



Universidade Federal de Alagoas
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos e Saneamento
Cidade Universitária – Campus A. C. Simões
Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió, Alagoas.



SEBASTIÃO COELHO MARINHO FALCÃO

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ÁREAS DE
DIFERENTES ESCALAS NA BACIA EXPERIMENTAL DO
RIACHO GRAVATÁ, SEMI-ÁRIDO ALAGOANO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MACEIÓ
2009

SEBASTIÃO COELHO MARINHO FALCÃO

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ÁREAS
DE DIFERENTES ESCALAS NA BACIA EXPERIMENTAL DO
RIACHO GRAVATÁ, SEMI-ÁRIDO ALAGOANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento

Orientador: Profa. Dra. Rosângela Sampaio Reis

Co-orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori
Borges de Souza

MACEIÓ

2009

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

F178a Falcão, Sebastião Coelho Marinho.
Avaliação da produção de sedimentos em áreas de diferentes escalas na bacia experimental do riacho Gravatá, semi-árido alagoano / Sebastião Coelho Marinho, Falcão, 2009.
xiii, 107 f. : il.

Orientadora: Rosangela Sampaio Reis.
Co-Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.
Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2009.

Bibliografia: f. 102-107.

1. Bacias hidrográficas – Maceió (AL). 2. Bacia experimental – Riacho Gravatá (AL) - Sedimentos. 3. Semi-árido alagoano. I. Título.

CDU: 556.18(813.5)



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamentos – PPGRHS
Campus A. C. Simões, Av. Lourival de Melo Mota, S/N
Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió – Alagoas
Tel/Fax: (82) 3214-1279
E-mail: ppgrhs@yahoo.com
Homepage://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs



**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ÁREAS DE DIFERENTES
ESCALAS NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GRAVATÁ, SEMI-ÁRIDO
ALAGOANO**

SEBASTIÃO COELHO MARINHO FALCÃO

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 29 do mês de abril do ano de 2009.

Banca Examinadora:


Prof.ª Dr.ª Rosângela Sampaio Reis
Orientadora - CTEC/UFAL


Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
Co-orientador - CTEC/UFAL


Prof. Dr. Roberto Carvalho de Souza
CTEC/UFAL


Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos
UFPB

*Dedico este trabalho ao Autor e Consumador da
minha fé: Jesus Cristo.*

AGRADECIMENTOS

Ao Deus Vivo, pela fidelidade sem fim, pelo conforto nos momentos difíceis e por me conceder a benção de realização deste trabalho.

À minha família e à minha noiva Thayse Montenegro pelo apoio incondicional em todos os momentos.

À Professora Rosangela Reis, pelos vários anos de orientação, pela confiança depositada, pelos incentivos para seguir em frente nos momentos em que as coisas não davam certo e pela importante participação neste trabalho.

Ao Professor Vladimir Caramori, por compartilhar seu conhecimento e experiência, pelo apoio, e pela fundamental orientação neste estudo.

A todos que fazem parte do PPGRHS, em especial aos professores Roberaldo Carvalho, Cleuda Custódio, Marllus Neves, Márcio Barboza e Valmir Pedrosa, pelos ensinamentos e apoio.

Aos meus amigos, companheiros de trabalho, Eng.º Alexandre Barros, Eng.º Herberth Nobre (e Heitor Nobre), Eng.º Danilo Dantas, Eng.º João de Lima e Arq.º Edson Nascimento, pelos incentivos, cooperação e pelos importantes momentos de descontração. Aos amigos do PPGRHS, Rubem Izidro, Hugo Pedrosa, Márcio Alves, Claudionor Oliveira, Josiane Holz, Walber Gama, e Irene Pimentel, pelo companheirismo.

Aos grandes amigos e irmãos Natalino Rasquinho e Leonardo Vieira, pela fundamental ajuda prestada no campo, pelo companheirismo e pelos momentos de alegria compartilhados.

A todos que estiveram presentes, colaborando nas campanhas de campo, e nas análises laboratoriais, a saber: Magaly Vieira, Sergio Ávila, Henrique Silva, Simone Silva, Gabriela Carnaúba, Adriana Rasquinho, Rosane Cavalcante, Daysy Oliveira, e Vitor Assunção.

Aos pesquisadores do PPGEA da UFRPE e do PPGECA da UFCG, pelos conhecimentos compartilhados, em especial a Adriana Figueiredo, Thaís Santos, Albert Moura, Gessica Lima, Anildo Caldas, Rodrigo Barbosa, Fernanda Paiva, Rodolfo Nóbrega, e aos professores Carlos Galvão e Abelardo Montenegro.

À comunidade rural de Santana do Ipanema, pela importante colaboração e apoio, em especial a Amâncio Leobino, Antônio Francisco Silva e Ademir Santos.

Aos avaliadores, Celso A. G. Santos e Roberaldo Carvalho, pelas importantes contribuições para melhoria deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pela concessão de bolsa de estudo.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo financiamento da pesquisa.

Por fim, a todos aqueles não citados, que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A atual gestão dos recursos hídricos no semi-árido brasileiro é carente em informações acerca de métodos que busquem a otimização do uso de suas águas, sendo estas de fundamental importância tendo em vista o grave panorama vivenciado em relação à disponibilidade hídrica. Buscando analisar e compreender o comportamento das variáveis hidrossedimentológicas na região semi-árida, é cada vez mais comum o estudo em bacias experimentais. Neste contexto, o trabalho apresenta a instrumentação de uma bacia experimental no semi-árido alagoano, com ênfase no monitoramento dos processos hidrossedimentológicos. O estudo foi desenvolvido em sua totalidade a partir de subsídios provenientes de monitoramento dos processos hidrossedimentológicos em campo, tendo como objetivo geral quantificar a produção de sedimentos em duas diferentes escalas de unidades experimentais: parcelas e microbacia. A microbacia selecionada possui área contribuinte de 0,183 ha, e declividade média de 6,5%, sendo construída no exutório uma fossa de sedimentos para coleta do deflúvio superficial. Em outra área foram instaladas três parcelas, possuindo 3 m² cada, em um terreno com declividade média de 13%. O monitoramento nas parcelas se deu a partir de chuva simulada, sendo o simulador calibrado para produzir chuvas intensas específicas para cada uma das parcelas. Em relação à cobertura do solo, a microbacia foi estudada em condição de solo descoberto, enquanto que nas parcelas foi realizado o plantio de milho cultivado morro abaixo por ser bastante usual na região. A produção de sedimentos na microbacia e nas parcelas foi calculada a partir de coletas do material escoado superficialmente. Os dados observados possibilitaram correlacionar a produção de sedimentos com variáveis relacionadas com a chuva total e efetiva. Foi observada uma tendência de crescimento da produção de sedimentos em função do aumento do escoamento superficial tanto para os eventos monitorados na microbacia quanto para o monitoramento realizado nas parcelas. Nas parcelas, a proteção do solo exercida pelo cultivo do milho proporcionou uma redução na produção de sedimentos para todas as intensidades pluviométricas simuladas.

Palavras-Chave: *Bacia experimental, Produção de sedimentos, Semi-árido alagoano.*

ABSTRACT

The current water resource management in the Brazilian Semi-arid area is scarce in information on methods that seek the optimization of the use of its water, which is fundamentally important having in view the serious panorama experienced in relation to the water availability. Searching to explore and understand the behavior of hydrosedimentology variables in the semi-arid region is increasingly common the study in experimental basins. In this context, this paper presents the instrumentation of an experimental basin in the semi-arid regions of the State of Alagoas, with emphasis on hydrosedimentology monitoring processes. This study was entirely developed from subsidies from hydrosedimentology monitoring processes in the field, having as the general objective to quantify the production of sediments in two different scales of experimental units: plots and microbasin. The selected microbasin has contributing area of 0.183 ha, and an average declivity of 6.5% and being constructed in the outlet a sediment pit for collecting the superficial discharge. In another area, three plots were installed, with 3 m² each, in a land with average declivity of 13%. The monitoring in the plots happened as of simulated rainfall, the simulator being calibrated to produce heavy rain for each of the plots. In relation to soil cover, the microbasin was studied in uncovered soil conditions, while as in the plots was done the plantation of cultivated corn hill under which is quite usual in the region. The production of sediment in the microbasin and in the plots was calculated from samples of the superficially drained material. The data observed made it possible to correlate the production of sediments with variables related to the total and effective rainfall. A growth tendency in the production of sediments due to the increase in superficial draining for both the monitored events in the microbasin as well as the monitoring done in the plots was observed. In the plots, the protection of the soil exerted by the corn cultivation provided a reduction in the production of sediments for all the simulated pluviometric intensities.

Keywords: *Experimental basin, Sediment yield, Semi-arid regions of the State of Alagoas.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delimitação do semi-árido brasileiro (BRASIL, 2005a).....	1
Figura 2 – Delimitação da bacia hidrográfica do rio Ipanema.....	19
Figura 3 – Delimitação dos municípios alagoanos, com ênfase para Santana do Ipanema (BRASIL, 2005b).....	22
Figura 4 – Delimitação da porção alagoana da bacia hidrográfica do rio Ipanema e limites municipais, com ênfase para Santana do Ipanema.	23
Figura 5 – (a) pequeno açude em processo de eutrofização; e (b) manchete sobre problemas ocasionados pela contaminação das águas (VINÍCIUS, 2008).	24
Figura 6 – (a) região serrana apresentando áreas preservadas e efeitos de ação antrópica; e (b) região serrana completamente desmatada.	25
Figura 7 – (a) solo exposto após queimada; e (b) região marginal de um pequeno açude após queimada.	25
Figura 8 – Atividade pecuária na zona rural de Santana do Ipanema: (a) criação de bovinos; e (b) criação de ovinos.	26
Figura 9 – (a) cultivo consorciado de milho e feijão; e (b) cajueiro em uma pequena propriedade rural.	27
Figura 10 – Aparato experimental na bacia hidrográfica do riacho Gravatá.....	29
Figura 11 – Estação meteorológica compacta (CAMPBELL SCIENTIFIC) instalada na bacia experimental.	30
Figura 12 – Exutório da microbacia na bacia experimental.	31
Figura 13 – Levantamento topográfico da microbacia na bacia experimental.	32
Figura 14 – Isolinhas de nível da microbacia.	32
Figura 15 – Modelo digital do terreno da microbacia.	33
Figura 16 – Esquematização da fossa de sedimentos construída na microbacia.	34
Figura 17 – Etapas da construção, instrumentação e coleta de dados na fossa de sedimentos: (a) construção do vertedor; (b) pintura das paredes; (c) configuração utilizada na instalação do linígrafo; e (d) coleta de dados do linígrafo.	35
Figura 18 – Fossa de sedimentos instalada no exutório da microbacia.	36
Figura 19 – Pluviógrafo CS700 (CAMPBELL SCIENTIFIC) instalado nas proximidades da microbacia.	36
Figura 20 – Etapas do processo de amostragem na fossa de sedimentos: (a) amostragem através de sifonagem em um tubo de amostragem manual; (b) amostragem de fundo; (c) recipiente conectado a um tubo de amostragem automática; e (d) coleta de amostra através de um recipiente conectado a um tubo de amostragem automática.	39
Figura 21 – Limpeza da fossa de sedimentos: (a) lavagem dos recipientes conectados aos tubos de amostragem automática; e (b) limpeza do fundo da fossa.....	40
Figura 22 – Etapas da análise laboratorial: (a) processo de filtração da amostra com o auxílio de uma bomba de vácuo; e (b) pesagem da membrana filtrante utilizando balança de precisão.	41
Figura 23 – (a) esquematização da parcela de erosão instalada na bacia experimental (SANTOS, 2006); e (b) instalação das parcelas experimentais de erosão.	43

Figura 24 – Configuração utilizada durante o processo de calibração do simulador de chuva.	44
Figura 25 – Esquemática do simulador de chuvas operado nas parcelas experimentais de erosão.	45
Figura 26 – Entupimento do filtro de um aspersor ps: (a) filtro entupido por partículas; e (b) limpeza do filtro.	46
Figura 27 – Simulador pronto para entrar em operação.	47
Figura 28 – Amostragem em parcela experimental de erosão na bacia experimental do riacho gravatá.	48
Figura 29 – Precipitação diária registrada no pluviógrafo da microbacia entre os dias 22/06/2007 e 25/10/2008.	50
Figura 30 – Distribuição percentual, por padronização pluviométrica, dos eventos pluviométricos erosivos registrados no pluviógrafo da microbacia.	51
Figura 31 – Precipitações anuais em Santana do Ipanema.	54
Figura 32 – Precipitações mensais em Santana do Ipanema.	55
Figura 33 – Visão geral da microbacia durante o monitoramento dos processos hidrossedimentológicos.	56
Figura 34 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos antecedentes a amostragem 1 na microbacia.	57
Figura 35 – Registro pluviográfico não utilizado nos cálculos referente à chuva erosiva 9.	58
Figura 36 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 9 na microbacia.	60
Figura 37 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 10 na microbacia.	61
Figura 38 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo antecedente a amostragem 2 na microbacia.	63
Figura 39 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 13 na microbacia.	64
Figura 40 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos antecedentes a amostragem 3 na microbacia.	66
Figura 41 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos 14 e 15 na microbacia.	68
Figura 42 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 16 na microbacia.	70
Figura 43 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 17 na microbacia.	72
Figura 44 – Produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras de fundo, ao longo das três amostragens realizadas na fossa de sedimentos.	75
Figura 45 – Produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras coletadas nos tubos de amostragem manual, ao longo das duas amostragens realizadas na fossa de sedimentos.	76
Figura 46 – Produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras coletadas nos tubos de amostragem automática, ao longo das duas amostragens realizadas na fossa de sedimentos.	77
Figura 47 – Produção de sólidos totais, fixos e voláteis, ao longo das três amostragens realizadas na fossa de sedimentos.	78

Figura 48 – Relação entre a produção de sedimentos e a lâmina total escoada antecedente à cada amostragem realizada na fossa de sedimentos da microbacia.	78
Figura 49 – Relação entre a produção de sedimentos e o coeficiente de deflúvio superficial antecedente à cada amostragem realizada na fossa de sedimentos da microbacia.	79
Figura 50 – Relação entre a concentração de sólidos totais e a lâmina total escoada antecedente à cada amostragem realizada na fossa de sedimentos da microbacia.	80
Figura 51 – Relação entre a média das intensidades pluviométricas máximas dos eventos antecedentes à amostragem e a concentração média de sólidos em suspensão da amostragem: (a) discretização de 1 minuto; (b) discretização de 15 minutos; (c) discretização de 30 minutos; e (d) discretização de 60 minutos.	82
Figura 52 – Relação entre a intensidade pluviométrica máxima entre os eventos antecedentes à amostragem e a concentração média de sólidos em suspensão da amostragem: (a) discretização de 1 minuto; (b) discretização de 15 minutos; (c) discretização de 30 minutos; e (d) discretização de 60 minutos.	83
Figura 53 – Estágios de crescimento da cultura de milho: (a) primeira rotina de simulações; (b) segunda rotina de simulações; (c) terceira rotina de simulações; e (d) quarta e quinta rotina de simulações.	85
Figura 54 – Velocidades máximas horárias do vento entre os dias 30/11/2007 e 06/12/2007.	86
Figura 55 – Descarga média de sólidos totais, nas parcelas experimentais de erosão, ao longo das simulações de chuva.	88
Figura 56 – Fração de sólidos fixos, nas parcelas experimentais de erosão, ao longo das simulações de chuva.	90
Figura 57 – Fração de sólidos voláteis, nas parcelas experimentais de erosão, ao longo das simulações de chuva.	90
Figura 58 – Relação entre a produção de sedimentos e a lâmina total escoada referente às simulações de chuva nas parcelas experimentais de erosão.	93
Figura 59 – Relação entre a concentração de sólidos totais e a lâmina total escoada referente às simulações de chuva nas parcelas experimentais de erosão.	94
Figura 60 – Relação entre a produção de sedimentos e a intensidade pluviométrica de 60 minutos, referente às simulações de chuva nas parcelas experimentais de erosão.	95
Figura 61 – Relação entre a concentração de sólidos totais e a intensidade pluviométrica de 60 minutos, referente às simulações de chuva nas parcelas experimentais de erosão.	96
Figura 62 – Crescimento irregular da cultura de milho em uma parcela experimental de erosão.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das microbacias monitoradas na bacia experimental de Sumé, PB (CADIER <i>et al.</i> , 1983 <i>apud</i> SRINIVASAN e GALVÃO, 2003).....	15
Tabela 2 – Municípios total ou parcialmente inseridos na bacia hidrográfica do rio Ipanema (SEMARHN, 2005).....	20
Tabela 3 – Composição granulométrica do solo da região de estudo (BRASIL, 2005c).	30
Tabela 4 – Configuração utilizada para operação do simulador de chuva nas parcelas experimentais de erosão.....	45
Tabela 5 – Eventos pluviométricos erosivos registrados no pluviógrafo da microbacia entre os dias 22/06/2007 e 25/10/2008 e sua respectiva padronização pluviométrica.	52
Tabela 6 – Distribuição percentual mensal dos eventos pluviométricos erosivos segundo os padrões pluviométricos no período de 22/06/2007 a 25/10/2008.	53
Tabela 7 – Dados linigráficos registrados na fossa de sedimentos para as amostragens realizadas...	73
Tabela 8 – Concentração média e produção de sólidos suspensos relativos às amostragens realizadas na fossa de sedimentos.	74
Tabela 9 – Intensidades média das precipitações simuladas nas parcelas experimentais de erosão...	87
Tabela 10 – Valores mínimos, máximos e médios de descarga de sólidos totais, encontrados ao longo das quatro simulações de chuva, nas parcelas experimentais de erosão.....	88
Tabela 11 – Produção de sedimentos e lâmina total escoada referente a cada simulação de chuva realizada nas parcelas experimentais de erosão.....	91

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS	6
3.2 HIDROSEDIMENTOLOGIA DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO	8
3.3 A IMPLANTAÇÃO DE BACIAS EXPERIMENTAIS NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO.....	10
3.4 ESTUDOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS EM BACIAS EXPERIMENTAIS.....	14
3.5 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA	19
3.6 SANTANA DO IPANEMA NO CONTEXTO DO SEMI-ÁRIDO ALAGOANO	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 MONITORAMENTO DOS PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS	28
4.2 MONITORAMENTO DOS PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS NA MICROBACIA.....	31
4.2.1 <i>Seleção e caracterização física da microbacia</i>	31
4.2.2 <i>Construção e instalação dos aparatos experimentais</i>	33
4.2.3 <i>Monitoramento dos processos hidrossedimentológicos e operação do aparato experimental</i>	37
4.2.4 <i>Análise laboratorial de sedimentos em suspensão</i>	40
4.3 MONITORAMENTO DOS PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS NAS PARCELAS DE EROÇÃO.....	42
4.3.1 <i>Definição e caracterização física da região de instalação das parcelas de erosão</i>	42
4.3.2 <i>Construção e instalação dos aparatos experimentais</i>	42
4.3.3 <i>Operação dos aparatos experimentais e análise laboratorial de sedimentos em suspensão</i>	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1 PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS NA MICROBACIA	49
5.1.1 <i>Monitoramento pluviométrico</i>	49
5.1.2 <i>Monitoramento hidrossedimentológico</i>	55
5.1.3 <i>Produção de sedimentos</i>	73
5.2 PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS DE EROÇÃO	84
5.2.1 <i>Monitoramento hidrossedimentológico</i>	84
5.2.2 <i>Produção de sedimentos</i>	87
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

1. INTRODUÇÃO

A atual gestão dos recursos hídricos no semi-árido brasileiro é carente em informações acerca de métodos que busquem a otimização do uso de suas águas, sendo estas de fundamental importância tendo em vista o grave panorama vivenciado em relação à disponibilidade hídrica.

Essa região corresponde a 11,39% da área total do país, ou seja, 969.589,4 km² (BRASIL, 2005a). Estão parcialmente inseridos nesta região os estados da federação: Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. A Figura 1 apresenta a delimitação do semi-árido brasileiro.



Figura 1 – Delimitação do semi-árido brasileiro (BRASIL, 2005a).

A região é caracterizada pelo baixo desenvolvimento sócio-econômico principalmente devido à inconstante disponibilidade de água. Assim, a população é impulsionada a se deslocar para os grandes centros urbanos em busca de melhores condições de vida.

SILVA *et al.* (2003) classificam como condicionantes do bom ou do mau estado de conservação dos recursos naturais as limitações de ordem física (solos, topografia, chuvas, secas e ventos), de ordem econômica (juros altos, prazos curtos, financiamento viciosos, arrendamentos por períodos breves e maus salários) e de ordem social (estado de educação da população, relações entre homem e terra, densidade demográfica, uso e posse da terra). A associação de alguns destes fatores tem atribuído a região semi-árida um preocupante estado de degradação ambiental.

A alta variabilidade temporal das precipitações em adição à ocorrência de solos rasos impossibilita o armazenamento subterrâneo de água em quantidade satisfatória e confere à região semi-árida características de intermitência dos rios e uma situação de escassez hídrica (MEDEIROS e VIEIRA, 2006). Segundo CIDREIRA *et al.* (2006), as chuvas dessa região são concentradas em uma única estação, com cerca de 90% dos totais anuais acontecendo em seis meses e uma variação em torno de 30% dos totais pluviométricos anuais.

Outra característica intrínseca da pluviometria do semi-árido é a alta intensidade com que a chuva atinge o solo, acarretando um processo acentuado de erosão. Os processos erosivos do semi-árido são majorados devido a uma parcela considerável de solo com pouca ou nenhuma cobertura vegetal. A erosão nessa região interfere diretamente no dia-a-dia da população local, pois o arraste de partículas do solo contribui para diminuição de sua camada mais fértil, utilizada na agricultura. Para suprir a deficiência de nutrientes no solo, e com o intuito de aumentar a produção agrícola, é cada vez mais comum a utilização de fertilizantes.

Para atenuar a deficiência encontrada no regime de chuvas do semi-árido é comum na região a utilização de açudes, que são construídos com o objetivo de armazenar a água precipitada nos períodos chuvosos, na tentativa de suprir as necessidades durante os períodos secos. SUASSUNA (2002) estimou em 70.000 o número de açudes no semi-árido nordestino.

A capacidade de acumulação de água dos açudes é afetada diretamente pelos processos hidrossedimentológicos. A deposição acentuada de sedimentos pode levar, inclusive, ao assoreamento total do açude. Qualitativamente, os sedimentos, devido às suas propriedades de absorver e transportar poluentes, podem comprometer a salubridade da água armazenada, podendo inclusive induzir ao estado de eutrofização do corpo d'água. A situação se agrava nas regiões onde são utilizados compostos químicos nas atividades agrícolas.

Associadas aos problemas supracitados estão as elevadas taxas de evapotranspiração. Trabalhos nessa área estimam que os pequenos e médios açudes perdem cerca de 40% da água acumulada através desse fenômeno (SUASSUNA, 2002). MOLLE (1989 *apud* FONTES *et al.*, 2003), em análise realizada com base em informações de 11 postos distribuídos no semi-árido, onde a evaporação foi medida em tanques classe A, encontrou valores anuais variando entre 2.700 e 3.300 mm, sendo que os valores mais elevados ocorreram entre os meses de outubro e dezembro e os mínimos entre abril e junho.

Em Alagoas, 38 municípios se inserem na região semi-árida, totalizando 45,6% da área do Estado (BRASIL, 2005a). Na região estão incluídas algumas das cidades mais importantes do Estado, como Arapiraca, Palmeira dos Índios, Delmiro Gouveia e Santana do Ipanema.

Durante o II Workshop em Recursos Hídricos do Nordeste, realizado em junho de 2001 na cidade de Recife, Pernambuco, um grupo de pesquisadores de universidades do Nordeste decidiu pela realização de pesquisas e estudos hidrológicos em bacias experimentais localizadas em diversos estados do Nordeste, sendo formada então a Rede de Hidrologia do Semi-Árido (REHISA).

Em 2005, foi realizado pela REHISA o I Encontro Nacional de Bacias Hidrográficas, ocorrido na cidade de Praia do Forte, Bahia, que marcou a primeira participação da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) nas reuniões da rede, tendo início assim, as atividades de discussão da formação de uma bacia experimental no rio Ipanema. A bacia hidrográfica do rio Ipanema foi indicada por já estar sendo estudada, em trechos a montante, no estado de Pernambuco, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), o que possibilitaria uma maior consistência futura no estudo de efeitos de escala hidrológica.

