da banana sobre a estrutura dos solos. A banana já é cultivada na área há 15 anos, e, ainda assim, seus valores de DMPs são semelhantes aos valores do talhão onde foi feito o pousio por 3 anos (Portocarrero & Andrade, 2002). Isto indica que apesar da falta de revolvimento do solo ser um fator relevante para o aumento do DMP, o pousio e o crescimento da vegetação de capoeira parecem ter implicações mais positivas na estrutura dos solos do que o cultivo de banana. Nas Figuras 4.9 e 4.10 são apresentados os resultados dos valores dos índices de estabilidade de agregados.

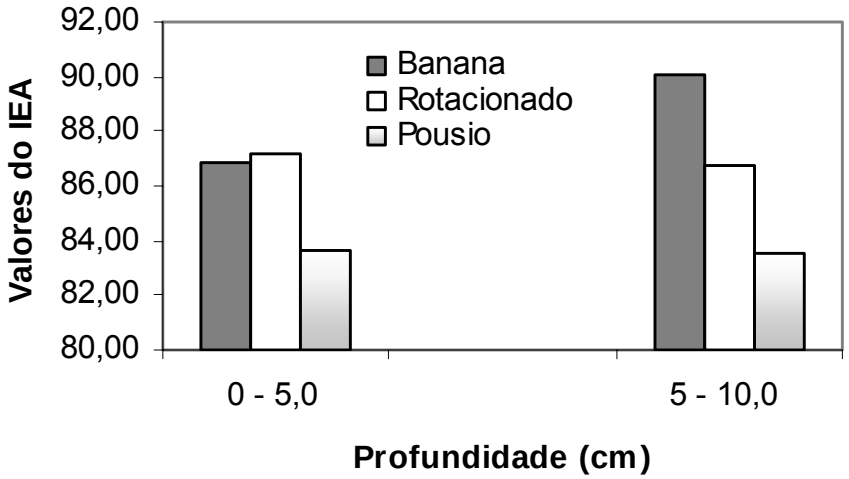


Figura 4.9. Valores dos Índices de Estabilidade dos Agregados (IEA) em percentual em diferentes profundidades no solo e diferentes formas de cultivos (Coberturas Vegetais).

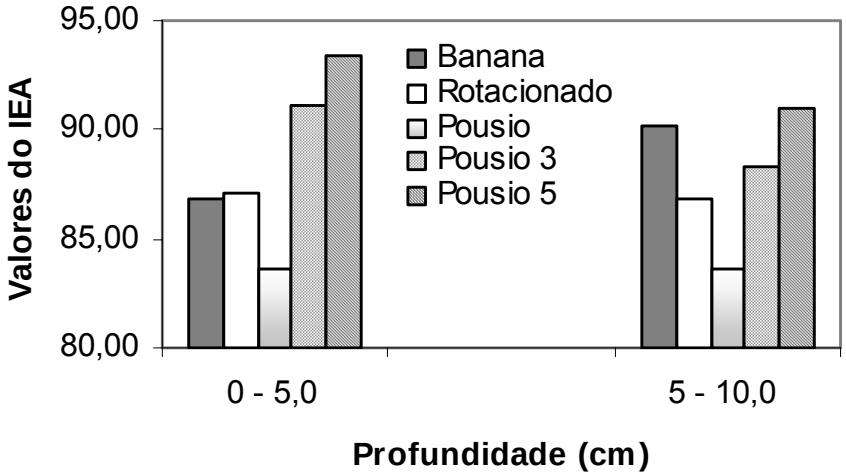


Figura 4.10. Valores dos Índices de Estabilidade dos Agregados (IEA) em percentual em diferentes profundidades no solo e diferentes formas de cultivos (Coberturas Vegetais). Pousios com 2, 3 e 5 anos de regeneração natural. Modificado de Portocarrero (2202).

A análise estatística dos resultados da curva característica de retenção de umidade, indicaram um coeficiente de variação entre médias de 4,16%, sendo considerado de baixa variação. Os testes de médias, por meio do teste Tukey à nível de 5%, não demostraram diferenças significativas entre as médias observadas. O desvio padrão foi de 2,19 para amostra em saturação, 1,81 para sucção de 0,006 MPa, 1,82 para sucção de 0,01 MPa, 1,50 para sucção de 0,033 MPa, 1,21 para sucção de 0,1 Mpa, 0,79 para sucção de 0,5 Mpa e 0,47 para sucção de 1,5 Mpa. Os resultados são apresentados nas Figuras 4.11 a 4.13:

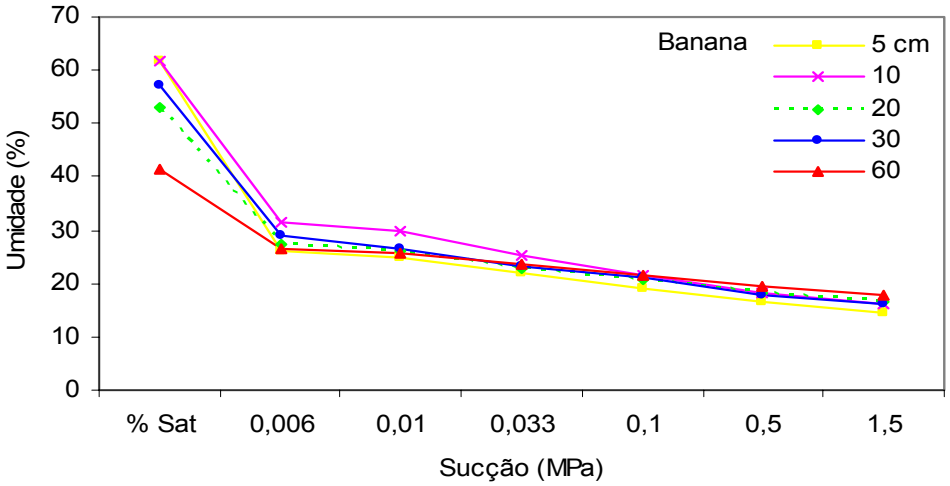


Figura 4.11. Curva característica de retenção de umidade obtida em laboratório – parcela de banana, pela câmara de pressão de Richards (CNPS – Embrapa).

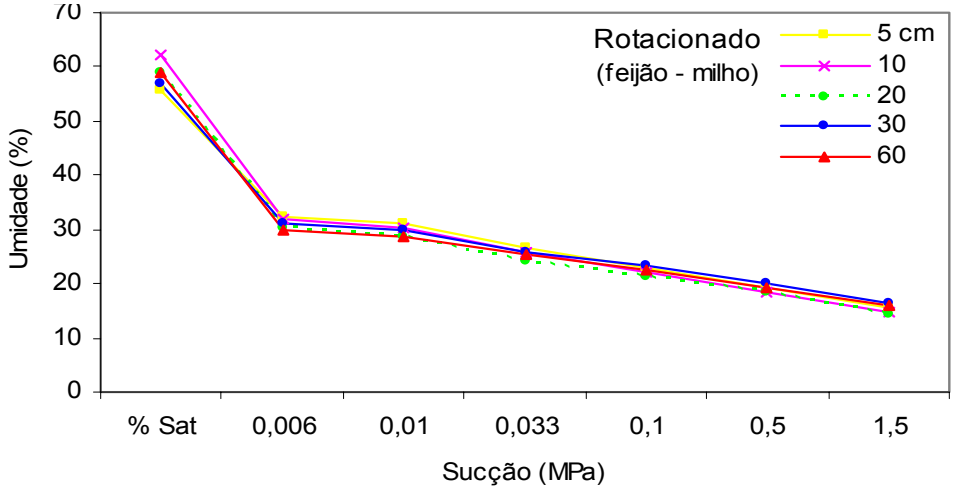


Figura 4.12. Curva característica de retenção de umidade obtida em laboratório – câmara de cultivo rotacionado, pela panela de pressão de Richards (CNPS – Embrapa).

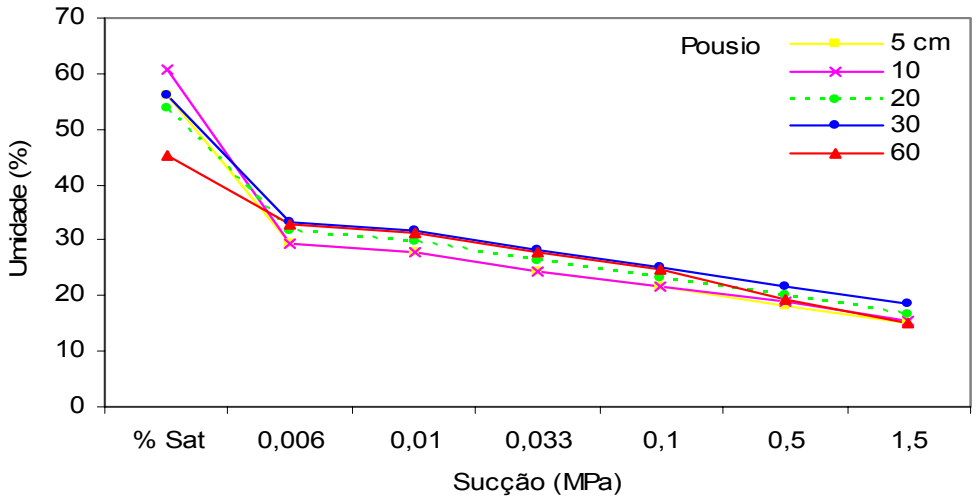


Figura 4.13. Curva característica de retenção de umidade obtida em laboratório – câmara sob pousio, pela panela de pressão de Richards (CNPS – Embrapa).

A retenção de umidade do solo avaliada, nas profundidades de 0 a 60 cm, obtida pelo aparelho extrator de Richards e apresentada pelas curvas características, indicam uma maior retenção de umidade na parcela em pousio recente, cuja capacidade de campo (CC) foi de 26,3%, seguida da parcela sob cultivo rotacionado, 25,6%, e pela parcela sob cultivo de banana, com capacidade de campo de 23,4%. Estes valores foram obtidos na curva característica em relação à sucção de 30 kPa.

Em relação ao estado da umidade critica (UC), cujos valores foram obtidos na curva característica equivalente a sucção de 1500 kPa, observou-se uma maior retenção de umidade na parcela sob cultivo de banana, 16,28%, seguida da parcela em pousio recente, 16,02%, e na parcela sob cultivo rotacionado, 15,36%.

A condutividade hidráulica foi determinada por dois métodos: o método de laboratório, com o permeâmetro de carga constante, e o método de campo, através do permeâmetro de Guelph. Os resultados de ambos os ensaios investigados nas profundidades de 15, 30 e 60 cm, foram relativamente próximos, e indicaram uma condutividade hidráulica maior na parcela sob cultivo de banana, seguido da parcela sob cultivo rotacionado, e da parcela

em pousio recente. Pode-se observar também, uma inversão deste comportamento hidráulico na profundidade de 30 cm, ou seja, a condutividade na parcela em pousio foi maior do que na parcela sob cultivo rotacionado. Este comportamento também foi observado no parâmetro de porosidade do solo, o que demostra um certo grau de compactação na parcela sob cultivo rotacionado nesta profundidade. Os resultados são apresentados na Figura 4.14:

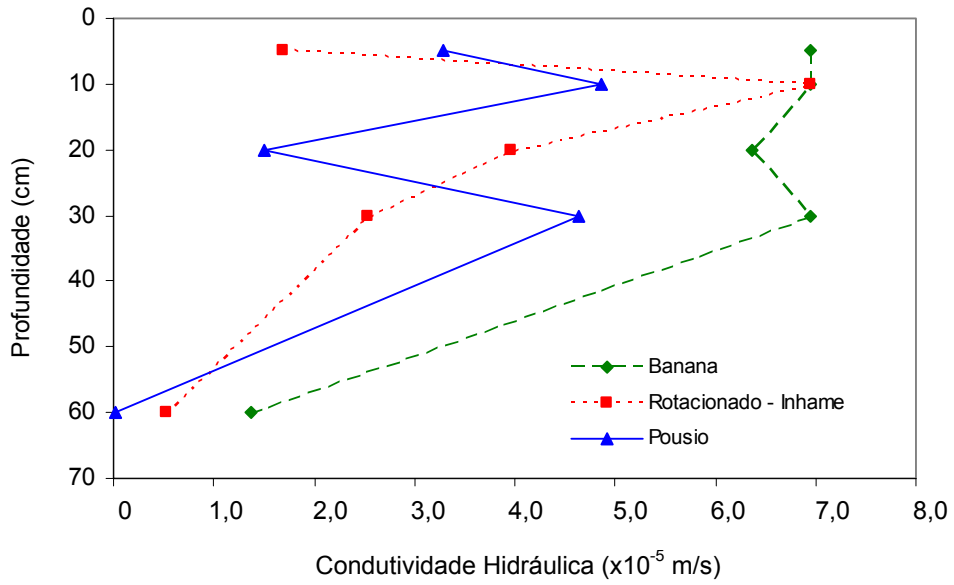


Figura 4.14. Condutividade hidráulica em cm/h obtida pelo permeâmetro de laboratório, nas amostras coletadas em campo nas profundidades de 5, 10, 20, 30 e 60 cm (CNPS – Embrapa, 2003).

A condutividade hidráulica determinada em laboratório, obteve um coeficiente de variação de 38,6% e desvio padrão de $1{,}38 \times 10^{-5}$ para profundidade de 15,0 cm, $1{,}70 \times 10^{-5}$ para profundidade de 30,0 cm, e $1{,}44 \times 10^{-5}$ para profundidade de 60,0 cm. O teste Tukey a nível de 5% apresentou-se significativo na comparação entre médias observadas. Apesar do coeficiente de variação apresentar valores acima de 30%, os resultados foram considerados aceitáveis no estudo.

A condutividade hidráulica obtida em campo, foi determinada pelo ensaio do permeâmetro de Guelph. A análise dos resultados indicaram uma redução da infiltração da água na profundidade de 60 cm, em todas a áreas, porém devem

ser consideradas iguais estatisticamente (não significativa à nível de 5% pelo teste Tukey. As taxas de infiltração devem ser consideradas iguais quantitativamente, pois não houve alteração na ordem de grandeza. Na parcela sob cultivo de banana, observou-se um aumento da infiltração na profundidade de 30 cm, inferior às demais áreas analisadas, são apresentadas na Figura 4.15 em m/s:

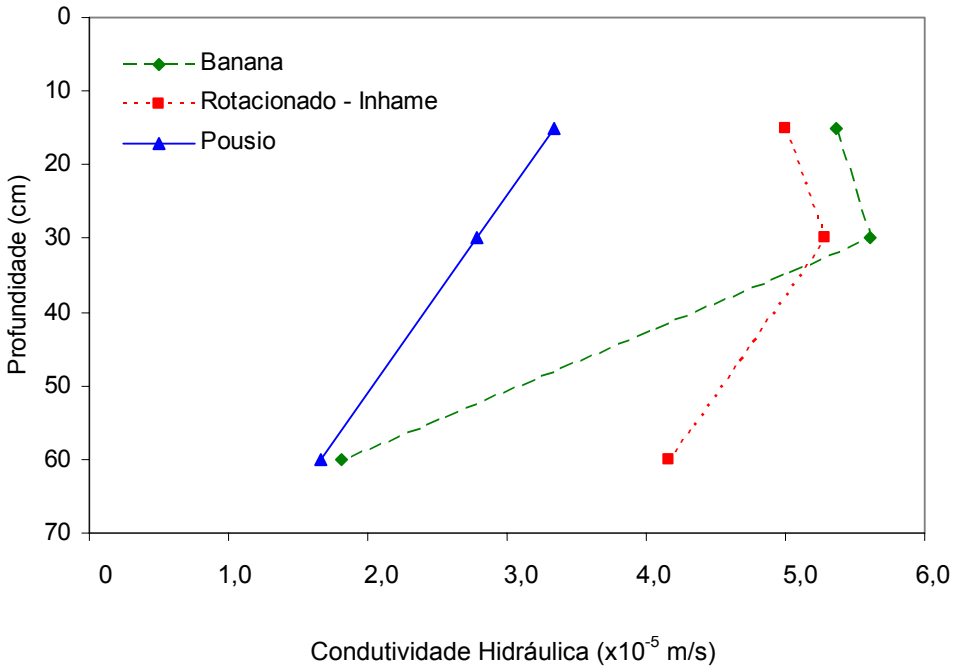


Figura 4.15. Condutividade hidráulica em cm/h obtida pelo Permeâmetro de Guelph instalado em campo nas profundidades de 15, 30 e 60 cm.

Em geral, os resultados obtidos em campo com o ensaio do permeâmetro de Guelph mostraram-se semelhantes estatísticamente ao ensaio de permeabilidade com uso do permeâmetro de carga constante, executados no laboratório da EMBRAPA/CNPS.

Os resultados dos ensaios obtidos em laboratório, indicaram valores de W_L = 43,8 %, W_P = 22,6% e IP = 21,2%, na parcela sob cultivo de banana, W_L = 39,9%, W_P = 20,0% e IP = 19,9%, na parcela sob cultivo rotacionado, e W_L = 47,9%, 24,0% e IP = 23,9%, na parcela sob pousio recente. Os resultados apresentaram um coeficiente de variação de 4,15%, que pode ser considerado

baixo, com desvio padrão de 12,55 para parcela sob cultivo de banana, 11,53 para parcela sob cultivo rotacionado e 13,83 para parcela sob pousio florestal

A análise dos resultados indicam menor índice de plasticidade na parcela sob cultivo intensivo rotacionado, seguido da parcela sob cultivo permanente de banana e parcela em pousio florestal. Análise dos dados de perda de solo obtidas em campo, apresentam-se coerentes com a hipótese, maior plasticidade, menor erosão, onde o solo menos plástico (parcela sob uso intenso do solo), ocorreram as maiores perdas de solo.

Estudos realizados por Santos e Castro, *apud* Rego (1978), mostraram que dos solos estudados por eles, num total de vinte um, o comportamento em relação à erosão, apresentou-se Bom ou Regular, quando o IP ≤ 17. Concluíram ainda, que o mesmo desempenho a erosão, apresentava comportamento bom ou regular, quando o W_p ≤ 32. Estes autores consideraram que quando W_L < 50% e IP próximo a 20%, os solos são classificados como de baixa plasticidade.

Sherard (*apud* Fácio, 1991), em suas pesquisas, concluiu que os solos com IP > 15, 15 > IP > 6 e IP < 6, respectivamente, possuem boa, média e baixa resistência à erosão. Lima (1999), considera que solos com IP > 15, como solos altamente plásticos, e solos fracamente plástico, onde 1 < IP < 15.

Entretanto, é precoce fazer uma analogia destes parâmetros IP e LP, em relação aos solos da área estudada, pois o que deve ser considerado é que distribuição espacial das amostras estudadas foi restrita a uma pequena unidade amostral (parcelas experimentais) e não por uma base de dados estatísticos de limites de Atterberg, de acordo com citações de Rego (1978).

4.2. CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

A distribuição pluviométrica observada na área de estudo (Figura 2.6), apresentou-se de forma regular, com a ocorrência dos maiores volumes no período de novembro a março, havendo um significativo aumento no mês de maio ano 2000. Os meses de junho, julho e agosto, são os mais secos, chegando a não ocorrer nenhuma chuva, como observado em julho de 2001. O período monitorado mais chuvoso foram dos meses de novembro a fevereiro (2003). Nos meses de dezembro ocorreram os maiores volumes de chuvas, atingindo valores entre 350 a 400 mm.

Os fluxos de atravessamentos foram obtidos pela diferença entre a quantidade de chuva que incidiu em cada cobertura vegetal na parcelas, e o percentual que atravessou as copas e que escorreu nos troncos dessas coberturas. Foram registrados um total de 50 eventos pluviométricos no período de janeiro a julho de 2004 (Figura 4.16), gerando uma interceptação de 35,5% na parcela sob cultivo de banana, 21,7% na parcela sob cultivo rotacionado (inhame) e 27,5% na parcela sob pousio. O detalhamento do comportamento de interceptação pluviométrica pela cobertura vegetal e fluxos de atravessamentos, podem ser analisados no ANEXO IV.

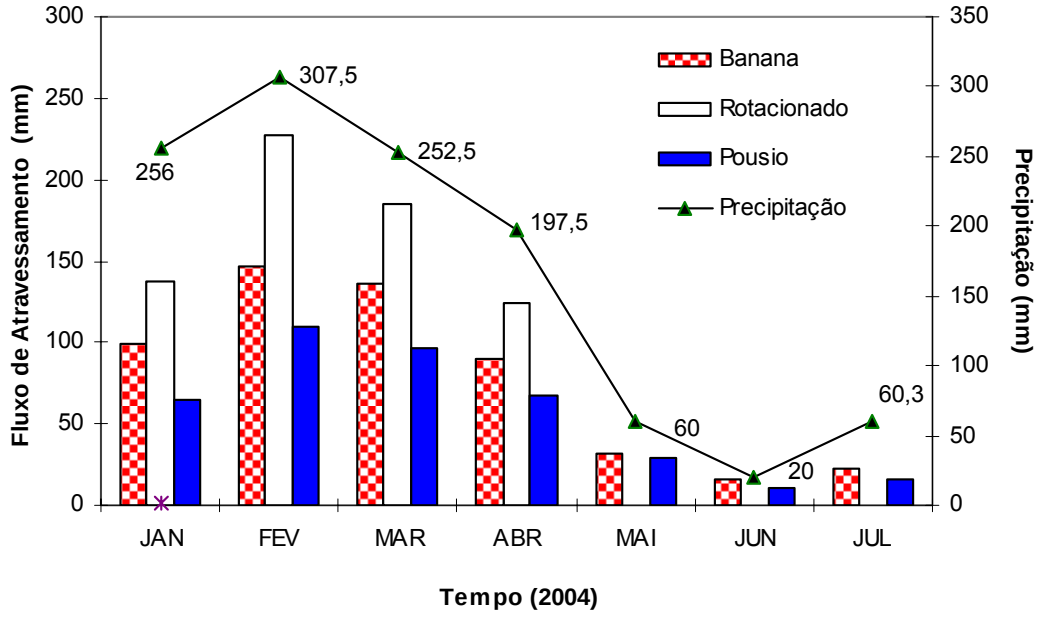


Figura 4.16. Fluxo de Atravessamento (sub copa) da precipitação em relação as diferentes coberturas vegetais.

Os resultados encontrados apresentaram-se coerentes aos valores observados por Freitas (2003), onde foram relatados 38 eventos pluviométricos, com fluxo de atravessamento de 48,4% na parcela sob cultivo de bananal, 59,1% área em regeneração e 70,8% em floresta. O autor atribuiu os valores da interceptação pluviométrica na área cultivada com banana, superiores ao da área em regeneração florestal, como resultante do tamanho das folhas e sua sobreposição nas bananeiras, como as responsáveis por este comportamento. Além disso, os baixos fluxos de tronco, muitas vezes equivalem-se aos do ambiente florestal.

Os demais dados de fluxo de atravessamento como o fluxo de tronco, foram adaptados dos valores observados por Miranda (1992) e Freitas (2003), como já descritos anteriormente.

Os valores de escoamento superficial das águas pluviais, indicaram que na parcela de cultivo rotacionado (oleráceas) ocorreram os maiores volumes de enxurradas, seguido da parcela de cultivo de banana e da parcela sob pousio.

Isto provavelmente se deve ao intenso revolvimento do solo realizado na fase de preparo para o plantio, a falta de práticas que reduzam a velocidade do escoamento superficial e a pequena taxa de cobertura vegetal proporcionada pelas culturas. Na parcela cultivada com banana observou-se que o manejo de limpeza das touceiras do bananal promoveu uma menor proteção do solo pela cobertura vegetal e consequentemente, um aumento do escoamento superficial nesta encosta, acarretando uma perda de solo considerável.

No período de janeiro a julho de 2004, os valores referentes ao escoamento superficial em relação aos eventos pluviométricos em percentual foram: 1,7% na parcela sob cultivo de banana, 4,6% na parcela sob cultivo rotacionado e 1,1% na parcela em pousio. Do mesmo modo, no período de 2002, 2003 e 2004, esses valores ocorreram em torno de: 1,25% na parcela sob cultivo de banana, 2,5% parcela sob cultivo rotacionado e 1,0% na parcela em pousio.

Freitas (2003) em estudo realizado no Parque do Grumari, na cidade do Rio de Janeiro, observou valores de escoamento superficial na ordem de 1,3% na parcela sob cultivo de bananal, 1,0% área em regeneração e 0,8% em floresta.

4.3. DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO

A dinâmica da água no solo foi investigada com auxílio instalação de tensiômetros manuais de Hg instalados no interior das parcelas, em diferentes profundidades no perfil do solo (15, 30 e 60 cm), nas seções superior e inferior da encosta. No delineamento da instrumentação, apesar de se ter trabalhado com uma instrumentação totalmente manual, buscou-se obter informações que pudessem identificar a sucção do solo nas parcelas em uma escala temporal antecedente aos eventos pluviométricos.

A análise das sucções nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, indicaram que na parcela sob cultivo rotacionado, apresentou os menores valores de sucção ao longo três anos de monitoramento, indicando maior teor de umidade nestes pontos da encosta.

A umidade do solo antes de uma determinada chuva regula a menor ou maior taxa de infiltração em função do tempo. Se uma determinada chuva for precedida por outros dias chuvosos é mais provável que o solo tenha dificuldade em reter mais água, pois está próximo à saturação, tendo sua capacidade de infiltração diminuída, permitindo a ocorrência o escoamento superficial (Avelar, 2003).

Nos meses de julho e agosto, observou-se que os tensiômetros não registraram valores de sucções significativas principalmente nas parcelas sob cultivo rotacionado e em pousio florestal. Os valores totais anuais do monitoramento das sucções nas diferentes parcelas experimentais, são apresentados nas Figuras 4.17 a 4.28.

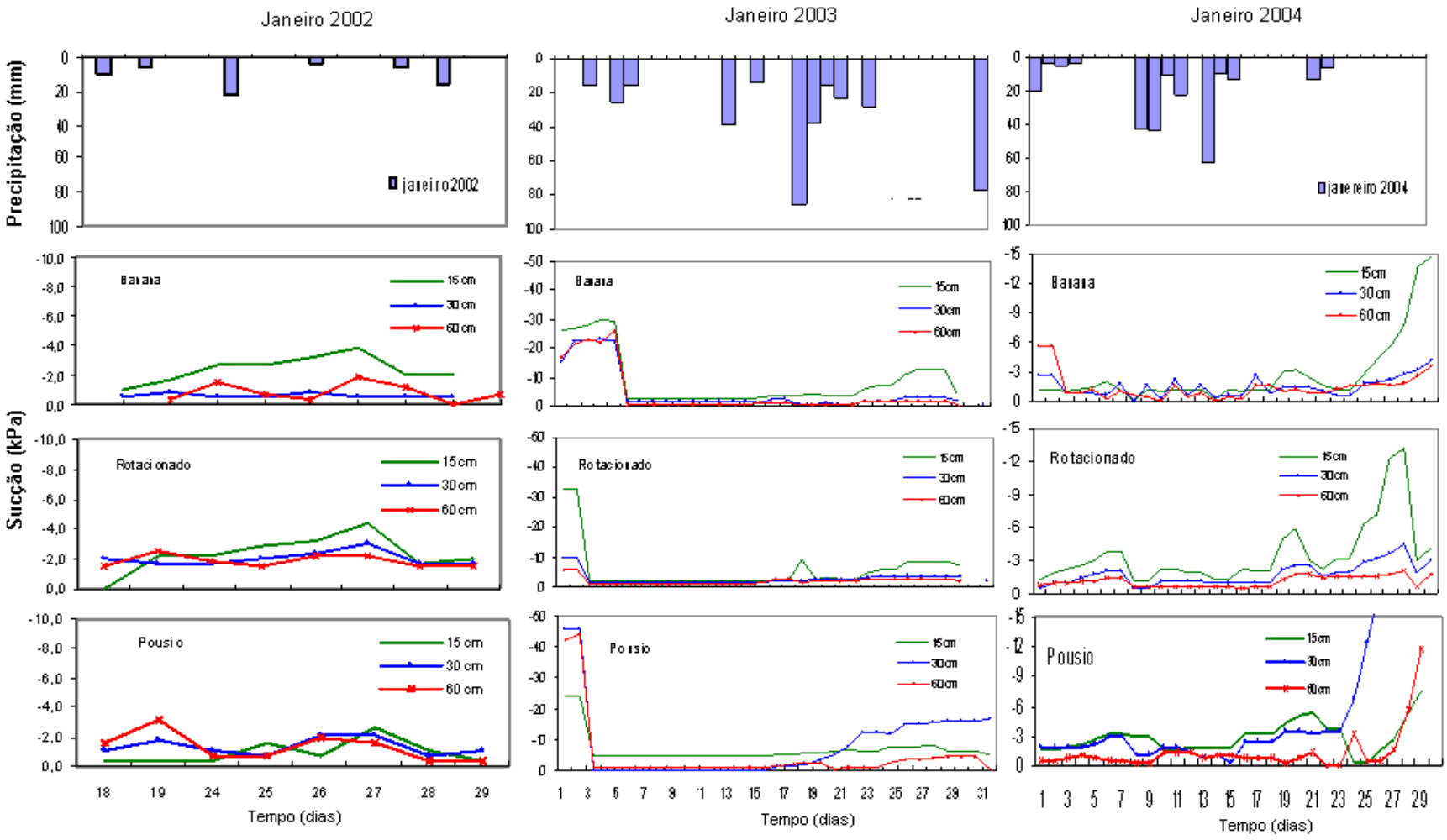


Figura 4.17. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Janeiro de 2002, 2003 e 2004).