Neste contexto, o trabalho apresenta a instrumentação de uma bacia experimental no semi-árido alagoano, com ênfase no monitoramento dos processos hidrossedimentológicos da região. Esta dissertação de mestrado se insere no contexto do projeto Bacias Experimentais e Representativas da Rede de Hidrologia do Semi-Árido (BEER/REHISA/UFAL), tendo como objeto de estudo a bacia do Riacho Gravatá, afluente do Rio Ipanema, no Estado de Alagoas. Os projetos BEER/REHISA contam com financiamento da FINEP através do edital MCT/FINEP/CT-HIDRO – Bacias Representativas – 04/2005.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Dentro do contexto da REHISA, que tem como finalidade o desenvolvimento de pesquisas em rede para estudo dos processos hidrológicos em escala de bacias experimentais e representativas na região semi-árida, este trabalho de mestrado tem como objetivo geral quantificar a produção de sedimentos em duas diferentes escalas de unidades experimentais: parcelas e microbacia, pertencentes à Bacia Hidrográfica do riacho Gravatá, através do monitoramento dos processos hidrossedimentológicos.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Definir e caracterizar áreas para instalação de unidades experimentais em diferentes escalas a fim de estabelecer o estudo hidrossedimentológico;
- Instrumentar as parcelas e microbacia selecionadas e iniciar a operação dos equipamentos necessários ao acompanhamento e avaliação dos processos hidrossedimentológicos;
- Avaliar as taxas erosivas produzidas nas parcelas e microbacia e discutir questões referentes à influência da cobertura vegetal na produção de sedimentos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados tópicos necessários à obtenção da base teórica para realização do estudo hidrossedimentológico. No início, tratam-se sobre os processos hidrossedimentológicos: os tipos, a abrangência e as características dos processos erosivos, os transtornos ambientais ocasionados e a importância da cobertura vegetal. Na seqüência são apresentados aspectos relativos à hidrossedimentologia do semi-árido brasileiro, onde são enfocadas as características do solo e da vegetação nativa, além das características hidroclimatológicas da região e as suas relações com os processos hidrossedimentológicos. Com relação à implantação das bacias experimentais no semi-árido nordestino, são abordados pontos referentes aos objetivos da implantação e à importância dos estudos. Em seguida, tratam-se dos estudos hidrossedimentológicos em bacias experimentais, onde são abordados o desenvolvimento e os resultados obtidos em pesquisas já realizadas. Por fim, são apresentados aspectos peculiares à Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema e ao município de Santana do Ipanema.

3.1 Processos Hidrossedimentológicos

Os processos hidrossedimentológicos são muito complexos, abrangendo erosão, deslocamento das partículas por enxurradas ou outros meios até os rios, transporte do sedimento nos cursos d'água, deposição do sedimento na calha dos rios, lagos e reservatórios e sua compactação (CARVALHO, 1994).

Ainda segundo CARVALHO (1994), a erosão, o transporte de sedimentos e a sedimentação, estão entre os processos naturais que mais degradam o meio ambiente. Esses processos são responsáveis por diversos transtornos ambientais, como por exemplo: destruição das nascentes dos rios; redução da penetração de luz e calor nos corpos d'água, reduzindo a atividade da fotossíntese necessária à salubridade dos ecossistemas; transporte de poluentes; e assoreamento de rios, lagos e reservatórios.

O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde as

intensidades são bem mais elevadas do que em outras regiões do planeta (LOPES, 2003).

Vários estudos têm relacionado o efeito da energia cinética das gotas de chuva e sua intensidade com os processos de destacamento e desagregação do solo. Conseqüentemente, o conhecimento dessa relação em nível local e regional constitui um fator importante na previsão da produção de sedimentos, devido a sua relação com as especificidades do padrão de ocorrência da precipitação em uma determinada região (MOREIRA *et al.*, 2006).

Ainda segundo MOREIRA *et al.* (2006), durante a ocorrência do evento chuvoso, o escoamento superficial e o impacto das gotas de chuva são os principais agentes responsáveis pelo processo erosivo. Uma vez estabelecida a formação de uma lâmina superficial, o escoamento na superfície do terreno é governado pela ação gravitacional. Em contrapartida, as forças de resistência estão relacionadas com as características do escoamento e rugosidade da superfície do terreno, cujas irregularidades podem ser associadas à presença de plantas, pedras, entre outros.

NOLLA (1982) afirma que a gota de chuva, devido a sua energia cinética, causa um impacto no solo compactando o mesmo, e ao mesmo tempo, faz saltar as partículas do solo que se desagregaram. Estas partículas, ao voltarem à superfície do solo, encontram uma película de água, a qual começa a transportar as mesmas, sendo este processo denominado erosão laminar. Ainda segundo NOLLA (1982), a erosão laminar origina-se a partir do impacto da gota de chuva, sendo este responsável por 95% do problema erosivo. Somente 5% deste problema são causados pela lâmina escoada.

A quantidade de solo carregado pelo escoamento superficial, resultante de precipitações, está fortemente associada à ocupação da terra e ao estado de conservação do solo. As modalidades de erosão, na bacia hidrográfica, podem ser agravadas pela influência do homem através dos desmatamentos desordenados, construções em geral, mineração descontrolada e atividades agrícolas inadequadas. Como resultados têm-se os efeitos patológicos ao meio ambiente que vão desde a alteração da qualidade da água dos rios às enchentes provocadas pelo assoreamento dos canais da rede de drenagem. Verificam-se ainda reduções do volume de armazenamento de água nos reservatórios pelo acúmulo de sedimentos, gerando inúmeros outros impactos ambientais e econômicos (COIADO e SIVIERO, 2007).

A proteção exercida pela vegetação em uma superfície provoca o abrandamento do impacto da chuva no solo, bem como o enfraquecimento do escoamento superficial devido principalmente, à resistência imposta pelos obstáculos naturais. As raízes das plantas oferecem ainda, sustentação mecânica ao solo, além de propiciar o surgimento de canais internos ao mesmo, atenuando assim, os processos erosivos (SANGOI *et al.*, 2007).

As conseqüências indesejáveis da erosão incluem desestabilização, movimentos de massa nas encostas e perda gradual de fertilidade dos solos, esta última trazendo prejuízos diretos às atividades agrícolas (FARIAS *et al.*, 2007).

As perdas por erosão hídrica tendem a elevar os custos de produção agrícola, aumentando a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes e reduzindo o rendimento operacional das máquinas agrícolas (SANTOS, 2006).

Segundo FARIAS *et al.* (2007) o excesso de sedimentos transportado na água causa impactos negativos em sua qualidade, aumentando a turbulência e o transporte de poluentes, reduzindo a zona fótica e, conseqüentemente, a produção primária de oxigênio. Também impacta quantitativamente a água, devido principalmente à deposição, podendo ocasionar inclusive o assoreamento total de rios e de reservatórios.

SINGH *et al.* (2008) afirmam que pesquisa em produção de sedimentos é fundamental para o planejamento de diversos processos de conservação do solo e da água. Entender o comportamento da produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica é a ferramenta mais importante no combate a processos erosivos, sendo esta uma tarefa de difícil compreensão porque resulta de uma complexa interação entre vários processos hidrogeológicos.

3.2 Hidrossedimentologia do Semi-Árido Brasileiro

A região do semi-árido brasileiro engloba grande parte da região nordeste do país, caracterizando-se por solos rasos que não armazenam as águas das chuvas e ressecam facilmente nos períodos de estiagem. Os mananciais subterrâneos são geralmente de alta salinidade. O clima é tropical quente com temperatura média anual em torno de 28 °C. Devido à intensa insolação, os índices de evapotranspiração médios são elevados, em torno de 3000 mm/ano (CAMPOS, 2007).

O clima semi-árido é caracterizado pela insuficiência de precipitações, com extrema irregularidade quanto à sua distribuição temporal, concentradas em uma estação de 3 a 5 meses de duração e uma variação em torno de 30% dos totais pluviométricos anuais, chegando a 50% em pontos mais críticos (IICA, 2007).

O escoamento superficial, na região semi-árida, exerce papel de fundamental importância nos processos erosivos, uma vez que o excesso da chuva que escoam superficialmente está associado à ocorrência de altas intensidades de precipitação que caracterizam essa região (MOREIRA *et al.*, 2006).

Segundo BOER e PUIGDEFÁBREGAS (2005), geralmente a geração do deflúvio superficial no ambiente semi-árido é resultante de uma interação entre o excesso da precipitação e os mecanismos de saturação do solo. A dinâmica da vegetação natural durante a estação chuvosa tem um efeito importante na infiltração e na interceptação. Em adição, o substrato orgânico acumulado na superfície do solo o protege do impacto das gotas de chuva e aumenta a capacidade de retenção de água.

CAMPOS (2007) afirma que a cobertura vegetal predominante da região é a caatinga, em sua maioria de pequeno porte, o que favorece a erosão dos solos. O semi-árido sofre um processo de desmatamento há vários séculos para substituição da vegetação nativa por agricultura ou pecuária e também para seu uso como combustível ou produção de carvão.

Segundo ONDA *et al.* (2007), em regiões semi-áridas, os solos têm baixo teor orgânico e grande percentual de silte, o que resulta em alta susceptibilidade à erosão. Dessa forma, a erosão acelerada em áreas cultivadas do semi-árido pode conduzir a um processo de desertificação, que é uma questão-chave no que diz respeito ao ambiente global.

A degradação do solo nas regiões semi-áridas pode trazer conseqüências sócio-econômicas e culturais danosas para as populações que habitam nessa área. A principal delas é a modificação dos solos, uma vez que a erosão da camada superficial do solo, rica em nutrientes, deixa exposta a camada inferior, que em geral apresenta solos menos estruturados e com pouca matéria orgânica, gerando solos inapropriados para a agricultura, principal atividade de subsistência da região (SILVA *et al.*, 2007a).

FONTES *et al.* (2003) alertaram para o fato de que, aliado a característica regional de deficiência hídrica, deve-se observar que a variabilidade temporal das

vazões agrava esse cenário. Desse modo, para garantir o atendimento das demandas de água nos períodos de seca, aproveitando-se a água excedente dos meses úmidos, se faz necessária a construção de reservatórios.

CAMPOS (2007) afirmou que, desde o final do segundo império, o poder público vem dotando a região de reservatórios a fim de compensar o déficit hídrico existente nesta zona.

A capacidade de acumulação de água dos açudes é afetada diretamente pelos processos hidrossedimentológicos. A deposição acentuada de sedimentos pode levar inclusive ao assoreamento total do açude. Qualitativamente, o sedimento, devido às suas propriedades de absorver e transportar poluentes, pode comprometer a salubridade da água armazenada, podendo inclusive induzir ao estado de eutrofização do corpo d'água. A situação se agrava em regiões como o semi-árido, onde são utilizados compostos químicos nas atividades agrícolas.

Conhecer o funcionamento dos processos hidrossedimentológicos na região semi-árida constitui um importante instrumento para fornecer indicações de um manejo otimizado dos recursos naturais de uma determinada região.

Nesse contexto, e com base em dados de redução do volume armazenado e de contaminação provenientes do aporte de sedimentos em reservatórios, alerta-se para a necessidade de se contemplar os processos hidrossedimentológicos na gestão de recursos hídricos no Brasil, especialmente na região semi-árida, onde grande parcela da oferta hídrica se dá a partir do armazenamento em reservatórios superficiais (MEDEIROS e VIEIRA, 2006).

3.3 A Implantação de Bacias Experimentais no Semi-Árido Nordeste

Para efetivação de estudos hidrossedimentológicos na esfera de uma bacia hidrográfica, existe a necessidade de um meticuloso monitoramento das diversas variáveis envolvidas no processo. Desta forma, para as atuais condições econômicas brasileiras, tal monitoramento se torna inviável para médias e grandes bacias, devido aos altos custos associados. Uma alternativa que vem sendo cada vez mais utilizada em todo o mundo é o estudo em bacias experimentais.

O monitoramento das variáveis hidrológicas em bacias experimentais busca analisar e compreender, em uma escala menor, o seu comportamento, e posteriormente, através de fatores de escala, buscar o entendimento de suas bacias representativas (MOURA *et al.*, 2004a). O mesmo conceito pode ser estendido para as variáveis hidrossedimentológicas.

As bacias experimentais exercem o papel de um verdadeiro laboratório em campo, onde são desenvolvidas pesquisas e geradas informações que podem ser extrapoladas, desde que com metodologias adequadas (BONUMÁ *et al.*, 2007).

Para MORAES (2007), são inúmeras as iniciativas de estudos em bacias experimentais no mundo. No Brasil, alguns dos estudos mais remotos em bacias experimentais ocorreram na década de 1970, mas os estudos nessas bacias foram paralisados e os dados acabaram sendo de uso e publicação restritos. Após essa época, observou-se uma nova iniciativa na constituição desses estudos no Brasil somente por volta do ano de 2000. A retomada dos estudos foi provocada em parte pela necessidade da implementação de técnicas otimizadas para a gestão dos recursos hídricos e em parte, devido à recente problemática envolvendo as mudanças climáticas e seus efeitos.

Ainda segundo MORAES (2007), a falta de dados hidrológicos em pequenas bacias gera incertezas que podem comprometer o gerenciamento dos recursos hídricos. Atualmente, inexistente um método confiável para a estimativa de disponibilidade hídrica na ausência de dados, o que limita a avaliação de aproveitamentos de pequenos mananciais, além de prejudicar os estudos de avaliação da qualidade das águas e os processos de outorga. Os monitoramentos em bacias experimentais representam uma rápida interação com o meio através de algumas medições locais que conduzirão a uma boa avaliação da disponibilidade hídrica através do monitoramento dos parâmetros do ciclo hidrológico.

Para RIGHETTO *et al.* (2005), a pesquisa em bacias experimentais é normalmente realizada a partir de estudos comparativos, o que implica na operacionalização de grupos de duas ou mais instituições. Elas são normalmente estabelecidas com objetivos de:

- Estudar os efeitos de mudanças antrópicas, tais como desmatamento e/ou modificação no uso do solo;

- Previsão hidrológica – as bacias experimentais configuram um excelente laboratório para validar, testar e calibrar modelos hidrológicos;
- Extensão de séries hidrológicas – da mesma forma que nas bacias representativas, as séries de dados observados em bacias experimentais são valiosos em estudos de regionalização;
- Treinamento de técnicos e estudantes – a instrumentação detalhada das bacias experimentais constitui uma oportunidade para familiarização e treinamento para operação de equipamentos de monitoramento hidrológico e climatológico.
- Pesquisa básica – estudos detalhados de processos físicos, químicos e/ou biológicos dentro do ciclo hidrológico.

SRINIVASAN e GALVÃO (2003) afirmaram que a necessidade de estudos hidrológicos de longo prazo em ambientes específicos, como o semi-árido, é um consenso na comunidade científica e na engenharia hidrológica. Entretanto, são raros tais estudos, devido aos altos investimentos em infra-estrutura e recursos financeiros e humanos necessários ao trabalho de campo.

Para LOPES e CANFIELD (2004), em regiões semi-áridas, onde os recursos hídricos são escassos, o maior conhecimento das disponibilidades destes recursos é necessário para o desenvolvimento sócio-econômico. Este conhecimento adicional poderá ser obtido através da aquisição de dados hidrossedimentológicos ou através da estimativa destes com o emprego de modelos hidrossedimentológicos, sendo estes ferramentas propícias para serem aplicadas nesta região. Entretanto, os modelos só fornecerão uma resposta confiável se existirem dados confiáveis para a sua parametrização. Além disso, dada a maneira como os modelos são concebidos, os parâmetros variam com a escala da bacia, com o tempo e com a forma da representação da bacia para o modelo.

A pesquisa hidrológica no Nordeste teve grande impulso com a implementação e investigação de bacias experimentais e representativas feitas pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e por alguns grupos de pesquisa de universidades, com destaque às bacias de Sumé, na Paraíba, e Tauá no Ceará. No entanto, a divulgação sistematizada dos resultados e a avaliação da necessidade de novas investigações pela comunidade científica não aconteceram de maneira

organizada, resultando na desmotivação, desinteresse, falta de recursos e paralisação total ou parcial dessa importante atividade de pesquisa para a engenharia de recursos hídricos (RIGHETTO *et al.*, 2005).

Atualmente, estão sendo realizados diversos estudos em bacias experimentais na região do semi-árido nordestino, os quais são coordenados por pesquisadores de universidades do Nordeste pertencentes à REHISA. Como exemplos de bacias experimentais em operação no semi-árido nordestino podem ser citadas a Bacia Experimental do Rio do Cedro, na Bahia (FONTES *et al.*, 2004), a Bacia Experimental de Serra Negra do Norte, no Rio Grande do Norte (RIGHETTO *et al.*, 2005), a Bacia Experimental do Rio Guaraíra, na Paraíba (MOURA *et al.*, 2004b), e a Bacia Experimental do Riacho Jatobá, em Pernambuco (MONTENEGRO *et al.*, 2004).

SANTOS *et al.* (2007) afirmaram que embora a região semi-árida possua características gerais semelhantes, cada sub-região possui suas especificidades como, por exemplo, a média de precipitação anual, a distribuição pluviométrica, o tipo de vegetação, o tipo de solo e o relevo, que variam de local para local. A depender dessas características, um local pode ser mais ou menos susceptível à erosão, exigindo, nos casos mais graves, uma preocupação e um controle maior com os processos erosivos para que não haja a inviabilização de propriedades rurais, tanto para agricultura quanto para pastagem, e, ainda, o assoreamento dos córregos, que não permitem o desenvolvimento sustentável da região (SANTOS *et al.*, 2002). Essa diversidade de sistemas observados na região semi-árida justifica o grande número de estudos realizados.

O conhecimento sistemático e coerente surge através de pesquisas científicas. Para tanto, é necessária uma base de dados de informações hidrológicas observadas. A implantação de bacias experimentais e representativas é uma maneira de catalisar a geração de informações e induzir o avanço da hidrologia do semi-árido brasileiro (RIGHETTO *et al.*, 2005).

Para RIGHETTO *et al.* (2004), levantamentos ordenados e minuciosos a serem realizados pelas equipes de pesquisadores da Rede de Hidrologia do Semi-Árido (REHISA) permitirão atualizar o conhecimento da hidrologia do semi-árido brasileiro, principalmente de trabalhos já desenvolvidos em bacias experimentais e instrumentadas por órgãos públicos e universidades.

Ainda segundo RIGHETTO *et al.* (2004), a análise crítica desses estudos dará embasamento aos trabalhos a serem intensificados nas bacias experimentais, no sentido de se conseguir de maneira planejada os avanços concretos dos conhecimentos hidrológicos do semi-árido nordestino.

3.4 Estudos Hidrossedimentológicos em Bacias Experimentais

Os estudos hidrossedimentológicos em bacias experimentais visam quantificar a influência dos diferentes usos e coberturas do solo na erosão, no transporte de sólidos em suspensão e na sedimentação.

Segundo SILVA *et al.* (2007a), desde 1981, os estudos hidrológicos em campo vêm sendo conduzidos com o objetivo de analisar a influência da vegetação e do manejo do solo nos processos de geração de escoamento e da erosão na região semi-árida paraibana. A análise das interações envolvendo precipitação, vegetação e mecanismos de erosão tem importância crucial em ambientes com aumento de demanda e forte vulnerabilidade do solo à erosão e degradação do solo.

Segundo SOUSA e FIGUEIREDO (2007), o escoamento superficial e a erosão do solo são processos complexos, sendo o primeiro de mais fácil monitoramento, seja em pequenas ou em grandes escalas, enquanto que a erosão do solo é geralmente estudada em escalas experimentais (parcelas e microbacias).

As estimativas da produção de sedimentos em bacias hidrográficas sem dados de erosão podem ser determinadas através de aplicação de modelos hidrossedimentológicos e técnicas de simulação de chuvas em parcelas de erosão. Esses métodos são amplamente usados para suprir a falta de dados pluviométricos e avaliar a influência de sua intensidade e duração na erosão dos solos (SANTOS *et al.*, 2007).

Diversos são os estudos que vêm sendo realizados em microbacias e parcelas experimentais de erosão. Na Bacia Experimental de Sumé, na Paraíba, a qual foi operada entre os anos de 1982 e 1996, foram monitoradas nove parcelas experimentais de erosão, com 100 m² de área, operadas sob chuva natural. Adicionalmente, foram operadas diversas microparcels experimentais de erosão, com área de 1 m², sob chuva simulada (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003).

Segundo SRINIVASAN e GALVÃO (2003), a cultura de milho com plantio morro abaixo, foi estudada no ano de 1989 em uma das parcelas experimentais, a qual possuía declividade de 4%. Em um comparativo com os resultados obtidos, no mesmo período, para a parcela experimental desmatada, também instalada na Bacia Experimental de Sumé, e com declividade de 3,8%, registrou-se um abrandamento de aproximadamente 18% na produção média de sedimentos. No que se refere à lâmina escoada, a parcela experimental com plantio de milho morro abaixo apresentou valor médio 6% inferior ao observado na parcela com solo exposto.

SANTOS *et al.* (2000) estudaram a influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão através dos dados obtidos nas nove parcelas experimentais de erosão da Bacia Experimental de Sumé. Neste estudo, pôde-se observar a influência da declividade nos processos erosivos, sendo observado que áreas com maior declividade apresentaram maior potencial para produção de sedimentos. Os melhores resultados referentes à proteção do solo se deram nas parcelas experimentais com vegetação nativa. Além disso, ocorreu diminuição significativa na produção de sedimentos nas parcelas experimentais com solo protegido por cobertura morta. Entretanto, alguns tipos de cobertura vegetal não demonstraram eficiência na proteção do solo contra a erosão, como por exemplo, a palma plantada morro abaixo, pois os índices erosivos encontrados estiveram próximos aos da condição de solo exposto. Ainda segundo SANTOS *et al.* (2000), a prática de plantio morro abaixo se mostrou danosa e ineficiente com relação a proteção do solo.

Além das nove parcelas experimentais de erosão, quatro microbacias foram monitoradas na Bacia Experimental de Sumé (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003). A Tabela 1 apresenta as características das microbacias monitoradas.

Tabela 1 – Características das microbacias monitoradas na Bacia Experimental de Sumé, PB (CADIÉ *et al.*, 1983 *apud* SRINIVASAN e GALVÃO, 2003).

Microbacia	Área (ha)	Declividade Média (%)	Cobertura Vegetal
01	0,62	7,0	Caatinga Nativa
02	1,07	6,1	Caatinga Nativa
03	0,52	7,1	Desmatada
04	0,48	6,8	Desmatada

Os resultados encontrados nas microbacias desmatadas indicam um aumento expressivo na produção de sedimentos, quando comparados com os encontrados para as áreas com vegetação nativa.

FIGUEIREDO (1998) realizou um estudo sobre o efeito de escala na produção de sedimentos, a partir dos dados obtidos nas nove parcelas experimentais de erosão e nas quatro microbacias da Bacia Experimental de Sumé, além de dados de sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé. Segundo o estudo, a produção de sedimentos diminuiu com o aumento da área da bacia hidrográfica.

Atualmente, a equipe paraibana de pesquisadores desenvolve estudos semelhantes na Bacia Experimental de São João do Cariri.

SILVA *et al.* (2007b) e SANTOS (2006) realizaram, em Pernambuco, estudos em parcelas experimentais de erosão com 3 m² de área, operadas sob chuva simulada, sendo a intensidade média de precipitação de 60 mm/h. No estudo, foram ensaiados experimentos utilizando a cultura de feijão em seu estágio máximo de crescimento, a vegetação nativa e o solo desmatado. Para a cultura de feijão, foram ensaiados experimentos com o cultivo tradicional, em nível e morro abaixo, e com o cultivo utilizando uma proteção adicional de cobertura morta.

Os estudos realizados por SILVA *et al.* (2007b) e SANTOS (2006) indicaram decréscimo na produção de sedimentos em função do uso de técnicas de conservação do solo. As menores taxas erosivas foram obtidas nos ensaios experimentais utilizando vegetação nativa, corroborando com os resultados obtidos por SANTOS (2000), enquanto que os maiores índices foram encontrados para o solo desmatado, ou seja, sem proteção vegetal.