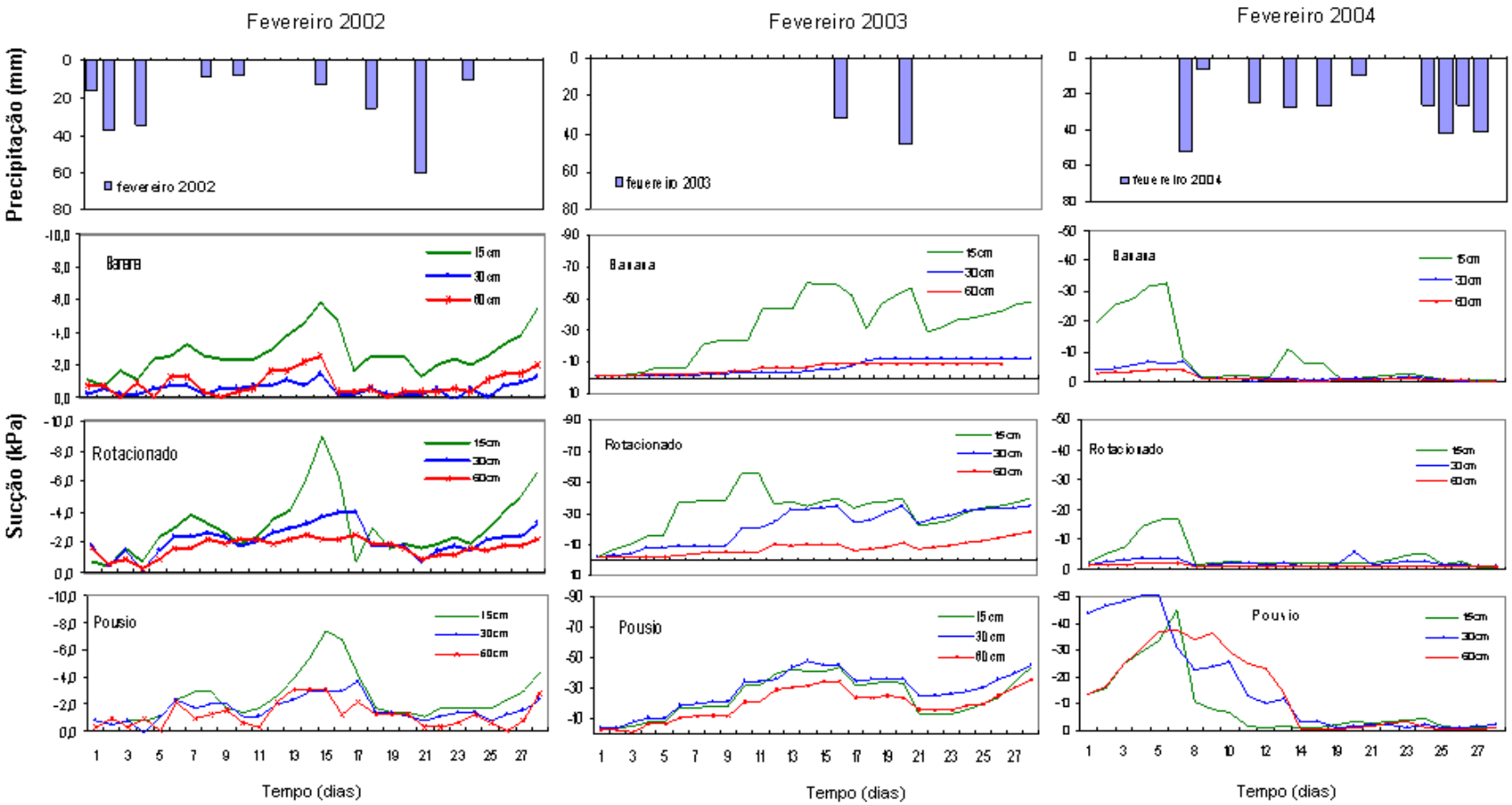


Figura 4.18. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de fevereiro de 2002, 2003 e 2004).

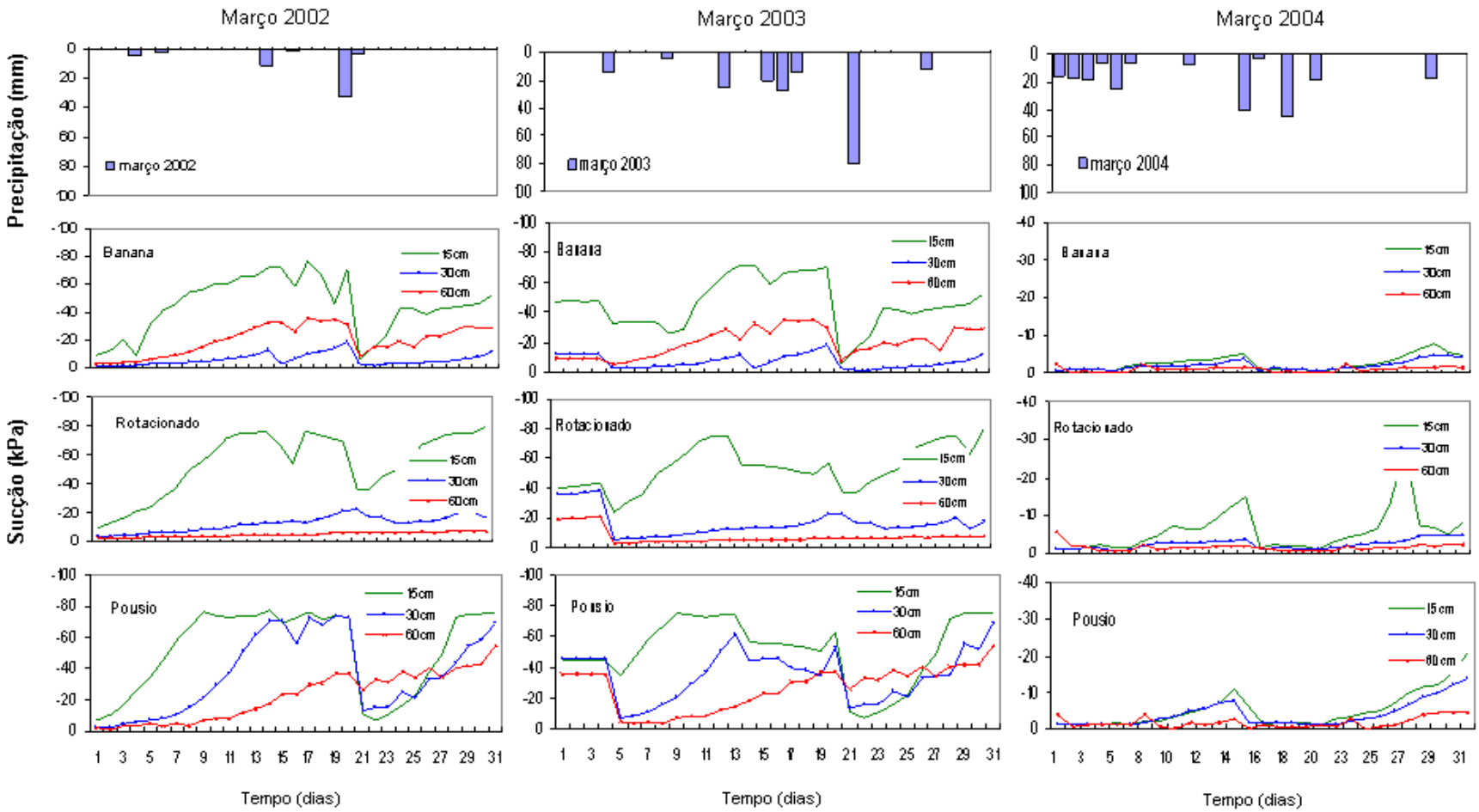


Figura 4.19. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Março de 2002, 2003 e 2004).

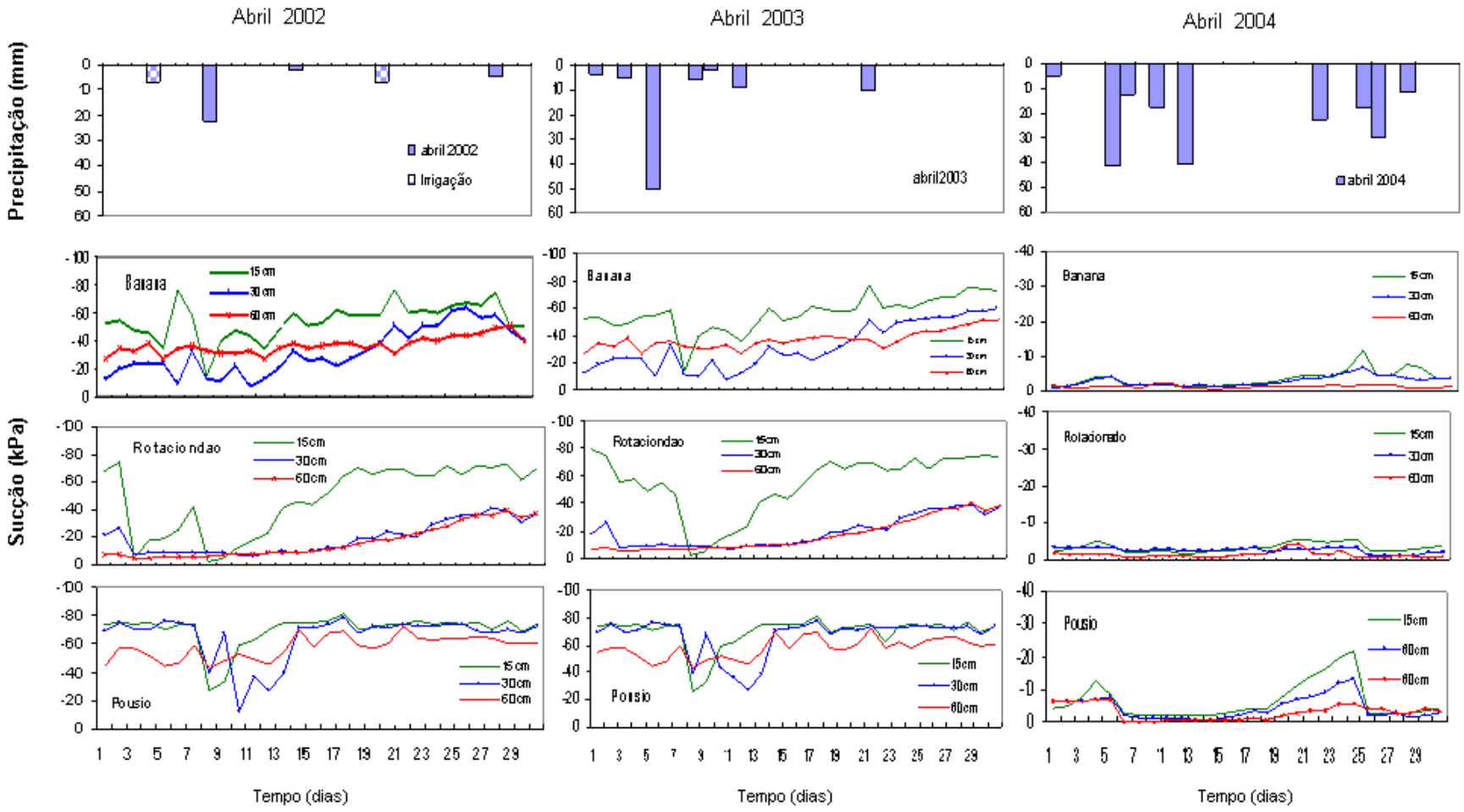


Figura 4.20. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Abril de 2002, 2003 e 2004).

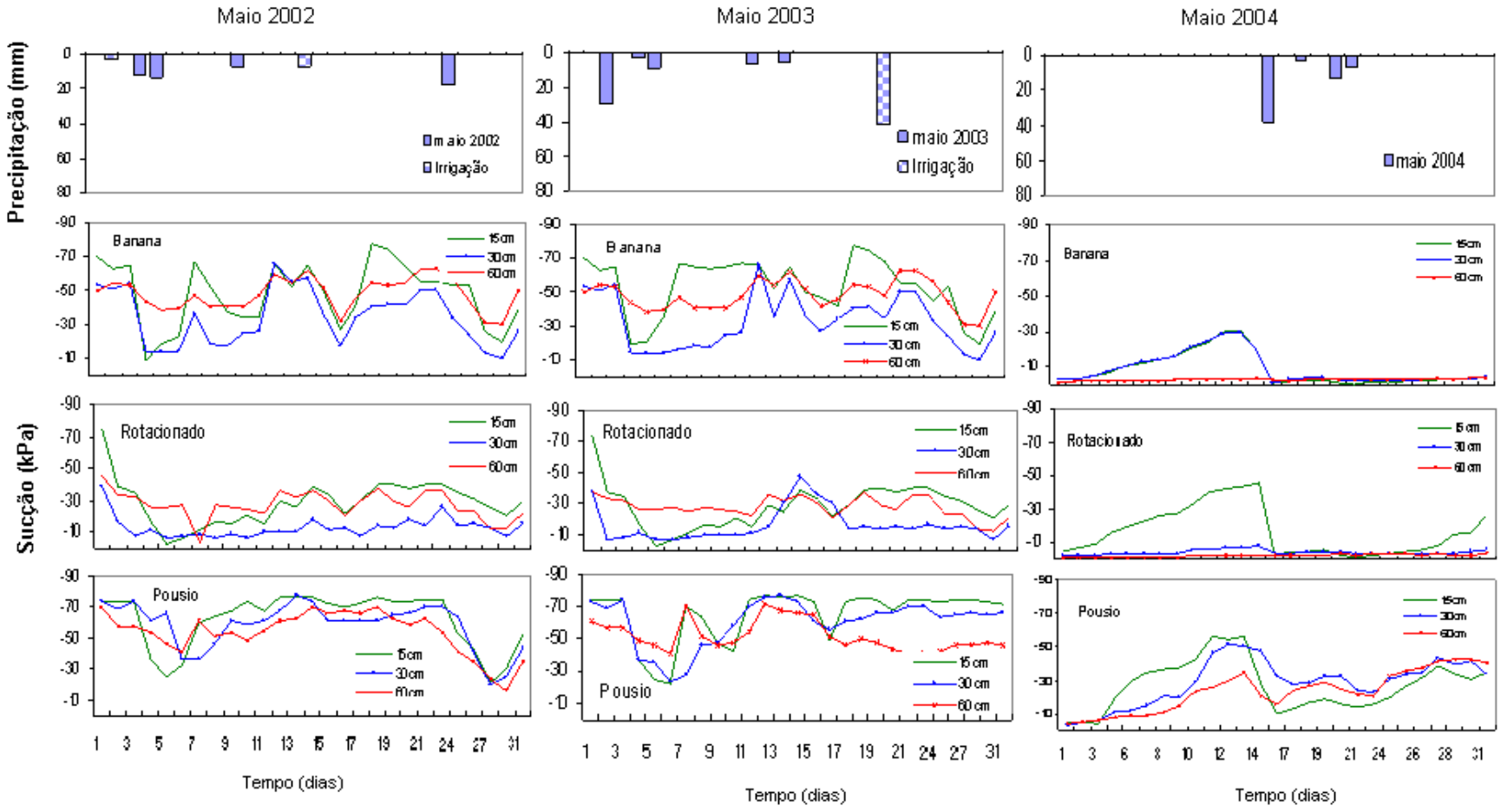


Figura 4.21. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Maio de 2002, 2003 e 2004).

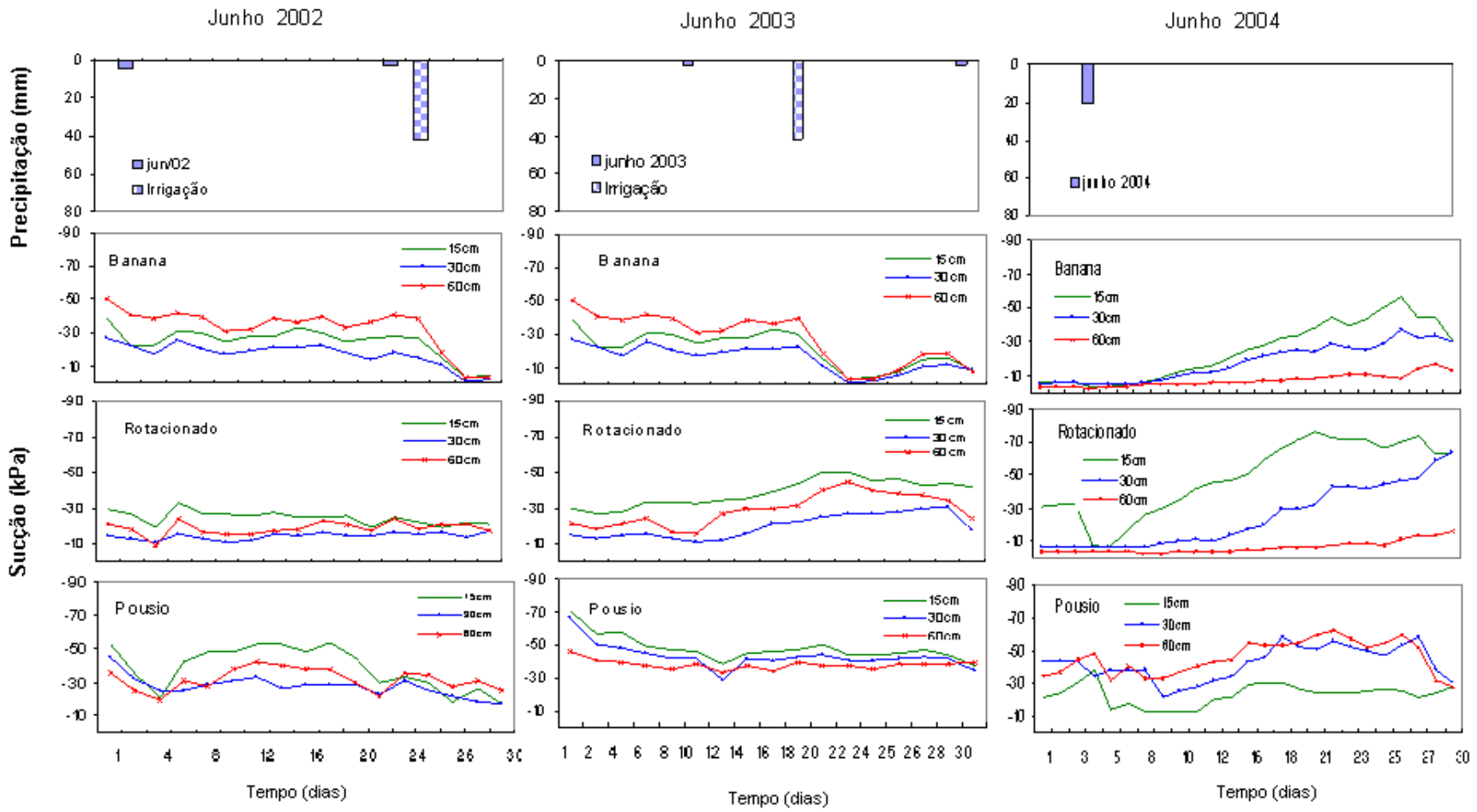


Figura 4.22. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Junho de 2002, 2003 e 2004).

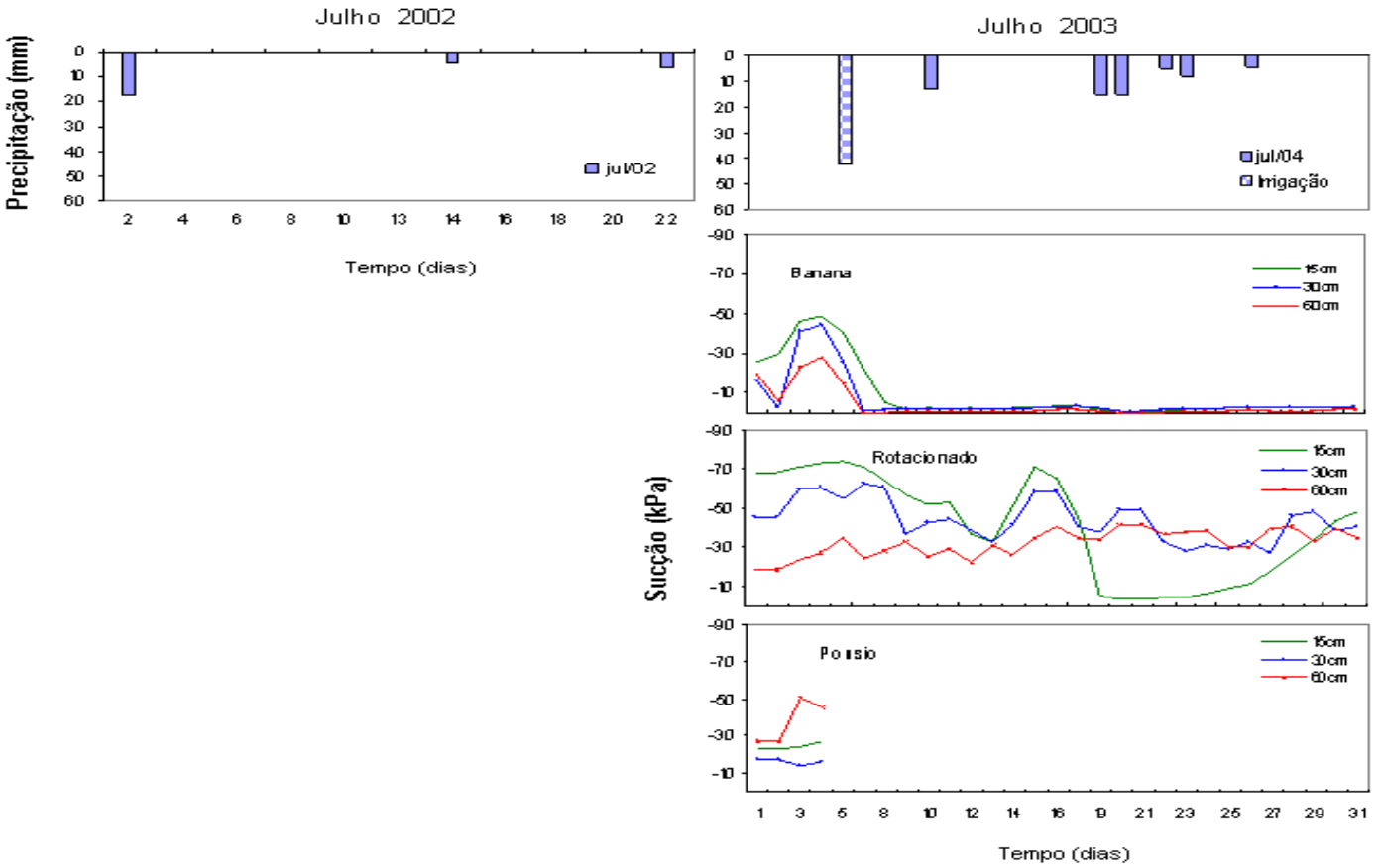


Figura 4.23. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Julho de 2002 e 2003).

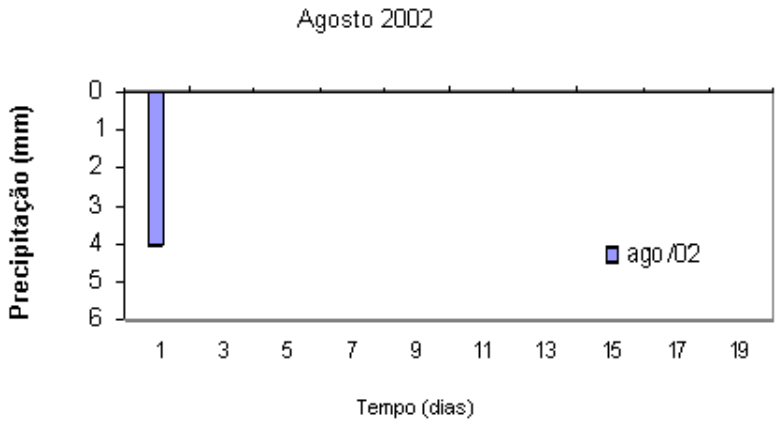


Figura 4.24. Distribuição dos eventos pluviométricos ao longo do tempo (mês de Agosto de 2002).

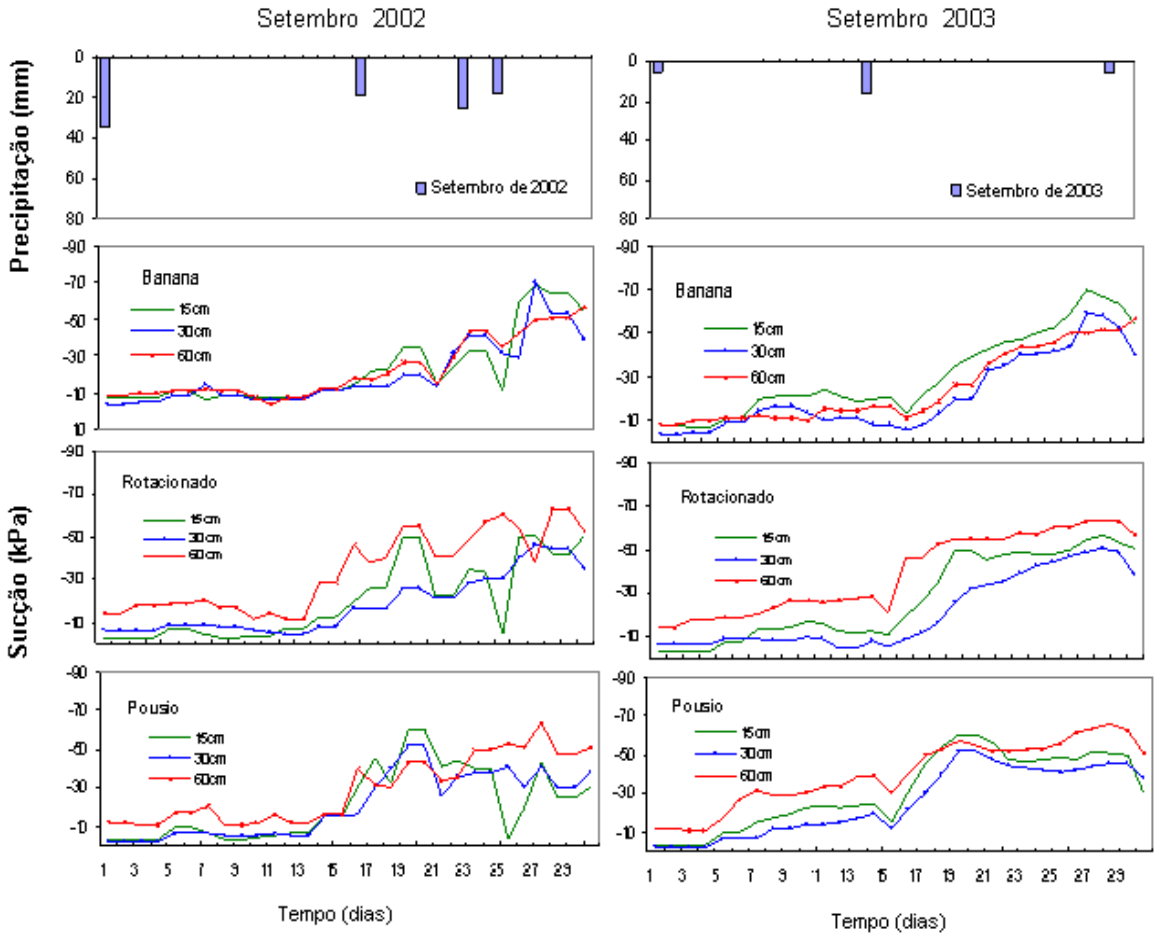


Figura 4.25. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Setembro de 2002 e 2003).

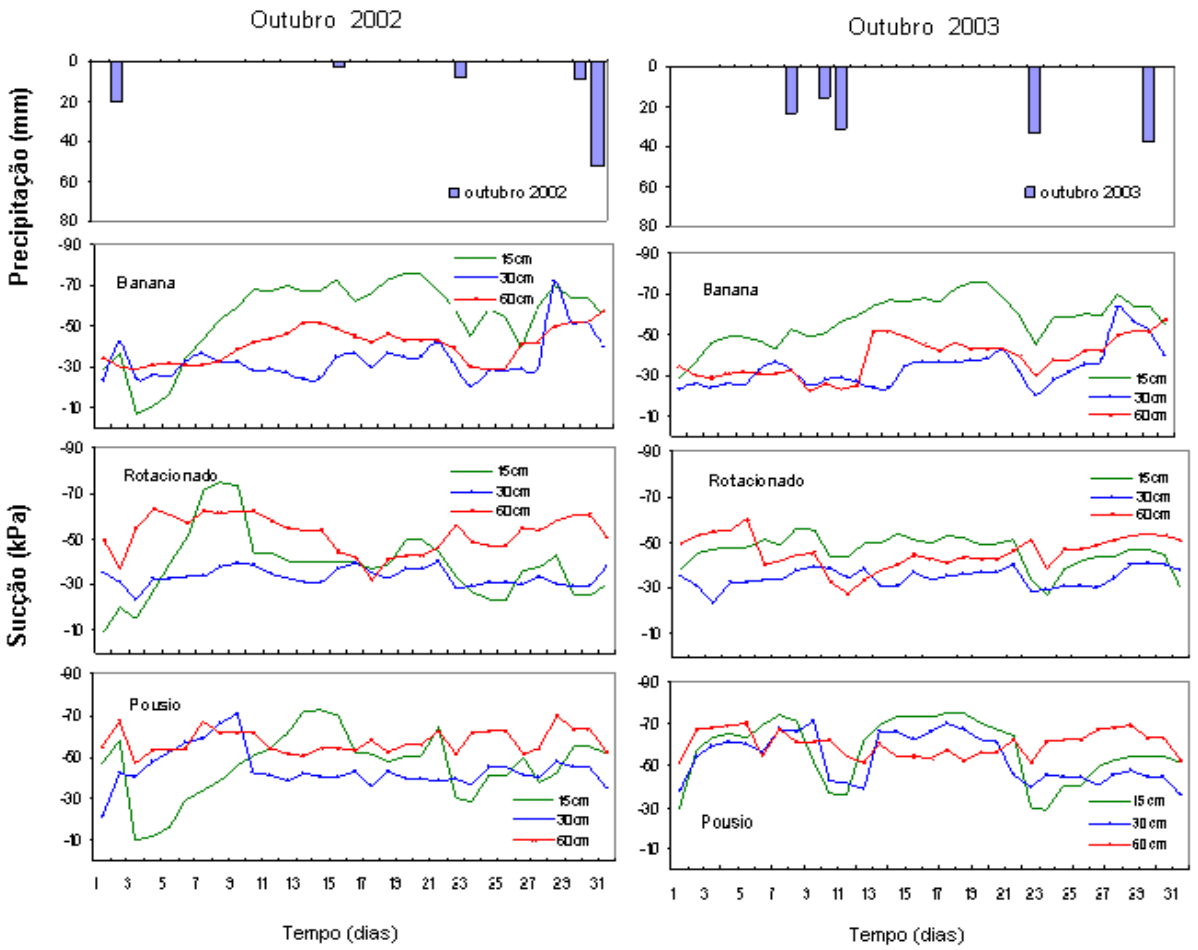


Figura 4.26. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Outubro de 2002 e 2003).

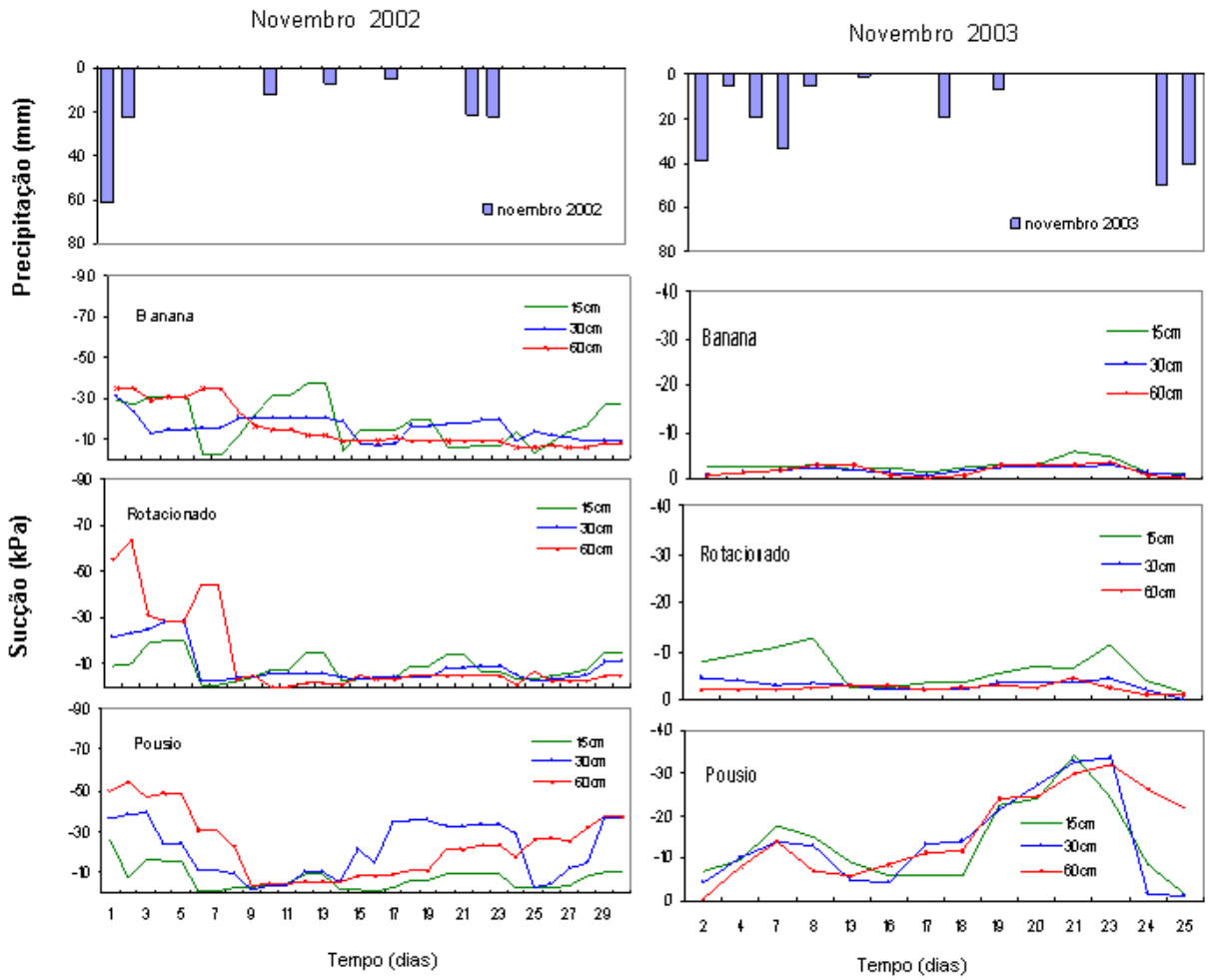


Figura 4.27. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Novembro de 2002, e 2003).

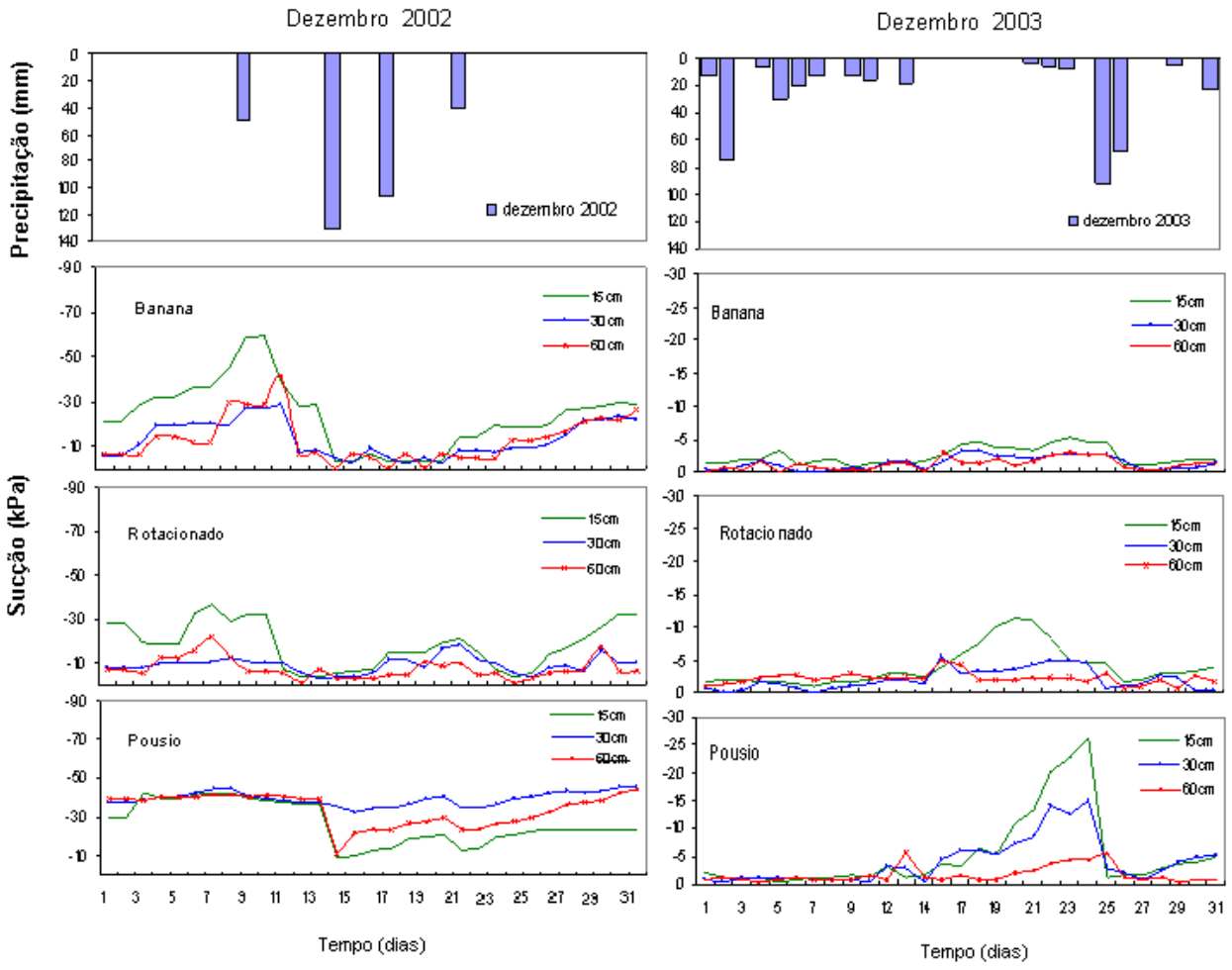


Figura 4.28. Distribuição das sucções (Potenciais Matriciais) em kPa nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais, em relação aos eventos de precipitação ao longo do tempo (meses de Dezembro de 2002 e 2003).

No período entre os meses de novembro e dezembro, foi observados as maiores perdas de solo em todas as parcelas experimentais, e principalmente na parcela sob cultivos como milho, inhame e feijão, não dispunham de sistema radicular com profundidade suficiente para absorver água nos horizontes mais profundos do perfil da encosta, além de pouca proteção do solo pela cobertura vegetal, associado ao estado de umidade do solo próximo a saturação, aumentaram o fluxo de escoamento superficial devido a dificuldade de infiltração das chuvas, ocorrendo maiores perdas de solo nestas superfícies.

Na parcela sob cultivo de banana pode-se observar que os tensiômetros instalados nas profundidades de 15 e 30 cm, apresentam valores de sucções inferiores ao observados nos tensiômetros instalados a profundidade de 60 cm. Considerando a idade do bananal (15 anos), a massa vegetal apresentava-se estável, com arquitetura radicular e partes aéreas desenvolvidas. Considerando-se estes aspectos, observou-se uma maior retirada d`água nas camadas mais profundas do perfil do solo, podendo ser identificados pelos tensiômetros, através das sucções elevadas.

Na parcela em pousio florestal, os valores de sucção apresentaram-se elevados, até mesmo nas profundidades abaixo de 50,0 cm do perfil da encosta. A presença de espécies vegetais de crescimento rápido, com arquitetura radicular variada, e maior percentual de cobertura vegetal, aceleraram a absorção hídrica nessas áreas, proporcionando a estabilidade da encosta, facilitando a infiltração, reduzindo o escoamento superficial e a erosão superficial.

Na Figura (4.29) são apresentados o comportamento da sucção matricial do solo em relação ao evento pluviométrico de 18 de março de 2004, ilustrado aleatóriamente, onde são observados em detalhe a influência das precipitações na dinâmica da água no solo, por meio dos tensiômetros instalados em diferentes profundidades na encosta e sob influência de coberturas vegetais variadas.

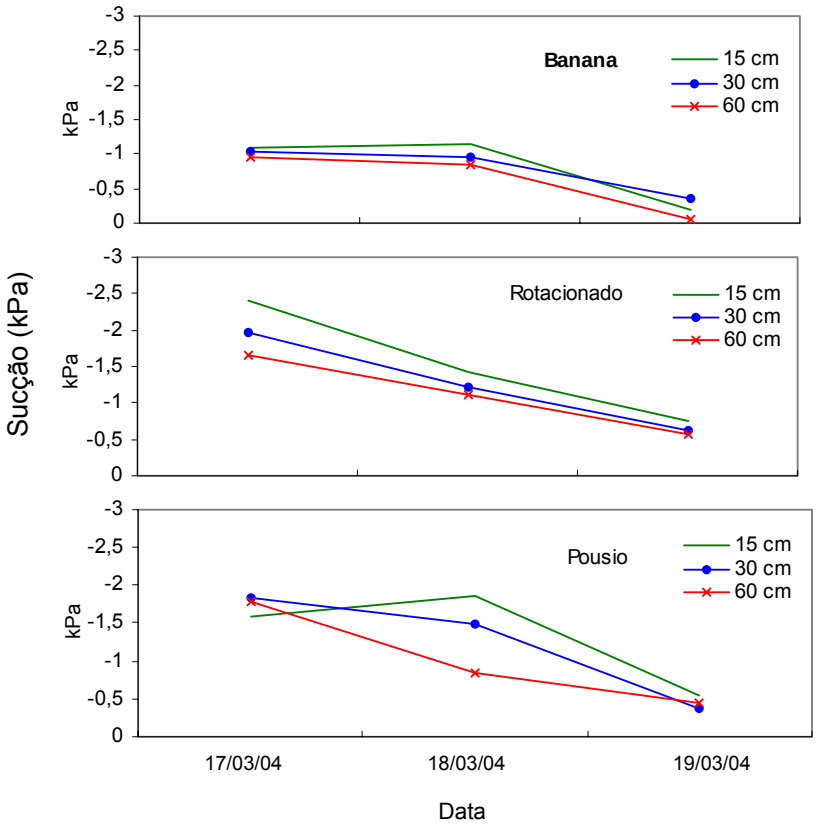


Figura 4.29. Dinâmica da água no solo sob diferentes coberturas vegetais, observada no evento pluviométrico de 18 de março de 2004, onde foi registrado 46 mm em 30 min.

Neste evento foram registrados na parcela sob cultivo de banana, um volume de escoamento de 126,8 litros e uma perda de solo 5,10kg; na parcela sob cultivo rotacionado (inhame), o volume de escoamento foi de 378,52 litros e a perda de solo 9,89 kg; e na parcela em pousio, o volume de escoamento 57,85 litros e a perda de solo 2,64kg.

Alguns eventos pluviométricos foram monitorados na escala de minutos, determinando-se os valores equivalentes às sucções nas parcelas nos instantes iniciais e finais das chuvas. Na Figura (4.30) são apresentados estes comportamentos das sucções registrados pelos tensiômetros em relação a pluviosidade.

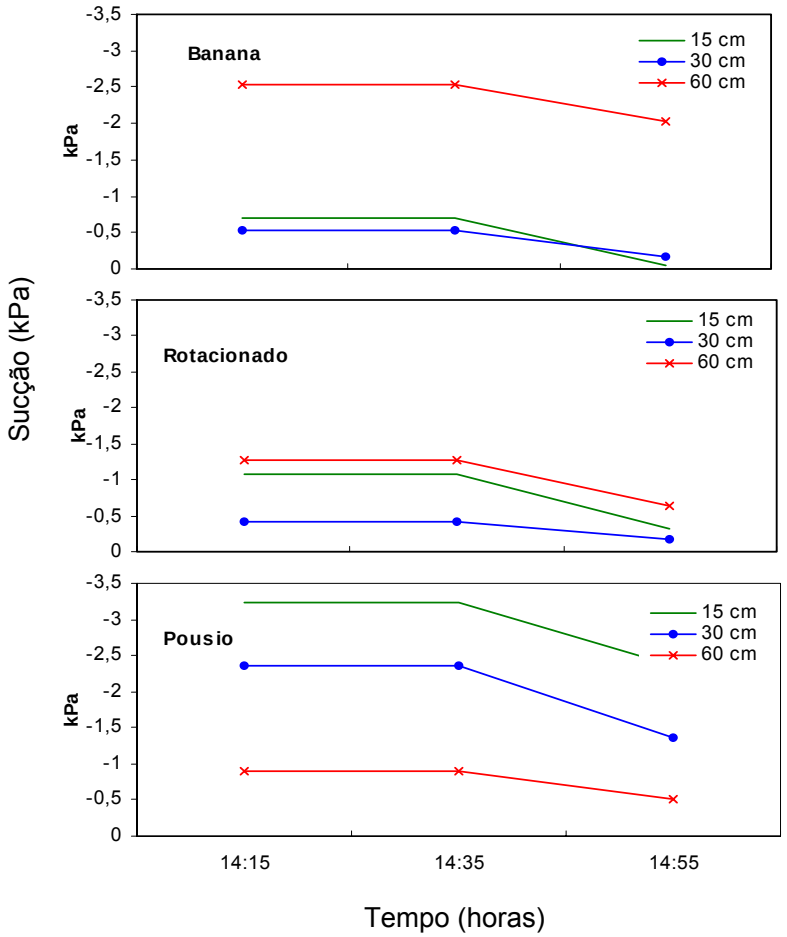


Figura 4.30. Dinâmica da água no solo sob diferentes coberturas vegetais, observada no evento pluviométrico de 10 de janeiro de 2004, onde foi registrado 11 mm em 20 min.

Nesse evento foi registrado uma precipitação de 11 mm com duração 20 min, iniciando as 14:20 h. As leituras dos tensiômetros foram realizadas cerca de 15 minutos antes do início do evento, em intervalos de 5 em 5 minutos durante o evento, e intervalos de 15 e 30 minutos após término da chuva, estendendo-se até às 17:00 h. O escoamento superficial foi de 121,23 litros na parcela sob cultivo de banana (14,4 m^3/ha), 131,36 litros na parcela sob cultivo rotacionado (inhame, 14,9 m^3/ha) e 117,6 litros na parcela em pousio (13,36 m^3/ha). Esses dados equivalem a uma perda de solo de 0,23, 0,67 e 0,045 ton/ha respectivamente nas mesmas parcelas experimentais.

Além dos registros de precipitação, escoamento superficial e perda de solo, foram registrados também o fluxo de atravessamento, sendo 56% na parcela sob cultivo de banana, 65% na parcela sob cultivo de inhame e 40% na parcela em pousio. Pode-se notar que o comportamento do fluxo de atravessamento nesse evento não esta coerente com os mesmos parâmetros observados em um período de tempo maior. Este mesmo comportamento foi observado por Freitas (2003).

4.4. ASPECTOS DAS PERDAS DE SOLO

Observou-se que as taxas de erosão superficial anual ocorrem principalmente no período de maior ocorrência das chuvas, meses entre outubro e fevereiro, onde as perdas de solo foram aproximadamente 75% do total. As maiores de perdas de solo foram registradas na parcela sob cultivo rotacionado (oleráceas), seguida pela parcela de cultivo de banana e sob pousio florestal. As maiores massas de solo perdidas foram registradas na parcela para cultivo de milho (parcela de oleráceas), sendo 14,98 ton/ha com pluviosidade de 214 mm em fevereiro de 2002; 11,05 ton/ha com pluviosidade de 266 mm em janeiro de 2003, registradas na parcela para cultivo de feijão e 11,2 ton/ha com pluviosidade de 222,5 mm em março de 2004, registrada na parcela para cultivo de inhame.

A análise do estado da umidade no solo na encosta, indicaram elevado grau de saturação nestes períodos, favorecendo o escoamento superficial, e consequentemente, o arraste de materiais para as partes mais baixas da encosta. O tratamento sob pousio florestal foi o que apresentou os menores valores de perdas de solo (2,87 ton/ha em fevereiro de 2002, pousio de 6 meses; 1,32 ton/ha em janeiro de 2003, pousio de um ano e meio; e 0,9 ton/ha em março de 2004, pousio de aproximadamente três anos. Observou-se uma tendência de redução da erosão superficial nessa parcela, devido a maior proteção do solo proporcionado pelas espécies florestais pioneiras e decrescimento rápido.

No mês de setembro, observou-se a elevação das perdas de solo na parcela sob cultivo de banana. As observações de campo apontam uma menor área foliar neste período. A elevada altitude (aproximadamente 960m), a presença de ventos e o inverno rigoroso, acarretam a “queima” ou secamento em grande parte das folhas das touceiras do bananal, o que aumenta a exposição do solo ao impacto das gotas de chuva. No Quadro 4.6 são apresentados alguns eventos e intensidades pluviométricas ocorridas na área de estudo:

Quadro 4.6. Principais eventos pluviométricos e suas intensidades observados no período de janeiro a julho 2004, e seus efeitos (escoamento superficial em l/parcela e perdas de solo kg/parcela) nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais.

2004			Banana		Rotacionado (Inhame)		Pousio	
data	mm	tempo	*Runoff* l/parcela	Kg/parcela	*Runoff* l/parcela	Kg/parcela	*Runoff*	Kg/parcela
5/mar	25,5	20'	26,07	2,08	128,95	1,49	23,27	1,43
16/mar	2,5	20'	0,66	0,04	0,66	0,04	0,38	0,02
18/mar	46	30'	126,85	5,10	378,52	9,89	57,85	2,64
25/abr	30	30'	44,95	1,10	97,07	1,66	37,06	0,68
19/jul	15	30'	17,40	0,86	15,50	0,85	12,95	0,66
10/abr	17,5	1h	36,92	0,77	263,91	1,01	53,61	0,75
2/mar	17,5	1h	32,21	0,29	272,67	5,47	16,98	0,74
3/jan	5	1h 30'	3,33	0,02	3,95	0,08	2,35	0,01
20/mar	18,5	1h30'	18,84	0,16	35,07	8,45	14,29	0,63
4/jan	4	24h	1,76	0,02	2,72	0,01	0,38	0,00
5/abr	41	24h	108,07	0,24	9,00	1,14	7,11	0,06

* Cada parcela possuía uma área equivalente a 88,0 m^2.

Inicialmente, a parcela sob cultivo rotacionado foi cultivada com milho, prática executada na região após a colheita do inhame (meses de agosto e setembro). Considerando que a densidade de plantio do milho praticada na região é menor do que a realizada no plantio convencional (4 plantas por m^2) , observou-se grandes perdas de solo na ocasião da implantação da cultura de milho (outubro/novembro de 2001) em decorrência das intensas precipitações ocorridas neste período.

O uso de herbicidas como Gramoxone^R e Roundup^R como capina química nos cultivos de milho, feijão e inhame, na época de maior ocorrência de chuvas, intensificaram as perdas de solo, nestes períodos devido a maior exposição da superfície do solo ao impacto das gotas de chuvas. À medida que a umidade do solo se aproxima da faixa de capacidade de campo, elevando-se o escoamento superficial e provável arraste das partículas.

Analisando as propriedades físicas como granulometria, índice de estabilidade de agregados, plasticidade, densidade, etc., do material coletado no interior das parcelas sob diferentes formas de cultivos e pousio, observou-se uma relação direta destas propriedades do solo, com as perdas de solo registradas. É importante observar que as propriedades do solo não devem ser analisadas isoladamente das coberturas vegetais estudadas.

Entretanto, nas observações nas parcelas experimentais, verificou-se que as perdas de solo são maiores na parcela sob cultivo rotacionado (cultivo perene - oleráceas), seguido pela parcela sob cultivo de banana e em pousio florestal. Os resultados das perdas de solo no período de estudo, são apresentados nas Figuras 4.31 a 4.33.

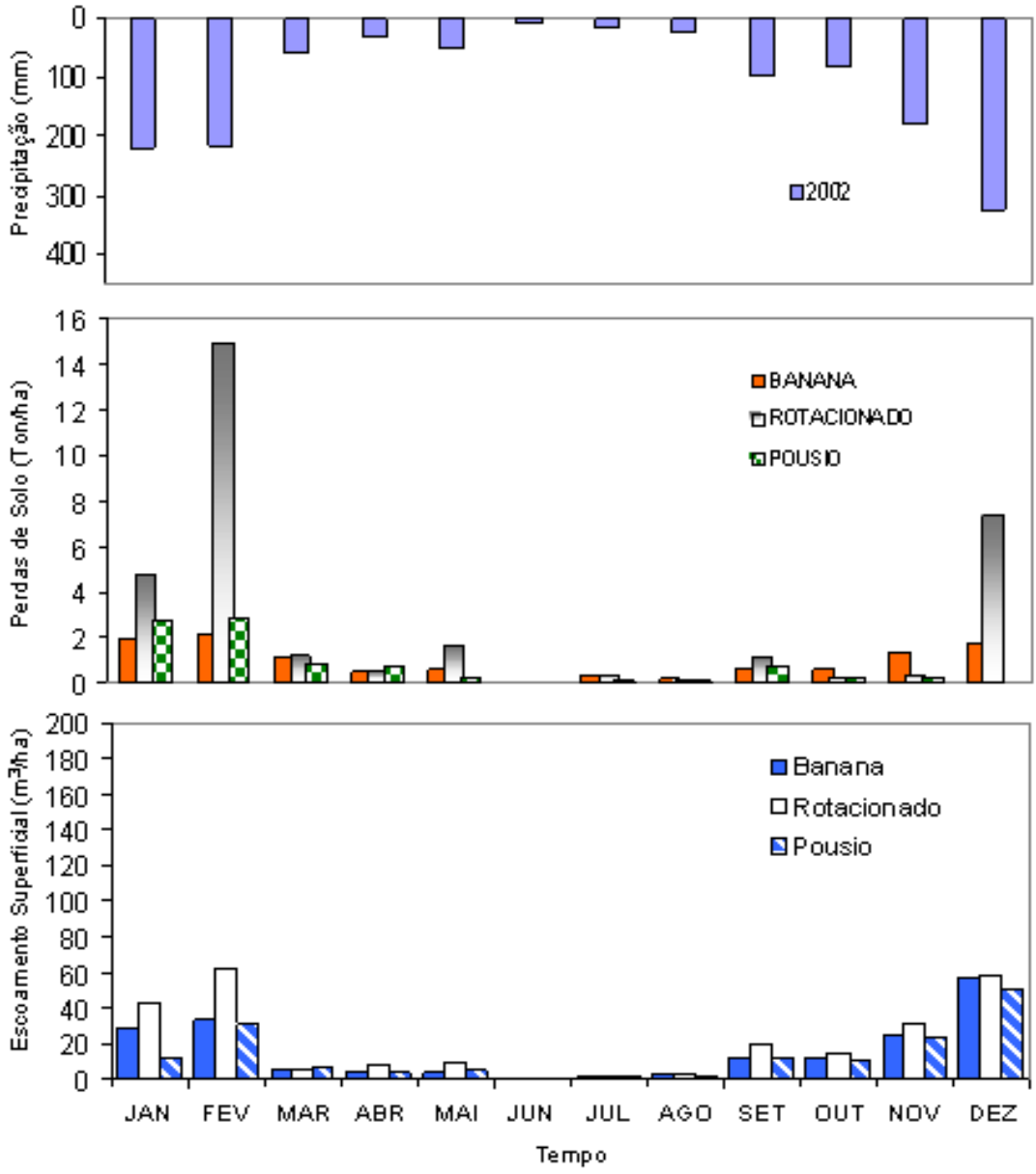


Figura 4.31. Comportamento do escoamento superficial e das perdas de solo sob diferentes coberturas vegetais, em relação à distribuição das chuvas ocorridas no ano de 2002.

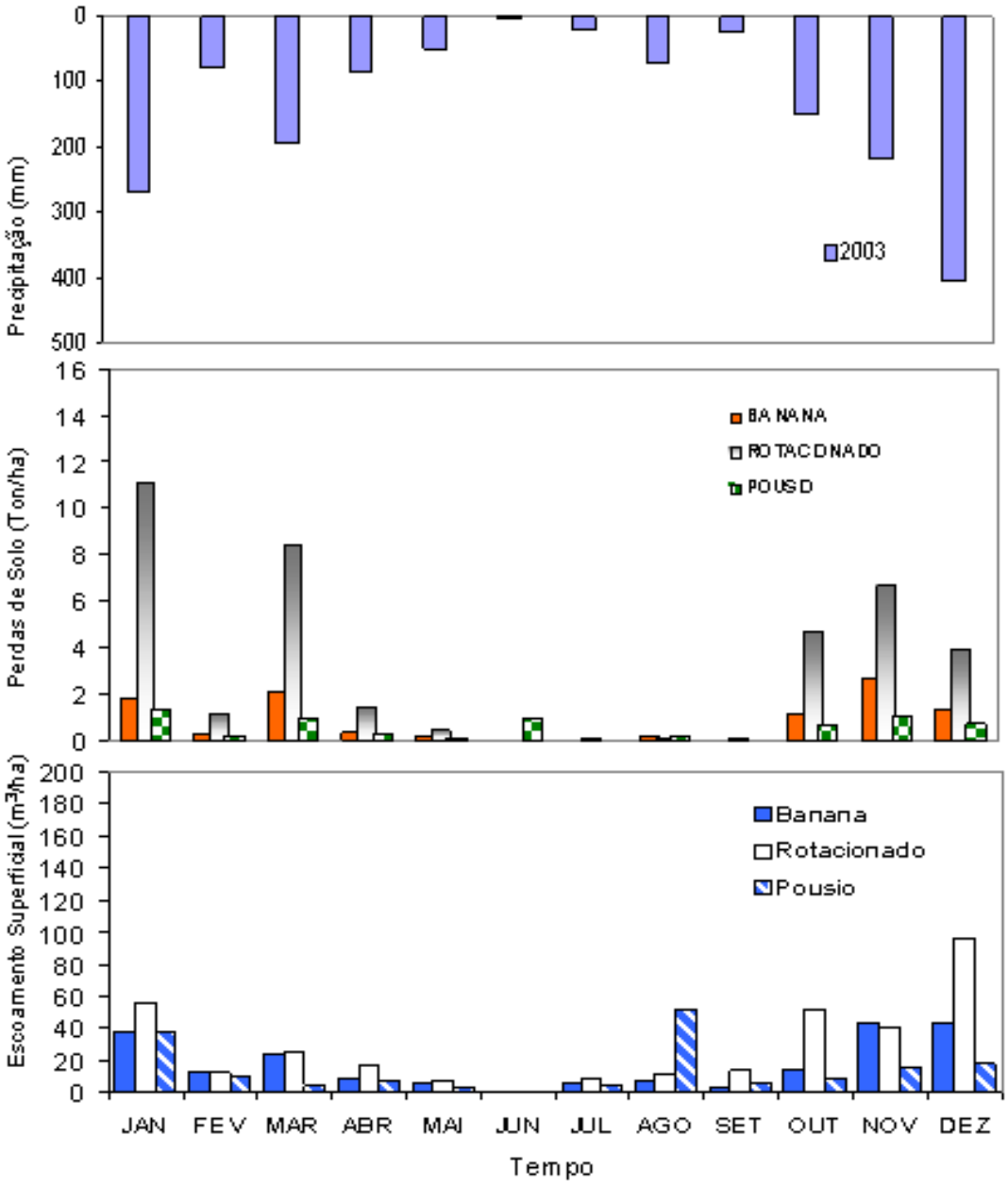


Figura 4.32. Comportamento do escoamento superficial e das perdas de solo sob diferentes coberturas vegetais, em relação à distribuição das chuvas ocorridas no ano de 2003.

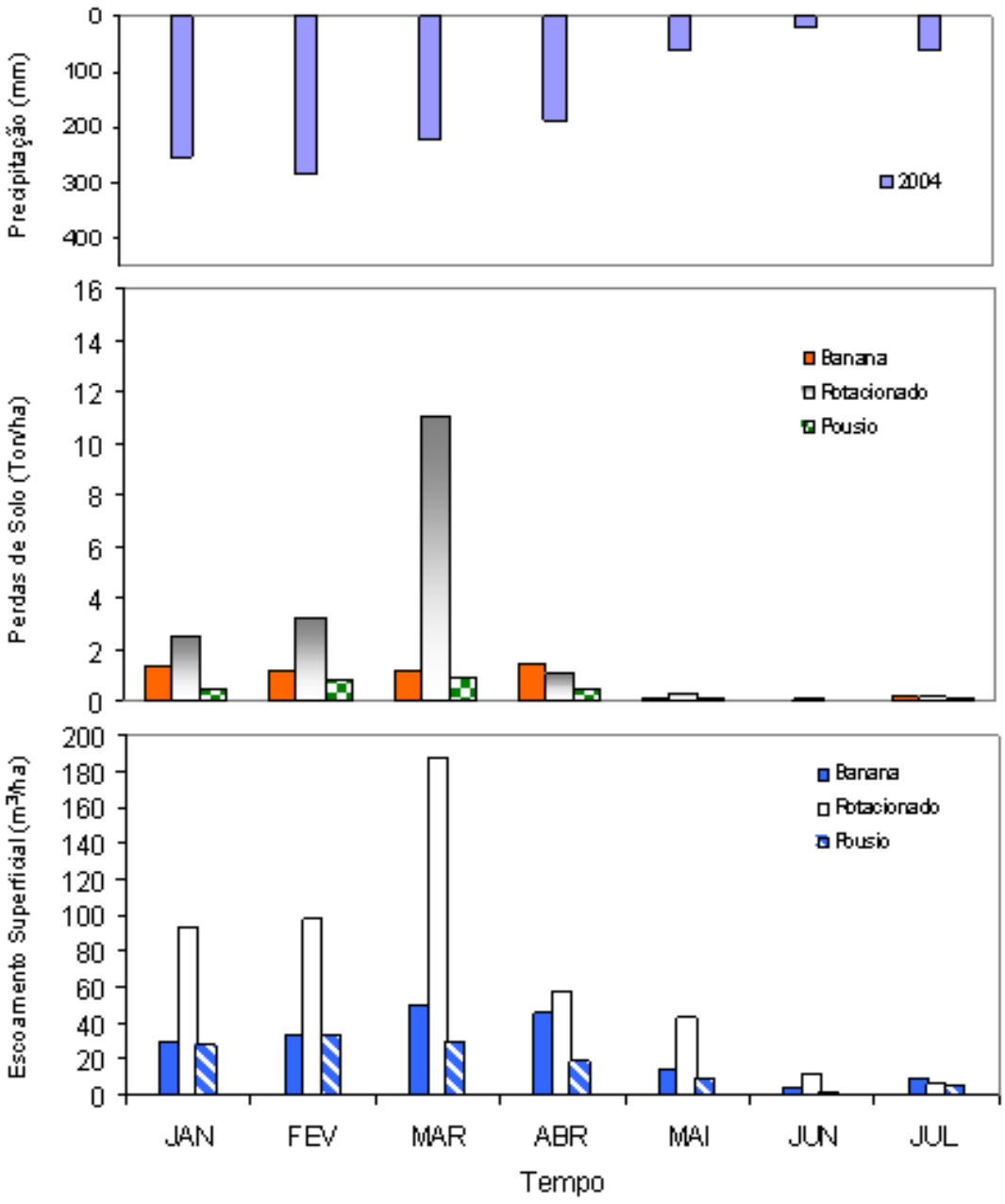


Figura 4.33. Comportamento do escoamento superficial e das perdas de solo sob diferentes coberturas vegetais, em relação à distribuição das chuvas ocorridas no ano de 2004.