CARVALHO *et al.* (2009), em um estudo realizado no estado do Rio de Janeiro, avaliaram as relações entre a erosividade das chuvas e os padrões da precipitação com as perdas por erosão, para diferentes tipos de preparo do solo. O experimento foi conduzido utilizando-se parcelas experimentais de erosão com dimensões de 3,5 m por 22,0 m. A cultura de milho foi estudada em duas parcelas experimentais, sendo uma utilizando a prática conservacionista de plantio em nível e outra com plantio morro abaixo. Foram realizados, também, estudos em uma parcela experimental com solo exposto. Todas as parcelas experimentais foram submetidas aos mesmos eventos pluviométricos.

Segundo CARVALHO *et al.* (2009), ao final dos ensaios experimentais, a produção de sedimentos, para a cultura de milho morro abaixo apresentou acréscimo de mais de 200% em relação à produção de sedimentos para o milho cultivado em nível. A lâmina escoada foi 40% superior a registrada no plantio em nível. No entanto, a parcela experimental com solo exposto apresentou valores menores, tanto para produção de sedimentos como para lâmina escoada, em relação à parcela experimental com plantio de milho morro abaixo.

No Rio Grande do Norte, SILVA *et al.* (2007a) e MOREIRA *et al.* (2006) monitoraram processos hidrossedimentológicos em uma parcela experimental de erosão com 250 m² de área, operada sob chuva natural. O estudo permitiu correlacionar o processo erosivo com as características das precipitações, como a intensidade máxima da chuva.

Os resultados obtidos nos estudos realizados em bacias experimentais apontam que as áreas com solo protegido pela vegetação nativa apresentam menor potencial para produção de sedimentos (SANTOS *et al.*, 2000; SANTOS, 2006; SRINIVASAN e GALVÃO, 2003). Em contrapartida, os maiores índices erosivos foram encontrados em cultivos agrícolas com emprego de plantio morro abaixo (CARVALHO *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2000; SANTOS, 2006). Algumas culturas inclusive se mostraram ineficientes, com relação à proteção do solo, quando plantadas morro abaixo, como é o caso da palma, muito comum na região do semi-árido nordestino (CARVALHO *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2000). A adoção de práticas conservacionistas, como o plantio em nível e a proteção do solo com cobertura morta, apresentaram abrandamento na produção de sedimentos (CARVALHO *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2000; SANTOS, 2006). BERTONI e LOMBARDI NETO (2005) alertam para o fato de que a eficiência da proteção do solo é majorada a partir da utilização de práticas conservacionistas associadas.

Segundo ARAGÃO *et al.* (2006), para que a transferência de informações em diferentes escalas produza resultados compatíveis com a realidade, faz-se necessário o conhecimento de como as variáveis monitoradas bem como os parâmetros dos modelos se comportam com a escala. É necessária uma exploração exaustiva tanto da produção de escoamento superficial e sedimentos, quanto da parametrização, de fundamental

importância na modelagem hidrossedimentológica, para que os estudos de efeito de escala sejam realizados com sucesso.

Quanto maior a área de uma bacia, maior será a heterogeneidade de suas características físicas, como clima, solo e suas condições de estado e uso, além da ocupação do terreno, relevo, e alterações antrópicas sazonais, acentuados ainda mais, dependendo da utilização dos recursos naturais existentes na bacia, influenciando diretamente nos valores dos parâmetros e, conseqüentemente, nos processos hidrológicos (CERDAN *et al.*, 2004).

LOPES (2003) afirma que poucos estudos sobre efeito de escala na modelagem do escoamento superficial e erosão do solo têm sido realizados na região Nordeste. Os estudos dos efeitos de escala são de grande relevância devido ao fato que, geralmente, os modelos hidrológicos, juntamente com seus parâmetros, são utilizados na simulação do escoamento superficial e da erosão do solo de uma maneira global, tanto para bacias hidrográficas pequenas quanto para bacias hidrográficas médias. Em bacias maiores, os processos hidrológicos são afetados tanto pelas variações dentro da bacia (clima, solo, vegetação, relevo, hidrografia), quanto pela não-linearidade dos processos.

ARAGÃO *et al.* (2006), em um estudo sobre o comportamento hidrossedimentológico em bacias de diferentes dimensões no semi-árido nordestino, observaram que tomando como base o valor médio das variáveis estudadas, observa-se que a lâmina escoada decresce com o aumento da escala, sendo este comportamento seguido pela produção de sedimentos.

Ainda segundo ARAGÃO *et al.* (2006), diversos trabalhos anteriores já demonstravam esta tendência para grandes bacias, visto que nestes casos a heterogeneidade aumenta com a escala, ocorrendo depósitos dos sedimentos erodidos ao longo da propagação do fluxo, como também da infiltração para a lâmina escoada.

SANTOS *et al.* (2006) concluíram que o efeito de escala é um fator muito importante no estudo dos parâmetros físicos do solo, e que estudos aprofundados devem ser feitos com este enfoque, para que seja possível a obtenção de valores mais exatos e por conseqüência a aplicação dos resultados para as áreas hidrologicamente semelhantes.

3.5 Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema

A bacia hidrográfica do rio Ipanema está situada na porção oeste dos Estados de Alagoas e Pernambuco, fazendo parte da área contribuinte do rio São Francisco (Figura 2). A bacia está compreendida entre as coordenadas extremas 8°18' e 9°52' de latitude sul, e 36°37' e 37°28' de longitude oeste. Possui uma área total de 8.800 km², abrangendo trinta e quatro municípios, sendo 18 em Alagoas e 16 em Pernambuco (SEMARHN, 2005). A Tabela 2 apresenta os municípios inseridos total ou parcialmente na bacia. Ainda segundo SEMARHN (2005), somados, esses municípios perfazem um total de 754 mil habitantes, representando mais de 10% da população de Pernambuco e 29% da população de Alagoas.

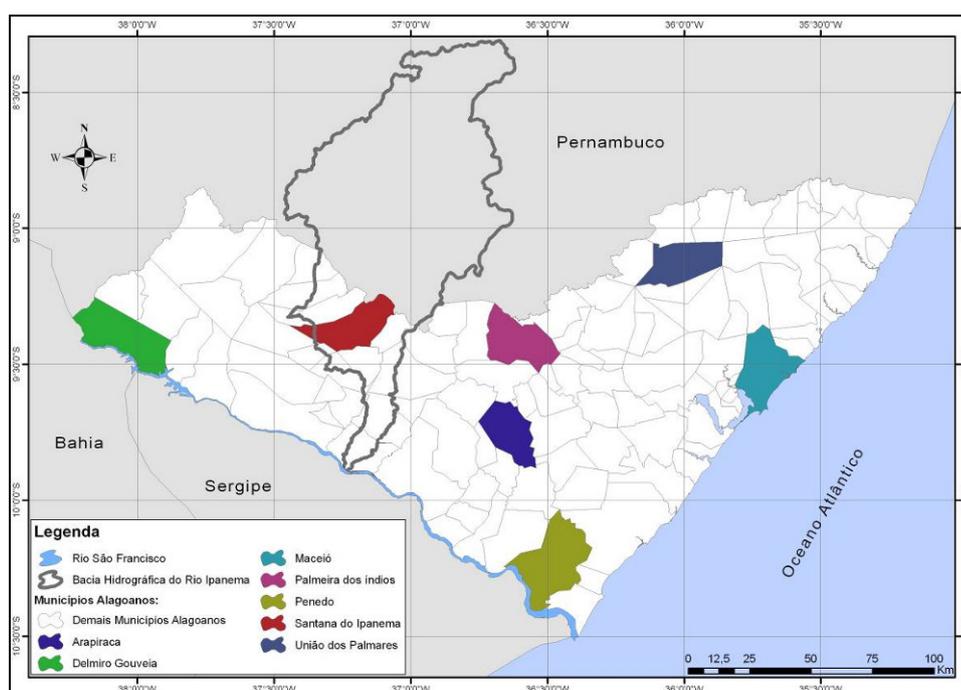


Figura 2 – Delimitação da bacia hidrográfica do rio Ipanema.

Trata-se de uma área caracterizada pelo baixo nível pluviométrico e pela sua inconstância ao longo de todo o ano, típico de regiões semi-áridas, com uma estação seca e outra chuvosa, bem definidas. O trimestre mais chuvoso na área em estudo ocorre em cinco períodos distintos: na sua porção sul ocorre entre setembro e novembro; na sua porção central, entre abril e junho; e na porção norte em três períodos distintos,

entre fevereiro e abril, entre março e maio, e entre maio e julho. Os meses menos chuvosos concentram-se predominantemente no verão, principalmente nos meses de setembro e novembro, em praticamente toda a bacia (SEMARHN, 2005).

Tabela 2 – Municípios total ou parcialmente inseridos na bacia hidrográfica do rio Ipanema (SEMARHN, 2005).

Municípios	Área Total	Área Incluída na Bacia	
	km ²	km ²	%
Águas Belas	905,00	905,00	100,00
Alagoinha	181,00	100,72	55,65
Arco Verde	308,00	144,60	46,95
Batalha	322,50	144,11	44,69
Belo Monte	334,80	310,95	92,88
Bom Conselho	1.050,00	345,36	32,89
Buíque	1.378,00	1020,32	74,04
Cacimbinhas	273,90	3,80	1,39
Carneiros	113,50	38,71	34,11
Dois Riachos	142,30	132,99	93,46
Garanhuns	493,00	9,48	1,92
Iati	350,00	350,00	100,00
Inajá	1.359,00	33,29	2,45
Itaíba	1.027,00	909,09	88,52
Jacaré dos Homens	142,90	142,90	100,00
Maravilha	280,90	128,28	45,67
Major Isidoro	455,80	216,21	47,43
Monteirópolis	86,40	86,40	100,00
Olho d'água das Flores	184,30	184,30	100,00
Oliveira	173,60	173,60	100,00
Ouro Branco	205,40	52,48	25,55
Palestina	49,10	49,10	100,00
Pão de Açúcar	661,80	123,81	18,71
Paranatama	228,00	172,10	75,48
Pedra	820,00	820,00	100,00
Pesqueira	961,00	458,12	47,67
Poço das Trincheiras	304,10	226,65	74,53
Saloá	338,00	319,75	94,60
Santana do Ipanema	439,60	422,34	96,07
São José da Tapera	521,80	124,65	23,89
Terezinha	213,00	43,80	20,56
Traipú	701,70	81,78	11,65
Tupanatinga	752,00	378,20	50,29
Venturosa	392,00	382,98	97,70

A precipitação média anual na área encontra-se em torno de 600 mm, variando desde níveis inferiores a 400 mm, nas porções centro-norte e extremo sul da bacia, até níveis superiores a 1.100 mm, na porção noroeste da bacia. A evaporação média anual é de aproximadamente 2.345 mm (SEMARHN, 2005).

A região apresenta um clima de temperaturas elevadas, com amplitude térmica pouco superior a 5 °C e temperaturas médias anuais sempre superiores a 18 °C. Observa-se que as maiores médias anuais ocorrem no extremo sul da bacia, onde chegam a superar os 26 °C, e as menores, no seu extremo norte, onde a média anual pode ser inferior a 21 °C (SEMARHN, 2005).

3.6 Santana do Ipanema no Contexto do Semi-Árido Alagoano

A bacia experimental foi instalada no município de Santana do Ipanema, tendo como bacia representativa a bacia hidrográfica do rio Ipanema.

O município de Santana do Ipanema está localizado na região centro-oeste do Estado de Alagoas, limitando-se ao norte com Poço das Trincheiras e o Estado de Pernambuco, ao sul com os municípios de Carneiros, Olho d'água das Flores e Olivença, ao leste com Dois Riachos e a oeste com Senador Rui Palmeira e Poço das Trincheiras. A Figura 3 apresenta a delimitação dos municípios alagoanos, com destaque para Santana do Ipanema.

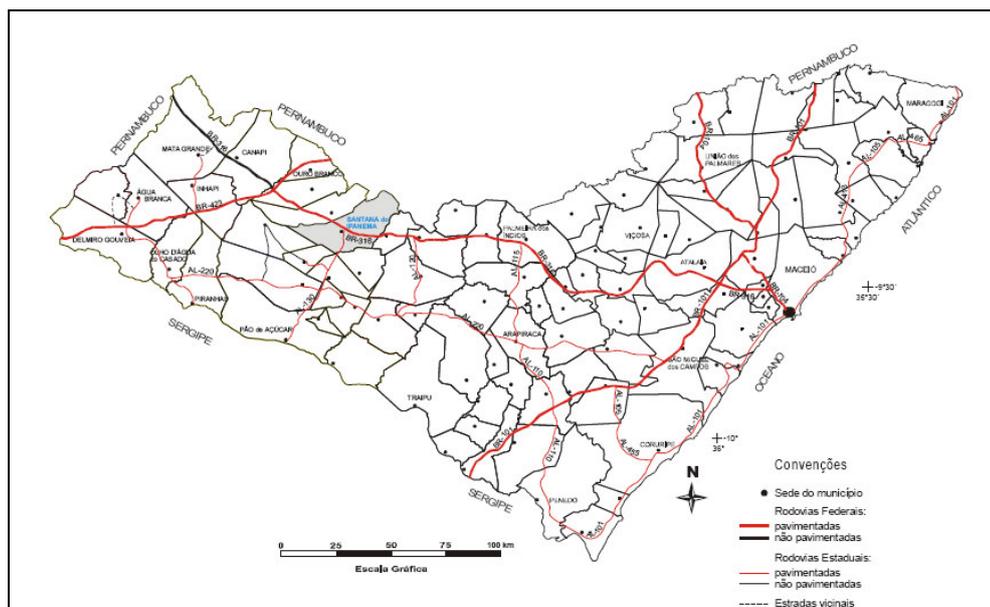


Figura 3 – Delimitação dos municípios alagoanos, com ênfase para Santana do Ipanema (BRASIL, 2005b).

A área municipal ocupa 437,8 km² (1,60% da área total do Estado), encontrando-se inserida na região do sertão alagoano e está distante 207 km da capital Maceió. A sede do município tem uma altitude aproximada de 250 m e coordenadas geográficas de 9°22'42'' de latitude sul e 37°14'43'' de longitude oeste (BRASIL, 2005b).

A Figura 4 ilustra a delimitação da porção alagoana da bacia hidrográfica do rio Ipanema e os limites municipais, com ênfase para o município de Santana do Ipanema.

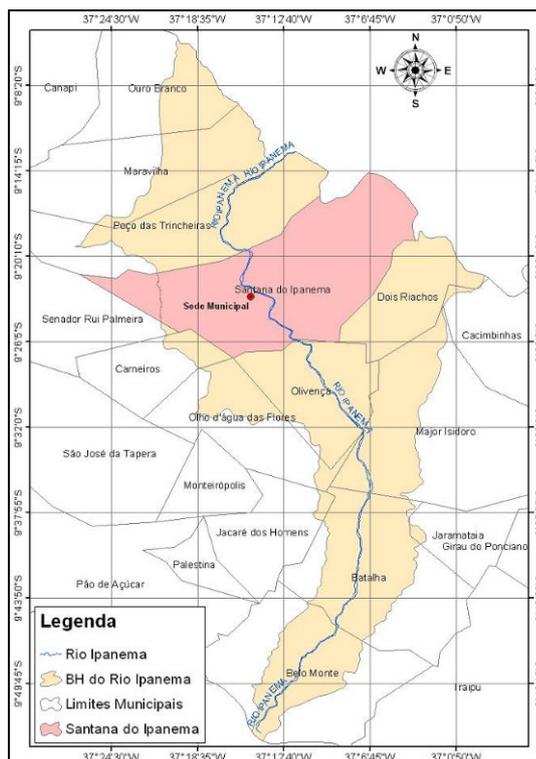


Figura 4 – Delimitação da porção alagoana da bacia hidrográfica do rio Ipanema e limites municipais, com ênfase para Santana do Ipanema.

O município conta com uma população de 42.296 habitantes, sendo 57% residentes no meio rural e 43% no meio urbano (IBGE, 2008).

Os dados pluviométricos da região (SUDENE, 1990 *apud* BRASIL, 2005c) evidenciam um período chuvoso principal com duração de quatro a cinco meses. As precipitações totais anuais variam de aproximadamente 480 mm nos anos mais secos a 1.500 mm nos anos mais chuvosos, com valores médios em torno de 800 mm. Maio, junho e julho são os três meses consecutivos mais chuvosos, e, outubro, novembro e dezembro, os três meses mais secos. As temperaturas anuais médias variam de 24 a 26 °C, sendo as mínimas entre 18 e 21 °C e as máximas entre 27 e 33 °C.

A rede hidrográfica é representada, principalmente, pelo rio Ipanema, que atravessa a parte central do território municipal, drenando suas águas no sentido norte-sul, indo desaguar no rio São Francisco. É um rio intermitente, sobretudo nos períodos mais secos, mas mantém no seu leito alguns lagos durante boa parte do ano (BRASIL, 2005c).

Segundo BRASIL (2005c), o município dispõe ainda de alguns riachos menores, açudes e poços artesianos que contribuem para o abastecimento d'água das comunidades rurais. Nos anos mais secos, a falta d'água acarreta uma forte limitação às atividades de subsistência do homem no campo. É comum na região o abastecimento de várias comunidades por meio de caminhões pipa, além da utilização de cisternas, instaladas com o intuito de armazenar a água durante os eventos chuvosos para suprir as necessidades nos períodos secos.

A população tem sofrido com problemas decorrentes da degradação dos corpos d'água, principalmente durante os meses de estiagem. É provável que o carreamento de sedimentos seja um dos principais responsáveis por essa contaminação. A Figura 5 apresenta um pequeno açude em processo de eutrofização e a manchete do jornal Gazeta de Alagoas do dia 20 de janeiro de 2008 sobre os problemas causados pela contaminação das águas na zona rural de Santana do Ipanema.



Figura 5 – (a) Pequeno açude em processo de eutrofização; e (b) Manchete sobre problemas ocasionados pela contaminação das águas (VINÍCIUS, 2008).

A vegetação do município é constituída predominantemente por caatinga hipoxerófila, típica do agreste, porém também apresenta, em áreas menores, caatinga hiperxerófila, típica dos ambientes mais secos do sertão (BRASIL, 2005c).

O processo de desmatamento é bastante acentuado no município, acarretando em uma diminuição significativa da vegetação nativa. As regiões serranas são as que apresentam os ambientes mais preservados, muito embora a antropização, em alguns

casos, já as tenha alcançado. Na Figura 6 são apresentadas regiões serranas no município de Santana do Ipanema, apresentando sinais de antropização.



Figura 6 – (a) Região serrana apresentando áreas preservadas e efeitos de ação antrópica; e (b) Região serrana completamente desmatada.

É comum na região a prática de queimadas com o intuito de limpar o terreno para um posterior plantio agrícola. As queimadas, por deixar o solo desprotegido, contribuem diretamente na perda da camada mais fértil do mesmo devido, principalmente, a erosão laminar. A Figura 7 apresenta áreas localizadas na zona rural de Santana do Ipanema, após queimada.



Figura 7 – (a) Solo exposto após queimada; e (b) Região marginal de um pequeno açude após queimada.

A pecuária com criação de bovinos de leite (mestiço girolando), bovinos de corte, ovinos e caprinos, constitui-se em uma importante atividade econômica no meio rural do município. A palma é bastante cultivada, sendo a principal forrageira usada na alimentação animal durante os períodos de seca. Nos anos em que as precipitações pluviométricas são favoráveis, é comum a produção de silagem de milho, utilizada pelos produtores para a alimentação dos animais nos períodos de escassez de alimentos (BRASIL, 2005c). A Figura 8 apresenta a criação de bovinos e ovinos na zona rural de Santana do Ipanema.



Figura 8 – Atividade pecuária na zona rural de Santana do Ipanema: (a) Criação de bovinos; e (b) Criação de ovinos.

Ainda segundo BRASIL (2005c), pratica-se também bastante agricultura familiar de subsistência no município, sendo feijão, algodão, mandioca, milho e amendoim, as culturas mais plantadas. Encontra-se ainda a presença de algumas fruteiras como pinha, caju, manga e laranja, cultivadas em pequena escala. A Figura 9 apresenta o cultivo consorciado de milho e feijão, e uma árvore frutífera em uma pequena propriedade rural, na zona rural de Santana do Ipanema.



Figura 9 – (a) Cultivo consorciado de milho e feijão; e (b) Cajueiro em uma pequena propriedade rural.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para desenvolvimento do trabalho. Inicialmente são apresentados os estudos preliminares relativos à escolha da região de implantação da bacia experimental e após isso são apresentadas as principais características da mesma. Em seguida são apresentados os assuntos referentes ao monitoramento dos processos hidrossedimentológicos na microbacia: a escolha da microbacia, a caracterização física, a construção, instalação e caracterização do aparato experimental, e a metodologia utilizada no monitoramento. Por fim, são tratados os aspectos relativos ao monitoramento dos processos hidrossedimentológicos nas parcelas experimentais de erosão.

4.1 Monitoramento dos Processos Hidrossedimentológicos

Para determinação da área de implantação da bacia experimental foi realizada uma primeira visita à Santana do Ipanema, visando o reconhecimento da região para identificação de pontos potenciais para implantação do aparato experimental, em março de 2006. Desde então, teve início uma série de campanhas de campo, onde foi possível percorrer diversas localidades, estabelecendo sempre contatos com os proprietários das possíveis áreas onde os equipamentos de monitoramento poderiam ser instalados. Nesses contatos eram expostos os objetivos e as etapas do projeto.

Paralelamente a essas visitas de reconhecimento, foi desenvolvido um trabalho de caracterização de sub-bacias através dos pontos levantados em campo com GPS, do Modelo Numérico do Terreno (MNT) e de técnicas de geoprocessamento. Para a construção do MNT da área de estudo foram utilizados dados da Missão Topográfica por Radar Interferométrico, ou *Shuttle Radar Topography Mission* (USGS, 2006), através do sistema de informações geográficas IDRISI.

Em março de 2007, após reconhecimento *in loco* e análise dos parâmetros mapeados da região, definiu-se pela implantação da bacia experimental na bacia hidrográfica do riacho Gravatá, sendo este afluente direto do rio Ipanema (Figura 10).

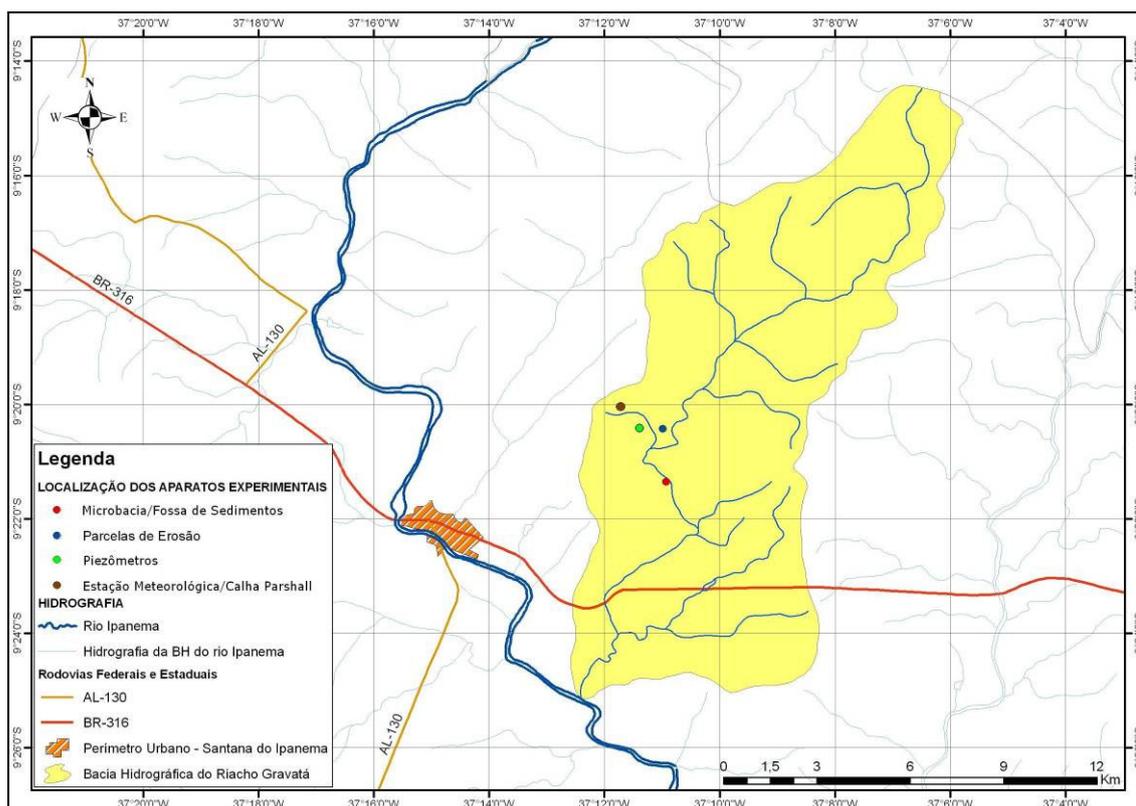


Figura 10 – Aparato experimental na Bacia hidrográfica do riacho Gravatá.