Deve-se considerar que entre os meses de agosto a outubro, as parcelas sob cultivo rotacionado encontravam-se em descanso, dispondo de grande quantidade de material de cobertura, como restos culturais, formando uma cobertura morta no terreno. A partir deste período, iniciavam-se nestas parcelas, os plantios de verão. Pode-se observar que as perdas de solo foram bastante significativas neste período, principalmente se

considerarmos as grandes quantidades de chuvas ocorridas na época da implantação das culturas.

Kunzmann *et al*., (1998), em seus estudos com as mesmas características pedológicas e topográficas descritas em Bom Jardim, vide Anexo II, verificou que todos os tratamentos sob o sistema convencional "morro-abaixo" apresentaram grande quantidade de perda de solo (87,6 ton/ha) no período entre outubro de 1995 a março de 1997, com pluviosidade de 1922 mm neste período. O cultivo de pepino foi o tratamento que apresentou as maiores taxas de perda de solo na área experimental (65,2 ton/ha no sistema de manejo A, sob precipitação de 139,7 mm).

Freitas (1998), em Nova Friburgo, observou no período de fevereiro a março de 1997, uma perda de solo no cultivo de inhame de 0,14 ton/ha e escoamento superficial de 145 m^3/ha, sob precipitações totais de 240 mm. O mesmo autor em dezembro de 1996, em parcelas sob pousio recente, observou uma perda de solo de 0,10 ton/ha e escoamento superficial de 183 m^3/ha, sob precipitações de 410 mm.

Souza (2003), em parcela sob plantio "morro-abaixo" de tomate, observou um escoamento superficial e perda de solo com valores de 1,2 m^3 e 1,4 ton/ha, sob precipitação de 28 mm em 4h e 40min.

Alves *et al*. (1995) observaram que a persistência dos resíduos culturais de milho e soja sobre o solo, reduziram o impacto direto das gotas de chuva, o que foi fundamental para a redução da erosão hídrica.

Bertol (1989), em seus estudos, considerou que as perdas de água foram mais influenciadas pelos métodos de preparo do solo do que pela cobertura vegetal morta, sendo, no entanto, bem menos afetadas do que as partículas de solo.

Esses resultados confirmam a necessidade e a importância da incorporação dos resíduos vegetais ao solo e da aplicação do cultivo mínimo nestas áreas, cujo uso do solo não se adequa às características físicas dos mesmos. Para Camargo Filho (1999), algumas estratégias de ação para a redução da erosão e a recuperação de áreas degradadas podem garantir uma maior cobertura do solo, maior ciclagem de nutrientes e o aumento dos teores de matéria orgânica ao solo.

4.5. CORRELAÇÕES CHUVA X ESCOAMENTO/EROSÃO

Estabeleceu-se correlações entre os eventos pluviométricos em relação ao escoamento e às perdas de solo nas três parcelas experimentais (cultivo de banana, cultivo rotacionado e pousio florestal), no período de janeiro de 2002 a agosto de 2004. Nas Figuras (4.34a e 4.34b), são apresentadas às correlações entre as precipitações, escoamentos e perdas de solo na parcela sob cultivo de banana.

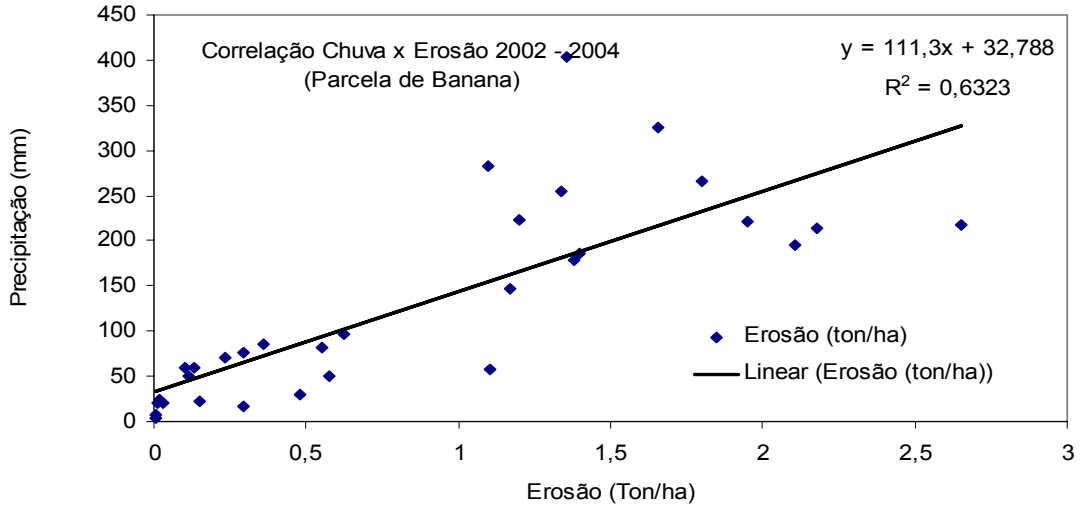


Figura 4.34a. Correlações chuva x erosão no período de 2002 a 2004 para parcela sob cultivo de banana.

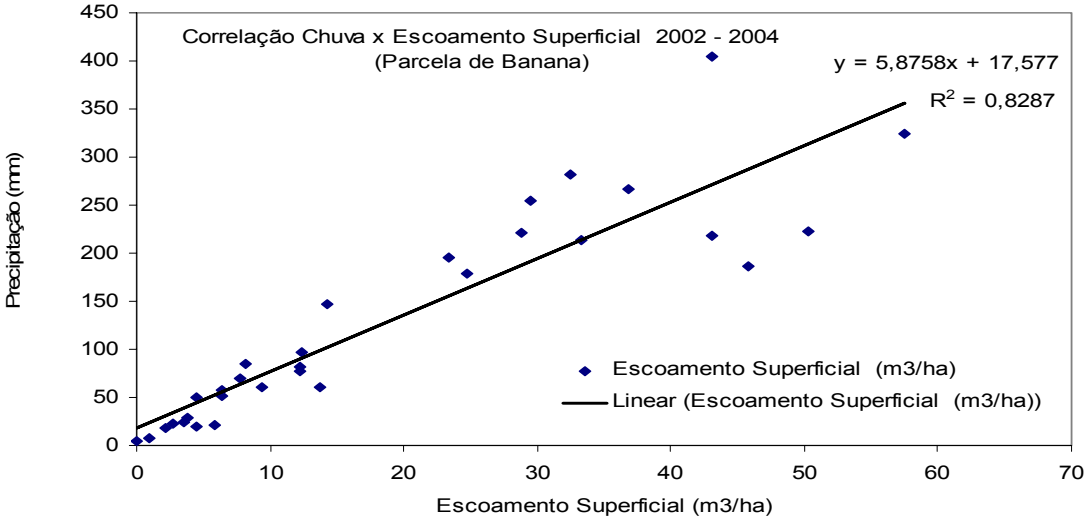


Figura 4.34b. Correlações chuva x escoamento superficial no período de 2002 a 2004 para parcela sob cultivo de banana.

Pode-se observar que existe uma boa correlação (R^2 = 0,83) entre a precipitações e os escoamentos superficiais registrados na parcela sob cultivo de banana, o que indica uma relação direta da intensidade da chuva com o volume do escoamento encosta abaixo. A relação da precipitação com as perdas de solo, apresentou-se baixa (R^2 = 0,62), em relação a variável escoamento superficial. Pode-se dizer que a relação dos eventos de chuva com as perdas de solo, podem ser avaliados considerando a duração (intensidade) destes eventos, e não somente o volume de precipitação, pois volumes iguais de precipitações em diferentes tempos de ocorrência, provocam processos erosivos diferenciados ao longo da encosta. Nas Figuras (4.35a e 4.35b), são apresentados as correlações entre as precipitações, escoamentos e perdas de solo na parcela sob cultivo rotacionado.

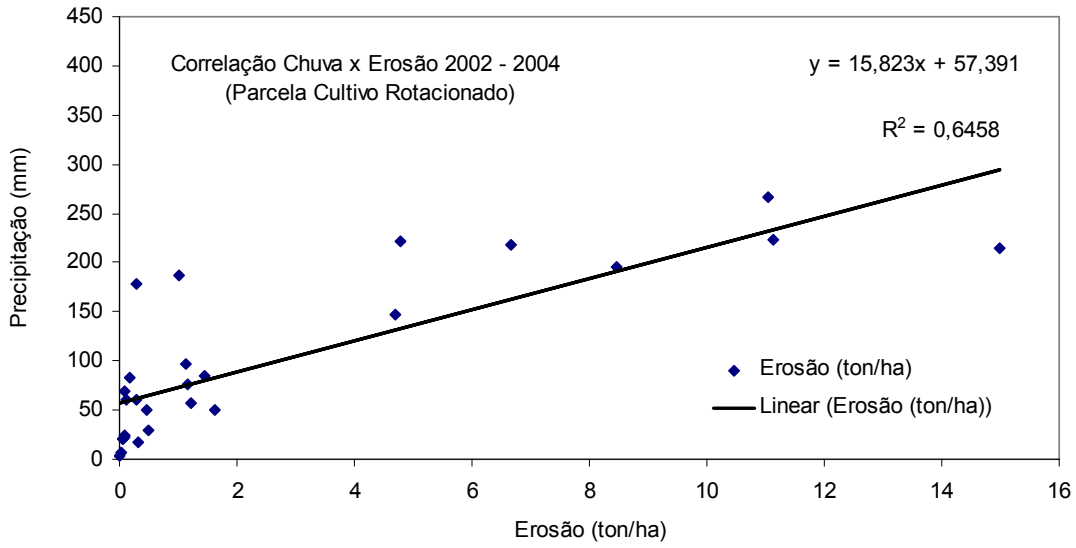


Figura 4.35a. Correlações chuva x erosão no período de 2002 a 2004 para parcela sob cultivo rotacionado.

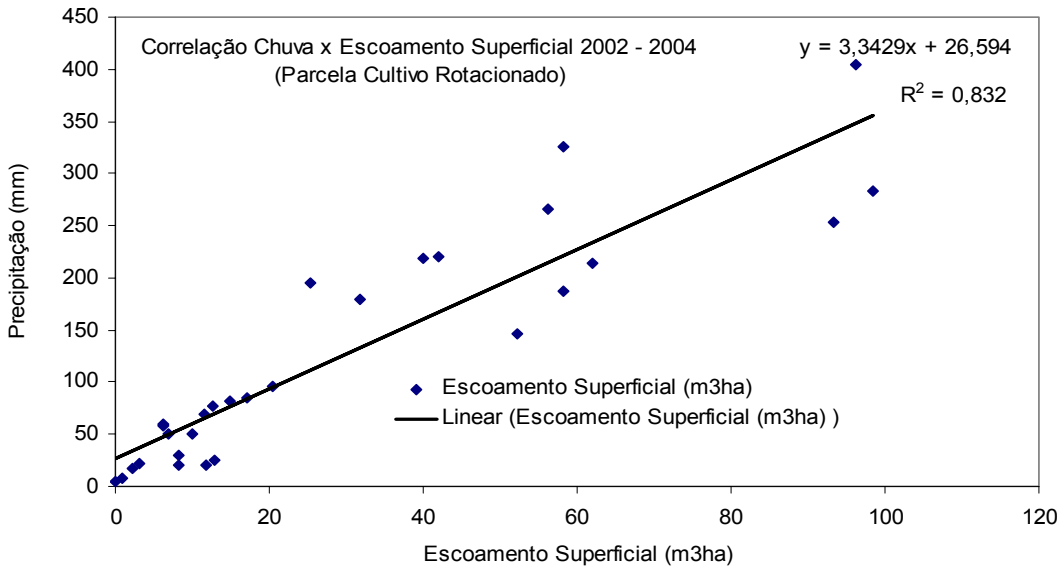


Figura 4.35b. Correlações chuva x escoamento superficial no período de 2002 a 2004 para parcela sob cultivo rotacionado.

Nessa parcela, também foi constatada uma boa correlação entre a precipitações e os escoamentos superficiais registrados nas parcelas (R^2 = 0,83). A relação da precipitação com as perdas de solo, foi superior as observações na parcela sob cultivo de banana, porém, ainda muita baixa (R^2 = 0,64). Nas Figuras (4.36a e 4.36b), são apresentadas as correlações entre as precipitações, escoamentos e perdas de solo na parcela em pousio florestal recente (2 anos).

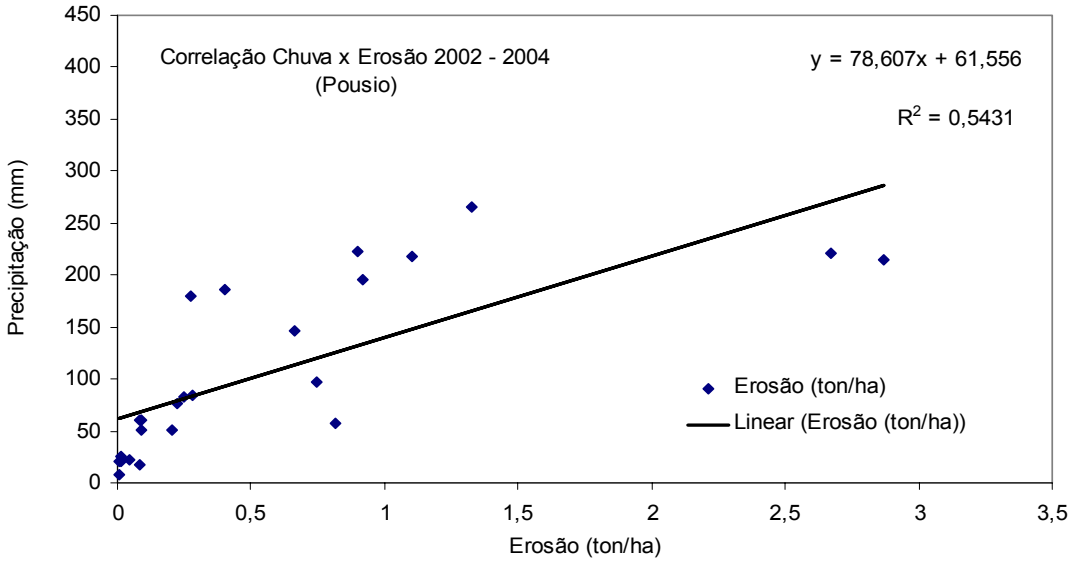


Figura 4.36a. Correlações chuva x erosão no período de 2002 a 2004 para parcela sob pousio florestal recente.

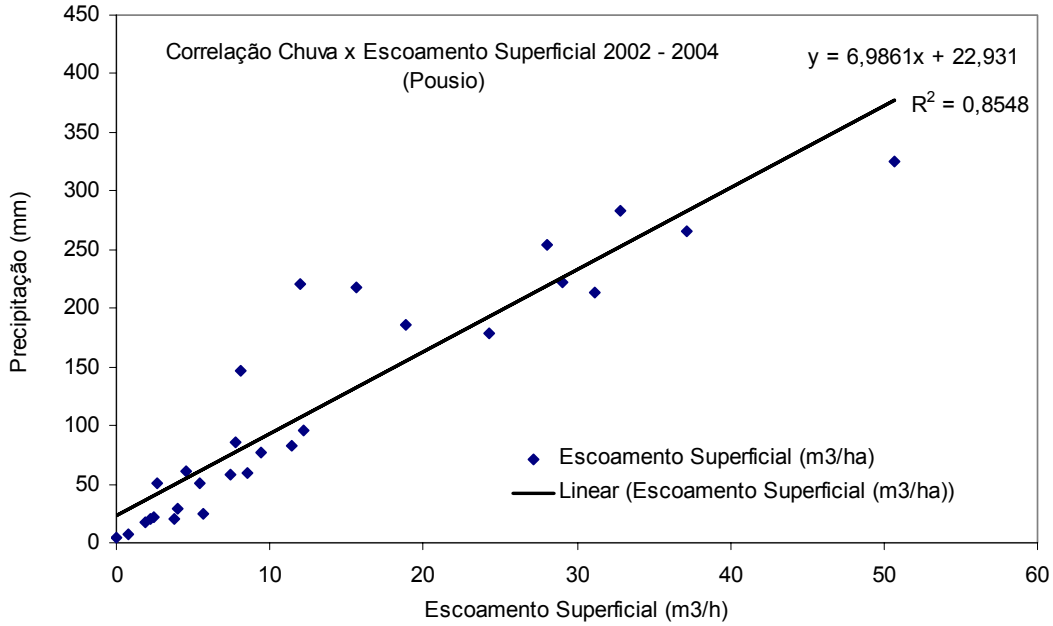


Figura 4.36b. Correlações chuva x escoamento superficial de 2002 a 2004 para parcela sob pousio recente.

A parcela em pousio recente foi a que apresentou a melhor correlação entre a precipitações e os escoamentos superficiais registrados nas três parcelas (R^2 = 0,85). Entretanto, a relação da precipitação com as perdas de solo, foi inferior as observações das demais parcelas (R^2 = 0,54).

O escoamento superficial manteve uma relação direta com as taxas de sedimentos, enquanto que o comportamento das precipitações em relação às perdas de solo, apresentaram correlações pouco consistentes. Uma investigação mais elaborada como precisão dos eventos pluviométricos, respostas instantâneas do estado de umidade do solo, registro dos estágios de crescimento e desenvolvimento vegetativo, detalhamentos de manejos, etc, são alguns parâmetros que podem qualificar as relações entre processos hidrológicos e erosivos.

Eltz *et al*., (2001), considera que chuvas com a mesma erosividade podem provocar perdas de solo diferentes, dependendo da umidade antecedente à chuva e da variação da intensidade durante a chuva pela ocorrência de picos de alta intensidade. Neste caso pode-se esperar que as chuvas naturais com pico de máxima intensidade no final das chuvas produzam maior perda de

solo e água do que chuvas com picos de maior intensidade no início ou no meio da chuva.

Entretanto, observações feitas por Bender (1985), concluíram que quanto menor o grau de saturação do solo maior é a erosão quando submetido às chuvas. Nestes casos a erosão é muito intensa nos instantes iniciais sofrendo uma redução gradativa ao longo do tempo, sendo este comportamento compatível com o que se observa em solos colapsíveis: quanto maior a sucção inicial maior o colapso quando do umedecimento. Portanto, é de se esperar que o horizonte sub-superficial onde o solo é colapsível, sofra maior erosão que aquele sobrejacente.

Estes resultados foram bem coerentes às observações averiguadas em campo na área experimental em Bom Jardim e em laboratório da UFRJ, por meio do ensaio de Inderbitizen em escala reduzida.

4.6. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Os dados gerados em campo foram computados na Equação de Perda de Solo Revisada (RUSLE) pelo aplicativo SOILOSS^R 5.1 (Soil Conservation Service, Austrália, 1993), utilizando-se o fator LS proposto por Nearing (1997). O fator CP para cobertura vegetal e manejo, foram computados de acordo com valores tabelados determinados por Bertoni & Lombardi Neto (1993). O Quadro (4.6) abaixo apresenta um resumo dos parâmetros processados pelo SOILOSS^R.

Quadro 4.6. Dados da RUSLE aplicados em diferentes ciclos de cultivos na área de estudo.

	Inhame	**Milho**	**Banana**	**Pousio**	**Solo nú**
K	8160	8160	8160	8160	8160
R	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
LS	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
P	0,4	0,4	0,2	0,2	1
C	0,1	0,08	0,12	0,04	1
A (Ton/ha)	**99,2**	**79,4**	**29,8**	**19,8**	**2480,6**

Dados obtidos através do programa SOILOSS^R (Austrália,1993).
A = t/ha/ano; R = MJ.mm/ha.h; K = t.h/MJ.mm; L = m; S = %; C = (adimensionais); P = (adimensionais).

Martins Filho (2005), (comunicação pessoal), consideram que a utilização do modelo Equação Universal de Perda de Solo (USLE) para encostas com declividades maiores do que 30%, pode ser imprecisa, considerando que o modelo foi concebido em condições de topografia com declividades em torno de 9,0%. Os autores consideram o modelo “irreal”. Lombardi Neto (2004), (comunicação pessoal), sugere que no caso de Bom Jardim, como a intenção seria uma comparação entre os valores medidos e os estimados, não vêem preocupação em aplicar o modelo, principalmente se tratando como efeito de calibração numérica. Todavia, podem ocorrer problemas, principalmente no fator LS e C.

Foram estabelecidas correlações entre as perdas de solo monitoradas nas parcelas no campo e comparadas com a simulação numérica pelo modelo RUSLE (Quadro 4.7), onde foram verificadas diferenças significativas entre as médias avaliadas por meio do teste F.

Quadro 4.7. Valores das perdas de solo medidas nas parcelas e simuladas pela RUSLE.

						RUSLE	**Parcela**
Cultivos	R	K	C	P	LS	ton/ha	ton/ha
Vagem	830,1	0,02	0,5	0,08	15,2	**10,09**	**3,33**
Feijão	7410,0	0,02	0,5	0,04	15,2	**45,05**	**19,95**
Milho	8160,0	0,02	0,4	0,08	15,2	**79,38**	**32**
Inhame	8160,0	0,02	0,1	0,4	15,2	**99,23**	**34,53**
Banana - 2002	8160,0	0,01	0,12	0,2	15,2	**29,77**	**10,96**
Banana - 2003	8160,0	0,01	0,11	0,2	15,2	**27,29**	**10,13**
Rotacionado - 2 anos	8160,0	0,02	0,4	0,08	15,2	**79,38**	**32,4**
Rotacionado - 3 anos	8160,0	0,02	0,4	0,1	15,2	**99,23**	**38,05**
Pousio - 1ano	8160,0	0,02	0,2	0,04	15,2	**19,85**	**8,73**
Pousio - 2 anos	8160,0	0,02	0,15	0,04	15,2	**14,88**	**6,45**

Apesar disso, observou-se na Figura (4.37) uma correlação bem definida (R^2 = 0,98) entre os valores medidos nas parcelas e simulados pelo modelo RUSLE. Estes resultados indicam que o ajuste nas diferenças encontradas entre o monitoramento e a simulação dos processos erosivos, devem ser procedidas com um período de tempo maior do que o pesquisado, ou com uma base de dados pluviográficos, de série histórica com mais de 20 anos.

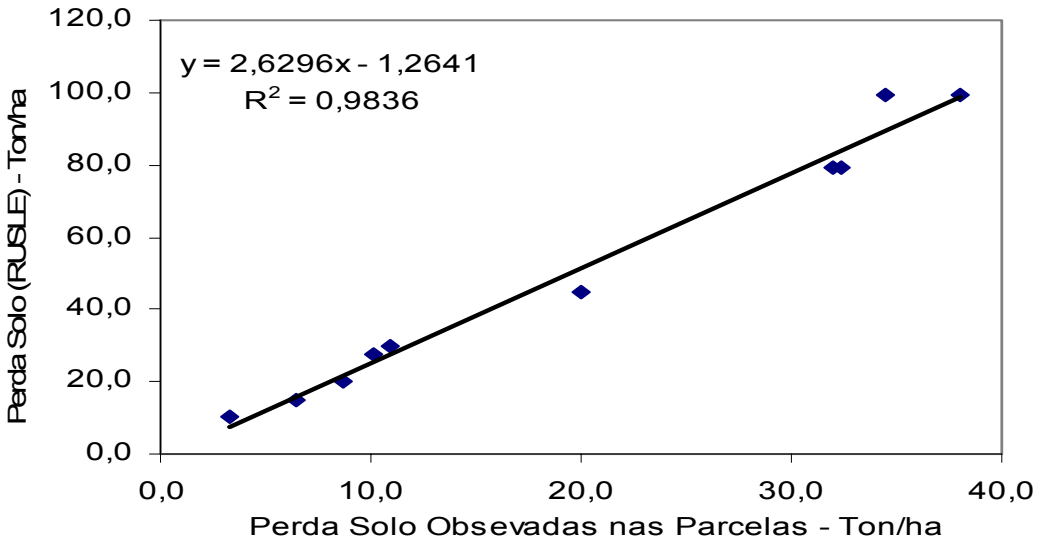


Figura 4.37 Correlação entre as perdas de solo perdidas nas parcelas e nas simulações pelo modelo RUSLE em Ton/ha/ano.

Liu *et alii*. (2001), analisaram diferentes declividades (20, 40 e 60%) em região montanhosa na China, onde foram construídas parcelas de perdas de solo com dimensões entre 10 e 40 m de comprimento, em condições de chuva natural, comparando os dados registrados em campo com os dados estimados pelo modelo empírico da USLE Revisada (RUSLE) no comprimento padrão de 22 m. Os autores observaram uma relação direta entre o coeficiente de comprimento de rampa e o grau de declividade. Concluíram que o coeficiente de comprimento de rampa no modelo empírico, crescem conforme se elevam as declividades, porém, esse limite de desnível atinge as situações de até 20% de declividade. A partir daí, em declividades de 40 a 60% ocorre a estabilização dos coeficientes. Na prática, os autores concluem que para a utilização deste modelo, em declividades superiores a 40%, extrapolar dados de uma região para outra, sem que hajam parcelas experimentais para calibrar os modelos, podem ser pouco representativos.

Na análise das perdas de solo por meio do modelo com bases físicas, utilizou-se a versão WEPP *Hillslope/Watershed model Windows Interface*, desenvolvido na Universidade de Purdue (USDA - ARS, NSERL, 2002), onde foram estabelecidas simulações de perda de solo e escoamento superficial, durante eventos isolados de precipitação. Os dados meterorológicos (temperaturas, máximas e mínimas, radiação, velocidade do vento, umidade relativa e evapotranspiração) inseridos no banco de dados CLIGEN, foram obtidos da estação meteorológica do INMET localizado em Nova Fribrugo (± 30 km da área de estudo). Os dados de erodibilidade interravinar (K_i), foram obtidos de estudos realizados por Lima & Andrade (2001). Estes parâmetros são detalhados no ANEXO I. O Quadro (4.8) abaixo apresenta os dados providos 40 eventos pluviométricos nas parcelas sob cultivo rotacionado de inhame obtidos em campo, bem como a simulação numérica desenvolvida pelo modelo WEPP:

Quadro 4.8. Valores de perda de solo e escoamento superficial, medidos em campo e simulados pelo WEPP.

2004	**Parcela - Inhame**				**WEPP**	
			Runoff	*Perda Solo*	*Runoff*	*Perda Solo*
	mm		m^3/ha	ton/ha	mm	ton/ha
1-jan	**20**	**2h 20'**	2,3885	0,0666	9,08	0,076
2-jan	**3,50**	**2h**	0,3294	0,0024	0	0,000
3-jan	**5**	**1.5h**	0,4493	0,0087	0	0,000
4-jan	**4**	**24h**	0,3087	0,0009	0	0,000
9-jan	**42,5**	**23h**	8,2650	0,0918	25,72	0,570
10-jan	**43**	**90'**	6,6750	0,6675	33,1	1,017
11-jan	**10**	**40'**	1,4898	0,0430	2,84	0,001
12-jan	**22,5**	**90'**	30,9648	0,1688	13,03	0,166
14-jan	**62,5**	**2h30'**	37,5968	1,3613	47,31	1,703
15-jan	**9**	**1h10'**	1,5789	0,0117	0	0,000
22-jan	**13,5**	**5h**	1,4457	0,0132	2,84	0,000
6-fev	**51,5**	**2h15'**	7,6198	0,3340	37,25	1,122
8-fev	**6,5**	**30'**	0,5582	0,1370	0	0,000
11-fev	**25**	**45'**	4,1117	0,5271	16,09	0,303
13-fev	**27,5**	**2h20'**	6,7259	0,3843	15,19	0,230
15-fev	**27**	**5h50'**	3,8819	0,0144	14,16	0,210
20-fev	**9,5**	**1h20'**	1,0637	0,3465	0	0,000
24-fev	**26**	**3h**	5,0853	0,3923	12,97	0,129
25-fev	**42**	**6h**	20,1858	0,2951	26,33	0,621
1-mar	**15**	**2h50'**	4,9503	0,5177	4,59	0,001
2-mar	**17,5**	**1h**	30,9854	0,6219	7,83	0,009
3-mar	**19**	**2h50'**	31,0682	0,3828	6,83	0,002
5-mar	**25,5**	**20'**	14,6530	0,1687	19,99	0,980
11-mar	**8**	**3h30'**	1,0228	0,0567	0	0,000
15-mar	**40**	**13h**	30,4618	0,3443	3,53	0,016
16-mar	**2,5**	**20'**	0,0750	0,0045	0	0,000
18-mar	**46**	**30'**	43,0132	1,1243	38,27	1,736
20-mar	**18,5**	**1h30'**	3,9852	0,9644	7,5	0,005
29-mar	**17,5**	**45'**	4,2623	0,3851	8,86	0,058
5-abr	**41**	**24h**	1,0228	0,1276	25,45	0,678
6-abr	**12,5**	**1h 10´**	2,3885	0,1147	3,18	0,001
10-abr	**17,5**	**60´**	29,9899	0,1145	7,83	0,009
12-abr	**40,5**	**30´**	7,8143	0,1773	32,81	1,425
24-abr	**17,5**	**35´**	2,6445	0,1314	10,1	0,185
25-abr	**30**	**30´**	11,0301	0,1888	22,41	0,853
27-abr	**11**	**3h 35´**	1,2302	0,0724	1,75	0,000
20-jun	**13,5**	**17h 5´**	11,5003	0,0557	3,02	0,001
21-jun	**6,5**	**23´**	0,5803	0,1844	0	0,000
10-jul	**13**	**2h**	1,8539	0,0188	2,89	0,001
19-jul	**15**	**30´**	1,7609	0,0966	7,7	0,095
20-jul	**15**	**2h 35´**	1,8073	0,0095	4,7	0,001

A correlação dos dados obtidos em campo com auxílio das parcelas experimentais sob diferentes formas de coberturas vegetais, com os dados gerados pela simulação numérica pelo modelo WEPP, é apresentada pela Figura (4.38):

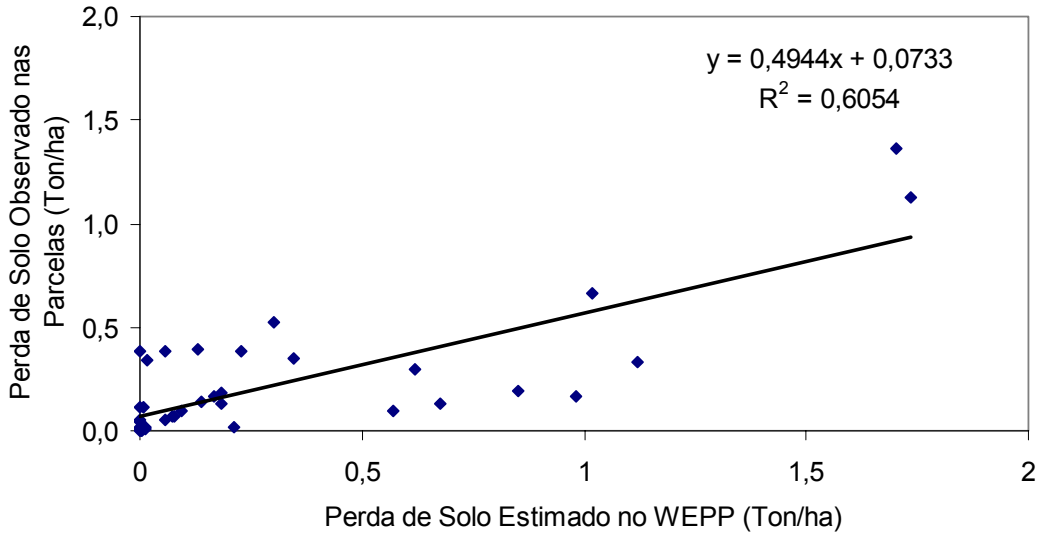


Figura 4.38. Valores de perdas de solo obtidas em campo e simuladas pelo WEPP, decorrentes de eventos isolados de precipitação.

Os resultados obtidos indicam uma correlação R^2 = 0,60, o que foi considerado aceitável, devido ao fato da comparação entre as médias do monitoramento e da simulação, não terem sido significativas pelo uso do teste F. Pudasaini *et al.* (2004), em suas pesquisas na Austrália obteve uma correlação com R^2 = 0,72. Estudos realizados por Machado *et al.* (2003), na Universidade Federal de Viçosa, indicaram uma correlação com R^2 = 0,90, entre os valores gerados em parcelas com 20 m de comprimento e simulações do WEPP. Apesar disso, em parcelas com 40 m de comprimento, esta correlação foi pouco significativa, com erro de mais de 400% entre os dados gerados em campo e dados simulados numericamente. Vale ressaltar que estes estudos foram realizados na condição de declividade da vertente ≤ 10%, o que é bem inferior às condições da área de estudo.

Uma comparação entre os modelos avaliados RUSLE e WEPP, comparados aos dados observados em campo, na parcela ausente de cobertura vegetal, são apresentados no Quadro (4.9) abaixo:

Quadro 4.9. Valores de perda de solo em parcela sem cobertura vegetal, observados em campo e simulados pelo WEPP e RUSLE.

2003			WEPP Solo Nú		Parcela		RUSLE
data	mm	tempo	mm	kg/m^2	mm	kg/m^2	kg/m^2
ABR	85	2h	75.6	0.96	67.08	0.44	7.8
MAI	51	1h	41.6	0.49	39.3	0.45	3.6
JUN	4	6h	0	0	0.00	0.00	0.06
JUL	21	24h	10.7	0.08	8.2	0.04	0.9

Dentre as simulações efetuadas, pode-se constatar que os resultados foram mais adequados ao modelo empírico RUSLE, do que o modelo com bases físicas WEPP. Apesar disso, toda análise numérica do WEPP foi conduzida somente com os dados de intensidade de chuva obtidos no período de 2004. A análise efetuada no modelo RUSLE foi conduzida no período de 2002 a 2004. No ANEXO II são apresentados as simulações obtidas pelo uso do modelo USLE, correlacionado com os dados do Projeto Desusmo (1997).

Finalmente, deve-se considerar que a estrutura da equação universal de perda de solo e suas revisões, não foi concebida para uma análise individual dos eventos pluviométricos (Renard *et al*., 1991).

4.7. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SEDIMENTOS

As análises químicas dos sedimentos acumulados nos coletores de cada parcela multiplicada pelo total de sedimentos carreados pela erosão, revelaram quantidades significativas de nutrientes sendo transportadas para as partes mais baixas do terreno (Figura 4.40), indicando que, além dos prejuízos causados pela erosão ao potencial de produção do solo, ocorre também uma contaminação dos recursos hídricos com excesso de nutrientes e resíduos de agrotóxicos. Verificou-se uma grande quantidade de nutrientes exportada por erosão na parcela sob cultivo rotacionado, principalmente K e P, oriundos de adubações a base de NPK, realizadas sem análise de solo, interpretação e recomendação adequada.

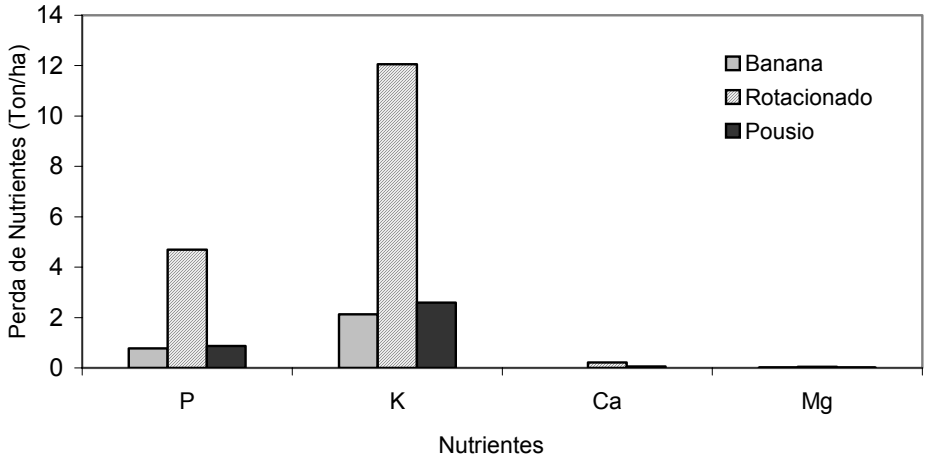


Figura 4.40. Quantidades dos elementos químicos expressa em toneladas por hectare presentes nos sedimentos acumulados nos coletores das parcelas no ano de 2002.

Com relação aos resultados obtidos nas análises de carbono orgânico, foram registradas maiores perdas de carbono na parcela sob pousio (Figura 4.41). O grande número de espécies pioneiras e de crescimento rápido, presentes nesta gleba, intensificam a deposição de serapilheira, e devido a decomposição, o carbono fixado via fotossíntese é disponibilizado, o que explica as maiores concentrações deste elemento observadas em relação aos demais tratamentos.

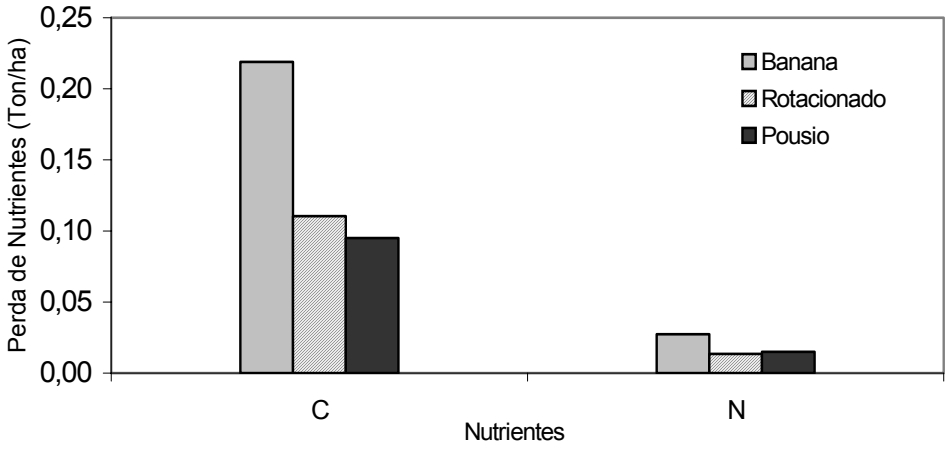


Figura 4.41. Perda de Carbono e Nitrogênio por hectare presentes nos sedimentos acumulados nos coletores das parcelas no ano de 2002.

No Quadro (4.10), são apresentados a relação dos nutrientes que compõem as formulações NPK, perdidos pela ação das enxurradas, analisadas no período do ano de 2002.

Quadro 4.10. Valores dos nutrientes contidos na massa de solo erodido na encosta sob diferentes coberturas vegetais em ton/ha/ano em 2002.

	Cultivo rotacionado	Cultivo da banana	Área em pousio
N	0,015	0,025	0,015
P_2O_5	4,5	0,8	1
K_2O	12	2	3

O custo do fertilizante (adubo mineral) com a formulação NPK, com as concentrações de 4:14:8 (formulação básica encontrada no comércio de Bom Jardim) é de aproximadamente R$ 40,00 para cada 100 Kg de adubo. O custo por Kg de nutriente desta formulação NPK é de R$ 0,4 para nitrogênio (N), 0,4 para fósforo (P_2O_5) e R$ 0,4 para potássio (K_2O). Este valor é multiplicado pelas frações de nutrientes erodidos nas parcelas sob diferentes coberturas vegetais. O cálculo foi de R$ 6.606,00 por hectare de cultivo rotacionado por ano, R$ 1.130,00 por hectare de cultivo de banana por ano e R$ 1.606,00 na parcela em pousio. O valor na parcela em pousio apresentou-se elevado devido aos resíduos das adubações aplicadas aos cultivos na parcela anteriomente ao abandono para o pousio florestal.

4.8. ENSAIOS COMPLEMENTARES

O ensaio do papel filtro teve como finalidade determinar a curva umidade pela sucção em amostras indeformadas retiradas das parcelas em campo, sob diferentes coberturas vegetais. Em laboratório, estas amostras foram colocadas em contato com os discos de papel filtro Whatman N^{o} 42, e levadas em local de ambiente controlado de temperatura e umidade. A cada duas semanas, ocorreu a substituição dos discos de papel filtro, seguidos das pesagens, conforme descrição já discutido no Capítulo II.

Pode-se observar que houve uma aproximação dos valores encontrados no ensaio do papel filtro em relação ao ensaio da câmara de Richards, obtidos preliminarmente. Os resultados dos ensaios com o método do papel filtro são apresentados nas Figuras (4.42 a 4.44), a seguir:

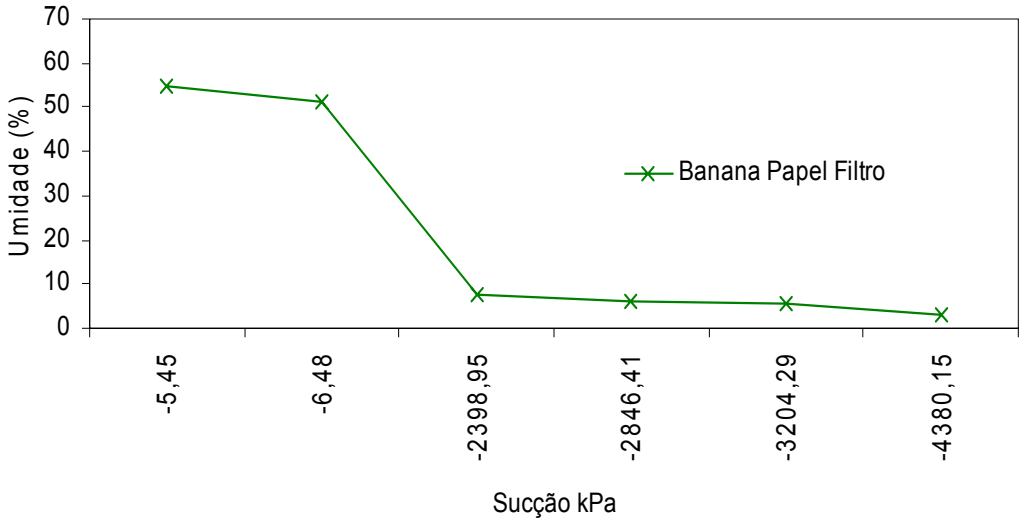


Figura 4.42. Curva característica sucção x umidade para o solo da parcela sob cultivo de banana, obtido pelo método do papel filtro – Bom Jardim, RJ.

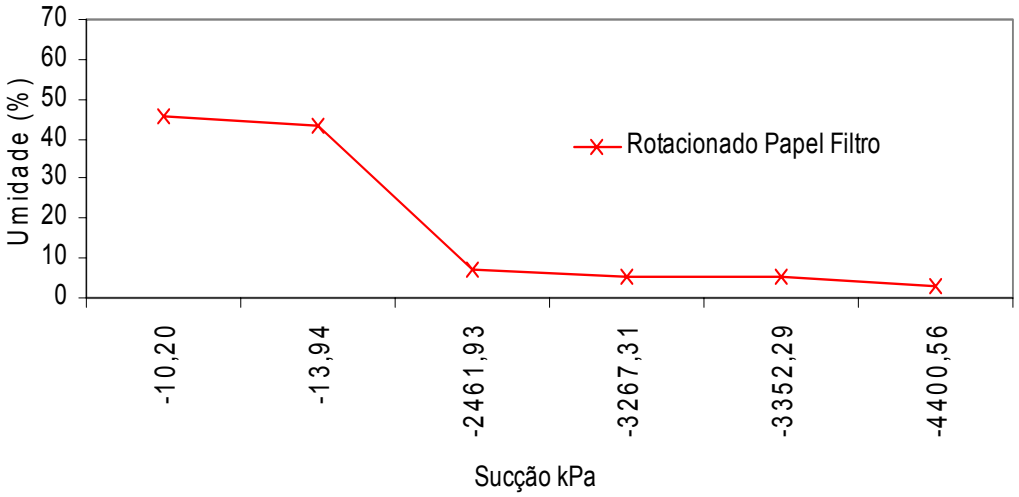


Figura 4.43. Curva característica sucção x umidade para o solo da parcela sob cultivo rotacionado, obtido pelo método do papel filtro – Bom Jardim, RJ.

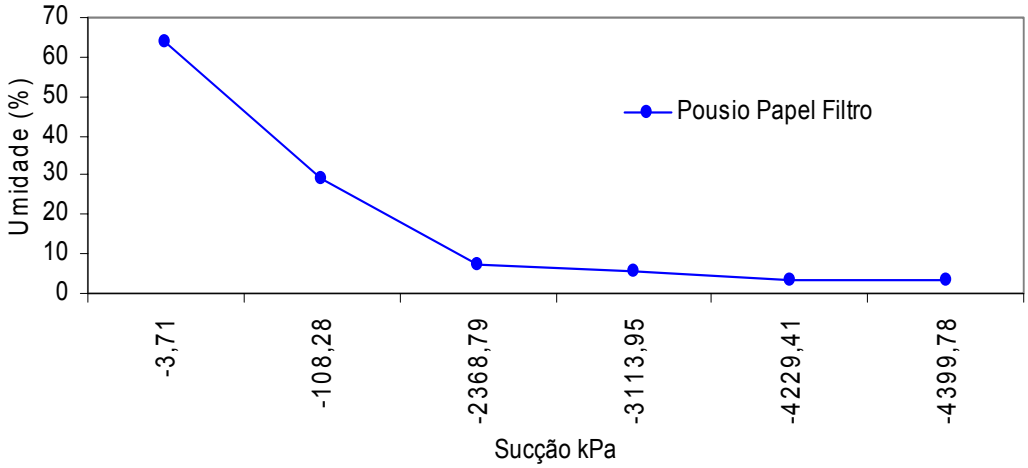


Figura 4.44. Curva característica sucção x umidade para o solo da parcela sob pousio, obtido pelo método do papel filtro – Bom Jardim, RJ.

Considerando o tempo para a obtenção das sucções elevadas no ensaio do papel filtro, o custo operacional deste método pode ser uma condição relevante nas pesquisas em que se pretendem estabelecer os parâmetros sucção e umidade do solo, não só pelo aspecto estrutural do laboratório, mas também pela habilidade técnica do operador que é substancialmente pequena.

Os dados de sucção obtidos pelo método do papel filtro, foram comparados com os dados obtidos pela curva característica de retenção de umidade gerados na câmara de pressão de Richards, conforme citações de Mahler *et al*., (1997) e Marques *et al.,* (2003).

A análise estatística obteve um coeficiente de variação de 29,25 %, com desvio padrão de 6,37 na parcela sob cultivo de banana. Na parcela sob cultivo de rotacionado, o coeficiente de variação foi de 25,76, com desvio padrão de 4,69 e na parcela sob pousio florestal o coeficiente de variação foi de 19,27, com desvio padrão de 4,82. A comparação entre as médias por meio do teste Tukey com 5% de significância, indicou uma variação significativa na parcela sob cultivo de banana. Os resultados são apresentados nas Figuras (4.45 a 4.47):

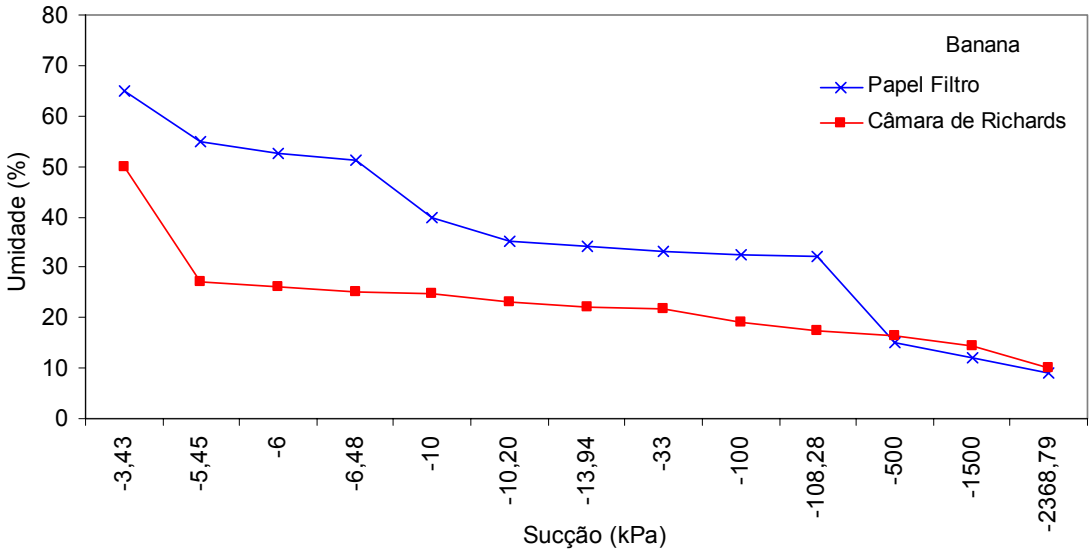


Figura 4.45. Comportamento sucção x umidade na amostra da parcela sob cultivo de banana, obtidos pelos métodos do papel filtro e da câmara de pressão de Richards.

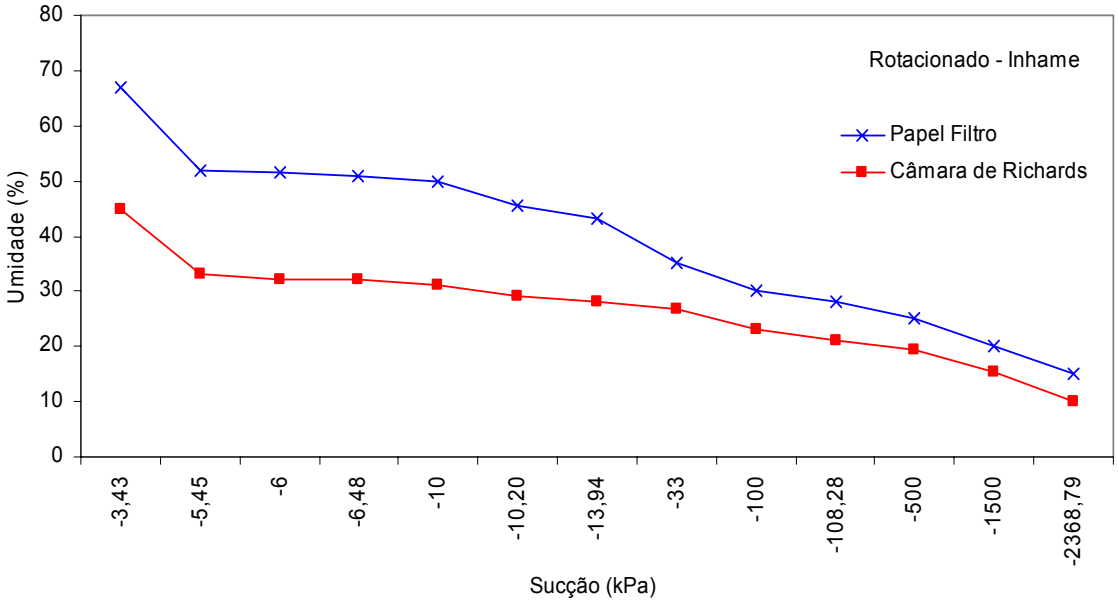


Figura 4.46. Comportamento sucção x umidade na amostra da parcela sob cultivo rotacionado - inhame, obtidos pelos métodos do papel filtro e da câmara de pressão de Richards.

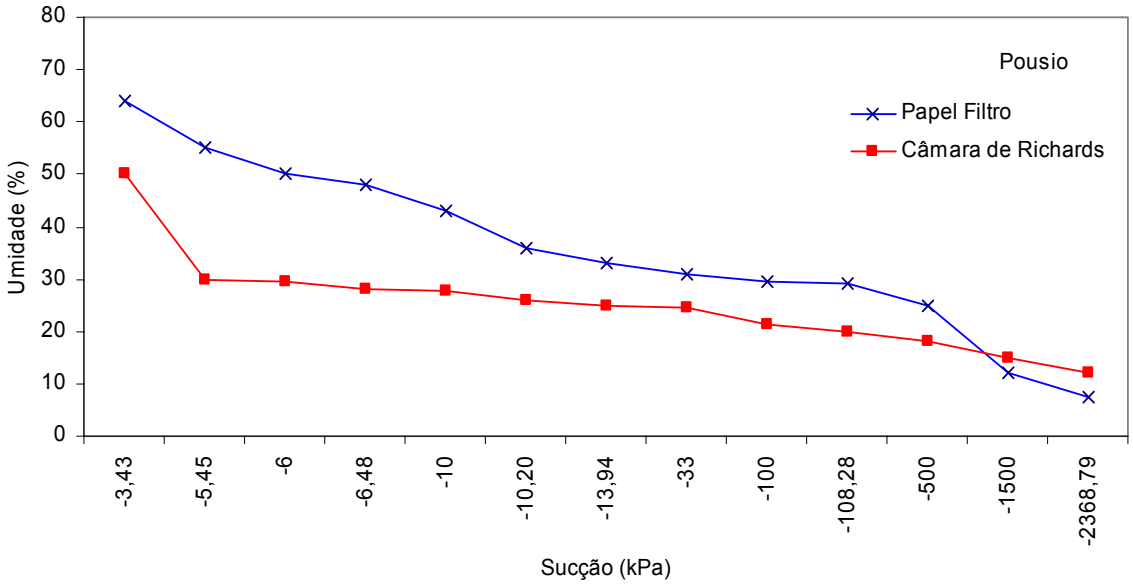


Figura 4.47. Comportamento sucção x umidade na amostra da parcela sob pousio florestal recente, obtidos pelos métodos do papel filtro e da câmara de pressão de Richards.

De forma geral, a correlação entre os métodos de obtenção da curva característica de retenção de umidade do solo, foi mais próxima nas sucções mais elevadas. Este comportamento também foi observado nos

estudos realizados por Marques *et al.,* 2003. Ensaios realizados por Mendes (2000), identificaram pouca eficiência na determinação de baixas sucções pelo método do papel filtro. Apesar da variação significativa entre as médias dos dois métodos avaliados, deve-se considerar que os ensaios procederam-se com poucas repetições para cada tratamento (três por parcela) e por um período de tempo relativamente curto (quatro meses).

Por fim, pretendeu-se determinar o fator de erodibilidade (K) do material da área de estudo, por meio do ensaio de inderbitizen, conforme citação de Rego (1978). Foram retiradas amostras indeformadas da encosta onde se localizavam as parcelas experimentais, e levadas ao laboratório de Geociências da UFRJ.

Em cada parcela experimental foram retiradas três amostras, sendo: amostra da parcela sob cultivo de Banana (15 anos), amostra da parcela em Pousio Florestal (3 anos - 2001/2004), amostra na parcela sob cultivo rotacionado e amostra da área testemunha (Mata Nativa).

A dificuldade encontrada na retirada das amostras e o deslocamento até a área de estudo, foram alguns dos fatores que limitaram a continuidade das análises da erodibilidade por esse método. Os resultados observados no ensaio da parcela sob cultivo de banana são apresentados na Figura (4.48) a seguir:

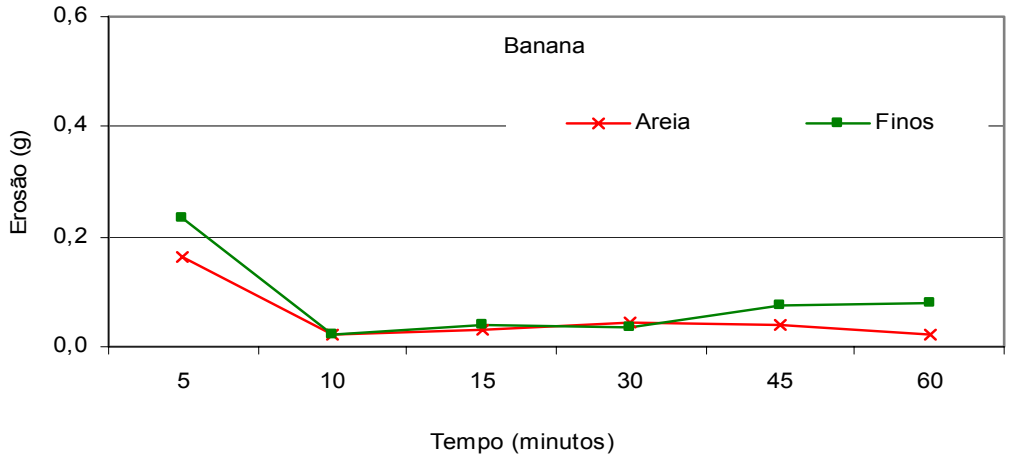


Figura 4.48. Frações granulométricas erodidas no ensaio de Inderbitizen (inclinação da rampa de 37º). Amostras sem cobertura vegetal (corpo de prova de 70 cm^2) indeformadas retiradas da parcela sob cultivo de banana.

Nessa parcela observou-se pouca vegetação na superfície (em geral musgos) porém, a prática da limpeza das folhas ao redor das touceiras de banana, forma uma serapilheira que vai sendo depositada nas primeiras camadas de solo.

As taxas de erosão encontradas na amostra da parcela sob cultivo de banana foram baixas em relação a amostra da parcela em pousio florestal. Observou-se que as maiores perdas de solo ocorreram nos intervalos de 5 e 10 minutos. Apesar das taxas de solo removidos serem menores nesta amostra, observou-se que o comportamento a erosão ao longo do tempo neste ensaio foi similar ao encontrado na amostra da parcela sob pousio.

Mesmo que o propósito nesse ensaio não fosse a investigação da influencia da cobertura vegetal no comportamento estrutural do solo, foi observado que a cobertura do solo na parcela em pousio é composta de algumas espécies rasteiras, com poucas gramíneas (local com pouca luminosidade), sendo que a maior parte da cobertura consiste na deposição de serapilheira (vegetação morta). Os resultados observados no ensaio da parcela em pousio recente, parcela sob cultivo rotacionado de oleráceas e área sob mata nativa, são apresentados nas Figuras (4.49 a 4.51), a seguir:

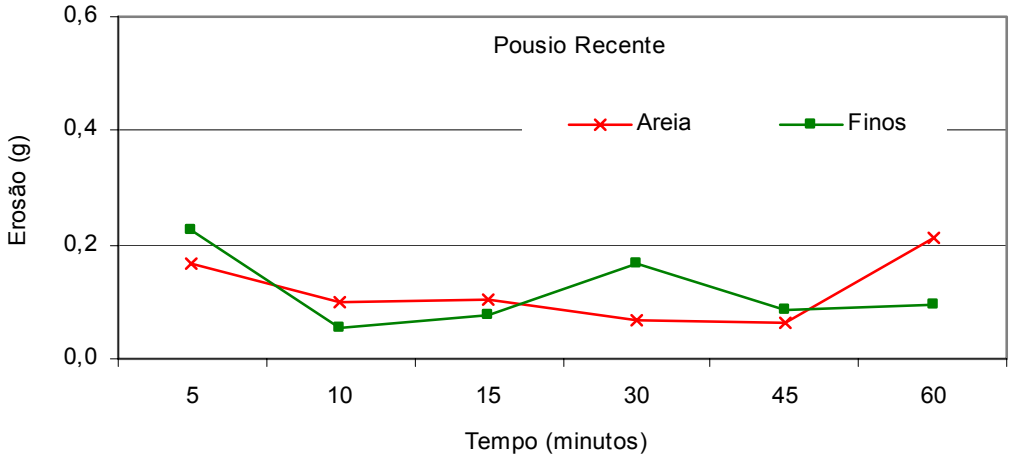


Figura 4.49. Frações granulométricas erodidas no ensaio de Inderbitizen (inclinação da rampa de 37º). Amostras sem cobertura vegetal (corpo de prova de 70 cm^2) indeformadas retiradas da parcela em pousio.