As características gerais dessa bacia hidrográfica são:

- A bacia hidrográfica do riacho Gravatá possui área total de 124 km², com várias sub-bacias aninhadas de diferentes ordens de grandeza;
- O riacho Gravatá possui um leito aluvionar importante, já utilizado pela comunidade rural, em alguns pontos, como reserva de água;
- A bacia hidrográfica possui áreas antropizadas e áreas com vegetação preservada em suas características;
- A região tem boa acessibilidade, mesmo no período chuvoso;
- A região é formada por pequenas propriedades, característica de todo o município de Santana do Ipanema.

O acompanhamento dos processos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica do riacho Gravatá foi realizado através de aparatos experimentais instalados em uma microbacia, e por meio da operação de três parcelas experimentais de erosão.

Segundo BRASIL (2005c), o solo da região onde está inserida a microbacia e as parcelas é classificado como Planossolo Háplico. O solo apresenta potencial para produção de milho e feijão, além da criação de bovinos, caprinos e ovinos. Ocorrem alguns afloramentos de rocha na região, cuja intensidade não é suficiente para interferir significativamente com o uso e manejo do solo. A Tabela 3 apresenta a composição granulométrica do solo.

Tabela 3 – Composição granulométrica do solo da região de estudo (BRASIL, 2005c).

Composição granulométrica do solo da região de estudo					
Profundidade	Cascalho 20-2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm
0-30 cm	1,9%	47%	23,8%	17,4%	9,9%

A bacia experimental do riacho Gravatá encontra-se instrumentada ainda com uma estação meteorológica compacta (Figura 11), uma calha Parshall, e uma bateria de piezômetros, onde estão sendo desenvolvidos outros estudos hidrológicos.

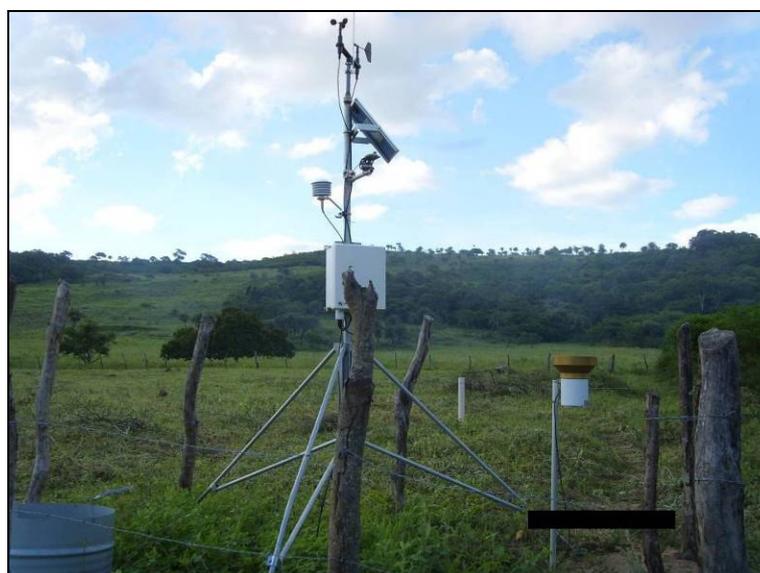


Figura 11 – Estação meteorológica compacta (CAMPBELL SCIENTIFIC) instalada na bacia experimental.

4.2 Monitoramento dos Processos Hidrossedimentológicos na Microbacia

4.2.1 Seleção e caracterização física da microbacia

A escolha da microbacia, onde foi realizada parte do monitoramento dos processos hidrossedimentológicos, foi feita após uma campanha de campo realizada entre os dias 20 e 22/04/2007 na bacia hidrográfica do riacho Gravatá. Após análise *in loco*, foi escolhida uma microbacia, cujas coordenadas, em latitude e longitude do exutório ($-9^{\circ}21'19''$; $-37^{\circ}10'12''$), foram determinadas fazendo-se uso de um GPS GARMIN ETREX, no sistema SAD-69 (Figura 12).



Figura 12 – Exutório da microbacia na Bacia Experimental.

Para caracterização física da área, foi realizado um levantamento topográfico (Figura 13). A partir deste trabalho foi possível determinar as características altimétricas da região onde está incluída a microbacia. Devido à complexidade inerente ao micro-relevo da área, tendo em vista as pequenas dimensões envolvidas, a determinação dos divisores de água da microbacia foi realizada em associação com observações *in loco*, durante os eventos pluviométricos, podendo assim ser quantificada a área contribuinte. A Figura 14 apresenta as isolinhas de nível do terreno.



Figura 13 – Levantamento topográfico da microbacia na Bacia Experimental.

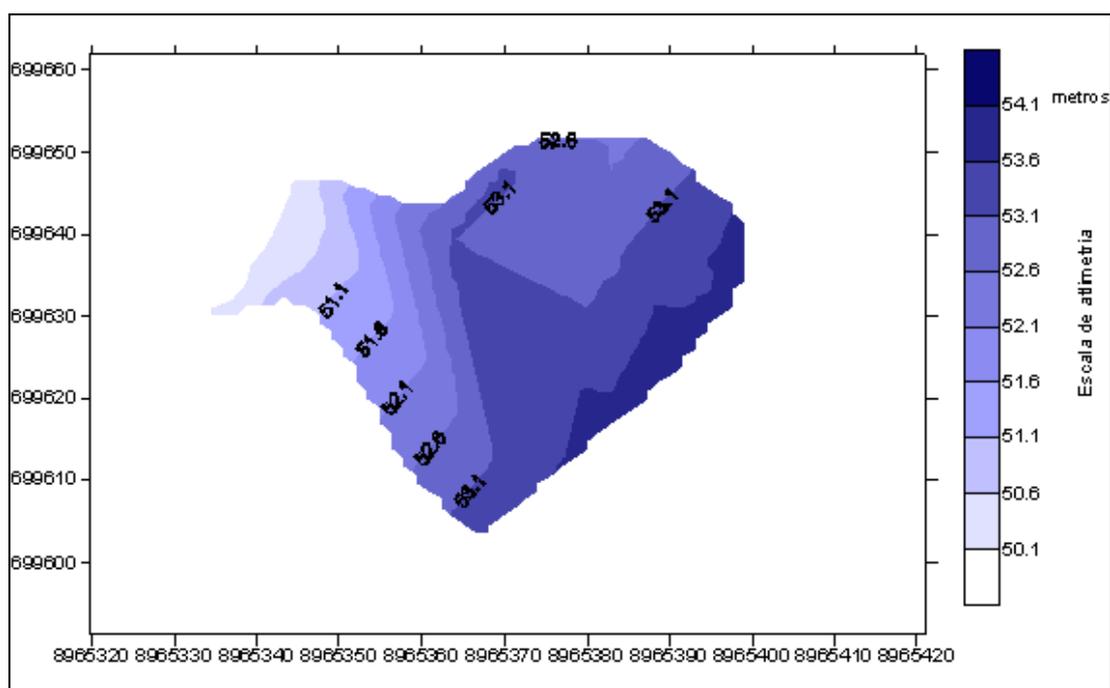


Figura 14 – Isolinhas de nível da microbacia.

Os dados topográficos levantados e as observações realizadas em campo foram analisadas com o auxílio do *software* SURFER[®] versão 8, sendo assim possível a determinação da área de contribuição da microbacia, sendo esta de 0,183 ha. A

declividade média do terreno é de 6,5%. A Figura 15 apresenta o modelo digital do terreno da microbacia.

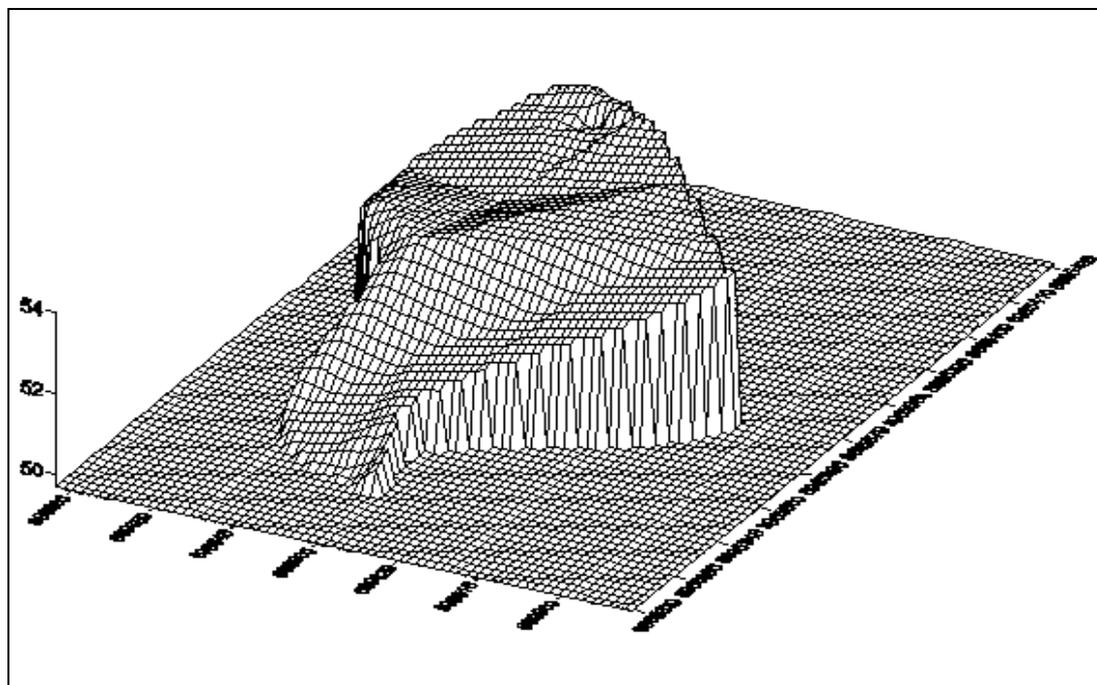


Figura 15 – Modelo digital do terreno da microbacia.

O uso agrícola do solo, na região onde está inserida a microbacia, ocorre entre os meses de abril e julho, quando o terreno é utilizado para o cultivo consorciado de milho e feijão. Nos meses restantes o solo fica praticamente desprotegido, com crescimento vegetal espontâneo e é utilizado para criação de bovinos, caprinos e ovinos.

4.2.2 Construção e instalação dos aparatos experimentais

Foi construída no exutório da microbacia, uma fossa de sedimentos retangular, em alvenaria, impermeável, com capacidade aproximada de 2.300 litros e equipada com um vertedor triangular de 90° de parede delgada. O piso da fossa possui declividade de 0,5%. A Figura 16 apresenta a esquematização da fossa de sedimentos.

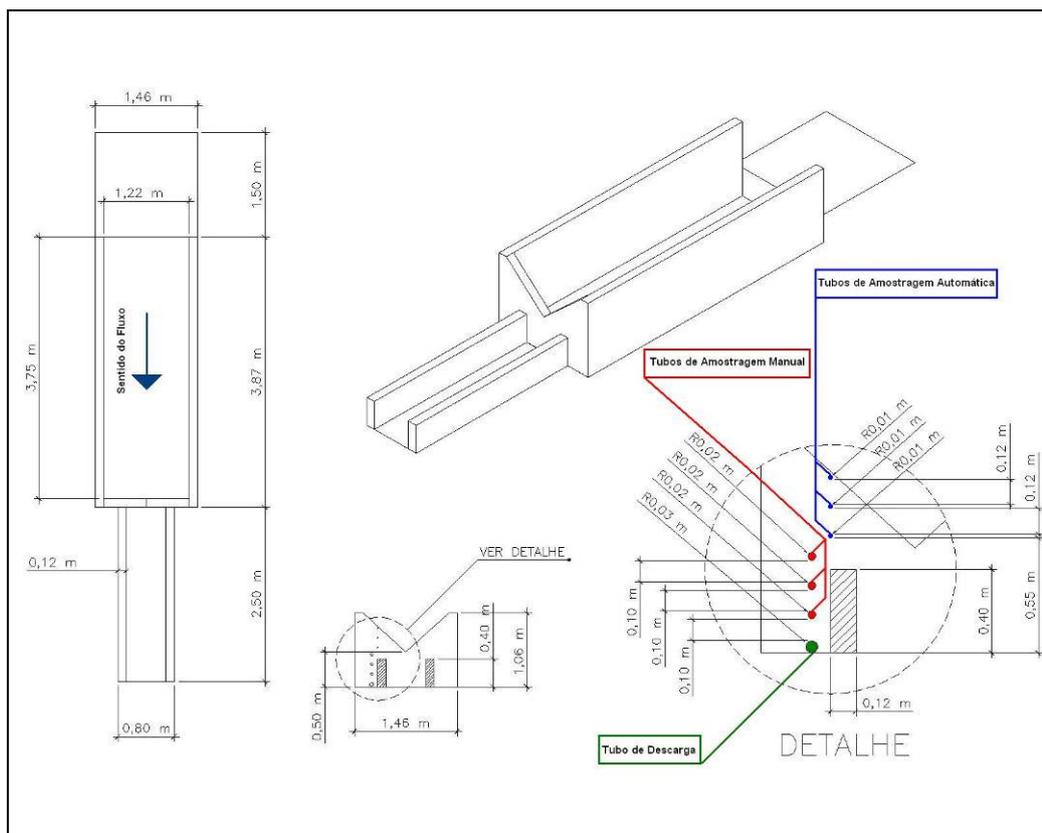


Figura 16 – Esquemática da fossa de sedimentos construída na microbacia.

Após a construção, as paredes da fossa de sedimentos foram pintadas na cor branca com o intuito de registrar fisicamente os eventos hidrológicos ocorridos. A fossa foi instrumentada com um linígrafo (CS400 fabricado pela CAMPBELL SCIENTIFIC), que registra os dados através de uma plataforma datalogger, a qual é alimentada por meio de energia solar. O sensor do linígrafo foi instalado associado a um tanque tranquilizador confeccionado em PVC. A Figura 17 apresenta etapas da construção, instrumentação e coleta de dados na fossa de sedimentos.

A fossa de sedimentos contém ainda seis dispositivos de amostragem da água escoada superficialmente na microbacia, sendo três tubos de amostragem automática para coleta das águas vertidas, e três tubos de amostragem manual para coleta da água acumulada na fossa, através de sifonagem. Para a limpeza da fossa de sedimentos foi instalado um tubo de descarga na região inferior da mesma.



Figura 17 – Etapas da construção, instrumentação e coleta de dados na fossa de sedimentos: (a) Construção do vertedor; (b) Pintura das paredes; (c) Configuração utilizada na instalação do linígrafo; e (d) Coleta de dados do linígrafo.

Além disso, a fossa contém uma estrutura de cobertura que tem como objetivo reduzir às contribuições externas à microbacia. A Figura 18 apresenta uma visão geral da fossa de sedimentos.



Figura 18 – Fossa de sedimentos instalada no exutório da microbacia.

Além da instrumentação da fossa de sedimentos, em uma região próxima à microbacia foi instalado um pluviógrafo (CS700 fabricado pela CAMPBELL SCIENTIFIC), que quantifica a precipitação através de básculas e transmite os dados pluviométricos a uma plataforma datalogger (Figura 19).



Figura 19 – Pluviógrafo CS700 (CAMPBELL SCIENTIFIC) instalado nas proximidades da microbacia.

4.2.3 Monitoramento dos processos hidrossedimentológicos e operação do aparato experimental

Para individualização dos eventos pluviométricos foi utilizada a metodologia proposta por CABEDA (1976 *apud* MEHL *et al.*, 2001), ou seja, uma chuva foi considerada independente quando estava separada de outra por no mínimo 6 horas com precipitação pluvial inferior a 1 mm. Além do método de individualização dos eventos pluviométricos supracitado, os eventos pluviométricos foram classificados quanto à erosividade sendo uma chuva considerada erosiva quando a altura precipitada foi superior a 10 mm, ou quando foi igual ou superior a 6 mm, desde que em um período máximo de 15 minutos (CABEDA, 1976 *apud* MEHL *et al.*, 2001).

Com o objetivo de analisar a potencialidade dos eventos pluviométricos erosivos após a classificação acima, foi realizada uma separação dos eventos erosivos segundo três diferentes padrões, seguindo metodologia proposta por HORNER e JENS (1941 *apud* MACHADO *et al.*, 2008), denominados padrão avançado, padrão intermediário e padrão atrasado. A padronização foi realizada a partir da subdivisão dos eventos pluviométricos erosivos em 3 períodos distintos, sendo eles: entre o início da chuva e 33% do tempo total da mesma; entre 33 e 66% do tempo total da chuva; entre 66% e o final do evento pluviométrico erosivo. A partir daí foram extraídas as intensidades médias referentes a cada período. As chuvas erosivas foram consideradas de padrão avançado, quando a maior média de intensidade pluviométrica entre os três períodos considerados, ocorreu no primeiro terço de sua duração total. Para as chuvas erosivas de padrão intermediário, a maior média de intensidade pluviométrica ocorreu no terço médio, e para as chuvas erosivas de padrão atrasado no terço final da chuva.

Para determinação da descarga líquida vertida dos eventos observados foi utilizada a equação experimental proposta por THOMSON (*apud* PORTO, 2003), a qual é descrita a seguir.

$$Q = 1,40 h^{5/2} \tag{1}$$

Onde: Q é a vazão em m^3/s ; e

h é a carga hidráulica sobre a soleira do vertedor em m.

A avaliação total de sedimentos da microbacia foi baseada em amostragem realizada no material retido na fossa (em suspensão e depositado no fundo) e no fluxo vertente, como descrito em SRINIVASAN e GALVÃO (2003).

A obtenção de amostras para análise de produção de sedimentos foi feita utilizando-se a metodologia proposta por PEREIRA (1997) e SRINIVASAN e GALVÃO (2003), onde a operação da fossa de sedimentos é dividida em três estágios, sendo eles: amostragem de fundo, amostragem através dos tubos manuais e amostragem através dos coletores automáticos. A concentração média de sedimentos presentes nas amostras coletadas em cada um dos estágios foi considerada o valor representativo dos mesmos. A produção total de sedimentos foi calculada pelo somatório da produção relativa a cada estágio de operação da fossa de sedimentos.

O processo de amostragem descrito a seguir, teve como base o roteiro descrito por PEREIRA (1997) e SRINIVASAN e GALVÃO (2003) e para coleta das amostras foram utilizados recipientes com volume de 2 litros:

- **Quando o volume de água contido na fossa superou em dezoito centímetros a cota de fundo da fossa de sedimentos:** A amostragem foi feita inicialmente através da sifonagem dos tubos de amostragem manual atingidos pela água, onde foi coletada uma amostra para cada tubo de amostragem atingido. Para essas primeiras amostragens, a água armazenada na fossa de sedimentos não foi agitada, coletando assim amostras ditas limpas. Após isso, a água armazenada no fundo do tanque foi agitada vigorosamente, e ao mesmo tempo foram coletadas duas amostras, denominadas amostras de fundo. A cota de água contida na fossa foi anotada para o estágio anterior e posterior a sifonagem;
- **Quando a água contida na fossa não superou em dezoito centímetros a cota de fundo da fossa de sedimentos:** A cota de água contida na fossa foi anotada. Após isso, a água contida na fossa de sedimentos foi agitada e então foram coletadas duas amostras, denominadas amostras de fundo;

- Nos casos em que ocorreu escoamento através do vertedor, os tubos de amostragem automática coletaram água. Inicialmente, foram anotados os volumes de água coletados em cada um dos três depósitos coletores. Em seguida, a água colhida automaticamente foi agitada vigorosamente e coletada, de cada um dos depósitos, quando possível, uma amostra.

A Figura 20 apresenta etapas do processo de amostragem na fossa de sedimentos.



Figura 20 – Etapas do processo de amostragem na fossa de sedimentos: (a) Amostragem através de sifonagem em um tubo de amostragem manual; (b) Amostragem de fundo; (c) Recipiente conectado a um tubo de amostragem automática; e (d) Coleta de amostra através de um recipiente conectado a um tubo de amostragem automática.

Depois de terminados os processos de amostragem, foram realizadas limpezas gerais na fossa de sedimentos, incluindo as paredes, os tubos de amostragem e os

recipientes conectados aos tubos de amostragem automática, com intuito de não contaminar as amostras referentes aos eventos que viessem a acontecer posteriormente (Figura 21).



Figura 21 – Limpeza da fossa de sedimentos: (a) Lavagem dos recipientes conectados aos tubos de amostragem automática; e (b) Limpeza do fundo da fossa.

4.2.4 Análise laboratorial de sedimentos em suspensão

A determinação da concentração de sólidos totais em suspensão, frações orgânicas e inorgânicas, foi realizada segundo o *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater* (APHA, 1995).

O método consiste na filtragem de um determinado volume da amostra e em seguida na secagem das membranas filtrantes em estufa, obtendo assim a parcela de sólidos suspensos totais. Após isso, as membranas filtrantes devem ser inseridas em uma mufla para que a parte orgânica dos sólidos suspensos seja volatilizada. A Figura 22 apresenta etapas da análise laboratorial.



Figura 22 – Etapas da análise laboratorial: (a) Processo de filtragem da amostra com o auxílio de uma bomba de vácuo; e (b) Pesagem da membrana filtrante utilizando balança de precisão.

Segundo SILVA e OLIVEIRA (2001), as relações envolvidas entre os diversos pesos são as seguintes:

$$SST = 1000 (E - D)/(VA/1000) \quad (2)$$

$$SSV = 1000 (E - F)/(VA/1000) \quad (3)$$

$$SSF = 1000 (F - D)/(VA/1000) \quad (4)$$

Onde: D é o peso do papel de filtro tratado, g;

E é o peso do papel de filtro após filtragem da amostra e secagem, g;

F é o peso do papel de filtro após ignição, g;

VA é o volume da amostra, mL;

SST é a concentração de sólidos suspensos totais, mg/L;

SSV é a concentração de sólidos suspensos voláteis, mg/L; e

SSF é a concentração de sólidos suspensos fixos, mg/L.

4.3 Monitoramento dos Processos Hidrossedimentológicos nas Parcelas de Erosão

4.3.1 Definição e caracterização física da região de instalação das parcelas de erosão

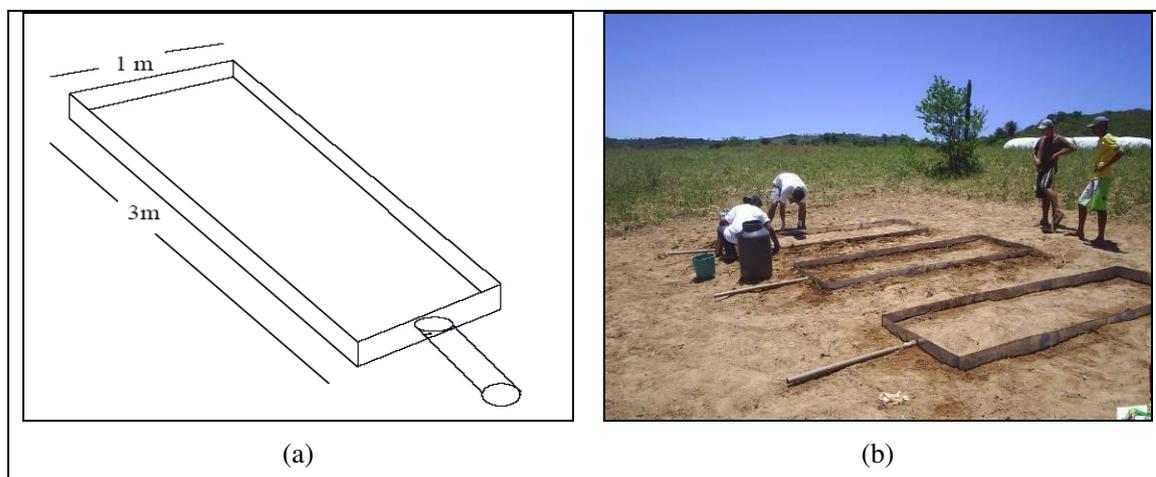
A seleção da região de instalação das parcelas experimentais de erosão para quantificação de processos hidrossedimentológicos foi feita após uma visita de campo realizada entre os dias 26 e 29/09/2007, na bacia hidrográfica do riacho Gravatá. Foi escolhida uma região, cujas coordenadas do ponto central, em latitude e longitude (-9°20'25";-37°10'12"), foram determinadas fazendo-se uso de um GPS GARMIN ETREX, no sistema SAD-69.