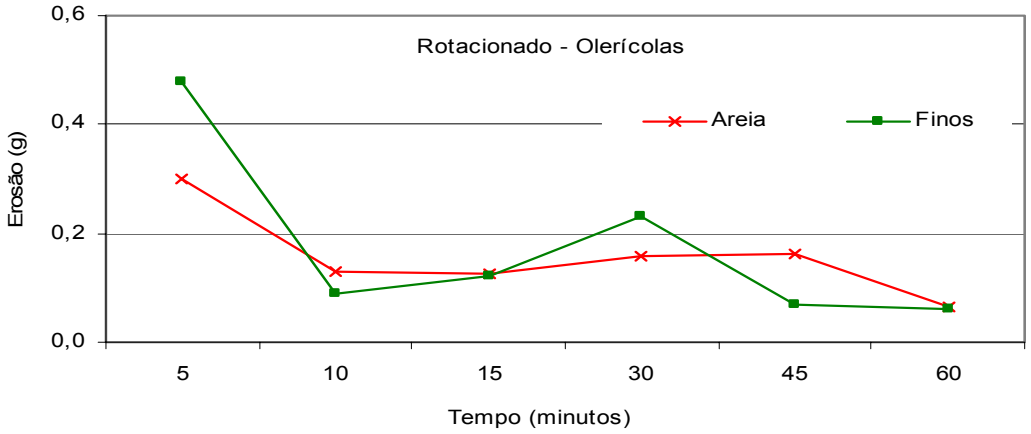


Figura 4.50. Frações granulométricas erodidas no ensaio de Inderbitizen (inclinação da rampa de 37º). Amostras sem cobertura vegetal (corpo de prova de 70 cm^2) indeformadas retiradas da parcela sob cultivo rotacionado.

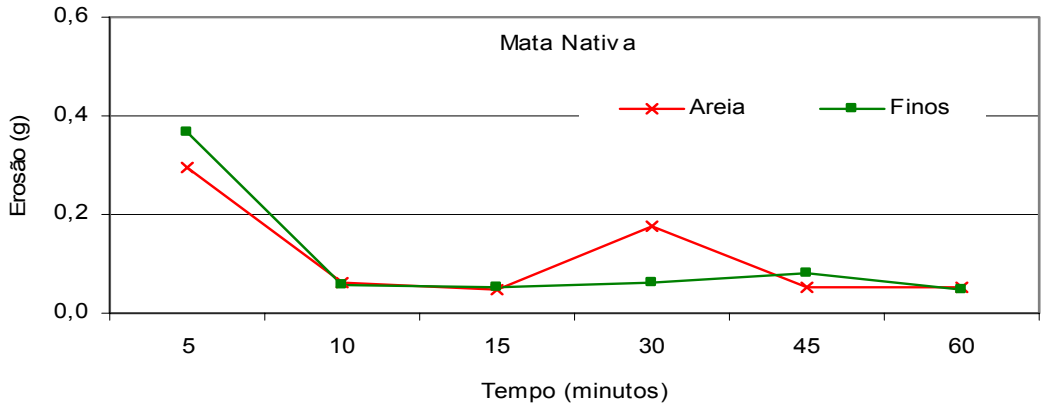


Figura 4.51. Frações granulométricas erodidas no ensaio de Inderbitizen (inclinação da rampa de 37º). Amostras sem cobertura vegetal (corpo de prova de 70 cm^2) indeformadas retiradas em área de Mata Nativa.

Durante o ensaio de erodibilidade, os resultados de perdas de solo obtidos apresentaram-se relativamente elevados, totalizando 0,079 kg/m^2, na amostra da parcela sob cultivo rotacionado, 0,061 kg/m^2, na amostra da parcela sob cultivo de banana, 0,053 kg/m^2 na amostra da parcela em pousio recente, 0,077 kg/m^2, na amostra da área sob mata nativa, em sessenta minutos de ensaio, sob vazão constante de escoamento superficial de 2,0 litros/minuto (120,0 l/h). Em comparação com a amostra da parcela sob pousio recente, as taxas de perdas de solo da área sob mata nativa foram superiores aproximadamente 25%. A análise do percentual de raízes na profundidade de 0 a 10 cm nas amostras avaliadas, indicaram valores na ordem de 0,04% na amostra sob cultivo rotacionado, 0,06% na amostra sob cultivo de banana, 0,10 % na amostra sob pousio recente e 0,09% na amostra da área sob mata nativa. Estes dados refletem o reforço mecânico que o sistema radicular dispõe nas primeiras camadas de solo ao longo da vertente avaliada.

A principal perda de solo ocorreu nos intervalos iniciais (0 a 5 minutos) e no último intervalo (30 e 45 minutos), quando 73% da amostra foi removida. Comportamento semelhante foi observado por Vilela (2003) em solos rasos da encosta Floresta da Tijuca, RJ. O mesmo autor observou também, que houve uma certa correspondência entre a presença da fração silte e a ocorrência da erosão nas amostras estudadas por ele. Este comportamento também pode ser observado nas amostras submetidas nesta pesquisa. Vilela (2003), comenta sobre presença reduzida da fração silte em seu material estudado, ocasionando baixas taxas de erosão em seus ensaios de laboratório com modelos reduzidos.

A partir das observações nas Figuras (4.48 a 4.51), pode-se constatar que nos intervalos entre 45 e 60 minutos ocorreram as maiores perdas de solo nas amostras estudadas. As observações descritas por Rego (1978) em seus estudos de erosão ao longo de um perfil de solo, sugerem a ocorrência de três estágios de erosão nas amostras investigadas, durante as duas horas de realização dos mesmos. O autor descreve que durante os primeiros 5 minutos de ensaio, ocorreu uma proporção de mais de 50% da erosão, entre 5 e 60,

uma proporção de 32% e o restante da erosão ocorrendo nos intervalos finais do ensaio.

Os resultados obtidos no ensaio de Inderbitizen, foram coerentes com pesquisas realizadas por Bastos *et al.* (2001), considerando que a análise das propriedades geomecânicas estudadas frente à erodibilidade indicam que os solos mais erodíveis são aqueles que apresentam maior redução da coesão com a saturação do solo na condição de fluxo d'água superficial.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

A avaliação da sucção do solo indicou um maior teor de umidade e menor grau de sucção na parcela sob cobertura vegetal sob cultivo rotacionado. Deve-se considerar que as espécies oleráceas cultivadas dispõem de arquitetura radicular com maior atuação nas camadas superiores do solo, fato contrário ao observado na parcela sob pousio, onde se observaram espécies arbóreas pioneiras, de crescimento rápido e com diversidade de sistemas radiculares.

As áreas que estavam com cobertura vegetal sob cultivos de oleráceas (cultivos perenes como: milho, feijão, vagem, inhame, etc) de ciclo curto (rotacionado), apresentaram valores de perdas de solo e escoamentos superficiais elevados, 30 a 40 ton/ha.ano e 250 a 300 m^3/ha.ano, o que indica a pouca proteção superficial do solo na encosta avaliada.

A análise química do material erodido apresentou valores elevados de elementos como nitrogênio, potássio, fósforo e cálcio, em razão do uso descontrolado de adubos químicos nas encostas sob cultivos.

As observações de campo sobre o comportamento da erosão superficial do solo estudado, indicaram uma correlação bem definida entre os eventos pluviométricos e as perdas de solo nas parcelas experimentais. Esse dados apresentaram-se coerentes aos resultados obtidos em escala reduzida no laboratório da UFRJ, por meio do ensaio de Inderbitizen.

O uso do equipamento inderbitizen para determinação da erodibilidade do solo, reduziu o tempo, custo de aquisição das perdas de solo, principalmente em relação à parcela sem cobertura (parcela testemunha em campo), o que especificamente neste estudo não foi possível sua montagem. Observou-se uma relação do percentual de raízes contidas nos corpos de prova, com as perdas de solo promovidas pelos escoamentos superficiais nos ensaios. As amostras obtidas na parcela sob pousio florestal, apresentaram maiores percentuais de raízes e menores taxas de perdas de solo, ao da amostra da

parcela sob cultivo de oleráceas, onde ocorreram as maiores taxas de perdas de solo.

O uso do permeâmetro de Guelph para investigação da condutividade hidráulica do solo, apesar da diferença comparadas ao permeâmetro de carga constante de laboratório ser significativas estatisticamente, foi considerando eficaz, principalmente devido a pouca perturbação do solo, facilidade de operação e aquisição dos dados de K_{SAT}.

Com relação às propriedades do solo estudado quando comparadas com a erosão superficial observou-se que:

→ maior teor de silte maior sua erodibilidade.
→ maior teor de argila dispersa menor sua erodibilidde.
→ maior índice de plasticidade menor sua erodibilidade.
→ maior índice de estabilidade de agregados menor sua erodibilidade.

O uso do modelo empírico da equação universal de perda de solo e suas revisões (RUSLE) serviram para avaliar a simulação dos processos da erosão superficial nas parcelas experimentais para as diferentes coberturas vegetais, além da condição de solo totalmente ausente de cobertura vegetal. Os valores calculados apresentaram-se superiores aos dados obtidos em campo, com diferenças significativas pelo teste Tukey à nível de 5% entre as médias avaliadas, apesar do R^2 = 0,98. O fator de declividade (S), proposto por Nearing (1997), foi o que melhor se adaptou as condições geomorfológicas da encosta.

Os parâmetros erosividade (R), proposto por Lombardi Neto (1989) e erodibilidade (K), proposto por Denardin (1990), foram os que melhor se adaptaram as condições locais da pesquisa. Estes valores foram obtidos a partir do registro dos eventos pluviométricos no período de 2000 a 2004, gerando índice de 8160 MJ.mm/ha.h, referente ao fator R, e por meio da caracterização pedológica da encosta, gerando índice de 0,02 t.h/MJ.mm, referente ao fator K. Adotou-se ainda, valores tabelados dos parâmetros

cobertura vegetal, uso e manejo do solo (CP), propostos por Bertoni e Lombardi Neto (1993).

O projeto de predição da erosão hídrica (WEPP), modelo com bases em processos físicos, foi utilizado somente para a simulação dos eventos pluviométricos isolados (caso a caso) no período de 2004, ano em que houve registro dos intervalos de precipitação. As diferenças entre os eventos registrados em campo e os eventos simulados pelo modelo numérico, foram não significativas ao nível de 5% pelo teste Tukey, e mesmo com o $R^2 = 0,60$, a correlação para este modelo foi considerada aceitável.

Foi observada uma correlação bem definida do modelo matemático WEPP às condições geomorfológicas do estado do Rio de Janeiro, quando adotados valores medidos em campo, como forma de calibração.

Considerando os princípios de conservação e qualidade do solo, os indicadores de qualidades físicas e químicas do solo do sistema agroflorestal avaliado, refletem como uma possível alternativa como modelo de produção sustentável de vegetais em áreas de encostas íngremes, justificando sua propagação em outras localidades do Estado do Rio de Janeiro.

Analisando os dados observados em campo foram feitos um diagnóstico dos processos hidro-erosivos que ocorrem no sistema de agroflorestal de pousio, porém, é importante ampliar o conjunto de equipamentos e técnicas utilizados para estes fins, pretendendo-se obter respostas detalhadas e concisas dos parâmetros investigados.

Do ponto de vista conservacionista, a área de estudo localizada em uma microbacia, conseqüentemente uma região “produtora de água” por meio de inúmeras nascentes, o sistema agroflorestal de pousio pode ser uma boa alternativa na manutenção destes recursos naturais. Os parâmetros geohidrológicos analisados, como a estabilidade dos agregados, retenção de umidade e interceptação pluvial indicaram um potencial no uso sustentável dos fragmentos de Mata Atlântica para produção de alimentos e proteção ambiental.

Do ponto de vista geotécnico, o sistema agroflorestal de pousio apresenta algumas características que promovem a estabilidade de encostas. Constatou-se que os usos e pousios das coberturas vegetais nas encostas garantiram uma proteção mecânica do solo, por meio das diferenciadas arquiteturas radiculares em cada espécie vegetal produzida, além da proteção aérea pelas “copas” na interceptação pluviométrica. Entretanto, os períodos entre usos e pousios das coberturas vegetais, podem comprometer a estabilidade das encostas, principalmente, quando ocorre o uso intenso dessas áreas, em períodos maiores do que três anos para cultivos de oleráceas. As investigações com os pluviômetros em sub-copa e a instrumentação por meio de tensiômetros, apresentaram maior incidência pluviométrica na superfície da encosta, bem como maior grau de saturação do solo no período de novembro a março.

Porém, deve-se considerar que sendo uma região de montanhas, os índices pluviométricos e as características dos solos, contribuem naturalmente para a ação desses processos erosivos. Daí a importância de estabelecer um plano de conservação dos solos nas encostas sob produção vegetal na região, ou inclusive no caso de condição de estabilidade.

5.1. SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DA PESQUISA

Intensificar o monitoramento da erosão superficial por meio de unidades e parcelas experimentais, estabelecendo correlações entre os valores medidos em campo, com valores estimados pelos modelos RUSLE e WEPP.

Considerando que na utilização do modelo WEPP não há necessidade de um parâmetro erosividade da chuva como no modelo USLE, promover a instalação de uma rede de estações meteorológicas em áreas de maior incidência de processos erosivos. A aquisição destes dados no qual devem constar registros de intensidade de precipitação pluvial, temperatura, radiação solar, direção e velocidade do vento, fundamental para simulações numéricas do modelo.

Estabelecer banco de dados de parâmetros físicos do solo mo Estado do Rio de Janeiro, como: índice de estabilidade de agregados, granulometria com uso de dispersante, curva característica de retenção de umidade e condutividade hidráulica, fatores relevantes no estudo dos processos de erosão superficial do solo.

Promover instalação de parcelas experimentais em campo ou em laboratório, inclusive com auxílio de simuladores de chuvas, para obtenção de parâmetros de erodibilidade em sulcos e entressulcos, fundamentais na certificação de simulações em processos erosivos por modelos numéricos.

Adequar o equipamento modificado de inderbitizen, para determinação da erosão superficial em escala reduzida em laboratório, para que sejam ensaiados simultaneamente múltiplos corpos de prova, na mesma condição de simulação do relevo em campo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. A., 2001. Ensaio de Permeabilidade *in Situ* em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Junho.

ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R., 1995. Relação da Erosão do solo com a Persistência da Cobertura Vegetal Morta. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19, p.127-132.

ALBERTS, E. E.; NEARING, M. A.; RISSE, L. M.; PIERSON, F. B.,; ZANG, X.G.; LAFTEN, J. M.; SIMANTON, J. R., 1995. Soil Component. IN: USDA Techinical Documentation. NSERL Report, 10, West Lafayette.

ANDRADE, A. G; COSTA, G. S.; FARIA, S. M., 2000. Deposição e Decomposição da Serapilheira em Povoamentos de *Mimosa Caesalpiniifolia*, *Acacia Mangium* e *Acacia Holosericea* com Quatro Anos de Idade em Planossolo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, V. 24, p.777-785.

ANDRADE JUNIOR, S. A., 1992. Manejo de Água em Agricultura Irrigada. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CNPAMN, Teresina, PI, Circular Técnica n^{o} 10, 13 p.

ANDRADE JUNIOR, S. A., & BASTOS, E. A., 1995. Recomendações Técnicas para o Uso de Tensiômetros de Mercúrio. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CNPAMN, Teresina, PI, documentos, 15, 126 p.

AMORIM, R.S.S; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T., 2001. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.124-130, Campina Grande, PB.

ABNT, NBR 7181 (1984). Solo - Análise Granulométrica.

ABNT, NBR 6459 (1984). Determinação do Limite de Liquidez.

ABNT, NBR 7180 (1986). Determinação do Limite de Plasticidade.

ANGULO FILHO, R., 1992. Utilização do modelo "WEPP" para simulação de erosão no Brasil – Estudo preliminar. ESALQ, p. 65-79. (Relatório Técnico, 3), Piracicaba, SP.

AVELAR, A. S., 2003. Características Hidrológico - Erosivas de Solos em Encostas Montanhosas sob Diferentes Coberturas Vegetais no Município de BANANAL (SP). X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.

BARRIOS R. A. G., 2000. Distribución Espacial del Factor LS (RUSLE) Usando Procedimientos SIG Compatibles con IDRISI Aplicación en Una Microcuenca Andina. Revista Forestal Venezolana, v. 44 (1).

BARRIOS R. A. G.; QUIÑONEZ, Y. E., 2000. Evaluación de la Erosión Utilizando el Modelo (R)USLE, con Apoyo de SIG. Aplicación en una Microcuenca de los Andes Venezolanos. Revista Forestal Venezolana, v. 44 (1), p. 57-64.

BASTOS, C. A. B.; GEHLING, W. Y. Y. & MILITISKY, J.; BICA, A. D. & DAVISON DIAS R., 1998. Resistência ao Cisalhamento de um Solo Granínitico Através de Ensaios de Cisalhamento Direto com Controle de Sucção. In; Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, XI, Brasília/DF. Anais, ABMS, vol. 1, p. 43-50.

BASTOS, C.A.B., 1999. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. PPGEC/UFRGS, Tese de doutorado, Porto Alegre/RS, 298p.

BASTOS, C. A. B.; GEHLING, W. Y. Y. & MILITISKY, J., 2001. Estudo Sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados a partir das Propriedades Geomecânicas. Teoria e Prática na Engenharia Civil, nº 2, maio, p. 9-18.

BEASLEY, D. B.; HIGGINS, L. F., 1982. ANSWERS user's manual. EPA-905/9-82 - DO1. U.S. Environmental Protection Agency.

BENDER, H. , 1985. Erosion: Un probleme de resistance au cisalhament en function du chemin des contraintes umedant infiltration. In: International Conference Geomechanis in Tropical Lateritic and Saprolitic Soil, 1, Brasília/DF. ABMS, vol. 2 p. 15 – 25.

BERNARDO, S., 1995. "Água no Solo". In: Manual de Irrigação, capítulo 1, Viçosa: UFV, Minas Gerais, Imprensa Universitária, 657 p.

BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R., 1989. Cobertura Morta e Métodos de preparo do Solo na Erosão Hídrica em solo com Crosta Superficial. Revisa Brasileira de Ciência do Solo, vol. 13, p. 373-379.

BERTOL, I.; SCHICK, J. & O. BATISTA, 2001. Razão de Perdas de Solo e Fator C para as Cultura de Soja e Trigo em Três Sistemas de Preparo em um Cambisso Húmico Alumínico. Revisa Brasileira de Ciência do Solo, vol. 25, p. 451-461.

BERTOL, I., 1994. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 18:267-271.

BERTONI, J., 1949. Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. Bragantia, 9:147-155.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F., 1993. Conservação do solo. Ícone Ed., São Paulo, 3ª ed. 355p.

BORGES, A. L.; ALVES, E. J.; SILVA, S., de O.; SOUZA, L. da S.; MATOS, A. P. de; FANCELLI, M.; OLIVEIRA, A. M. G.; CORDEIRO, Z.R.S.; COSTA, D., da C.; MEDINA, V. M.; OLIVEIRA, S. L. de; SOUZA, J. da S.; OLIVEIRA, R. P. de; CARDOSO, C. E. L.; MATSURA, F.C.A. U.; ALMEIDA, C.O. de, 1997. O Cultivo da Banana. Circular Técnica. EMBRAPA – CNPMF, Cruz das Almas, BA, 109 p.

BRADY, N. C., 1989. Natureza e Propriedades dos Solos, Tradução, Antonio B. N. Figueredo, 7ª ed., RJ, Ed. Freita Bastos, 898 p.

BRAIDA, J. A. & CASSOL, E. A., 1996. Erodibilidade em Sulcos e em Entressulcos de um Podzólico Vermelho-escuro Franco-arenoso. Campinas. Revista Brasileira de Ciência do solo, 20: 127-134.

BÜLL, L. T., 1993. Cultura do Milho: Fatores que Afetam a Produtividade. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 301 p.

CAMARGO FILHO, S. T. Recuperação de áreas degradadas no município de Paty de Alferes pela introdução de gramíneas forrageiras e leguminosas arbóreas. Seropédica: UFRRJ – Instituto de Zootecnia, 1999. Tese de Mestrado,107p.

CAMARGO FILHO, S. T., 1999. Recuperação de áreas degradadas no município de Paty de Alferes pela introdução de gramíneas forrageiras e leguminosas arbóreas. Seropédica: UFRRJ – Instituto de Zootecnia, Tese de Mestrado,107p.

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D., 2001. Os solos do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ. 1 CD-ROM. Contém texto e mapa color., escala 1:500.000. Cap.6 (Capítulo de livro).

CASSOL, E. A.; SILVA DE LIMA, V., 2003. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol.38 (1), Brasília, DF.

CASTRO, O.M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J.A.; MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R. & DECHEN, S.C.F., 1986. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 10:181-308.

CAVALCANTE DA SILVA, V., 2001. Estimativa da Erosão Atual, Erosão Potencial e do Aporte de Sedimentos na Bacia do Rio Paracatu – MG/GO/DF, Tese de Doutorado, UNB, Brasília, Distrito Federal.

CAVALIERI, A., 1997. Estudo de Degradação do Solo com o Uso do SIG-IDRISI Caderno de Informações Georreferenciadas – CIG, Seção de Fotointerpretação - Instituto Agronômico de Campinas, Vol 1(2), Nota Técnica 4, Campinas, SP.

CHAPLOT, V., LE BISSONNAIS, Y., 2000. Field Measurements of Interril Erosion under Different Slopes and Plot Sizes. Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 25, p. 145-153.

CHANDLER, R. J. & GUTIERREZ, I. C., 1986. "The Filter-Paper Method of Suction Meansurement". *Geotechnique*, vol. 36(12), pp. 265-268.

CHAVES, H. M. L., 1992. O modelo WEPP e sua aplicação no Brasil: I. Descrição do modelo. IAC, p. 41-43 (Boletim Informativo), Campinas, SP.

CHAVES, H. M. L.; NEARING, M. A., 1991. Uncertain analysis of the WEPP soil erosion model. Transitions of Americam Society of Aagriculture Engineering, v. 34, n. 6, p. 2437-2444.

CPRM, 2001. Serviço Geológico do Rio de Janeiro. Organizador: Luiz Carlos da Silva, CD Rom, Brasília, DF.

CHAVES, H. M. L., 1996. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Eds.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 731-750, Viçosa, MG.

COCHRANE, T.A.; FLANAGAN, D.C., 1999. Assessing water erosion in small watersheds using WEPP with GIS and digital elevation models. Journal of Soil and Water Conservation, v. 54, p.678-685.

COELHO NETTO, A.L., 2003. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos, ed. Bertrand, 5ª ed., Rio de Janeiro, Brasil, p. 94-148.

COELHO NETTO, A.L. & AVELAR, A.S., 1996. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia, Cap. 3, in: Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. (org.) - 1996 – "Geomorfologia. Exercícios, técnicas e aplicações", Ed. Bertrand, Rio de Janeiro, 343 p.

COGO, N.P., 1978. Uma Contribuição de Estudo das Perdas de Solo, Água e Nutrientes por Erosão em Latossolo Vermelho Natural. Sugestões Gerais, Medição dos Volumes, Amostragem e Quantificação de Solo e Água de Enxurrada (1ª aproximação). In: Encontro Nacional sobre Conservação do Solo, Passo Fundo, RS, EMBRAPA, P. 75-98.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C., SPAGNOLLO, E.; GRAPEGGIA, G., JÚNIOR, ACOSTA, J. A., 2002. Indicadores de Qualidade do Solo Visando a Avaliação de Sistemas de Manejo**.** Programa de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Solos da UFSM – RS

CORRECHEL, V., 2003. Avaliação de Índices de Erodibilidade do Solo Através da Técnica da Análise da Redistribuição do "Fallout" do ^{137}Cs. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, Piracicaba, SP, tese de Doutorado, 79p.

CRILLY, M. S., SCHREINER, H. D. & GOURLEY, C. S., 1991. "A Simple Field Suction Measurement Probe". Geotechnics in the African Environment, Proceedings of the Tenth Regional Conf. for Africa on Soil Mechanics & Foundation. Engineering., Maseru, pp. 291-298.

DANGLER, E.W.,EL-SWAIFY, S.A., AHUJA, L.R. & BARNETT, A.P., 1976. Erodibility of selected Hawaii Soils by Rainfall Simulation. Washington, USDA-ARS, 113 p.

DANTAS, M. E. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos; [Niterói]: DRM-RJ, 2001. 1 CD-ROM.

DENARDIN, J.E., 1990. Erodibilidade do Solo Estimada por Meio de Parâmetros Físicos e Químicos. Piracicaba. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

De-POLLI, H., 1998. Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 179 p.

De-POLLI, H. & GUERRA, J.G.M., 1999. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. SANTOS, G.A. & CAMARGO, FAO (Editores). Porto Alegre: Gênesis , P. 389-412.

De ROO, A. P. J.; WESSELING, C. G.; CREMERS, N. H. D. T.; VERZANDVOORT, M. A.; RITSIMA, C. J.; OOSTENDEE, K., 1996. LISEM – a physically based model to simulate runoff and soil erosion in catchments: model structure. In: Slaymaker, O. (Ed.). Geomorphic Hazards. John Wiley & Sons, p.139-151.

DESUSMO, 1997. Development of sustainable farming systems on mountainous low fertility grazing land in South America. Commition of the Europe communities, R&D Programme “Life sciences and technologies for developing countries”, 165 p.

DIRCEU, J. S., 1990. Análises químicas e biológicas de alimentos. Imprensa Universitária, UFV, 165p.

DISSMEYER, G.E. & FOSTER, G.R., 1981. Estimating the Cover Management Factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for Forest Conditions. Journal Soil Water Conservation, 36:235-240.

DRUMOND, M. A. Alterações Fitossociológicas e Edáficas Decorrentes de Modificações da Cobertura Vegetal na Mata Atlântica, Região do Médio Rio Doce, MG. Viçosa: UFV, 73 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 1996.

ELLIOT, W.J.; LIEBENOW, A.M.; LAFLEN, J.M.; KOHL, K.D., 1989. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments: 1987 and 1988. W. Lafayette, USDA-ARS, p.422-450.

ELTZ, F.L.F; COGO, N.P. & MIELNICZUK, J., 1977 Perdas por Erosão em Diferentes Manejos de Solo e Coberturas Vegetais em Solo Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico (São Gerônimo). I. Resultados do primeiro ano. R. Bras. Ci. Solo, 1:123-127.

ELTZ, F.L.F., MEHL, H. U., REICHERT, J.M., 2001. Perdas de Solo e Água em Entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a Quatro Padrões de Chuva. Revisa Brasileira de Ciência do Solo, vol. 25, p. 485-493.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1979. Serviço Nacional de Levantamentos e Conservação de solos. Manual de análise de solo. Rio de Janeiro.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS, 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPS, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS, 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação, 412p.

EPAGRI, 1994. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de Santa Catarina**.** Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: Projeto de Recuperação, Conservação e Manejo dos Recursos Naturais em Microbacias Hidrográficas. 2. ed. Florianópolis.

FABIAN, A., OTTONI FILHO, T. B., 1997. Determinação de curvas de infiltração usando uma Câmara de Fluxo. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas.

FÁCIO, J.A., 1991. Proposição de uma Metodologia de Estudo da Erodibilidade dos Solos do Distrito Federal. UnB, Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Brasília, DF, 336 p.

FAN, J. C. , WU, M. F., 2001. Estimation of Interrill Soil Erosion on Steep Slopes. Transactions of the ASAE, vol. 44(6): 1471–1477.

FAO, 1967. La Erosion del Suelo por el Água: Algumas Medidas para Combatirla en las Tierras de Cultivo. Roma, 207p.

FAO, 2001. Conventional Ploughing Erodes The Soil -Zero-Tillage Is An Environmentally-Friendly Alternative. International Conference on Conservation Agriculture. Madrid, October, p. 1-5.

FAPERJ, 1980. Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 506 p.

FARIA, R.T. & COSTA, A.C.S.,1987. Tensiômetro: construção, instalação e utilização. Londrina: IAPAR, p. 22. (IAPAR. Circular Técnica, 56).

FARIAS SALES, M. T. B., 1997. Caracterização dos Processos Erosivos em Áreas Florestadas e Antropizadas na Serra de Baturité. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará.

FERNANDES, N. F., COELHO NETTO, A. L. e DEUS, E. C., 1989. Monitoramento dos fluxos d'água no solo: instrumentação alternativa. Simpósio de Geografia Física e Aplicada. Nova Friburgo, Rio de Janeiro, p. 71-97.

FERNANDES, N. F., 1996. Modelagem Matemática em Geomorfologia: Potencialidades e Limitações. Sociedade e natureza. Universidades Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, p. 222-227.

FIGUEIRA, F. A. R., 2000. Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças. Universidade Federal de Viçosa, editora UFV, Viçosa, MG, p. 402.

FOSTER, G. R., McCOOL, D. K., RENARD, K. G., MOLDENHAUER, W. C., 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units. Journal of Soil and Water Conservation. Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359.

FOSTER, G. R., 1982. Modeling the erosion process. In: Haan, Johnson & Brakensiek (eds.). Hydrology modeling of small watersheds. Monograph n. (5), American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.

FOSTER, G.R.; LANE, L.J., 1987. Beyound the USLE: advancements in soil erosion prediction. In: Boersma (ed.) Future developments in soil science research, Madison, Soil Sci. Am. Soc., p.315-326.

FOURNIER, F., 1960. Climat et erosion. Press Universitaires de France, 199p.

FRANCO, A.A., CAMPELLO, E.F.C., DIAS, L.E., FARIA, S.M., 1995. Use of Nodulated and Mycorrhizal Legume Trees for Revegetation of Residues from Bauxite Mining. Resumos: International Symposium Sustentainable Agriculture for Tropics. Angra dos Reis, RJ, p. 80-81.

FRANCO, A.A., FARIA, S.M., 1997. The Contribution of N_2 – fixing Tree Legumes to Land Reclamation and Sustainability in the Tropics. Soil Biology and Biochemistry, Oxford, v. 29, n5/6, p. 897-903.

FREDLUND, D. G. & RAHARDJO, H., 1993. “Soil Mechanics for Unsaturated Soils”. New York, USA, John Wiley & Sons, Inc., 517 p.

FREITAS, M.M., 1998. Comportamento Hidrológico e Erosivo de Bacia Montanhosa sob Uso Agrícola: estação Experimental do Rio Boa Vista, Nova Friburgo - RJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Dissertação de Mestrado, 104 p.

FREITAS, M.M., VILELA, C.L., COUTINHO,, B.H., MALANGUTTI, A., COELHO NETO, A.L., 1997. Solos Agrícolas sob Pousio e Resultantes Hodro-erosivas da Regeneração Espontânea: Bacia do Rio Boa Vista, Nova Friburgo, RJ. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, Resumo, 26.

FREITAS, M.M., 2003. Funcionalidade Hidrológica dos Cultivos de Banana e Territorialidades na Paisagem do Parque Municipal de Grumari – Maciço da Pedra Branca – RJ. Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, tese de Doutorado, pg.

GEIB, H. V., 1933. A New Type of Installation for Measuring Soil and Water Losses from Control Plants. Journal American Society Agronomy. N. 25, p. 429-440.

GOULART, D. R., 1999. Diagnóstico da Suscetibilidade e Erosão dos Solos da Bacia do Rio do Bonfim – Corrêas, Petrópolis / RJ. Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, Dissertação de Mestrado, fevereiro.

GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B., (org) 1995. Processos Erosivos nas Encostas. Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro. Editora Bertrand, cap. 4, p. 149-209.

GUERRA, A.J.T., (1998). Ravinas: Processo de formação de desenvolvimento. Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, 2, 80-95.

HAAN, C. T., 1989. Parametric uncertainty in Hydrologic Modeling. Trans. Of the ASAE, St. Joseph, 32 (1), p. 137-146.

HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. 1994. Design hydrology and sedimentology for small catchments. Academic Press, 588p., San Diego, Califórnia, USA.

HUA LU; MORAN, C. J.; PROSSER, I. P.; RAUPACH, M. R.; OLLEY, J.; PETHERAM, C., 2003. Sheet and Rill Erosion and Sediment Delivery to Streams: A Basin Wide Estimation at hillslope to Medium Catchment Scale. CSIRO Land and Water, Technical Report 15/03, Canberra, Australia.

HUDSON, N.W., 1965. Raindrop Size Distribution in High Intensity Storms. Rhod. J. Agric. Res., 1:5-16.

HUDSON, N.W., 1981. Soil conservation. 2.ed. Ithaca, Cornell University Press, 1981. 324p.

HUDSON, N. W., 1993. Field Measurement of Soil Erosion and Runoff. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome, IT.

INDERBITZEN, A. L., 1961. An Erosion Test for soil. Materials Research and Standards, July vol. I nº 7, technical note.

IVANAUSKAS, N.M., RODRIGUES, R.R., NAVE, A.G., 1999. Fitossocilogia de um Trecho de Floresta Estacional Semidecidual em Itatinga São Paulo, Brasil. Scientia Forestalis, Piracicaba, nº 56, p. 83-99.

JARDIM, H. L. (in prep.). Modelagem Matemática da Erosão em Áreas Agrícolas de Relevo Acidentado (Tese de Doutorado). Dpt^{o} de Geografia, PPGG em Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro.

KLIK, A. ; KAITNA, R. ; BADRAOUI, M.; 2002. Desertification Hazard in a Mountainous Ecosystem in the High Atlas Region, Morocco. 12th ISCO Conference, Beijing, China.

KREZNOR, W.R; OLSON, K.R & JOHNSON, D.L, 1992. Field evaluation of methods to estimate soil erosion. Soil Science., 153 (1):69-81.

KUNZMANN, M; PRINZ, D.; PALMIERI, F.; COELHO, R.G.; GOUVEIA, R.F.; NUNEZ, J.E. V.; EIRA, P. A. da; LEMOS, A. L.; PAULA, J. L. de, 1997. Avaliação de perda de solo para diferentes manejos do solo no município de Paty do Alferes, RJ: um aspecto do Projeto Desusmo. In: Workshop Nacional de Agricultura Sustentável em regiões de relevo acidentado, 3. Paty do Alferes, RJ. Anais. Rio de Janeiro. EMBRAPA-CNPS, 1998. CD-Rom.

LACERDA, W. A.; MAHLER, C. F. & FERREIRA, S. R. M., 1997. “Ensaio de Campo para Determinação das Propriedades de Solo Não Saturado”. In: 3o Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Rio de Janeiro, RJ, pp. 505-536.

LAFLEN, J.M.; FOSTER, G.R. & ONSTAD, C.A., 1985. Simulation of individual storm soil loss for modeling the impact of soil erosion on crop productivity. In: EL SWAIFY, S.A.; MOLDENHAUER, W.C. & LO, A., eds. Soil erosion and conservation. Ankeny, Soil Conservation Society of America, p. 285-295.

LANE, L.J.; RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; LAFLEN, J.M., 1997. Development and application of modern Soil Erosion Prediction Technology: the USDA experience. Eurasian Soil Science. 30(5):606-615.

LAL, R., 1988. Erodibility and Erosivity. In. LAL, R (editor). Soil Erosion Research Methods. Soil p. 141-160.

LEMOS, R. C. & SANTOS, R. D. Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo. 2ª ed. Campinas: SBCS/ EMBRAPA – SNCLS, 1984.

LEVY, M.do C.T.C, 1995. Avaliação da suscetibilidade das terras de Piracicaba por comparação de cenários. Piracicaba. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LI, R.M.; SHEN, H.W & SIMONS, D.B, 1973. Mechanics of soil erosion by overland flow. In: CONGRESS OF THE INT. ASSOC. OF HYDR. RES., 15, Istambul, Resumos… v.1, p. 437-446.

LI, R.M.; PONCE, V.M & SIMONS, D.B, 1980. Modeling rill density. J. of the Irrig. and Drainage Div., ASCE, 106 (1):63-67.

LIBARDI, P.L., 1995. Dinâmica da Água no Solo. Piracicaba, Edição do Autor, 497p.

LIMA, H.C., GUEDES-BRUNI, R.R., 1997. Plantas Arbóreas da Reserva Ecológica de Macaé de Cima.In: LIMA, H.C., GUEDES-BRUNI, R.R. (Eds.). Serra de Macaé de Cima: Diversidade Florística e Conservação da Mata Atlântica. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, p.54-64.

LIMA, M. C., 1999. Contribuição ao Estudo do Processo Erosivo de Voçorocas na Área Urbana de Manaus. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, DF, 150 p.

LIMA, P.M.P., ANDRADE, H., 2001. Erodibilidade Entressulcos e Atributos de Solos com B Textural e B Latossólico do Sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25 (2), p. 463-474.

LIU, B. Y., NEARING, M. A., SHI, P. J., JIA, Z. W., 2001. Slope Length Effects on Soils Loss for Steep Slopes. Sustaining the Global Farm. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds), p. 784-788.

LO, A.; EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W., AHUJA, L.R. & SHINSHIRO, L., 1985. Effecctiveness of EI30 as na erosivity index in Hawaii, In: EL-SWAIFY (ed). Soil Erosion and Conservation, Ankeny, Soil Conservation Society American, p. 2384-392.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J., 1975. Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 12 p. (Boletim Técnico).

LOMBARDI NETO, F., 1989. Dimensionamento de Terraço. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA. Campinas, Fundação Cargill, p. 26-29.

LOMBARDI NETO, F., MOLDENHAUER, W.C., 1992. Erosividade da Chuva: Sua Distribuição e Relação com Perdas de Solo em Campinas, SP. Bragantia, Campinas, 51(2):189-196.

MACHADO, C. C.; GARCIA, A. R.; SILVA, E.; FONTES, A. M., 2003. Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relção a medições experimentais. Revista Árvore, v. 27(3), Viçosa, MG.

MACHADO, R. E., 2002. Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, Tese de Doutorado, 154 p.

MAFRA, N. M. C., 1997. Esquema Metodológico para la Planificación de Usos del Suelo en Zonas Tropicales Húmedas: Aplicación a la Región Norte del Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Tese de Doutorado da Universidade de Valência. Faculdade de Farmácia, Unidade de Edafologia. Valência, Espanha.

MAHLER, C. F. & DIAS de OLIVEIRA, L. C., 1997. "Determinação da Sucção Total in situ de Solo Poroso de São Paulo Através do Método do Papel Filtro". In: 3º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Rio de Janeiro, RJ, pp. 551-556.

MARQUES, F.E.R.; ASSIS, A. P.; SOUZA, J.A., 2003. Comparação das Curvas Características da Argila Porosa de Brasília obtidas através de duas Técnicas Diferentes. I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro Oeste, UnB, Brasília, DF, p.231-239.

MARTINS FILHO, M. V. , PEREIRA, V.P., MARQUES JÚNIOR, J. ,2001. Efeitos da Densidade do Solo na Erosão de um Latossolo Vermelho Devido ao Tráfego. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.21, n.1, p.23-31.

MARTINEZ-RAMOS, M., 1985. Claros Ciclos Vitales em Los Arboles Tropicais y Regeneratión Natural de Las Selvas Altas Perenofolias. In: GOMES-POMPA, A (Ed). Investigacioes Sobre la Regeneración de las Selvas Altas Del México, p. 191-239.

McCOOL, D.K.; FOSTER, G.R.; MUTCHLER, C.K. & MEYER, L.D, 1989. Revised slope length factor for the universal soil loss equation. Trans. of the ASAE, St. Joseph, 32(5):1571-1576.

McCOOL, D.K., L.C. BROWN, G.R. FOSTER, C.K. MUTCHLER y L.D. MEYER. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of ASAE 30(5): 1387-1396.

MELLO BAPTISTA, G. M., 1997. Diagnóstico Ambiental da Perda Laminar de Solos, do Distrito Federal, dor Meio do Geoprocessamento, Dissertação de Mestrado, UNB, Brasília, Distrito Federal.

MENDES, C. A. R. 2000. Mensuração da Água no Solo Através da Instrumentação Automatizada Instalados em mini-Lisímetros de Laboratório para Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 116p. COPPE/UFRJ, M.Sc., Programa de Engenharia Civil, Tese de Mestrado.

MILLWARD, A. A.; MERSEY, J. E., 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. Catena 38, p. 109 – 129.

MIRANDA, J. C., 1992. Interceptação das Chuvas pela Vegetação Florestal e Serrapilheira nas Encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ. Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, Dissertação de Mestrado.

MITCHELL, J. K., 1993. “Fundamentals of Soil Behavior”. 2ª ed., John Wiley & Sons, Inc., 437 p.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G., 2004. Análise da Erodibilidade de Saprolitos de Gnaisse. Revista. Brasileira Ciência do Solo, vol.28 (6).

MORGAN, R. P. C., 1986. Soil Erosion e Conservation. New York: Longman Scientific & Technical, 298 p.

MORGAN, 1994. The European soil erosion model: an update on its structure and research base. In: Rickson, R.J. (ed.) Conserving soil resourses: European perspectives. CAB, Wallingford, p.286-299.

MOTTA, N.O., 2001. Caracterização Geotécnica e dos processos Erosivos na Cidade de Campo Grande – MS., Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, DF, 577 p.

MOTTA, N.O.; PEREIRA, J.H.F.; CARVALHO, J.C., 2003. Análise dos Processos Erosivos por Erosão Superficial. *I Simpósio sobre Solos*

Tropicais e Processos Erosivos no Centro Oeste, Unb, Brasília, DF, p. 99-108.

MOTTA, N.O.; PEREIRA, J.H.F.; CARVALHO, J.C., 2003. Caracterização Geotécnica do Perfil de Solo da Cidade de Campo Grande, MS. I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro Oeste, UnB, Brasília, DF, p. 175-185.

NASCIMENTO, R. A. M., 1998. “Fundamentos da Ciência do Solo”. Apostila de Aula, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, 122p.

NEARING, M.A.; FOSTER, G.R.; LANE, L.J. & FINKNER, S.C., 1989. A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. Trans. of the ASAE, St. Joseph, 32(5):1587-1593.

NEARING, M.A., PAGE, D.I., SIMANTON, J.R. & LANE, L.J., 1989. Determining erodibility parameters from rangeland field data for a process-based erosion model. Trans. of the ASAE, St. Joseph, 32(3):919-924.

NEARING, M.A., 1997. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. Soil Science Society of America Journal, 61(3):917-919.

NETO, A. R.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G., 1999. Roteiro de Aulas Práticas de Morfologia e Física do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Depº de Solos, Seropédica, 47 p.

NETO, M. D. A., 1994. "Métodos de Medição da Água no Solo: Uma Breve Discussão". *Genomos*, vol. 2(2), pp. 51-61.

OLDEMAN, L. R.; HAKKELINK, R. T. A.; SOMBROEK, W., 1990. World map of the status of human induced soil degradation: an explanatory note. Amsterdam: International Soil Reference and Information Centre, 27 p.

OLIVEIRA, R.R.; LIMA, D.F.; DELAMÔNICA, P.; TOFFOLI, D.D. & SILVA, R. F., 1995. Roça caiçara: um sistema primitivo auto-sustentável. Ciência Hoje, 18 (104): 44-51.

PEREIRA, T.P.; CARVALHO, J.C.; LIMA, M.C., 2003. Análise do Desempenho de um Modelo Físico para o Ensaio de Inderbitizen. *I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro Oeste*, Unb, Brasília, DF, p. 109-115.

PIMENTA, M. T., 1998. Diretrizes para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG - Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, Portugal.

PIÑA-RODRIGUES, F.C.M., REIS, L.L., MARQUES, S.S., 1997. Sistema de Plantio adensado para a Vegetação de Áreas Degradadas da Mata Atlântica: Base Ecológica e Comparações de Custo Benefício com Sistema Tradicional. Revista Floresta e Ambiente, Seropédica, RJ, v.4, p. 30-41.

PINTO, C. S., 2002. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas, Oficina de Textos, 2ª ed. São Paulo, SP, 355 p.

PORTOCARRERO, H. & ANDRADE, G.A., 2002. Dinâmica da Agregação em Argissolo Amarelo sob Agricultura Perene e com Pousio em área de Floresta Atlântica, Bom Jardim, RJ. Reunião de manejo e conservação do solo e da água. Cuiabá, MT.

PUDASAINI, M.S., 2003. Erosion Modelling Under Different Land Use Management Practices. MEng (Hons) Thesis, University of Western Sydney, AU.

REGO, J.J.V., 1978. Erosão Superficial em Taludes de Corte em Solo Residual de Gnaisse. Universidade federal do Rio de Janeiro, Coordenação dos Programas de Pós – Graduação em Engenharia, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, 125 p.

REICHARDT, K., 1987. "O Solo como um Reservatório de Água". In: A Água em Sistemas Agrícolas, São Paulo, Ed. Manole, capítulo 3, pp. 27-69.

REIS, L. L., 2002. Sistema de agricultura Migratória na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro: Avaliação de Indicadores de Sustentabilidade. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Tese de Mestrado, março, 126 p.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. & McCOOL, D.K, 1991. Predicting soil erosion by water – A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington, USDA-ARS.

RESENDE, M., 1985. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. Informe Agropecuário, (11), p. 3-18.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E., & TOPP,G.C., 1983. A Reexamination of the constant-head well permeameter method for measuring saturated hydraulic condutctivity above the water table. Soil Science, 136 (4), p. 250-268.

RISSE, L.M,; NEARING, M.A.; NICKS, A.D. & LAFLEN, J.M, 1993. Error Assessment in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society American Journal, Madison, 57:825-833.

ROSS, J. L. S., 1996. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da., org. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 291-336.

SANTANA, D.P., 1999. Indicadores de qualidade de solo – físicos, químicos e biológicos, Congresso Brasileiro da Ciência do Solo, 27, Brasília, simpósios (CD-Room).

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F.G.; COELHO NETO, A. L., 2002. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto – MG, R. Esc. Minas, Ouro Preto, 55(4): 285-290.

SANTOS, I.; KRÜGER, C.M.; LEVIS, M.; GARCIA, K.S., 1999. Avaliação de Perdas de Solo por Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,

SANTOS, R.M.M., 1997. Caracterização Geotécnica e Análise do processo das erosões no Município de Goiânia. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, DF, 120 p.

SCHMIDT, J.P., 1993. “Eine Einführung in Die Hydrologischen Untersuchungen von Waldökosystemen”. Fortarchiv 64, pp. 158-163.

SCHRÖDER, A., 2000. WEPP, EUROSEM e E-2D: results of applications at the plot scale. In: Schimidt, J. Soil Erosion*:* application of physically based models. Springer, p.199-250, Berlin, Germany.

SHOCK, C. C., 1998. "Instrumentos para Determinação da Umidade do Solo". In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, Poços de Caldas, Minas Gerais, cap. 4, pp. 137-149.

SILVA, A. S., 1997. Comportamento Físico e Erosão dos Solos em uma Topossequência em Correias – Petrópolis (RJ). Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, Dissertação de Mestrado, janeiro.

SILVA, A. M., SCHULZ, H. E., 2001. Estimativa do Fator "C" da EUPS para Cobertura Morta de Resíduos Vegetais de Origem Urbana para as Condições de São Carlos (Sp, Brasil). Caracas , INCI v.26 n.12.

SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEAUX, P.; CURI, N. & LIMA, J.M. Relação entre Parâmetros de Chuva e Perdas de Solo e Determinação da Erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 21:131-137, 1997.

SOIL CONSERVATION SERVICE, 1993. SOILOSS^{R} vs. 5.1, Department of Conservation and Land Manegement, Sydney, AU.

SOS MATA ATLÂNTICA/ INPE/ ISA, 2001. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica.

SOUTO, A. R.; CRESTANA, S., 2000. Identificação das Áreas Potenciais de Produção de Sedimentos com o Modelo AGNPS e Técnicas de SIG em uma Microbacia Hidrográfica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.429-435.

SOUZA, A. P., 2003. Monitoramento da Erosão de Solos Durante Eventos Pluviométricos: Subsídio à Compreensão dos Processos Erosivos em Ambiente Agrícola Serranos. (Dissertação de Mestrado em Geografia). Depto de Geografia - PPGG, UFRJ, Rio de Janeiro, 114 p.

SOUZA, C. R.; SEIXAS, F., 2001. Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais. Scientia Forestalis, n. 60, p. 45-51.

STIELER, C., 1996. Quantificação da Erosão das Superfícies Agrícolas em Paty do Alferes, RJ. Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karslsruhe. Master Dissertation.

TUCCI, C.E.M., 1993. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade; UFRGS; Edups; ABRH, 943 p.

TURCO, R.F. & BLUME, E., 1999. Indicators of soil quality. In: Inter-relação Fertilidade, Biologia do solo e nutrição de plantas / editores: José Oswaldo Siqueira, *et al.*, Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA / DCS, 818 p.

UNITED STATE DEPARTAMENT OF AGRICULTURE, 1997. Natural Resources Conservation Service. Hydrology In: ESTADOS UNIDOS. Natural Resources Conservation Service. National engineering handbooks.

Washington: USDA. Part 630. (http://www.ftw.nrcs.usda.gov) (23 nov. 2001).

VALENTE, A. L. S.; KOPPE, J. C.; RISSO, A.; BASTOS, C. A.; STRIEDLER, A. J.; DAVISON DIAS.; R., 2001. Estimativa da suscetibilidade potencial à erosão laminar devido a fatores naturais: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Porto Alegre (RS). Teoria e Prática na Engenharia Civil, No. 2, p.85-92.

VIEIRA, S. & HOFFMANN, R., 1989. “Estatística Experimental”. Ed. Atlas, São Paulo, 178 p.

VIERA, B.C., 2001. Caracterização *in situ* da Condutividade Hidráulica dos Solos e sua Influência no Condicionamento dos Deslizamentos da Bacia do Rio Papagaio, Maciço da Tijuca (RJ). Dissertação de Mestrado, PPGG, Dpto. De Geografia, UFRJ, 130 p.

VILAR, O. M., 1989. Modelo Matemático para a Erosão dos Solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 13, pp. 381-385.

VILELA, C.L., 2003. Comportamento Erosivo de Solos Sob Regeneração em Cicatriz de Movimento de Massa. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Dissertação de Mestrado, 130 p.

VILLAGRA, M. M.; MATSUMOTO, O. M. & BACCHI, O. O. S., 1988. "Tensiometria e Variabilidade Espacial em Terra Roxa Estruturada". Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 12, pp. 205-210.

WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O., 1988. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. Revista Brasileira Ciência do Solo, 12:197-203.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1958. Rainfall Energy and its Relationship to Soil Loss. Trans. Am. Geophys Union, 39:285-91.

WISCHMEIER, W.H., 1959. A Rainfall Index for a Universal Soil Loss Equation. Proceedings of Soil Science Society of America, 23:246-249.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1965. Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. Washington, Agricultural Research Service, 47p. (Agriculture Handbook, 282).

WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V., 1969. Relation of soil properties to its erodibility. Proceedings of Soil Science Society of America, 33:131-137.

WISCHMEIER, W.H., 1975. Estimating the Soil Loss Equations Cover and Management Factor for Undisturbed Areas. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. Washington, USDA-Agricultural Research, p.118-124. (ARS-S-40).

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. Washington, USDA, 58p. (Agricultural Handbook, 537).

WU, CHIA-CHUN, BIH WANG, A., 2001. Effect of Slope Steepness on Soil Loss for Steep Slopes. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, p. 20-23.

YODER, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature of erosion losses. Proceedings of Soil Science Society of America, 28:337-351.

ANEXOS

ANEXO I - *Softwares* utilizados nas simulações numéricas

O software WEPP consiste em um modelo de predição de erosão escrito na linguagem de programação de FORTRAN, um programa de gerador de clima (CLIGEN) também escrito na linguagem de programação de FORTRAN, e uma interface de Windows (WEPPWIN) escrito na linguagem de programação de C++ Visual. A interface acessa bancos de dados, organiza WEPP e simulações de CLIGEN, cria arquivos de contribuição todo necessários para WEPP e CLIGEN, e executa o FORTRAN modela quando necessário. A interface também acessa e processos produziram informação do FORTRAN modela para exibição e acessa pelo usuário (Pudasaini, 2004).

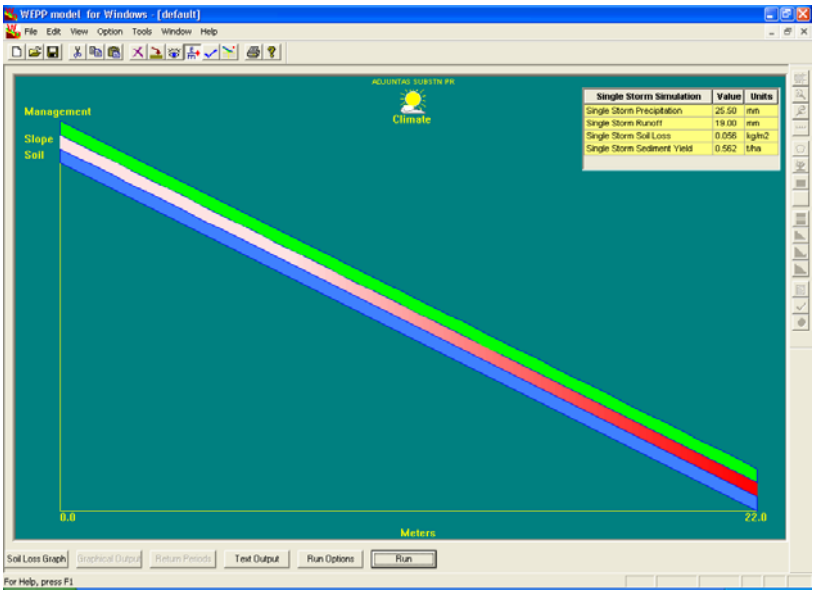


Figura A1. Software WEPP Hislope/Watershid model (USDA – ARS, NSERL Purdue University, 2002).

A tela de interface do Windows demostra as principais representações que em um perfil da vertente, com várias áreas que provêem o acesso para introduzir bancos de dados e exibição de produção de sedimentos. A forma de perfil é baseado nas contribuições de modelo de declive que podem ser acessadas pela camada mediana no gráfico. As informações de solo podem ser acessadas pela camada de fundo no gráfico, e a informação de cobertura e manejo pela camada de perfil de topo. Podem ser selecionadas contribuições de clima ou podem ser geradas pelo ícone ao centro de topo da tela. As dimensões de comprimento de perfil horizontais são providas ao fundo da tela em inglês ou unidades métricas.

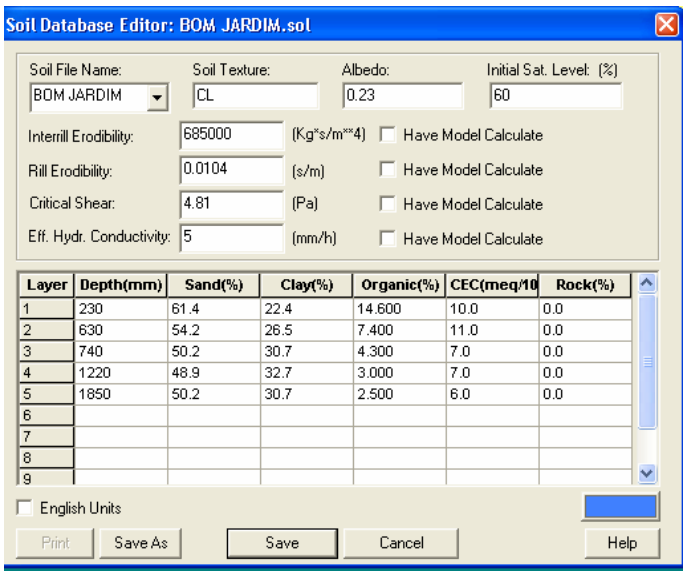


Figura A2. Parâmetros pedológicos utilizados no WEPP (USDA – ARS, NSERL Purdue University, 2002).

Arquivo WEPP 'BOM JARDIM'.

Declividade	60 %
Comprimento de rampa	22 m
largura da rampa	4 m

Parâmetros pedológicos (Lima & Andrade, 2001, Braida & Cassol, 1996) e meteorológicos (INMET) ajustados de acordo com banco de dados do CLIGEN utilizado no WEPP (USDA – ARS, NSERL - Purdue University, 2002).

Albedo	0.23	
Nível de Saturação inicial	60	%
Erodibilidade Interravinar (K_i)	6,85 x 10^5	kg.s/m^4
Erodibilidade Ravinar (K_r)	0.0104	Kg/m.s
Cisalhamento crítico (τ_c)	4.81	Nm^2
Condutividade hidráulica efetiva	5.00	mm/h

NORMAIS CLIMATOLOGICAS DO BRASIL (1961-1990)
Instituto Nacional de Meteorologia

Localização das Estações

Nº	NOMES	UF	LAT.(S)	LONG. (W. Grw.)	HP	HZ	PERÍODO
	Nova Friburgo	RJ	22,17	42,32		845,60	61/90

Quadro A1. Dados meteorológicos obtidos na estação de Nova Friburgo (INMET).

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO	
17,1	17,1	16,8	14,8	11,9	10,1	9,5	10,3	12,3	14,3	15,5	16,3	13,8	Temp. MIN. C
21,2	21,4	20,9	18,7	16,2	14,7	14,0	15,2	16,6	18,3	19,5	20,3	18,1	Temp. MED. C
27,0	27,6	26,9	24,8	22,9	21,6	21,1	22,5	22,9	23,9	24,8	25,5	24,3	Temp. MAX. C
208,6	167,2	151,0	72,3	45,6	26,6	19,7	22,9	41,3	83,4	169,2	238,7	1246,3	PRECIP. mm
61,3	57,7	57,9	45,7	44,0	38,0	42,2	50,1	50,4	50,1	51,1	56,7	605,3	EVAPOT. mm
77,0	78,0	78,0	82,0	82,0	83,0	83,0	81,0	80,0	81,0	80,0	80,0	80,0	UMID. REL. %
153,2	136,6	157,3	133,2	158,7	132,0	149,1	166,1	139,4	97,3	109,2	143,5	1675,4	RAD. Hs e décimos

Software SAEG (Sistema de Análises Estatísticas) para cálculos de variâncias, desvios e testes de médias. Fonte: Universidade Federal de Viçosa, MG, *versão beta.*



Figura A3. Software SAEG – UFV.

Software SOILOSS para cálculos de perdas de solo, através de parâmetros da equação universal de perda de solo (USLE – Wischmeier). Fonte: Serviço Nacional de Conservação dos Solos da Austrália).

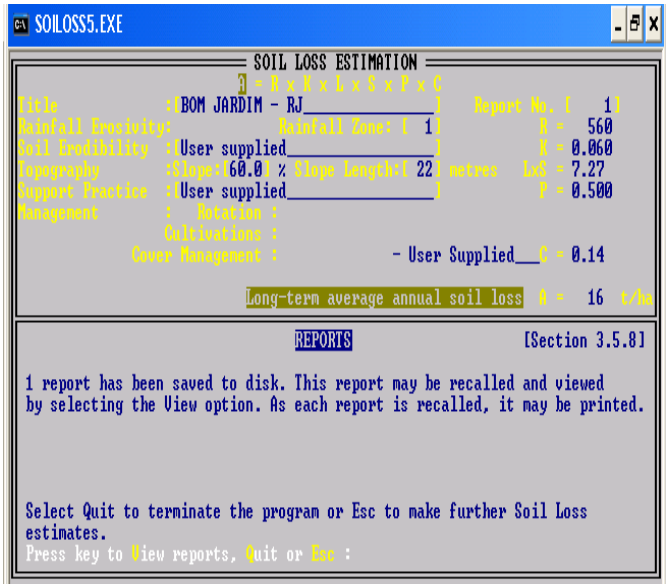


Figura A4. Software SOILOSS^{R} (1993).

+---------- SOIL LOSS ESTIMATION ----------+

A = R x K x L x S x P x C

Title : BOM JARDIM – Cultivo de Inhame

Rainfall Erosivity: R = 8160
Soil Erodibility: K = 0.020
Topography: Slope:[60.0] % Slope Length:[22] metres LxS = 15.2
Support Practice: P = 0.4
¦Management : Rotation :
Cultivations :
Cover Management : - pouco revolvimento do solo C = 0.1

Average annual soil loss A = 99.2 t/ha

+---------- SOIL LOSS ESTIMATION ----------+

A = R x K x L x S x P x C

Title : BOM JARDIM – Cultivo de Milho

Rainfall Erosivity: R = 8160
Soil Erodibility: K = 0.020
Topography: Slope:[60.0] % Slope Length:[22] metres LxS = 15.2
Support Practice: P = 0.4
¦Management : Rotation :
Cultivations :
Cover Management : C = 0.08

Average annual soil loss A = 79.4 t/ha

+---------- SOIL LOSS ESTIMATION ----------+

A = R x K x L x S x P x C

Title : BOM JARDIM – Cultivo de Banana

Rainfall Erosivity: R = 8160
Soil Erodibility: K = 0.020
Topography: Slope:[60.0] % Slope Length:[22] metres LxS = 15.2
Support Practice: P = 0.2
¦Management : Rotation :
Cultivations :
Cover Management : - pouco revolvimento do solo C = 0.12

Average annual soil loss A = 29.8 t/ha

+---------- SOIL LOSS ESTIMATION ----------+

A = R x K x L x S x P x C

Title : BOM JARDIM – Pousio

Rainfall Erosivity: R = 8160
Soil Erodibility: K = 0.020
Topography: Slope:[60.0] % Slope Length:[22] metres LxS = 15.2
Support Practice: P = 0.2
¦Management : Rotation :
Cultivations :
Cover Management : - pouco revolvimento do solo C = 0.04

Average annual soil loss A = 19.8 t/ha

+---------- SOIL LOSS ESTIMATION ----------+

A = R x K x L x S x P x C

Title : BOM JARDIM – Solo sem cultivo

Rainfall Erosivity: R = 8160
Soil Erodibility: K = 0.020
Topography: Slope:[60.0] % Slope Length:[22] metres LxS = 15.2
Support Practice: P = 1
¦Management : Rotation :
Cultivations :
Cover Management : - pouco revolvimento do solo C = 1

Average annual soil loss A = 2480.6 t/ha

Quadro A2. Valores do fator topográfico LS utilizado no software SOILOSS^{R} (1993).