Assim como na região da microbacia, o uso do solo na área onde estão inseridas as parcelas experimentais de erosão é dividido em dois períodos distintos, sendo o primeiro entre os meses de abril e julho, utilizado para o cultivo consorciado de milho e feijão, e o segundo, nos meses restantes, utilizado para criação de bovinos, caprinos e ovinos. A declividade média da área escolhida para realização do estudo é de 13%.

4.3.2 Construção e instalação dos aparatos experimentais

Como o estudo foi desenvolvido em uma propriedade particular, não foi possível a operação de parcelas experimentais com dimensão padrão de 100 m², descritas por SRINIVASAN e GALVÃO (2003), tendo em vista a disponibilidade insuficiente de terreno. Outra limitação encontrada foi o período de estudo, sendo uma época de estiagem, o que determinou a operação das parcelas de erosão sob chuva simulada. Em alternativa, foram instaladas três parcelas experimentais de erosão construídas segundo metodologia proposta por SANTOS (2006). Seguindo essa metodologia as parcelas possuem dimensões de 1 m por 3 m, com a maior dimensão no sentido do declive, construídas com chapas metálicas de 20 cm de altura, sendo aproximadamente 10 cm cravados no solo, possuindo na parte inferior uma calha para coleta da água escoada superficialmente. A Figura 23 apresenta a esquematização da parcela experimental de

erosão e a instalação das parcelas experimentais de erosão na bacia experimental do riacho Gravatá.



Para realização dos estudos nas parcelas de erosão foi desenvolvido um simulador de chuvas, o qual foi concebido para operação sobre uma estrutura metálica, regulável em incrementos de 1 metro de altura a partir do solo, e, com altura máxima igual a 3 metros. O simulador foi abastecido através de uma bomba com potência de 1,5 cv, colocada em um reservatório de água de 1.000 L. A água reservada foi proveniente de um pequeno açude localizado próximo a região de instalação das parcelas experimentais de erosão.

No estudo desenvolvido por SANTOS (2006), foram simuladas chuvas com intensidades variando entre 54 e 60 mm/h, sendo essas intensidades consideradas pelo autor como típicas de regiões semi-áridas durante eventos críticos e capazes de gerar relevantes processos erosivos. FREITAS *et al.* (2008), em um estudo sobre a erosão em entressulcos sob caatinga e culturas agrícolas, desenvolvido em Serra Talhada, semi-árido pernambucano, simularam chuvas em parcelas experimentais de 2 m². A intensidade média da chuva simulada por FREITAS *et al.* (2008) foi de 147 mm/h, sendo esta baseada em informações locais de chuvas intensas com 50 anos de período de retorno. A partir dos valores de intensidade das chuvas simuladas por SANTOS (2006) e FREITAS *et al.* (2008), buscou-se a calibração do simulador de chuva de

forma a se obter a produção de chuvas intensas diferentes para cada uma das parcelas, sendo as intensidades pluviométricas iguais ou superiores a 50 mm/h.

O equipamento foi calibrado visando a uniformidade da chuva artificial em uma área correspondente a uma parcela experimental de erosão. No processo de calibração foram utilizadas associações de bicos aspersores SEMPREVERDE fabricados pela FABRIMAR, e PS fabricados pela HUNTER. Os aspersores PS proporcionam uma distribuição uniforme da água, permitindo a regulagem do bico entre 1° e 360° o que possibilita uma infinidade de utilizações (HUNTER, 2007). Ainda segundo HUNTER (2007), o êmbolo do aspersor PS dispõe de um filtro de grande superfície que impede a passagem de impurezas mantendo limpo o bico. Os aspersores SEMPREVERDE são indicados para sistemas fixos, produzindo uma precipitação uniforme de longo do alcance (FABRIMAR, 2007). A Figura 24 apresenta uma das configurações testadas durante o processo de calibração.



Figura 24 – Configuração utilizada durante o processo de calibração do simulador de chuva.

Após a realização da calibração, foram obtidos resultados satisfatórios, considerando a distribuição espacial, para intensidades de precipitação de 50, 80 e 120 mm/h, sendo definida assim a operação das parcelas experimentais de erosão. Para todas as intensidades de precipitação simuladas, a altura do equipamento em relação ao solo foi de 3 metros. As configurações utilizadas nas simulações de chuva encontram-se

expostas na Tabela 4. A Figura 25 apresenta a esquematização do simulador de chuvas operado nas parcelas experimentais de erosão.

Tabela 4 – Configuração utilizada para operação do simulador de chuva nas parcelas experimentais de erosão.

	Parcela Experimental de Erosão 1	Parcela Experimental de Erosão 2	Parcela Experimental de Erosão 3
Pressão interna no conduto (kgf/cm ²)	2,3	1,5	2,3
Associação de bicos aspersores	2 aspersores SEMPREVERDE de 360° (centro) e 2 aspersores PS com 180° (extremidades)	2 aspersores SEMPREVERDE de 360° (centro) e 2 aspersores PS com 180° (extremidades)	2 aspersores SEMPREVERDE de 180° (centro) e 2 aspersores PS com 180° (extremidades)
Altura do equipamento (m)	3	3	
Intensidade da precipitação (mm/h)	80	120	50

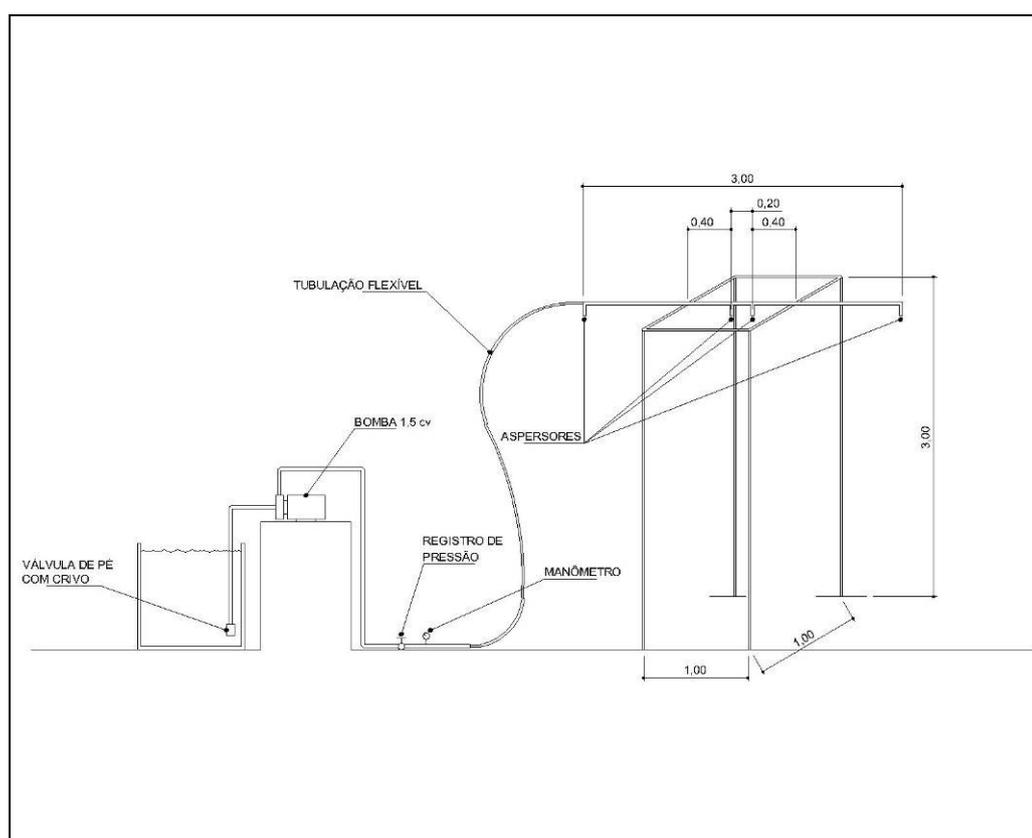


Figura 25 – Esquematização do simulador de chuvas operado nas parcelas experimentais de erosão.

Durante o processo de calibração do simulador de chuva alguns filtros presentes nos aspersores PS apresentaram entupimento devido à presença de partículas na água utilizada na operação (Figura 26). Devido a este problema, a água utilizada no abastecimento do simulador de chuva passou a ser previamente filtrada, sendo utilizada para isso uma peça de tecido comum.



Figura 26 – Entupimento do filtro de um aspersor PS: (a) filtro entupido por partículas; e (b) limpeza do filtro.

4.3.3 Operação dos aparatos experimentais e análise laboratorial de sedimentos em suspensão

A chuva produzida durante a operação do simulador foi continuamente monitorada através de quatro receptores de água, sendo dois pluviômetros com área de captação de 100,29 cm², e dois recipientes com área de captação de 502,73 cm², instalados ao lado das parcelas experimentais. Os receptores ficaram espacialmente distribuídos de forma a verificar a uniformidade espacial da chuva simulada. A Figura 27 apresenta simulador de chuva pronto para ser operado durante uma das simulações.



Figura 27 – Simulador pronto para entrar em operação.

Em relação à cobertura do solo utilizada nas parcelas experimentais de erosão, foi plantando milho cultivado morro abaixo, por ser bastante usual na região. O plantio do milho foi realizado no dia 13/11/2007.

As amostragens de sólidos em suspensão seguiram roteiro descrito por SANTOS (2006). Cada simulação teve duração de 60 minutos e, a partir do início da simulação, a cada intervalo de 5 minutos foi feita uma coleta com duração de 10 segundos, num total de 12 amostras. As coletas foram realizadas utilizando uma proveta graduada de 1.000 mL, onde foi lido o volume escoado em cada amostragem (Figura 28). A produção de sedimentos foi determinada a partir da média das produções de todas as coletas do evento.



Figura 28 – Amostragem em parcela experimental de erosão na bacia experimental do riacho Gravatá.

Assim como para a microbacia, a determinação da concentração de sólidos totais em suspensão, frações orgânicas e inorgânicas, utilizou o *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater* (APHA, 1995).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados encontrados a partir do monitoramento hidrossedimentológico na bacia experimental do riacho Gravatá. No início tratam-se sobre os resultados obtidos a partir do monitoramento realizado na microbacia: determinação dos eventos pluviométricos erosivos, apresentação dos registros linigráficos e pluviográficos, amostragens realizadas na fossa de sedimentos, e produção total de sedimentos por amostragem. Em seguida são apresentados e discutidos os resultados obtidos relativos às parcelas experimentais de erosão: características das chuvas simuladas, monitoramento da produção de sedimentos em função do crescimento da cultura de milho e da intensidade da chuva simulada, e anomalias apresentadas no desenvolvimento da cultura de milho.

5.1 Processos Hidrossedimentológicos na Microbacia

5.1.1 Monitoramento pluviométrico

Os eventos pluviométricos utilizados no presente trabalho foram registrados através do pluviógrafo instalado na microbacia e ocorreram entre os dias 22/06/2007 e 25/10/2008. Em decorrência do período de monitoramento pluviométrico utilizado, os meses de julho, agosto e setembro foram os únicos a serem registrados integralmente duas vezes. A Figura 29 apresenta a precipitação diária registrada no pluviógrafo da microbacia entre os dias 22/06/2007 e 25/10/2008.

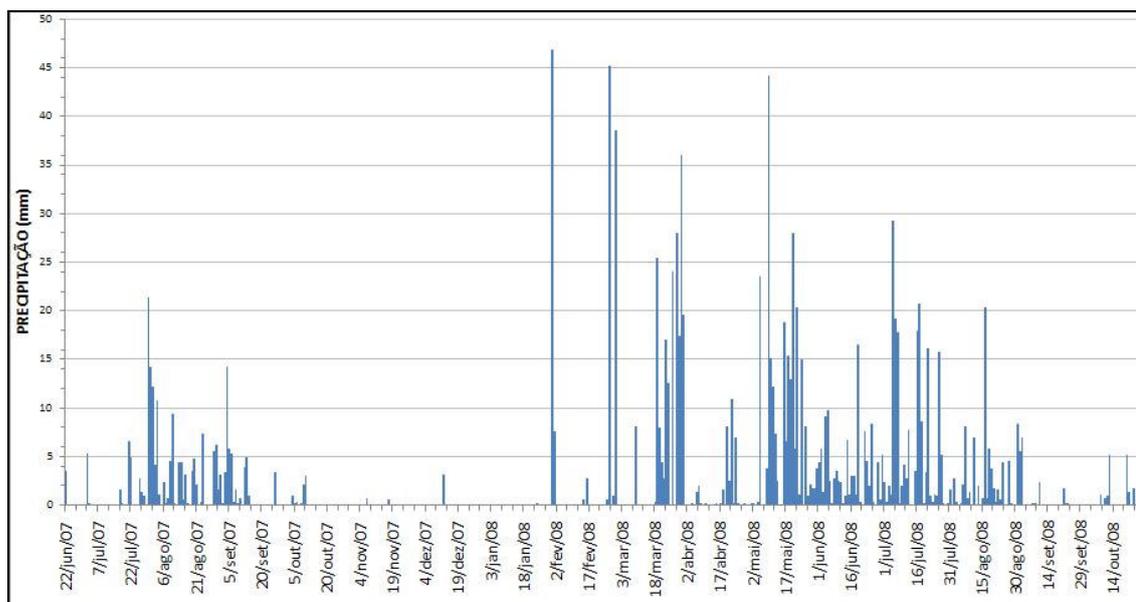


Figura 29 – Precipitação diária registrada no pluviógrafo instalado na microbacia entre os dias 22/06/2007 e 25/10/2008.

As chuvas foram individualizadas perfazendo 267 eventos pluviométricos, sendo 15,7% do total classificados como erosivos. Os altos percentuais de chuvas erosivas em relação ao total de chuvas monitoradas corroboram com o citado por HUDSON (1995 apud DIAS e SILVA, 2003), que enfatiza o maior potencial erosivo das chuvas tropicais em relação às chuvas de clima temperado. Segundo HUDSON (1995 apud DIAS e SILVA, 2003), em clima temperado, com menores intensidades pluviométricas, cerca de 5% dos eventos pluviométricos são erosivos enquanto em clima tropical, como o do presente estudo, as intensidades pluviométricas e energias cinéticas são mais altas, com as chuvas erosivas podendo atingir cerca de 40% do total anual de eventos pluviométricos. Essa constatação esclarece o motivo pelo qual a erosão é um problema mais grave em regiões com clima tropical.

Os eventos pluviométricos erosivos foram padronizados segundo metodologia proposta por HORNER e JENS (1941 *apud* MACHADO *et al.*, 2008). A Figura 30 apresenta a distribuição percentual dos eventos pluviométricos erosivos por padrão pluviométrico.

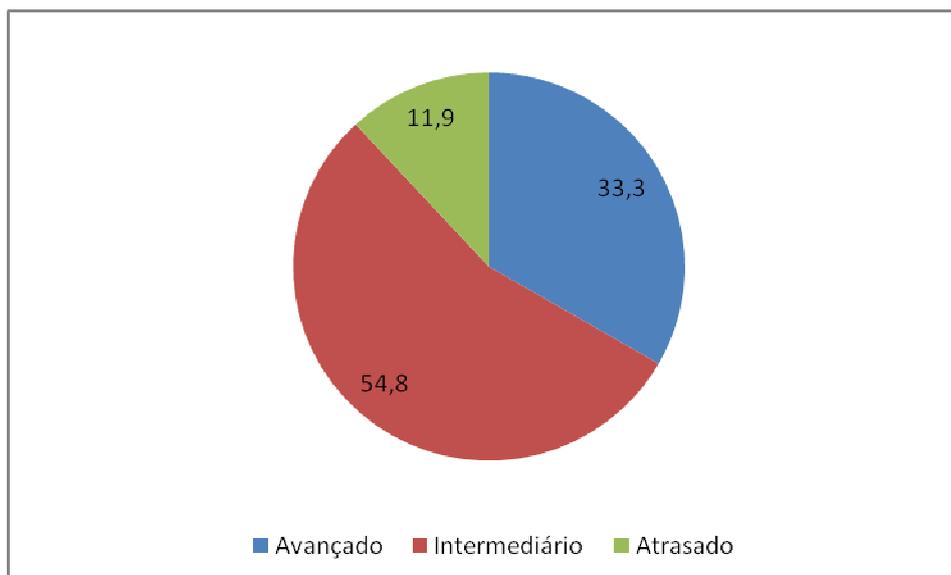


Figura 30 – Distribuição percentual, por padronização pluviométrica, dos eventos pluviométricos erosivos registrados no pluviógrafo da microbacia.

A maior média de intensidade das chuvas erosivas entre os três períodos considerados ocorreu no terço médio da duração total em 54,8% dos eventos erosivos monitorados. Em 33,3% das chuvas erosivas a maior média de intensidade pluviométrica ocorreu no primeiro terço da duração total do evento. Nos eventos pluviométricos erosivos restantes a maior média de intensidade pluviométrica ocorreu no terço final da duração total do evento. A Tabela 5 apresenta os eventos pluviométricos erosivos registrados no pluviógrafo da microbacia e sua respectiva padronização pluviométrica.

Segundo FLANAGAN *et al.* (1988 *apud* CARVALHO *et al.*, 2009), nos padrões intermediário e atrasado são esperadas as maiores perdas de solo tendo em vista a maior umidade antecedente, pois em solo úmido a capacidade de infiltração é menor e a desagregação é favorecida pelo impacto das gotas de chuvas, causando selamento superficial e, conseqüentemente, escoamento superficial. ELTZ *et al.* (2001), trabalhando com simulador de chuva em um Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram maior perda de solo em chuvas de padrão atrasado em relação às perdas de solo das chuvas de padrão intermediário e avançado, entre as quais não houve diferenças significativas, o que foi explicado pelas condições de alteração da superfície e pela umidade do solo no decorrer da chuva.

Tabela 5 – Eventos pluviométricos erosivos registrados no pluviógrafo da microbacia entre os dias 22/06/2007 e 25/10/2008 e sua respectiva padronização pluviométrica.

Evento Pluviom. Erosivo	Data de Início	Hora de Início	Data de Término	Hora de Término	Total Precipitado (mm)	Intensidade Média (mm/h)	Padrão Pluviométrico
1	22/7/2007	03:54:36	22/7/2007	23:17:10	11,6	0,6	Avançado
2	30/7/2007	13:54:29	31/7/2007	14:32:25	34,0	1,4	Atrasado
3	1/8/2007	21:32:19	2/8/2007	15:03:24	14,4	0,8	Intermediário
4	3/8/2007	23:43:12	4/8/2007	11:59:40	10,0	0,8	Avançado
5	9/8/2007	23:15:07	11/8/2007	11:15:43	14,2	0,4	Avançado
6	30/8/2007	01:46:14	30/8/2007	22:12:13	10,8	0,5	Intermediário
7	31/1/2008	20:53:08	1/2/2008	00:58:34	46,8	11,4	Intermediário
8	1/2/2008	13:57:00	1/2/2008	14:07:01	7,4	44,3	Intermediário
9	26/2/2008	23:18:14	27/2/2008	08:21:21	44,6	4,9	Avançado
10	29/2/2008	14:06:08	29/2/2008	16:08:58	10,8	5,3	Avançado
11	29/2/2008	22:13:31	1/3/2008	00:41:18	27,6	11,2	Intermediário
12	9/3/2008	11:56:35	9/3/2008	16:33:18	8,0	1,7	Intermediário
13	19/3/2008	16:23:58	20/3/2008	23:46:42	33,4	1,1	Intermediário
14	23/3/2008	15:09:20	23/3/2008	23:07:47	16,2	2,0	Intermediário
15	24/3/2008	17:43:41	24/3/2008	21:51:13	12,6	3,1	Avançado
16	27/3/2008	04:35:39	27/3/2008	05:24:06	18,8	23,3	Avançado
17	28/3/2008	18:13:40	28/3/2008	21:59:53	27,8	7,4	Intermediário
18	29/3/2008	15:22:52	29/3/2008	22:52:37	17,4	2,3	Avançado
19	30/3/2008	17:03:33	31/3/2008	04:20:26	36,0	3,2	Avançado
20	31/3/2008	20:44:52	31/3/2008	23:55:09	19,6	6,2	Intermediário
21	20/4/2008	16:05:18	20/4/2008	16:18:22	8,2	37,7	Intermediário
22	21/4/2008	21:12:03	22/4/2008	13:24:32	12,0	0,7	Atrasado
23	5/5/2008	10:42:42	6/5/2008	02:42:41	23,6	1,5	Intermediário
24	8/5/2008	21:45:29	10/5/2008	04:24:07	48,0	1,6	Intermediário
25	10/5/2008	13:03:20	10/5/2008	13:49:01	7,2	9,5	Intermediário
26	12/5/2008	02:40:25	12/5/2008	17:32:51	17,2	1,2	Intermediário
27	17/5/2008	03:15:58	17/5/2008	17:31:28	22,4	1,6	Intermediário
28	18/5/2008	23:52:56	20/5/2008	03:09:34	25,2	0,9	Intermediário
29	20/5/2008	15:09:53	20/5/2008	21:34:38	21,0	3,3	Intermediário
30	22/5/2008	11:57:11	22/5/2008	18:22:04	11,0	1,7	Atrasado
31	23/5/2008	01:29:23	23/5/2008	08:31:33	9,4	1,3	Intermediário
32	24/5/2008	13:00:40	24/5/2008	22:12:05	15,0	1,6	Intermediário
33	5/6/2008	13:26:28	5/6/2008	13:44:47	7,0	22,9	Avançado
34	19/6/2008	06:09:09	20/6/2008	01:53:03	16,0	0,8	Intermediário
35	5/7/2008	12:23:08	6/7/2008	17:50:23	44,4	1,5	Atrasado
36	7/7/2008	09:50:40	8/7/2008	05:06:03	17,4	0,9	Intermediário
37	12/7/2008	02:19:47	12/7/2008	13:29:33	10,2	0,9	Atrasado
38	16/7/2008	16:13:03	17/7/2008	09:52:55	17,4	1,0	Intermediário
39	17/7/2008	11:48:34	18/7/2008	16:07:01	26,6	0,9	Avançado
40	21/7/2008	10:02:56	22/7/2008	02:40:38	16,2	1,0	Avançado
41	26/7/2008	13:26:26	27/7/2008	01:57:23	15,8	1,3	Avançado
42	16/8/2008	12:41:45	17/8/2008	09:16:18	20,6	1,0	Avançado

No presente trabalho, 66,7% dos eventos pluviométricos registrados, que foram classificados como erosivos, apresentaram padrão pluviométrico intermediário ou atrasado, o que representa um indicativo do potencial das chuvas erosivas na região de estudo.

Considerando períodos mensais, o monitoramento pluviográfico realizado no mês de maio de 2008 apresentou a maior quantidade de eventos pluviométricos erosivos registrados perfazendo 23,8% do total. No período compreendido entre o início do mês de fevereiro de 2008 e o final do mês de maio do mesmo ano ocorreram 59,5% do total de eventos pluviométricos erosivos monitorados. Os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro não apresentaram registro de evento pluviométrico erosivo. A Tabela 6 apresenta a distribuição percentual mensal dos eventos pluviométricos erosivos segundo os padrões pluviométricos no período de 22/06/2007 a 25/10/2008.

Tabela 6 – Distribuição percentual mensal dos eventos pluviométricos erosivos segundo os padrões pluviométricos no período de 22/06/2007 a 25/10/2008.

ANO	MÊS	PORCENTAGEM POR PADRÃO PLUVIOMÉTRICO			TOTAL DE EVENTOS EROSIVOS
		AVANÇADO	INTERMEDIÁRIO	ATRASADO	
2007	JUN	0,0	0,0	0,0	0
	JUL	50,0	0,0	50,0	2
	AGO	50,0	50,0	0,0	4
	SET	0,0	0,0	0,0	0
	OUT	0,0	0,0	0,0	0
	NOV	0,0	0,0	0,0	0
	DEZ	0,0	0,0	0,0	0
2008	JAN	0,0	100,0	0,0	1
	FEV	50,0	50,0	0,0	4
	MAR	44,4	55,6	0,0	9
	ABR	0,0	50,0	50,0	2
	MAI	0,0	90,0	10,0	10
	JUN	50,0	50,0	0,0	2
	JUL	42,9	28,6	28,6	7
	AGO	100,0	0,0	0,0	1
	SET	0,0	0,0	0,0	0
	OUT	0,0	0,0	0,0	0
TOTAL		33,3	54,8	11,9	42

Considerando para o cálculo da precipitação anual os dados registrados entre 23/06/2007 e 22/06/2008, foi registrado um total de 928,4 mm de precipitação. Em um comparativo com os dados históricos anuais registrados pelo Departamento Nacional de

Obras Contra a Seca (DNOCS) entre os anos de 1913 e 1991 (HIDROWEB, 2009), e com a precipitação média anual registrada pela Agência Nacional de Águas (ANA) entre os anos de 1979 e 2007 (HIDROWEB, 2009), constatou-se que o período analisado apresentou uma precipitação anual superior às demais analisadas, podendo ser considerado, portanto, um ano chuvoso. A Figura 31 apresenta um comparativo entre os totais anuais precipitados.

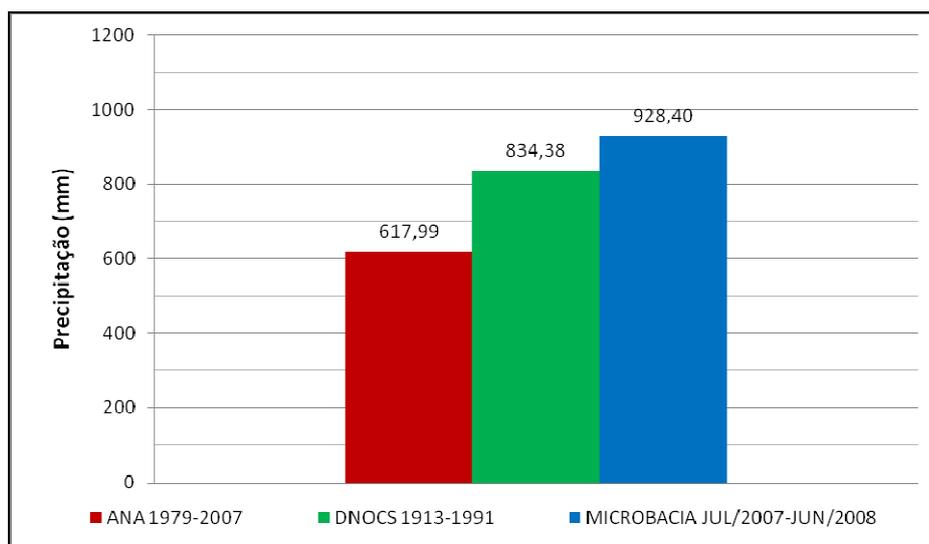


Figura 31 – Precipitações anuais em Santana do Ipanema.

Ainda considerando o período de registro pluviográfico entre 23/06/2007 e 22/06/2008, verificou-se que o mês de maio apresentou a maior lâmina precipitada quando comparada com os meses restantes (

Figura 32). É provável que a grande quantidade de eventos pluviométricos erosivos registrados nos meses de março e maio esteja relacionada com as lâminas precipitadas registradas para os referidos meses, sendo estas bem acima das médias históricas.

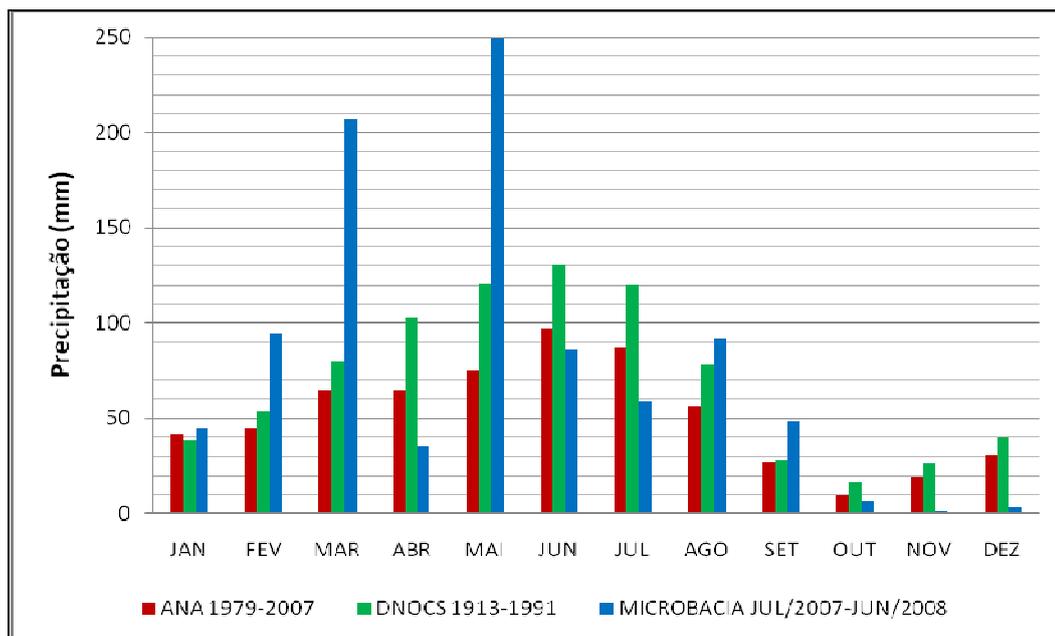


Figura 32 – Precipitações mensais em Santana do Ipanema.

5.1.2 Monitoramento hidrossedimentológico

Os processos hidrossedimentológicos monitorados na microbacia foram resultantes de sete eventos pluviométricos erosivos ocorridos entre os dias 26/02/2008 e 28/03/2008. Durante este período, o solo da microbacia encontrava-se praticamente descoberto, apresentando apenas o crescimento vegetal espontâneo (Figura 33). A área durante o período estudado, estava sendo utilizada para criação de ovinos.



Figura 33 – Visão geral da microbacia durante o monitoramento dos processos hidrossedimentológicos.

A amostragem de sólidos em suspensão na fossa de sedimentos, para coleta de amostras resultantes dos eventos pluviométricos supracitados, foi realizada em três ocasiões distintas, consideradas nesse estudo como: Amostragem 1, Amostragem 2 e Amostragem 3.

A Amostragem 1 ocorreu após o acúmulo do escoamento superficial advindo da microbacia, na fossa de sedimentos, resultante de duas chuvas erosivas consecutivas (evento pluviométrico erosivo 9 e 10). A Figura 34 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos antecedentes a Amostragem 1.

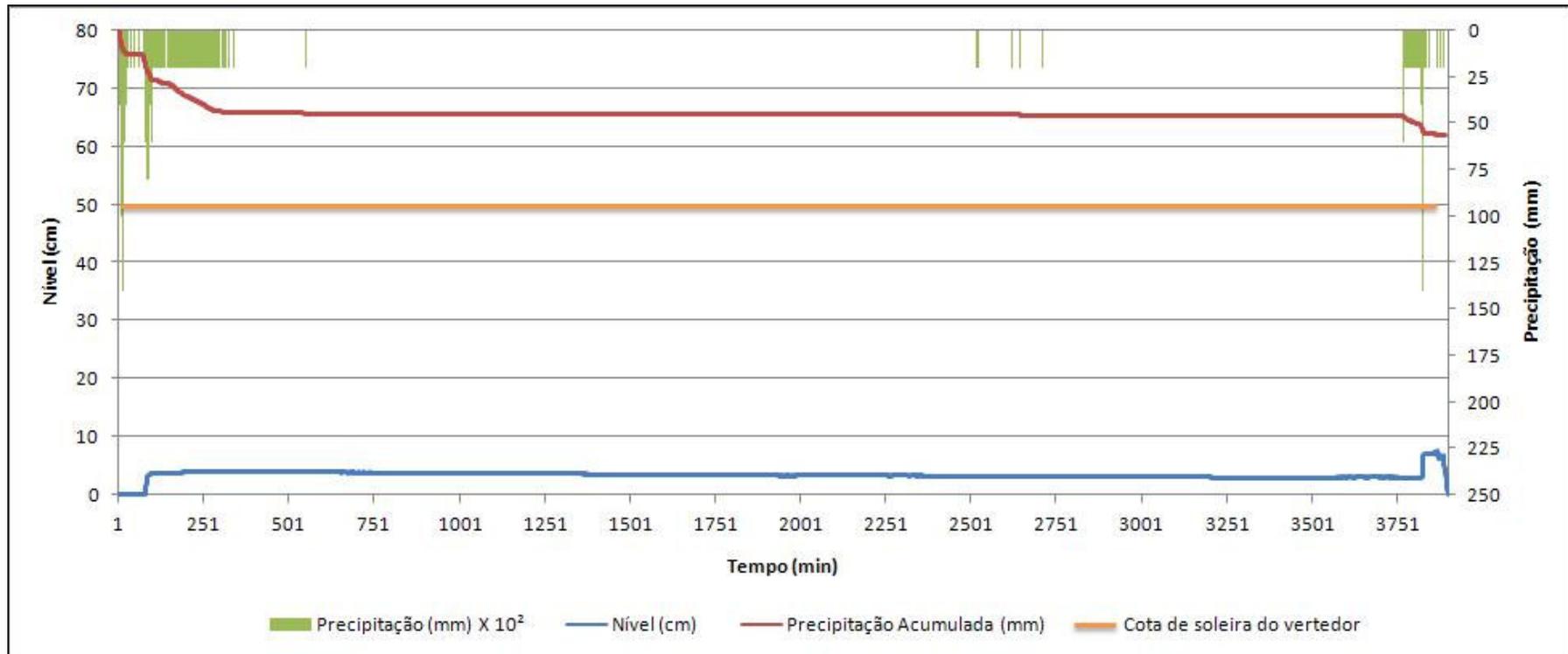


Figura 34 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos antecedentes a Amostragem 1 na microbacia.

O monitoramento pluviográfico referente ao evento pluviométrico erosivo 9 apresentou, como último dado, o registro de uma basculada isolada, totalizando 0,2 mm, distante aproximadamente 3 horas e 45 minutos do penúltimo registro (Figura 35). Para efeito de cálculo, esse dado não foi considerado como registro integrante da chuva erosiva 9, tendo em vista a implicação que o uso do registro traria na intensidade pluviométrica do evento.

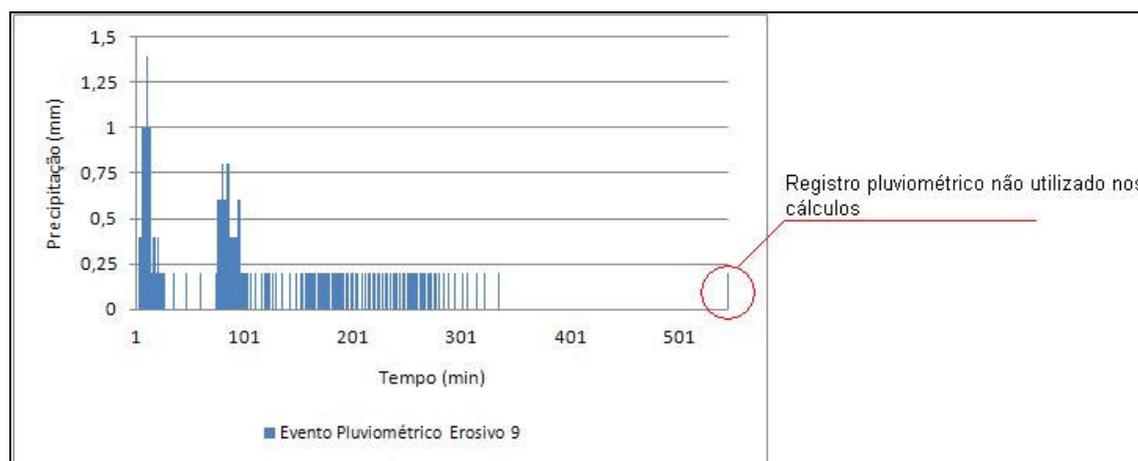


Figura 35 – Registro pluviográfico não utilizado nos cálculos referente à chuva erosiva 9.

O evento pluviométrico erosivo 9 teve início no dia 26/02/2008 às 23 horas e 18 minutos totalizando 44,6 mm. A duração foi de aproximadamente 5,5 horas e a intensidade média da precipitação foi de 8,1 mm/h. A chuva apresentou padrão pluviométrico Avançado. Depois de transcorridos os primeiros 78 minutos da chuva, o que totalizou 16,4 mm de precipitação, ocorreu o início do acúmulo de deflúvio superficial na fossa de sedimentos. A contribuição relativa ao escoamento superficial resultante do evento erosivo 9 ocorreu até o minuto 321, tendo atingido até então a cota de 3,95 cm. A Figura 36 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 9.

O período entre as chuvas erosivas 9 e 10 perdurou por aproximadamente 57,5 horas e durante o mesmo ocorreram algumas pequenas precipitações isoladas, totalizando 1,4 mm, porém não foram registrados incrementos no nível de água acumulada na fossa de sedimentos. Não foram verificadas perdas significativas por evaporação ou infiltração no volume de água armazenado na fossa de sedimentos, sendo o decréscimo no nível de água de apenas 0,4 cm.

Com relação ao evento pluviométrico erosivo 10 o total precipitado foi de 10,8 mm, sendo o início do evento ocorrido no dia 29/02/2008 às 14 horas e 6 minutos. A duração do evento foi de 2,05 horas. A intensidade média da precipitação foi de 5,3 mm/h apresentando padrão pluviométrico Avançado. Passados 49 minutos de início da chuva, o que totalizou 2,6 mm de precipitação, teve início uma nova contribuição do escoamento superficial à fossa de sedimentos. O acúmulo da água escoada superficialmente na microbacia teve fim depois de transcorridos 96 minutos do início da chuva erosiva 10, sendo a cota linimétrica de 7,68 cm. A amostragem de sólidos em suspensão na fossa de sedimentos foi realizada logo após o término do evento pluviométrico não havendo sido registradas perdas da água acumulada, por evaporação ou infiltração. A Figura 37 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 10.

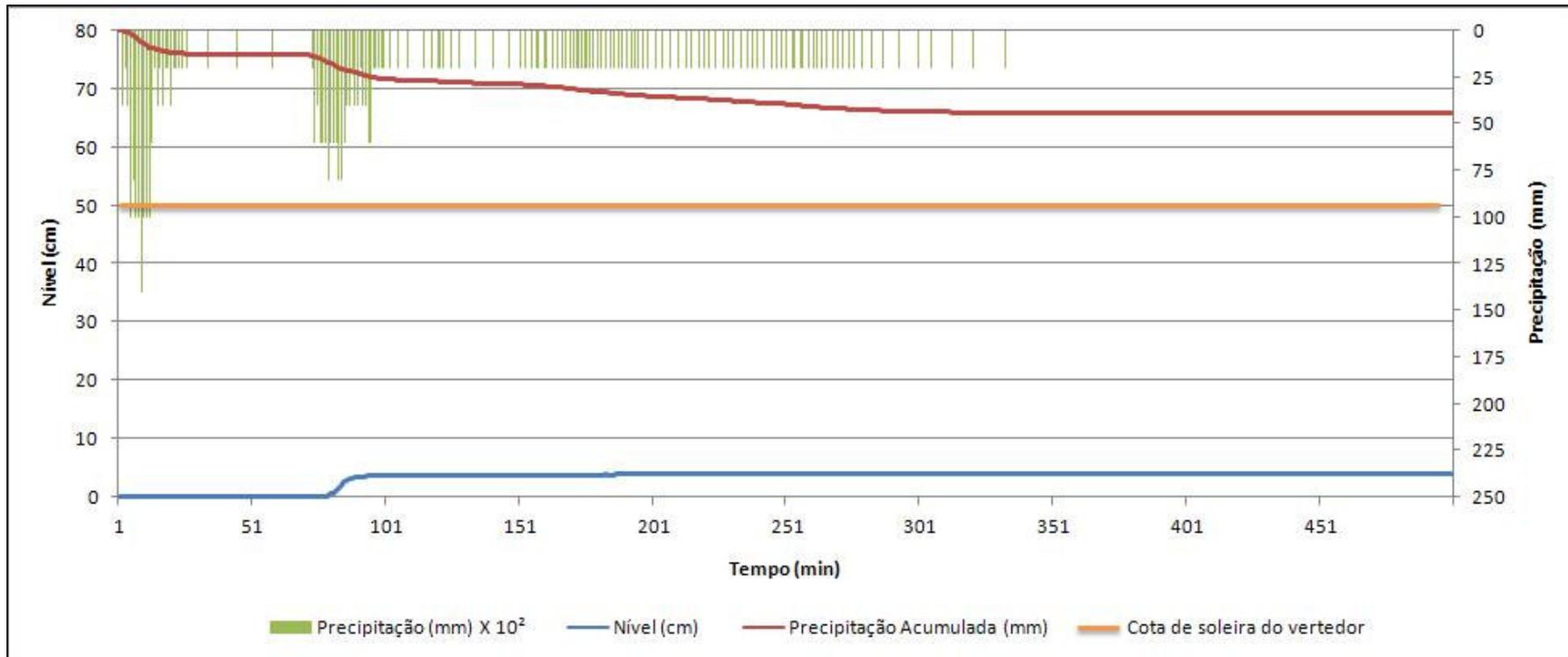


Figura 36 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 9 na microbacia.

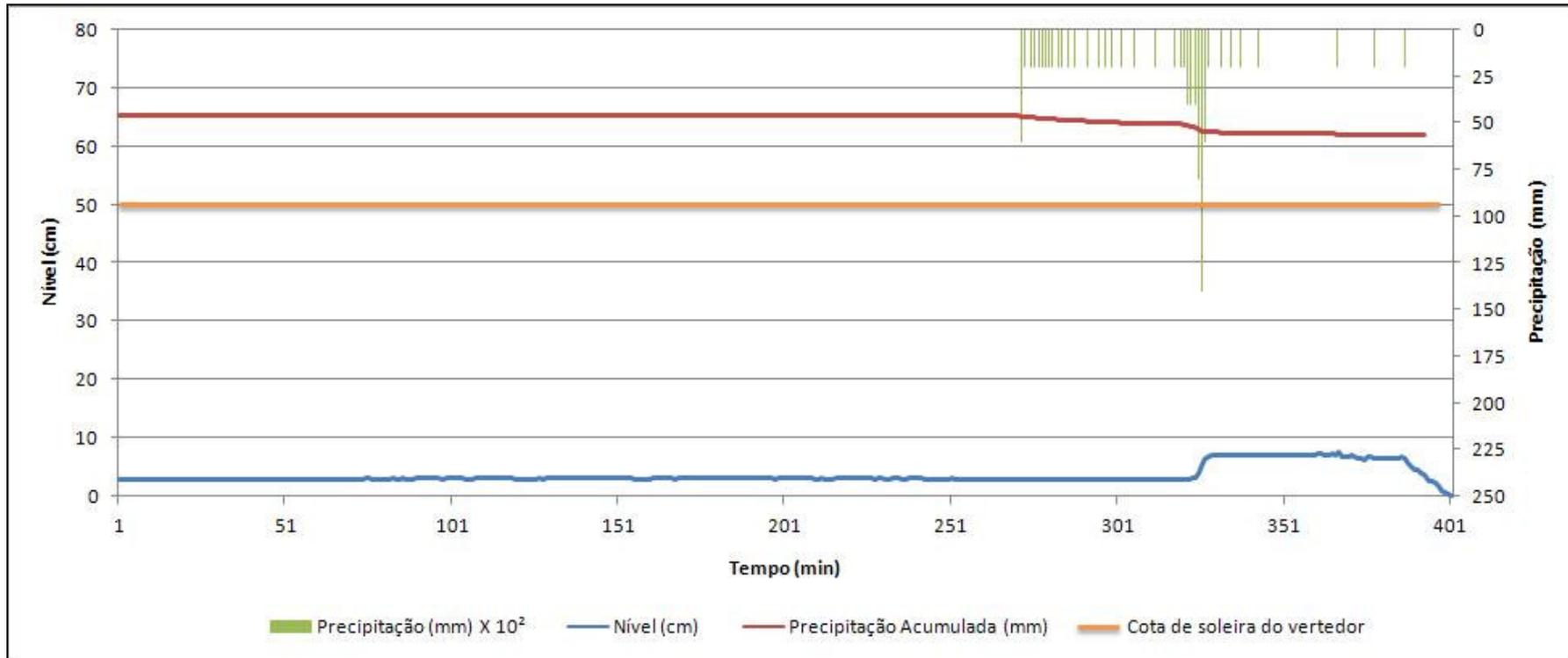


Figura 37 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 10 na microbacia.

A Amostragem 2 foi realizada a partir do acúmulo do deflúvio superficial formado na microbacia resultante apenas do evento pluviométrico erosivo 11. A Figura 38 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo antecedente à Amostragem 2.

O evento pluviométrico erosivo 11 teve início às 22 horas e 13 minutos do dia 29/02/2008, totalizando 27,6 mm. A duração foi de 2,46 horas, e, a intensidade média foi de 11,2 mm/h. A chuva apresentou padrão pluviométrico Intermediário. Após os primeiros 19 minutos de chuva, ocorreu o início de acumulação do deflúvio superficial, advindo da microbacia, na fossa de sedimentos. Transcorridos 52 minutos do início da chuva ocorreu o início do fluxo de água através do vertedor, que perdurou por 39 minutos. A partir de então cessou a contribuição do escoamento superficial da microbacia à fossa de sedimentos. A cota linimétrica máxima atingida foi de 56,54 cm. O evento pluviométrico erosivo 11 teve início aproximadamente 6 horas após o término do evento pluviométrico erosivo 10, estando portanto o solo bastante úmido, o que favoreceu a formação do deflúvio superficial.

Não foram percebidas perdas significativas por evaporação ou infiltração no volume armazenado na fossa de sedimentos no período posterior ao evento pluviométrico e antecedente a amostragem, sendo o decréscimo no nível de água menor que 0,1 cm. A Figura 39 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 11.

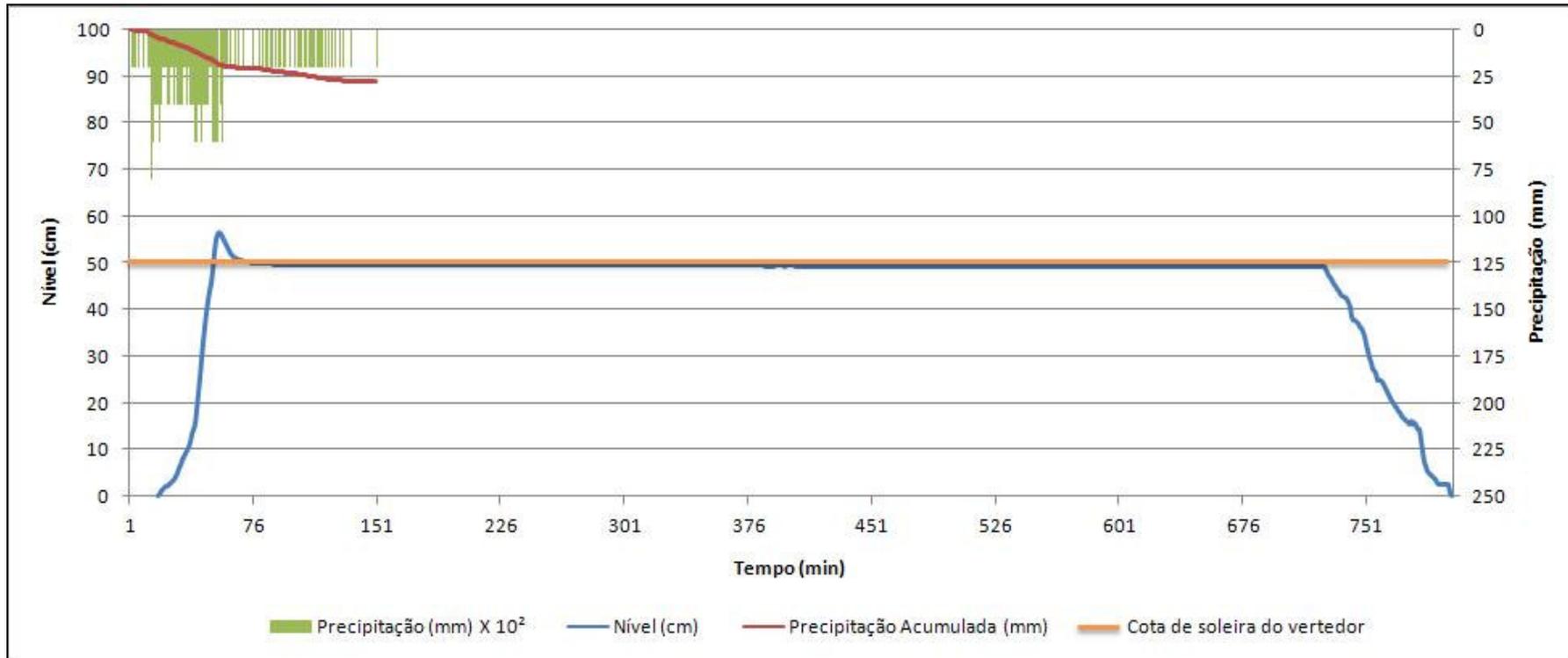


Figura 38 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo antecedente a Amostragem 2 na microbacia.