Percent	Slope Length - measured parallel to the slope (metres)																			
Slope	1	2	3	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	125	150	175	200	250	300
0.2	0.049	0.049	0.049	0.049	0.050	0.051	0.051	0.052	0.052	0.053	0.053	0.054	0.054	0.055	0.055	0.055	0.056	0.056	0.056	0.057
0.5	0.074	0.074	0.074	0.074	0.079	0.081	0.083	0.085	0.086	0.088	0.090	0.091	0.094	0.095	0.097	0.099	0.10	0.10	0.10	0.10
1.0	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19	0.20	0.20
2.0	0.17	0.17	0.17	0.17	0.20	0.22	0.24	0.25	0.26	0.28	0.30	0.31	0.34	0.36	0.38	0.39	0.41	0.42	0.44	0.46
3.0	0.22	0.22	0.22	0.22	0.28	0.31	0.34	0.37	0.39	0.43	0.46	0.48	0.53	0.57	0.61	0.64	0.67	0.70	0.75	0.80
4.0	0.26	0.26	0.26	0.27	0.35	0.40	0.44	0.48	0.52	0.57	0.62	0.66	0.73	0.80	0.86	0.92	0.97	1.02	1.11	1.18
5.0	0.30	0.30	0.30	0.31	0.41	0.49	0.55	0.60	0.64	0.72	0.79	0.85	0.95	1.04	1.14	1.23	1.30	1.38	1.50	1.62
6.0	0.34	0.34	0.34	0.36	0.48	0.57	0.65	0.71	0.77	0.87	0.96	1.04	1.18	1.30	1.43	1.55	1.66	1.75	1.93	2.09
8.0	0.42	0.42	0.42	0.43	0.61	0.74	0.85	0.94	1.03	1.18	1.32	1.44	1.65	1.84	2.05	2.24	2.41	2.57	2.86	3.13
10.0	0.46	0.49	0.50	0.54	0.77	0.96	1.11	1.24	1.37	1.59	1.78	1.96	2.27	2.55	2.87	3.15	3.41	3.65	4.10	4.51
12.0	0.48	0.54	0.59	0.66	0.97	1.21	1.42	1.60	1.77	2.07	2.33	2.58	3.02	3.41	3.85	4.25	4.62	4.97	5.62	6.20
14.0	0.49	0.59	0.66	0.78	1.16	1.46	1.72	1.95	2.16	2.55	2.89	3.21	3.77	4.28	4.86	5.39	5.89	6.35	7.21	7.99
16.0	0.51	0.64	0.74	0.89	1.34	1.70	2.02	2.30	2.56	3.03	3.45	3.84	4.54	5.18	5.90	6.56	7.18	7.77	8.85	9.85
18.0	0.52	0.69	0.81	1.00	1.52	1.94	2.31	2.64	2.94	3.50	4.00	4.47	5.31	6.07	6.95	7.75	8.50	9.21	10.54	11.76
20.0	0.54	0.73	0.87	1.11	1.70	2.17	2.59	2.98	3.33	3.97	4.56	5.10	6.08	6.97	8.00	8.94	9.83	10.67	12.24	13.69
25.0	0.57	0.83	1.03	1.35	2.11	2.73	3.29	3.79	4.26	5.12	5.90	6.63	7.97	9.20	10.61	11.92	13.16	14.33	16.53	18.57
30.0	0.61	0.92	1.16	1.58	2.49	3.26	3.94	4.56	5.14	6.21	7.19	8.11	9.80	11.35	13.14	14.82	16.40	17.91	20.74	23.39
35.0	0.64	0.99	1.29	1.79	2.85	3.74	4.54	5.27	5.96	7.23	8.40	9.50	11.53	13.39	15.56	17.59	19.51	21.34	24.79	28.03
40.0	0.66	1.06	1.39	1.97	3.17	4.18	5.09	5.93	6.72	8.18	9.52	10.79	13.13	15.30	17.82	20.18	22.43	24.57	28.62	32.42
45.0	0.68	1.11	1.49	2.14	3.46	4.58	5.59	6.53	7.41	9.04	10.55	11.97	14.61	17.05	19.90	22.58	25.13	27.57	32.17	36.50
50.0	0.70	1.16	1.57	2.29	3.72	4.94	6.04	7.06	8.03	9.82	11.48	13.04	15.95	18.65	21.81	24.78	27.60	30.31	35.43	40.26
60.0	0.72	1.23	1.69	2.52	4.15	5.53	6.79	7.96	9.06	11.13	13.04	14.85	18.22	21.36	25.04	28.51	31.82	34.99	41.02	46.70
70.0	0.73	1.28	1.77	2.68	4.46	5.98	7.36	8.64	9.85	12.12	14.23	16.23	19.97	23.45	27.55	31.41	35.10	38.65	45.39	51.76
80.0	0.73	1.30	1.82	2.79	4.69	6.29	7.76	9.12	10.42	12.84	15.10	17.24	21.25	24.99	29.40	33.56	37.54	41.37	48.65	55.55
90.0	0.72	1.30	1.84	2.84	4.83	6.50	8.03	9.45	10.80	13.33	15.69	17.93	22.14	26.06	30.69	35.07	39.26	43.29	50.97	58.25
100.0	0.71	1.29	1.84	2.86	4.92	6.62	8.19	9.65	11.03	13.63	16.06	18.37	22.70	26.75	31.52	36.05	40.38	44.55	52.50	60.04

ANEXO II - Projeto DESUSMO (1997) – Avelar – Paty do Alferes – RJ

Resumo das Perdas de solo no campo experimental da PESAGRO – RIO (Avelar 043°25' – W e 22°21' - S), município de Paty do Alferes. Projeto DESUSMO 1997.

Quadro A3. valores de precipitação, escoamento superficial e perdas de solo em Tipo de Solo: ARGISSOLO VERMELHO AMARELO sob declividade de 60 %, (Microbacia Caetés).

Cultura	Período de Cultivo	Precipitação (mm)	Parcela	Perda de solo (Kg/88m^2)	Perda de solo (Ton/ha)
Tomate	Out 95 / Jan 96	720,2	A	48,8	5,5
			B	17,0	1,9
			C	1,6	0,2
			D	1,0	0,1
Vagem	Jan 96 / Mai 96	443,7	A	53,4	6,1
			B	9,7	1,1
			C	5,1	0,6
			D	0,7	0,1
Repolho	Ago96 / Nov 96	299,5	A	11,6	1,3
			B	3,1	0,4
			C	3,9	0,4
			D	1,9	0,2
Pimentão	Nov 96 / Jan 97	319,4	A	163,3	18,6
			B	75,1	8,5
			C	39,0	4,4
			D	40,1	4,5
Pepino	Jan 97 / Mar 97	139,7	A	494,3	56,2
			B	391,3	44,5
			C	125,6	14,3
			D	67,4	7,7
Total	**Out 95 / Mar97**	**1922,5**	**A**	**771,1**	**87,6**
			B	**496,2**	**56,4**
			C	**175,2**	**19,2**
			D	**111,1**	**12,6**

Manejo do solo:

Parcela A – sistema convencional (arado com Trator morro abaixo, plantio feito em linha com declividade);
Parcela B – sistema convencional porém com o canal de descarga segurado com grama;
Parcela C – arado com tração animal, plantio em curvas de nível, implantação de faixas de grama (capim colonial) a cada 6 metros;
Parcela D – cultivo mínimo/plantio direto.

Quadro A4. valores de precipitação, escoamento superficial e perdas de solo em Tipo de Solo: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO sob declividade de 30 %, (Microbacia Caetés).

Cultura	Período de Cultivo	Precipitação (mm)	Parcela	Perda de solo (Kg/88m^2)	Perda de solo (Ton/ha)
Quiabo	Jan 96 / Mar 96	314,1	A B C D	778,8 106,7 49,3 4,7	88,5 12,0 5,6 0,5
Couve-flor	Ago96 / Nov 96	213,1	A B C D	454,4 11,1 21,1 4,4	51,6 1,3 2,4 0,5
Tomate	Nov 96 / Fev 97	573,2	A B C D	1424,1 5,9 5,5 7,2	161,8 0,7 0,6 0,8
Total	**Jan 96 / Fev 97**	**1100,4**	**A** **B** **C** **D**	**2657,3** **123,7** **75,9** **16,3**	**302,0** **14,0** **8,6** **1,9**

Manejo do solo:

Parcela A - Arado com Trator, sem cobertura de solo

Parcela B – Sistema convencional (arado com trator morro abaixo, plantio feito em linha com declividade)

Parcela C - Arado com tração animal, plantio em curvas de nível, implantação de faixas de grama (capim colonial) em cada 6 metros

Parcela D - Cultivo mínimo/ plantio direto.

Simulação numérica

A partir da revisão efetuada no modelo USLE para os dados gerados em Bom Jardim, foram feitas simulações para estimativa das perdas de solo na área de Avelar (LATOSSOLO com declividade de 30%), na parcela sem cobertura vegetal, considerando que na localidade de Caetés, constaram-se as mesmas características Geomorfológicas de Bom Jardim, não houve este registro. Os parâmetros R, K, e LS, foram obtidos conforme Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), Denardin (1990) e Wischmeier & Smith (1978), respectivamente. Os dados estimados, podem ser analisados a seguir:

Quadro A5. Simulação numérica pelo modelo USLE a partir de dados do Projeto Desusmo (1997).

A (ton/ha)	**R**	**K**	**LS**	**C**	**P**
571,1	**6184**	**0,02**	**4,19**	**1**	**1**

ANEXO III - Modelagem em Escala Reduzida

Determinação da erodibilidade em laboratório por meio do Ensaio de Inderbitizen em um corpo de prova de 70 cm^2, para diferentes coberturas vegetais das parcelas.

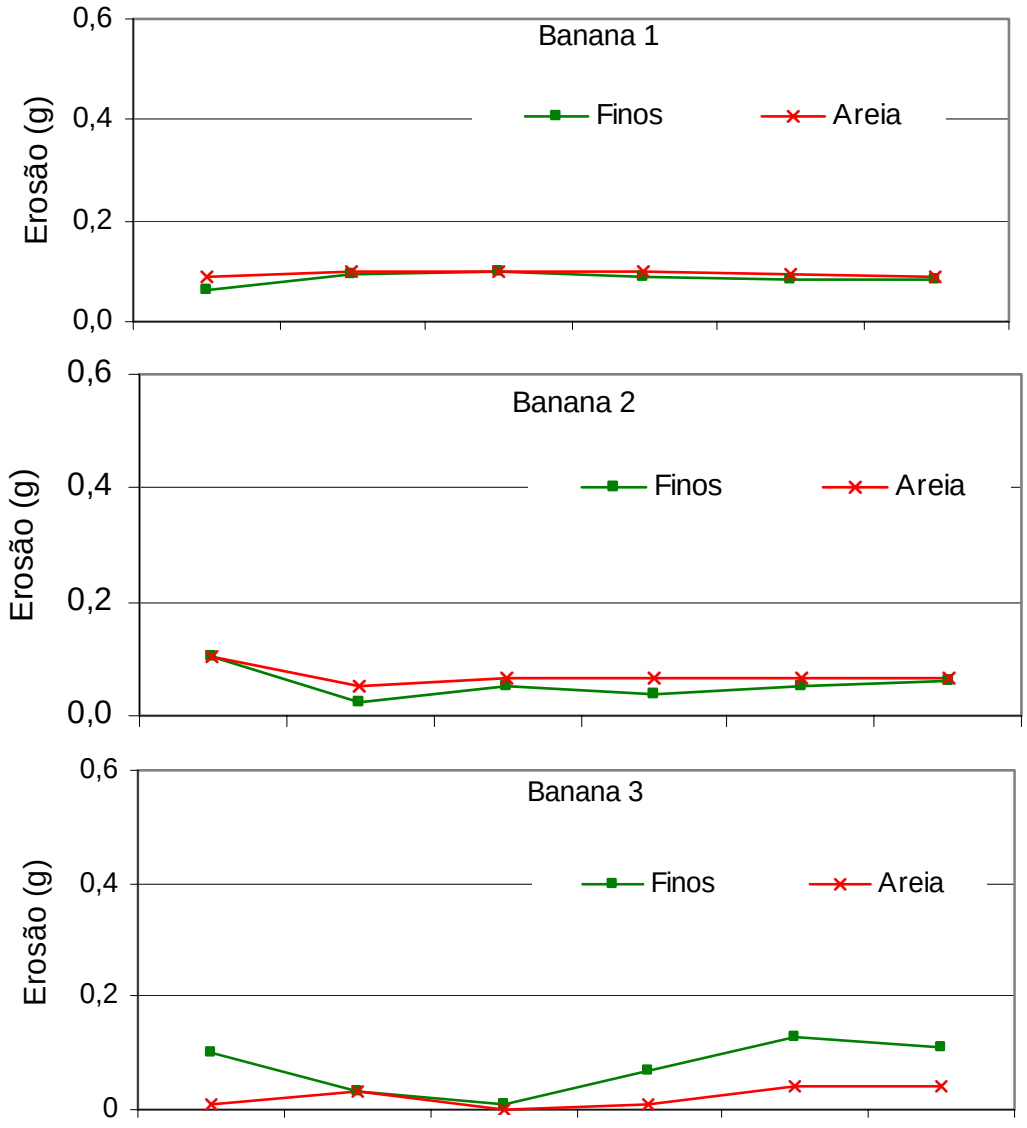


Figura A5. Perdas de solo por meio do ensaio de Inberbitizen com amostras de 70 cm^2 retiradas na parcela sob cultivo de banana.

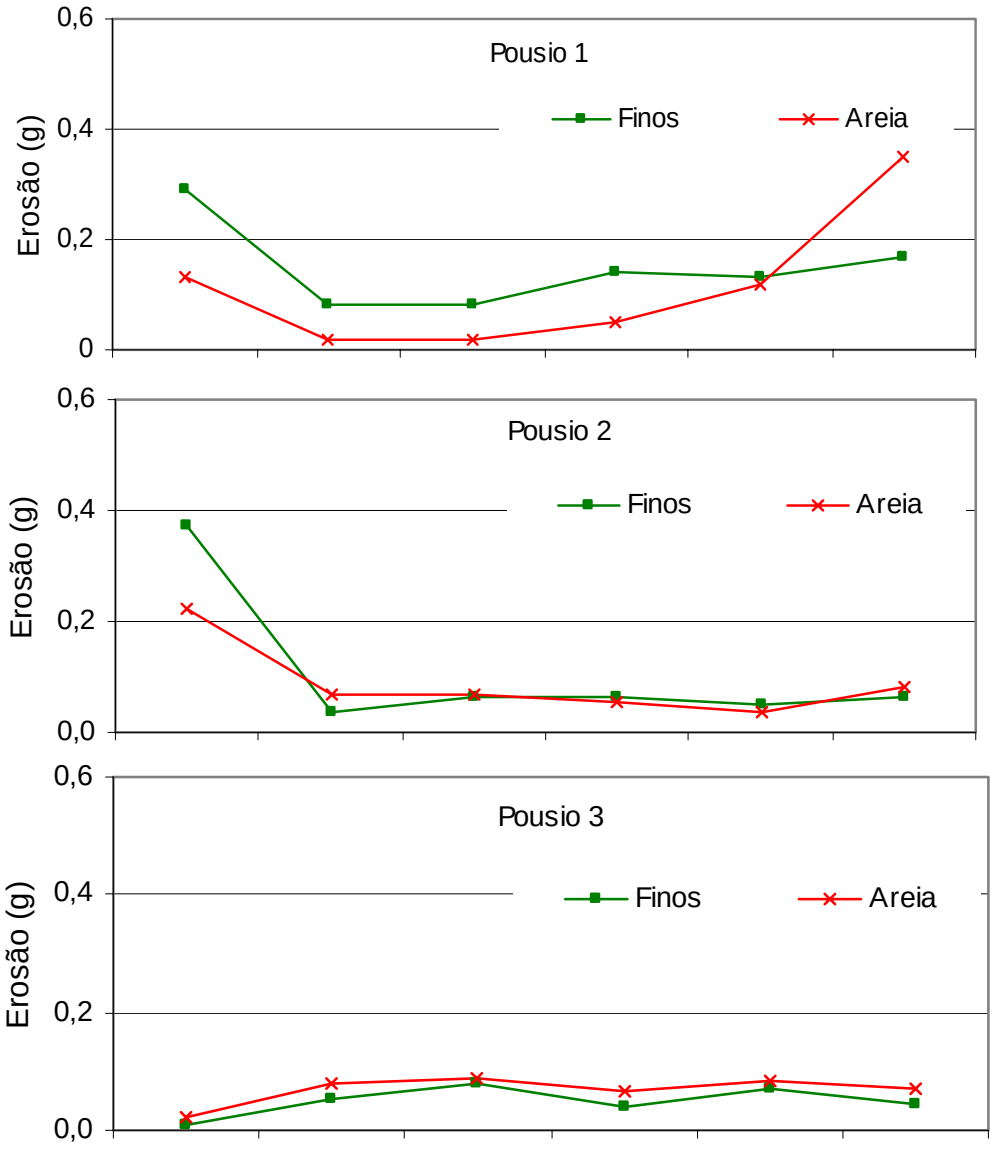


Figura A6. Perdas de solo por meio do ensaio de Inberbitizen com amostras de 70 cm^2 retiradas na parcela em pousio florestal de 2 a 3 anos.

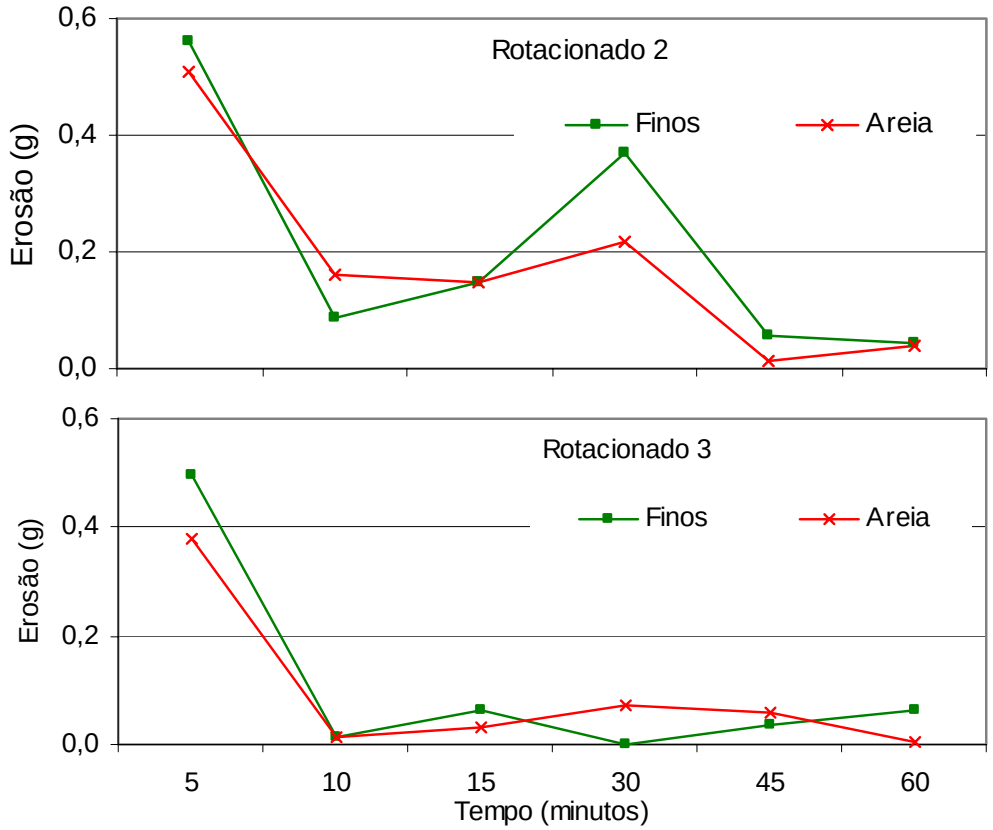


Figura A7. Perdas de solo por meio do ensaio de Inberbitizen com amostras de 70 cm^2 retiradas na parcela sob cultivo rotacionado de oleráceas.

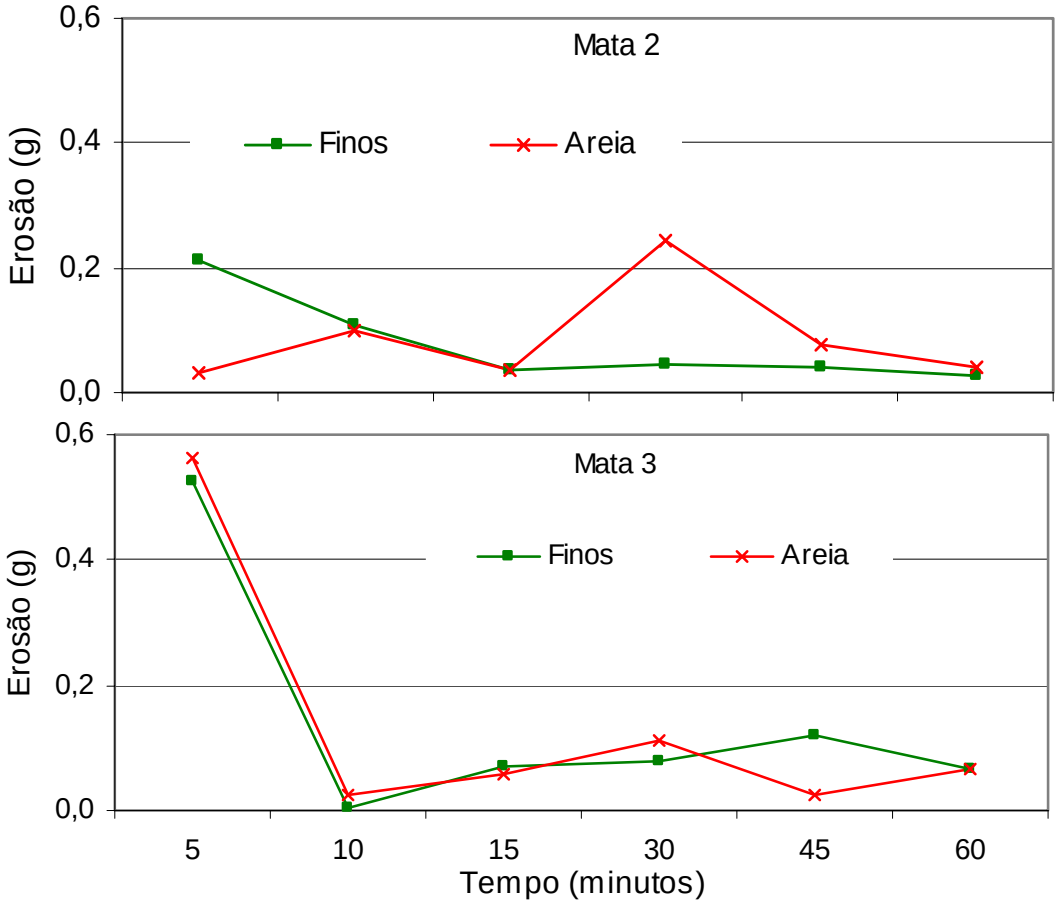


Figura A8. Perdas de solo por meio do ensaio de Inberbitizen com amostras de 70 cm^2 retiradas na parcela com mata nativa.

ANEXO IV - Interceptação pluviométrica pelas coberturas vegetais

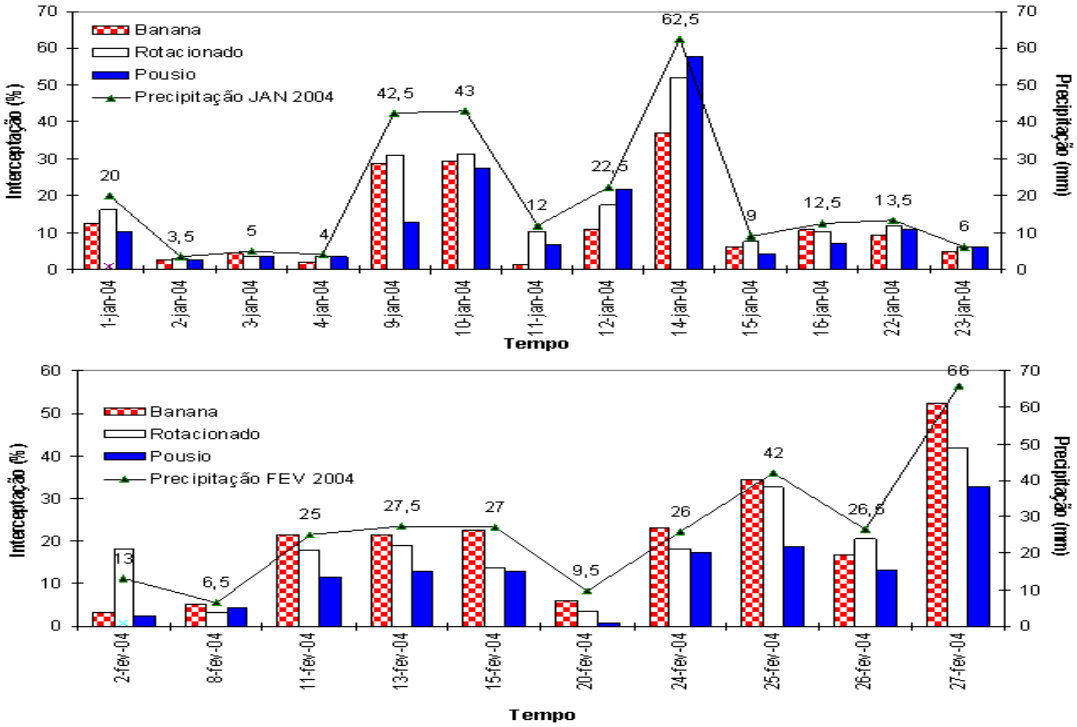


Figura A9. Interceptaçãp pluviométrica nos meses de janeiro e fevereiro de 2004.

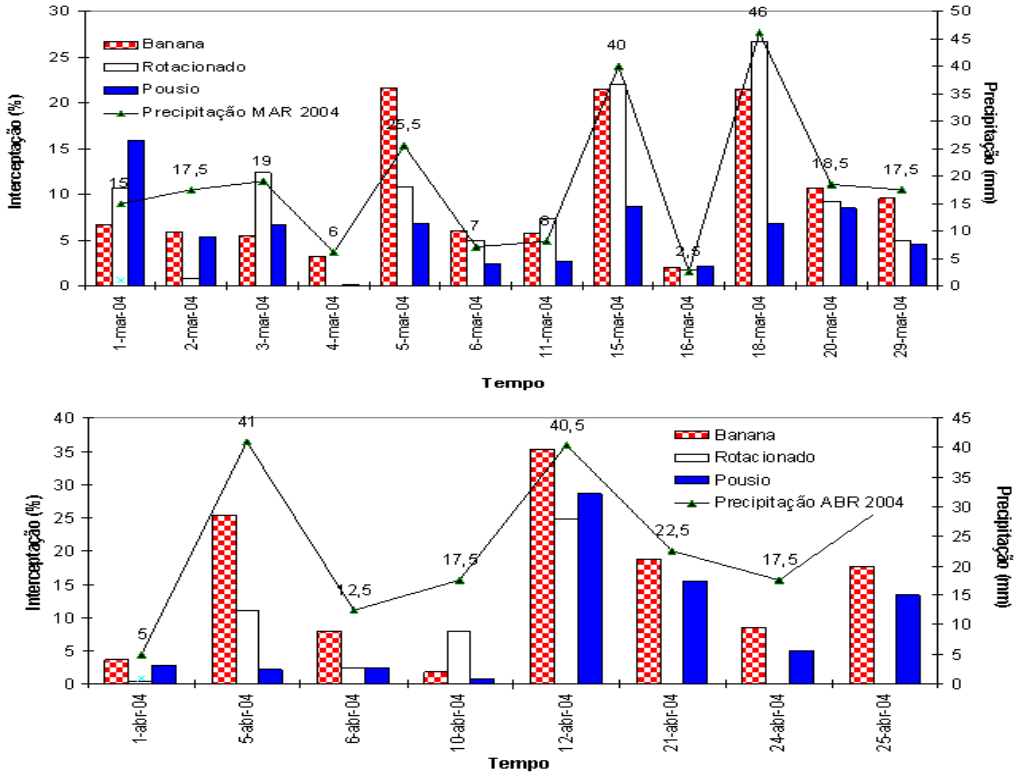


Figura A10. Interceptaçãp pluviométrica nos meses de março e abril de 2004.

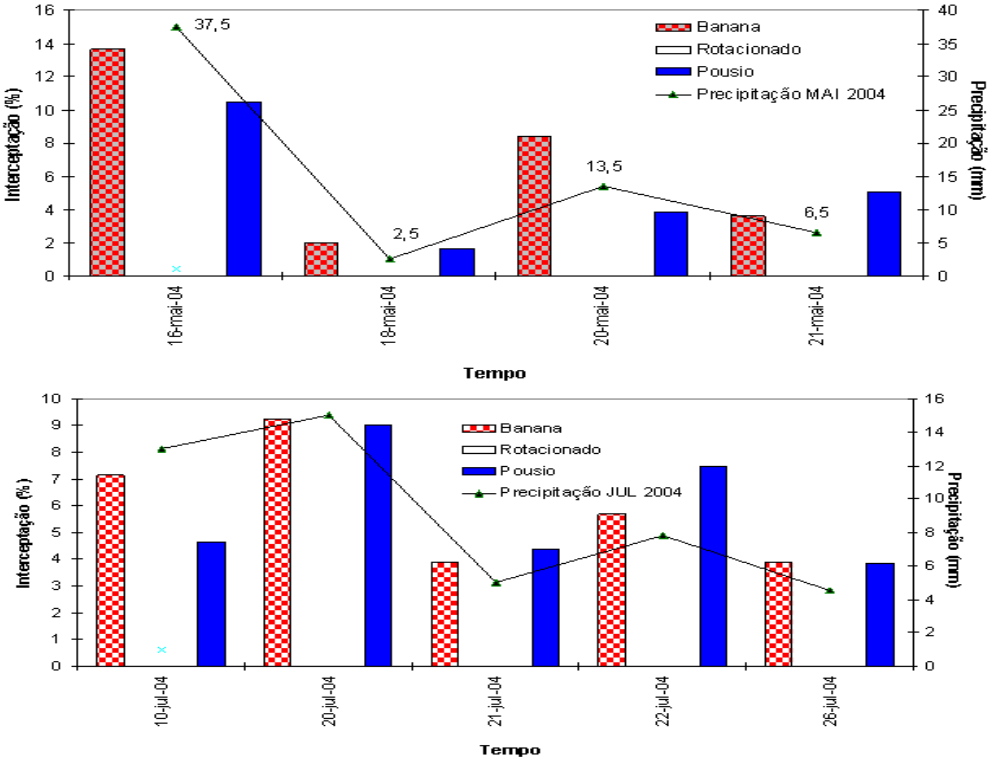


Figura A11. Interceptaçãp pluviométrica nos meses de maio e junho de 2004.