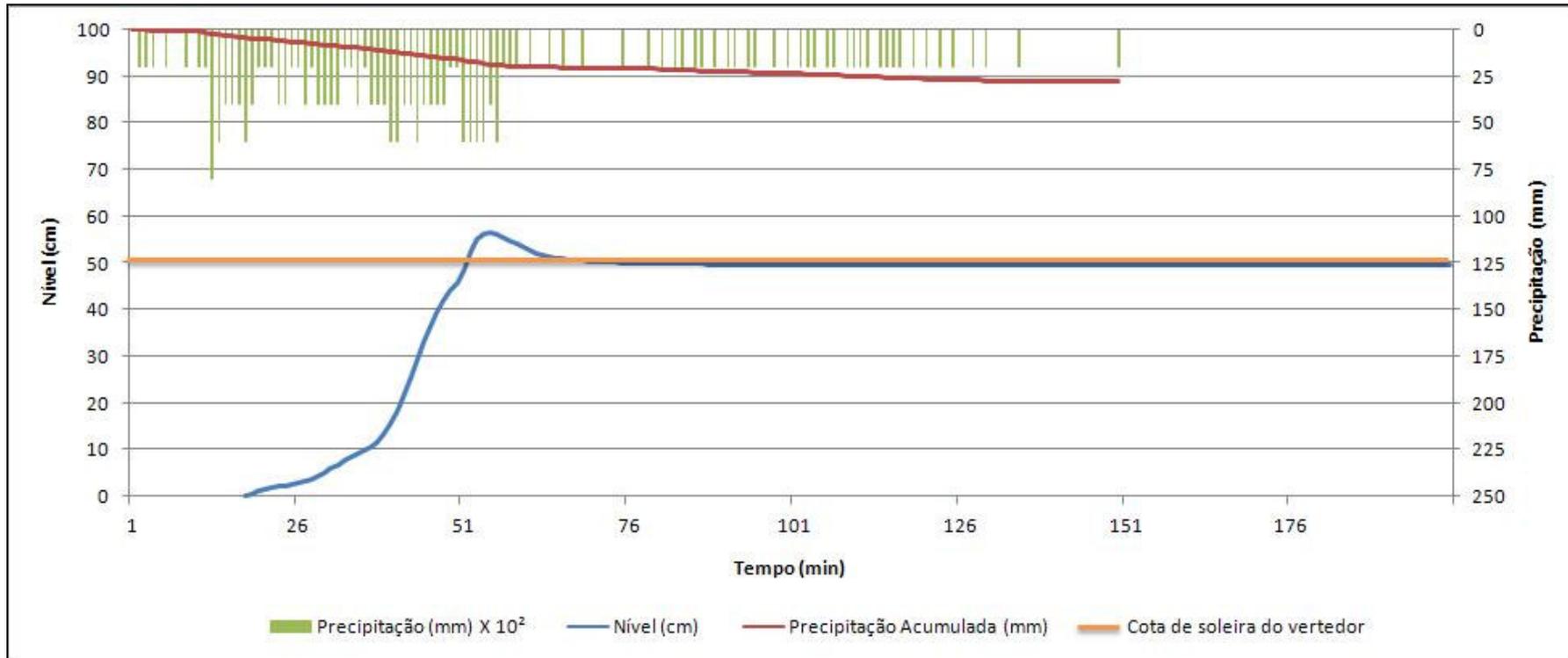


Figura 39 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 13 na microbacia.

Entre a chuva erosiva 11, responsável pela formação do deflúvio superficial referente à Amostragem 2, e o evento erosivo 14, ocorreram os eventos pluviométricos erosivos 12 e 13, sendo o total precipitado de 8,0 e 33,4 mm, respectivamente. Porém, os eventos erosivos 12 e 13 não foram capazes de gerar escoamento superficial, devido à baixa intensidade pluviométrica, e a condição de baixa umidade antecedente do solo, tendo em vista o período de escassez de chuva anterior aos mesmos.

Com relação à Amostragem 3, o acúmulo do escoamento superficial na fossa de sedimentos foi resultante de quatro eventos chuvosos erosivos consecutivos (evento pluviométrico erosivo 14, 15, 16 e 17). A Figura 40 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos antecedentes a Amostragem 3.

A chuva erosiva 14 teve início às 15 horas e 9 minutos do dia 23/03/2008, totalizando 16,2 mm. A duração foi de aproximadamente 8 horas, sendo a intensidade média do evento de 2 mm/h. O evento apresentou padrão pluviométrico Intermediário. Passados 94 minutos do início da chuva, o que totalizou 5,6 mm de precipitação, ocorreu o início da contribuição do escoamento superficial, formado na microbacia, à fossa de sedimentos. A contribuição relativa ao escoamento superficial resultante do evento erosivo 14 ocorreu até o minuto 308, tendo atingido até então a cota de 2,05 cm.

O intervalo de tempo entre as chuvas erosivas 14 e 15 foi de aproximadamente 21,5 horas e durante o mesmo aconteceram algumas pequenas precipitações isoladas, totalizando 1 mm, porém não foram registrados incrementos no nível de água acumulada na fossa de sedimentos. Não foram verificadas perdas significativas por evaporação ou infiltração no volume de água armazenado na fossa de sedimentos, sendo o decréscimo no nível de água menor que 0,2 cm.

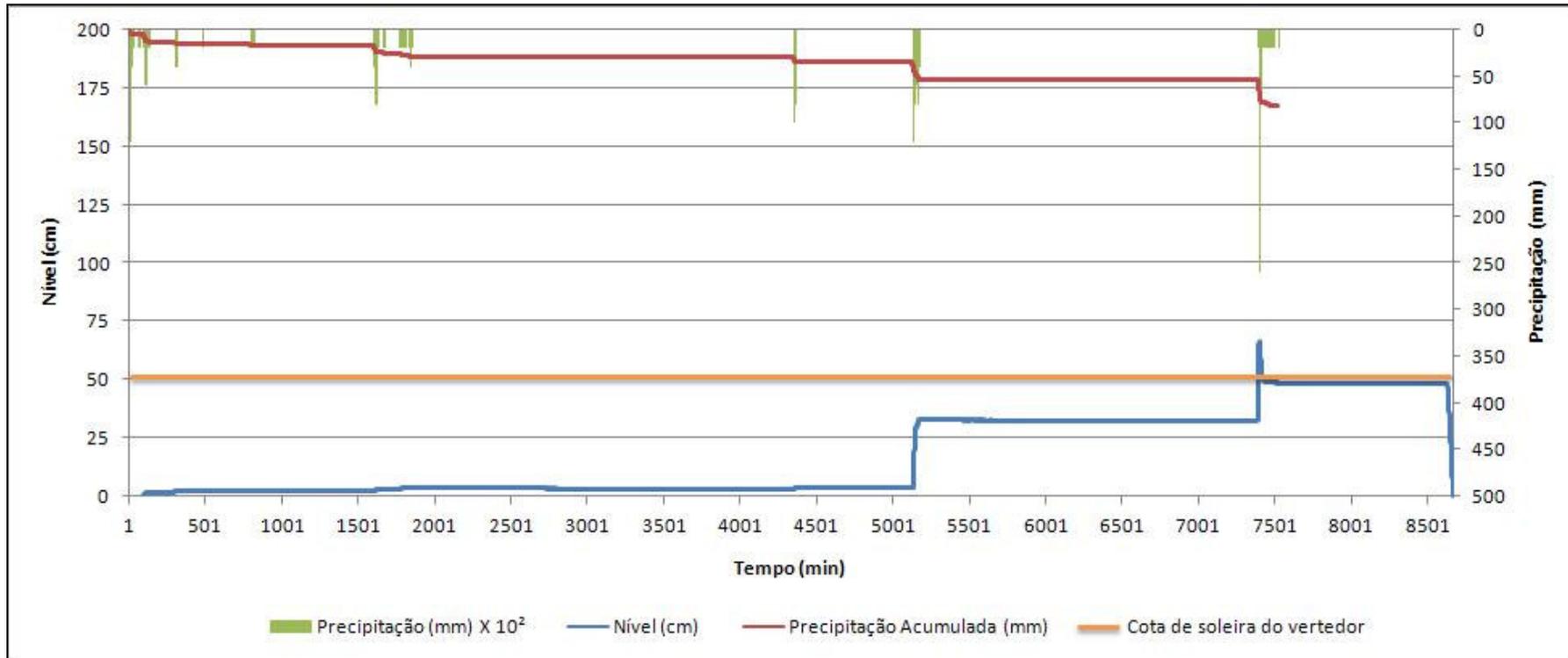


Figura 40 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos antecedentes a Amostragem 3 na microbacia.

O evento pluviométrico 15 teve início às 17 horas e 43 minutos do dia 24/03/2008 e teve duração de 4,13 horas. O total precipitado foi de 12,6 mm e a intensidade média foi de 3,1 mm/h. A chuva erosiva apresentou padrão pluviométrico Avançado. Passados apenas 4 minutos de início da chuva erosiva 15, o que totalizou 1,2 mm de precipitação, teve início a contribuição do escoamento superficial, formado na microbacia, à fossa de sedimentos. O acúmulo da água escoada superficialmente na microbacia teve fim depois de transcorridos 248 minutos do início da chuva erosiva 15, sendo a cota linimétrica de 3,37 cm. A Figura 41 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos 14 e 15.

O período entre as chuvas erosivas 15 e 16 perdurou aproximadamente 54,5 horas e durante o mesmo ocorreu uma precipitação de 5,2 mm, a qual resultou em uma contribuição do escoamento superficial à fossa de sedimentos, sendo de 3,55 cm a cota linimétrica posterior ao evento. Durante o período não foram verificadas perdas significativas por evaporação ou infiltração no volume de água armazenado na fossa de sedimentos.

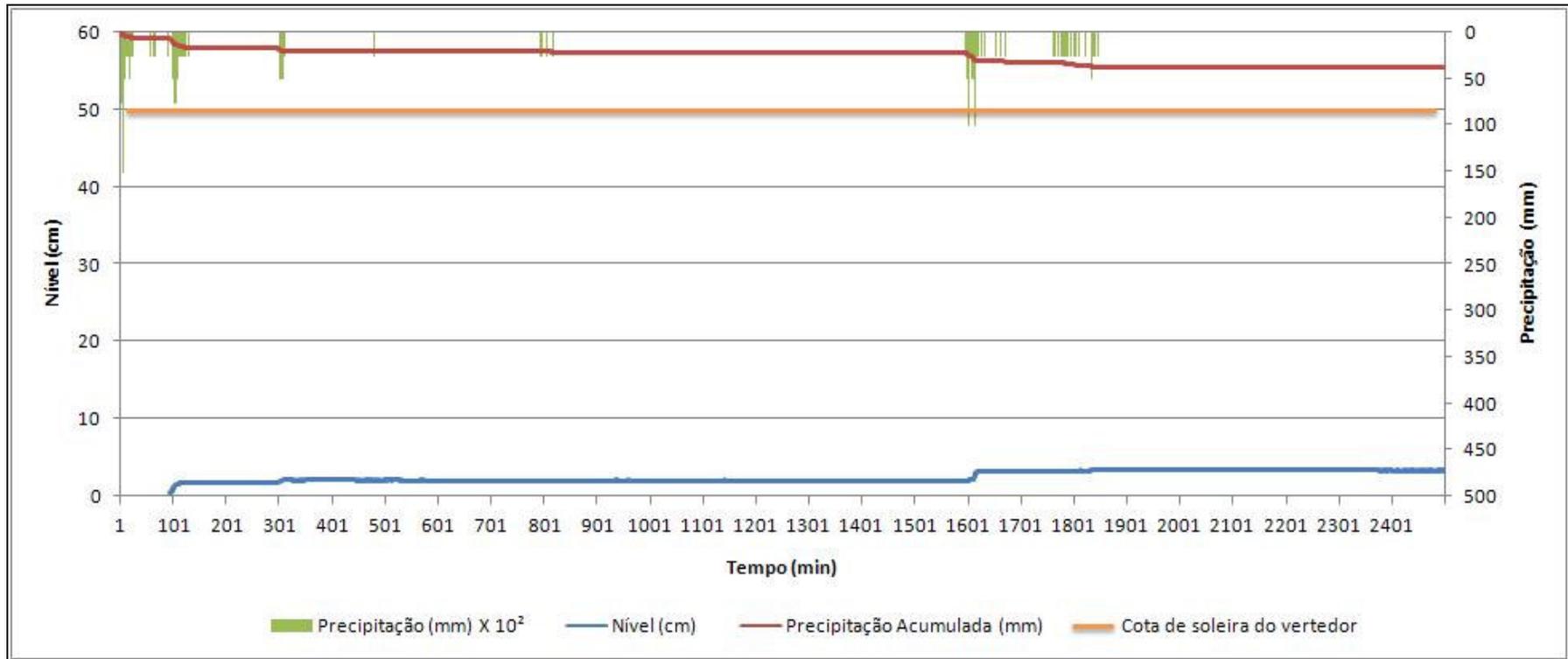


Figura 41 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes dos eventos pluviométricos erosivos 14 e 15 na microbacia.

O evento pluviométrico erosivo 16 apresentou um total precipitado de 18,8 mm, sendo o início ocorrido no dia 27/03/2008 às 04 horas e 35 minutos. A duração do evento foi de aproximadamente 49 minutos. A intensidade média da precipitação foi de 23,3 mm/h apresentando padrão pluviométrico Avançado. Após os primeiros 3 minutos de início da chuva, o que totalizou 1,2 mm de precipitação, teve início a contribuição do escoamento superficial à fossa de sedimentos. A contribuição relativa ao escoamento superficial resultante do evento erosivo 16 ocorreu até o minuto 48 da chuva, sendo a cota de água acumulada de fossa de sedimentos igual a 32,6 cm. A Figura 42 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 16.

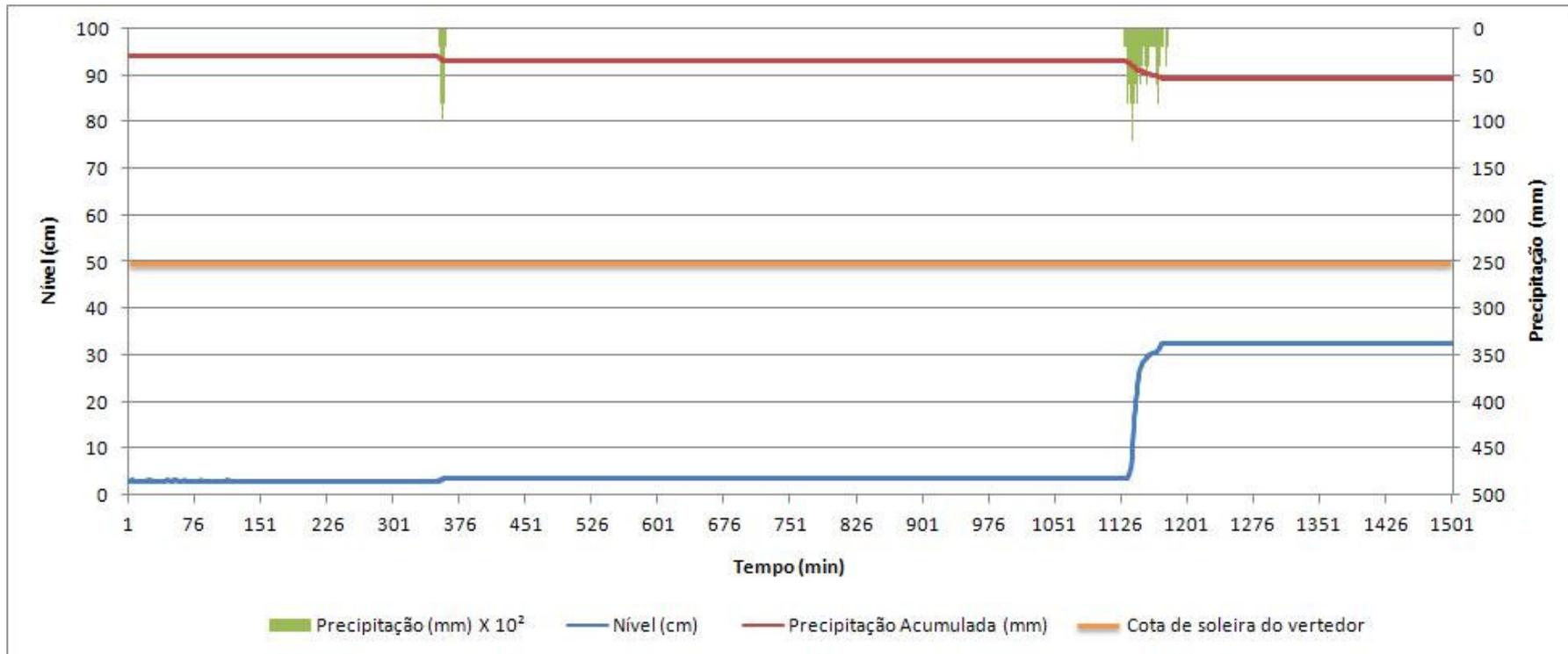


Figura 42 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 16 na microbacia.

O intervalo de tempo entre as chuvas erosivas 16 e 17 foi de aproximadamente 36,8 horas e durante o mesmo não ocorreram registros de precipitações. Não foram verificadas também perdas significativas por evaporação ou infiltração no volume de água armazenado na fossa de sedimentos, sendo o decréscimo no nível de água menor que 0,5 cm.

Com relação ao evento pluviométrico erosivo 17 o total precipitado foi de 27,8 mm, sendo o início do evento ocorrido no dia 28/03/2008 às 18 horas e 13 minutos. A duração do evento foi de aproximadamente 3,5 horas. A intensidade média da precipitação foi de 7,4 mm/h apresentando padrão pluviométrico Intermediário. Passados apenas 4 minutos de início da chuva erosiva 17, o que totalizou 2,2 mm de precipitação, teve início uma nova contribuição do escoamento superficial à fossa de sedimentos. Transcorridos 11 minutos do início da chuva ocorreu o início do fluxo de água através do vertedor, que perdurou por aproximadamente 30 minutos. A partir de então cessou a contribuição do escoamento superficial da microbacia à fossa de sedimentos. A cota linimétrica máxima atingida foi de 66,32 cm.

Não foram percebidas perdas significativas por evaporação ou infiltração no volume armazenado na fossa de sedimentos no período posterior ao evento pluviométrico 17 e antecedente a amostragem, sendo o decréscimo no nível de água menor que 0,3 cm. A Figura 43 apresenta os registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 17.

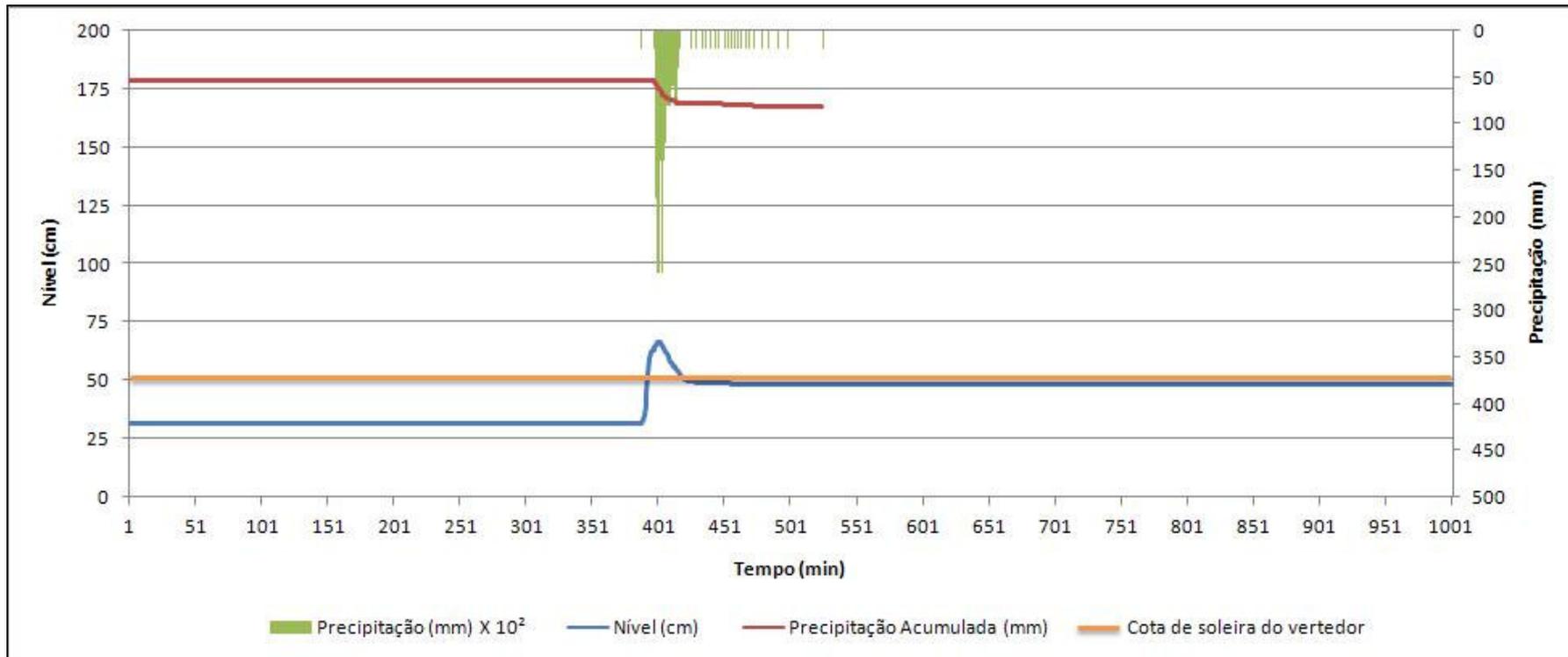


Figura 43 – Registros pluviográficos e linigráficos resultantes do evento pluviométrico erosivo 17 na microbacia.

A Tabela 7 apresenta os resultados do monitoramento linigráfico registrado na fossa de sedimentos antecedente às três amostragens realizadas.

Tabela 7 – Dados linigráficos registrados na fossa de sedimentos para as amostragens realizadas.

	Amostragem 1	Amostragem 2	Amostragem 3
Duração Total (Período entre o início da acumulação, na fossa de sedimentos, da água escoada superficialmente na Microbacia e o final da limpeza na fossa de sedimentos) (h)	63,70	13,08	142,92
Duração de Acúmulo (Período entre o início da acumulação, na fossa de sedimentos, da água escoada superficialmente na Microbacia e o término da contribuição à fossa de sedimentos do escoamento superficial) (h)	63,13	1,20	123,72
Nível Máximo (cm)	7,68	56,54	66,32
Instante do Nível Máximo (h)	63,15	0,63	121,78
Volume Vertido na Fossa de Sedimentos (m ³)	0,00	0,47	9,29
Volume Acumulado na Fossa de Sedimentos (m ³)	0,35	2,29	2,29
Volume Total (m ³)	0,35	2,75	11,57

O monitoramento linigráfico antecedente a Amostragem 1 teve uma duração total de 2,7 dias. O nível de água acumulada na fossa de sedimentos foi inferior a cota do tubo de amostragem manual mais baixo e devido a isto só foi possível a coleta de amostras de fundo.

Com relação aos monitoramentos linigráficos antecedente as Amostragem 2 e 3, a duração aproximada foi de 0,54 e 6 dias, respectivamente. Durante ambos os monitoramentos houve escoamento sobre o vertedor triangular da fossa de sedimentos, sendo assim possível a amostragem através dos tubos de amostragem automática e dos tubos de amostragem manual, além da amostragem de fundo.

5.1.3 Produção de sedimentos

As amostras coletadas na fossa de sedimentos foram analisadas em laboratório, onde foi determinada a produção total de sólidos, além das frações fixas e voláteis. A Tabela 8 apresenta os valores obtidos, após análise laboratorial, de concentração média e produção de sólidos suspensos relativos às amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

Tabela 8 – Concentração média e produção de sólidos suspensos relativos às amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

		Tipo de amostra						Produção total (kg)
		Fundo		Tubos de amostragem manual		Tubos de amostragem automática		
		Concentração média (mg/L)	Produção (kg)	Concentração média (mg/L)	Produção (kg)	Concentração média (mg/L)	Produção (kg)	
Amostragem 1	Sólidos Totais	8279	2,91	0	0	0	0	2,91
	Sólidos Fixos	7539	2,65 (91,1%)	0	0	0	0	2,65 (91,1%)
	Sólidos Voláteis	743	0,26 (8,9%)	0	0	0	0	0,26 (8,9%)
Amostragem 2	Sólidos Totais	10511	7,69	1480	2,3	1259	0,59	10,58
	Sólidos Fixos	10030	7,34 (95,4%)	1395	2,17 (94,3%)	1130	0,53 (89,8%)	10,03 (94,9%)
	Sólidos Voláteis	481	0,35 (4,6%)	85	0,13 (5,7%)	129	0,06 (10,2%)	0,55 (5,1%)
Amostragem 3	Sólidos Totais	11714	8,57	1762	2,74	796	7,39	18,7
	Sólidos Fixos	10848	7,94 (92,6%)	1612	2,51 (91,6%)	712	6,61 (89,4%)	17,05 (91,2%)
	Sólidos Voláteis	866	0,63 (7,4%)	150	0,23 (8,4%)	84	0,78 (10,6%)	1,65 (8,8%)

As amostras de fundo coletadas na fossa de sedimentos, relativas à Amostragem 1, apresentaram uma produção de sólidos totais de 2,91 kg, sendo 91,1% referente a sólidos fixos e 8,9% referente a sólidos voláteis.

Para a Amostragem 2, as amostras referentes aos tubos de amostragem automática foram as que apresentaram maior percentual de material orgânico, devido principalmente a decantação do material mais denso, formado principalmente pela parcela mineral. O mesmo foi verificado ao se comparar as frações orgânicas das amostras referentes aos tubos de amostragem manual e das amostras de fundo, sendo a primeira maior, e representando 5,7% do total. Ainda decorrente do processo de decantação supracitado, as maiores concentrações foram encontradas para as amostras de fundo, sendo a concentração média de 10.511 mg/L. O total de sólidos produzidos foi de 10,58 kg, sendo 94,9% referente a sólidos fixos e 5,1% referente a sólidos voláteis.

Com relação à Amostragem 3, assim como os resultados obtidos para a Amostragem 2, as amostras referentes aos tubos de amostragem automática foram as que apresentaram maior percentual de material orgânico, representando 10,6%. O mesmo foi verificado ao se comparar as frações orgânicas das amostras referentes aos tubos de amostragem manual e das amostras de fundo. As maiores concentrações foram encontradas para as amostras de fundo, sendo a concentração média de 11.714 mg/L. O

total de sólidos produzidos foi de 18,70 kg, sendo 91,2% referente a sólidos fixos e 8,8% referente a sólidos voláteis.

Em um comparativo entre a produção de sólidos totais relativa às amostras de fundo, a Amostragem 1 apresentou o valor mais baixo entre as três amostragens, sendo de 2,91 kg, em um volume líquido armazenado na fossa de sedimentos de 351,5 L. Com relação as amostragens 2 e 3 o volume líquido armazenado foi relativo a cota linimétrica inferior do tubo de amostragem manual mais baixo, totalizando 732 L, sendo a produção de sólidos totais de 7,69 kg e 8,57 kg, respectivamente.

A Figura 44 apresenta a produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras de fundo, ao longo das três amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

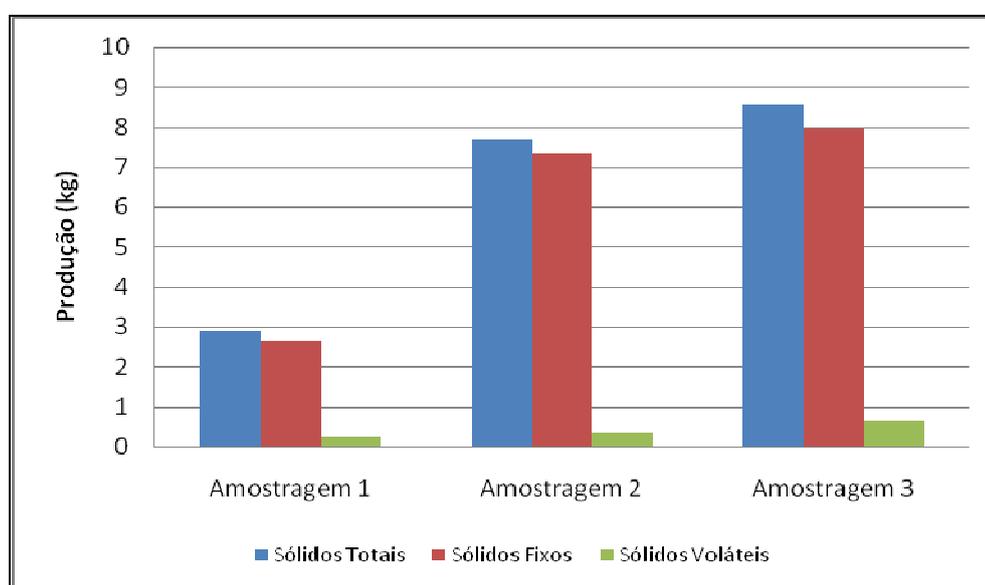


Figura 44 – Produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras de fundo, ao longo das três amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

Foram realizadas coletas de amostras nos tubos de amostragem manual durante as amostragens 2 e 3. Em ambos os casos, o líquido armazenado na fossa de sedimentos encontrava-se na cota de soleira do vertedor. Excluindo-se o volume armazenado referente à amostragem de fundo, delimitado pela cota linimétrica inferior do tubo de amostragem manual mais baixo, o volume relativo à amostragem manual foi de 1.555,5 L. A produção de sólidos totais foi de 2,30 kg para a Amostragem 2, enquanto que para a Amostragem 3 o valor encontrado foi de 2,74 kg.

Na Figura 45 está exposta a produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras coletadas nos tubos amostragem manual, ao longo das duas amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

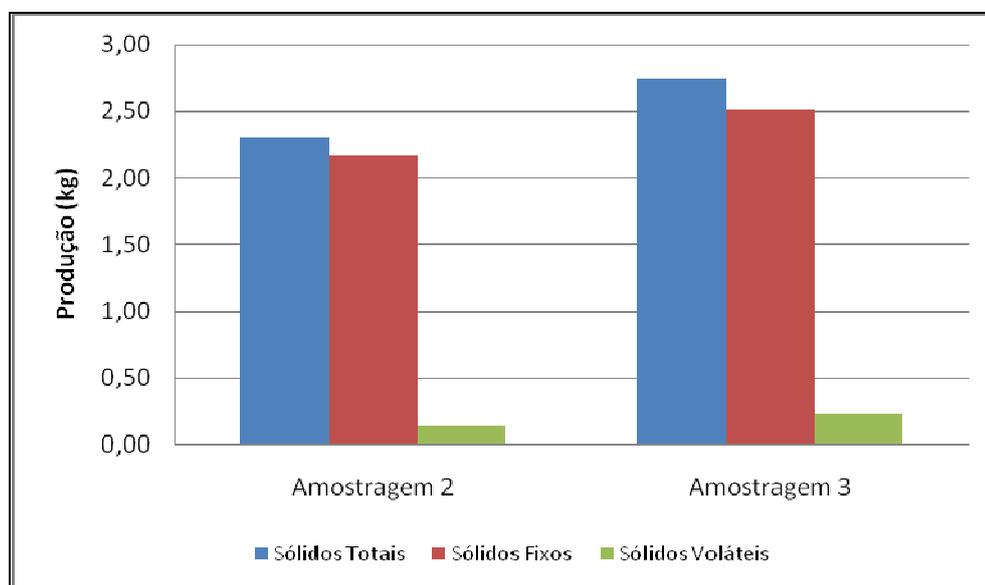


Figura 45 – Produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras coletadas nos tubos de amostragem manual, ao longo das duas amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

A produção de sólidos totais, fixos e voláteis, referente às duas amostragens realizadas através dos tubos de amostragem automática apresentou uma significativa disparidade entre os valores. Esse comportamento ocorreu devido à grande diferença existente entre o volume de água vertido para os dois momentos, sendo de 467,2 L antecedente a Amostragem 2, enquanto que antecedente a Amostragem 3 foi de 9.286,1 L. A produção de sólidos totais foi de 0,59 kg para a Amostragem 2, enquanto que para a Amostragem 3 o valor encontrado foi de 7,39 kg.

Na Figura 46 está exposta a produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras coletadas nos tubos de amostragem automática, ao longo das duas amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

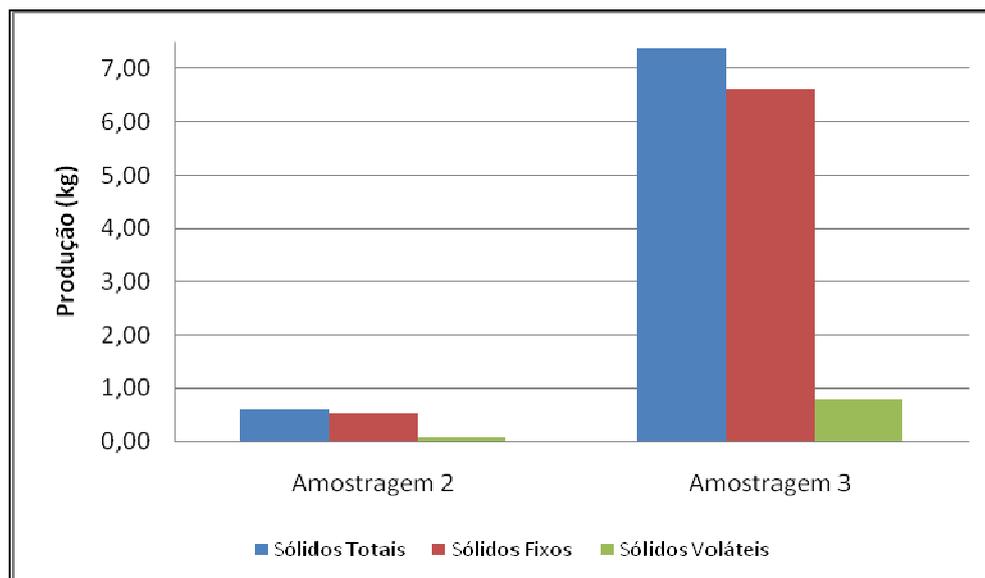


Figura 46 – Produção de sólidos totais, fixos e voláteis, relativa às amostras coletadas nos tubos de amostragem automática, ao longo das duas amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

Considerando o somatório das produções parciais realizadas nas amostragens de fundo, e nas amostragens através dos tubos manuais e automáticos, a produção de sólidos totais referente a Amostragem 1 foi de 2,91 kg, sendo este o menor valor entre as amostragens realizadas. As amostras coletadas durante a Amostragem 2 indicaram uma produção de sólidos totais de 10,58 kg, enquanto que para a Amostragem 3 a produção foi de 18,71 kg.

A Figura 47 apresenta a produção de sólidos totais, fixos e voláteis, ao longo das três amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

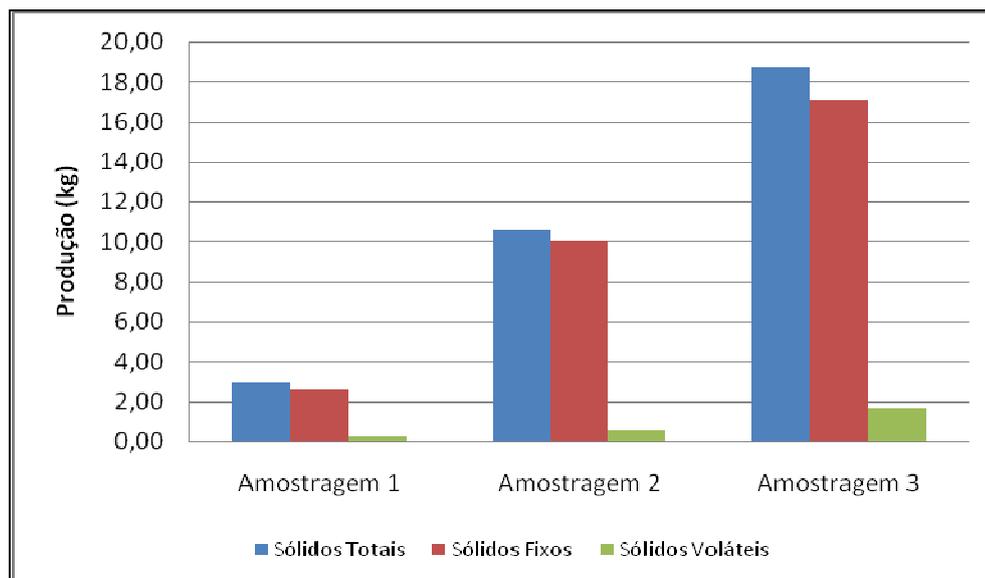


Figura 47 – Produção de sólidos totais, fixos e voláteis, ao longo das três amostragens realizadas na fossa de sedimentos.

A Figura 48 apresenta a relação entre a produção de sedimentos e a lâmina total escoada antecedente à cada amostragem realizada na fossa de sedimentos da microbacia.

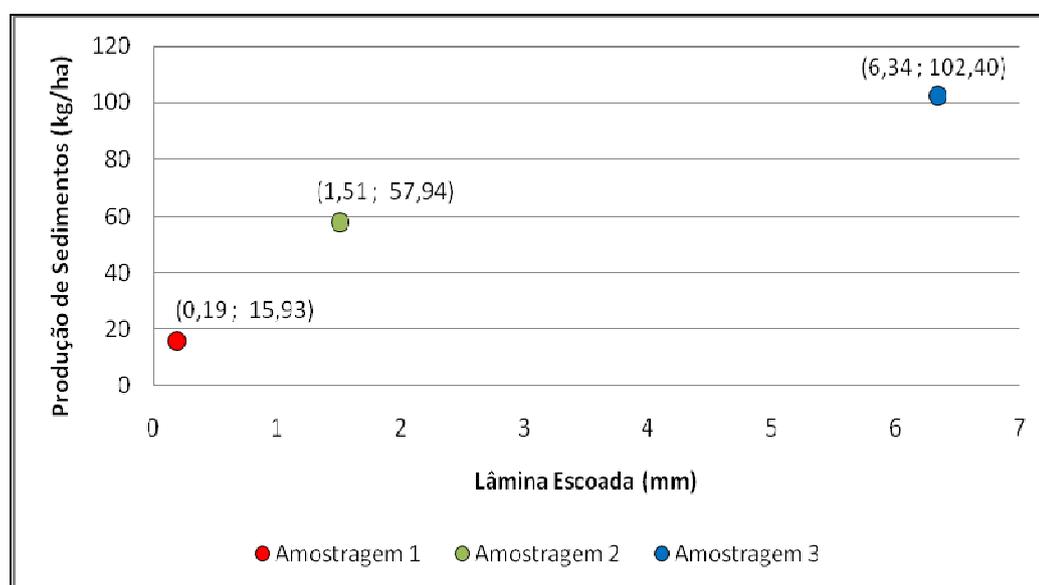


Figura 48 – Relação entre a produção de sedimentos e a lâmina total escoada antecedente à cada amostragem realizada na fossa de sedimentos da microbacia.

Através da análise dos dados, foi possível perceber uma tendência de crescimento da produção de sedimentos em função do aumento da lâmina escoada. Esse comportamento corrobora com os resultados obtidos por SRINIVASAN e GALVÃO (2003), CARVALHO *et al.* (2009) e CRUZ (2006).

Ao se comparar os resultados obtidos por SRINIVASAN e GALVÃO (2003) nas microbacias desmatadas da Bacia Experimental de Sumé, com os encontrados na microbacia analisada no presente trabalho, verificou-se que em diversos eventos pluviométricos registrados na bacia paraibana, a produção de sedimentos se comportou de forma semelhante.

A produção de sedimentos apresentou tendência de crescimento também quando relacionada com o coeficiente de deflúvio superficial (Figura 49). O comportamento verificado no presente trabalho corrobora com o resultado encontrado no estudo desenvolvido por GARCIA *et al.* (2003), onde foram determinados o volume total de água escoada e a produção de sedimentos provenientes de segmentos de estradas florestais em condições de chuva natural. GARCIA *et al.* (2003) verificaram que à medida que o volume de enxurrada aumentou, ocorreu aumento de sua velocidade, favorecendo o transporte de sedimentos; como consequência, a massa do solo erodido cresceu exponencialmente em função do incremento no volume de enxurrada.

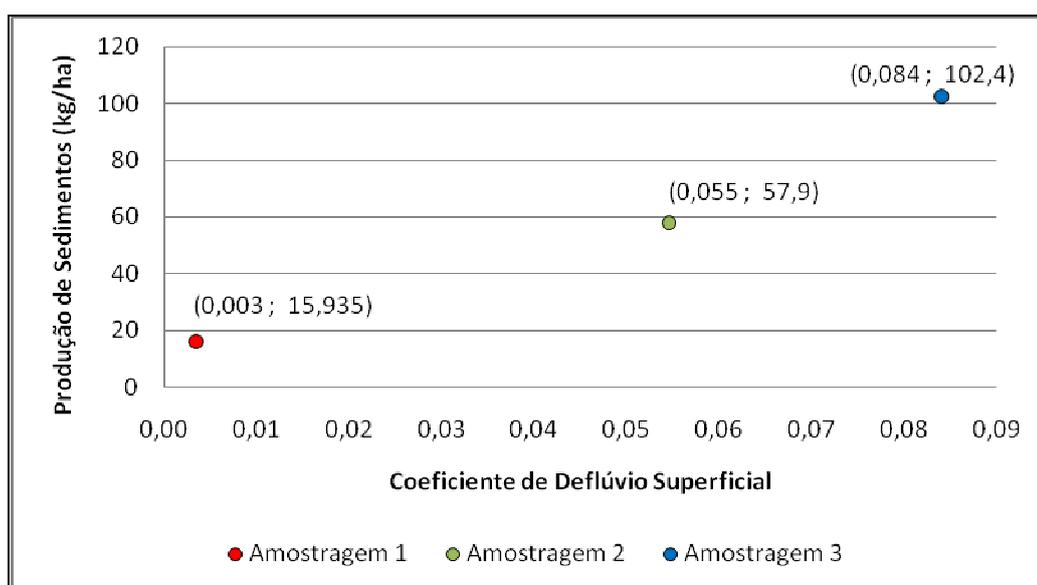


Figura 49 – Relação entre a produção de sedimentos e o coeficiente de deflúvio superficial antecedente à cada amostragem realizada na fossa de sedimentos da microbacia.

Apesar da pequena quantidade de dados, que impossibilita uma análise estatística mais acurada, os comportamentos verificados no presente estudo apresentam um indicativo da produção de sedimentos na região.

A Figura 50 apresenta a relação entre a concentração de sólidos totais e a lâmina total escoada antecedente à cada amostragem realizada na fossa de sedimentos da microbacia.

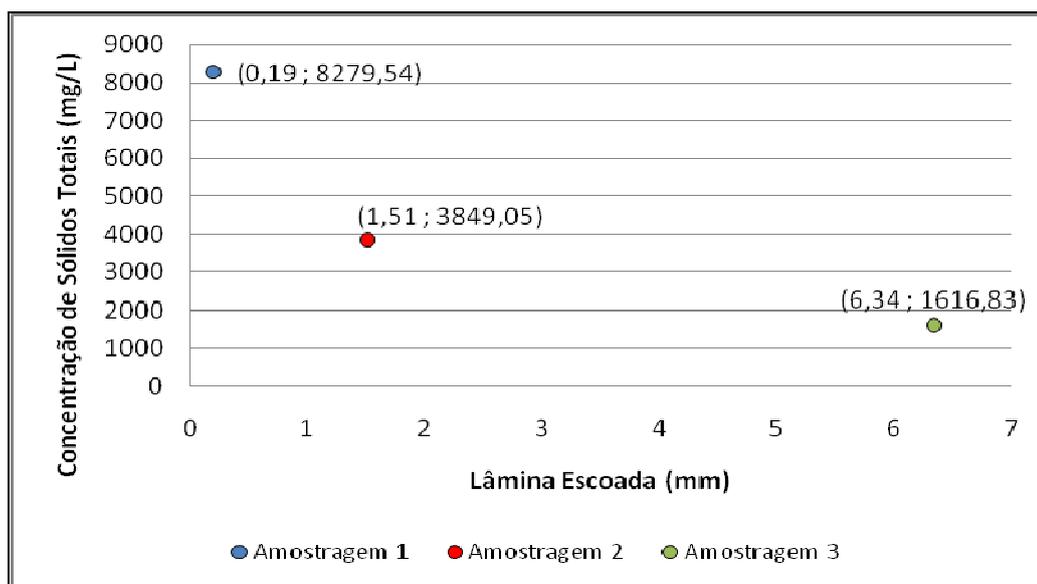


Figura 50 – Relação entre a concentração de sólidos totais e a lâmina total escoada antecedente à cada amostragem realizada na fossa de sedimentos da microbacia.

A partir da análise dos resultados referentes às amostragens realizadas na fossa de sedimentos, verificou-se uma tendência de decaimento da concentração de sólidos totais em função do aumento da lâmina total escoada. Este comportamento corrobora com alguns resultados obtidos por (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003). Comportamento semelhante foi observado também no estudo desenvolvido por MELO *et al.* (2008) onde foi estudada a produção de sedimento suspenso em uma bacia hidrográfica semi-árida.

O comportamento observado no presente trabalho pode estar associado ao proposto por NOLLA (1982) que afirma que a erosão laminar origina-se quase que totalmente devido ao impacto da gota de chuva, sendo o escoamento superficial responsável por apenas 5% do total erodido. Nesse sentido, a concentração de sólidos em suspensão não estaria diretamente ligada ao volume total escoado superficial, e sim à característica do evento pluviométrico responsável pela erosão laminar.

Com o intuito de examinar uma possível correlação entre a intensidade pluviométrica máxima antecedente à amostragem e a concentração média de sólidos em suspensão na fossa de sedimentos, os eventos pluviográficos erosivos responsáveis pela formação do escoamento superficial na microbacia foram discretizados em intervalos de 1, 2, 5, 10, 15, 30 e 60 minutos. As máximas intensidades pluviométricas utilizadas foram obtidas de duas maneiras diferentes: (a) determinando-se a média das intensidades máximas dos eventos antecedentes à amostragem; e (b) determinando-se a máxima intensidade pluviométrica entre os eventos antecedentes à amostragem.

Na Figura 51 apresenta-se a relação entre a média das intensidades pluviométricas máximas dos eventos antecedentes à amostragem e a concentração média de sólidos em suspensão, para discretização em intervalos de 1, 15, 30 e 60 minutos. Na Figura 52 estão expostos os gráficos com a relação entre a intensidade pluviométrica máxima entre os eventos antecedentes à amostragem e a concentração média de sólidos em suspensão da amostragem, para discretização em intervalos de 1, 15, 30 e 60 minutos.

A partir dos resultados obtidos, não foi possível identificar correlações entre as intensidades pluviométricas máximas antecedentes às amostragens e as concentrações médias de sólidos em suspensão na fossa de sedimentos. A análise possivelmente foi prejudicada devido ao acúmulo de deflúvio superficial resultante de diferentes eventos pluviométricos antecedentes a uma mesma amostragem, como ocorrido com a Amostragem 1 e a Amostragem 3. Este procedimento ocasionou a mistura dos sólidos em suspensão referentes a eventos pluviométricos diferentes.

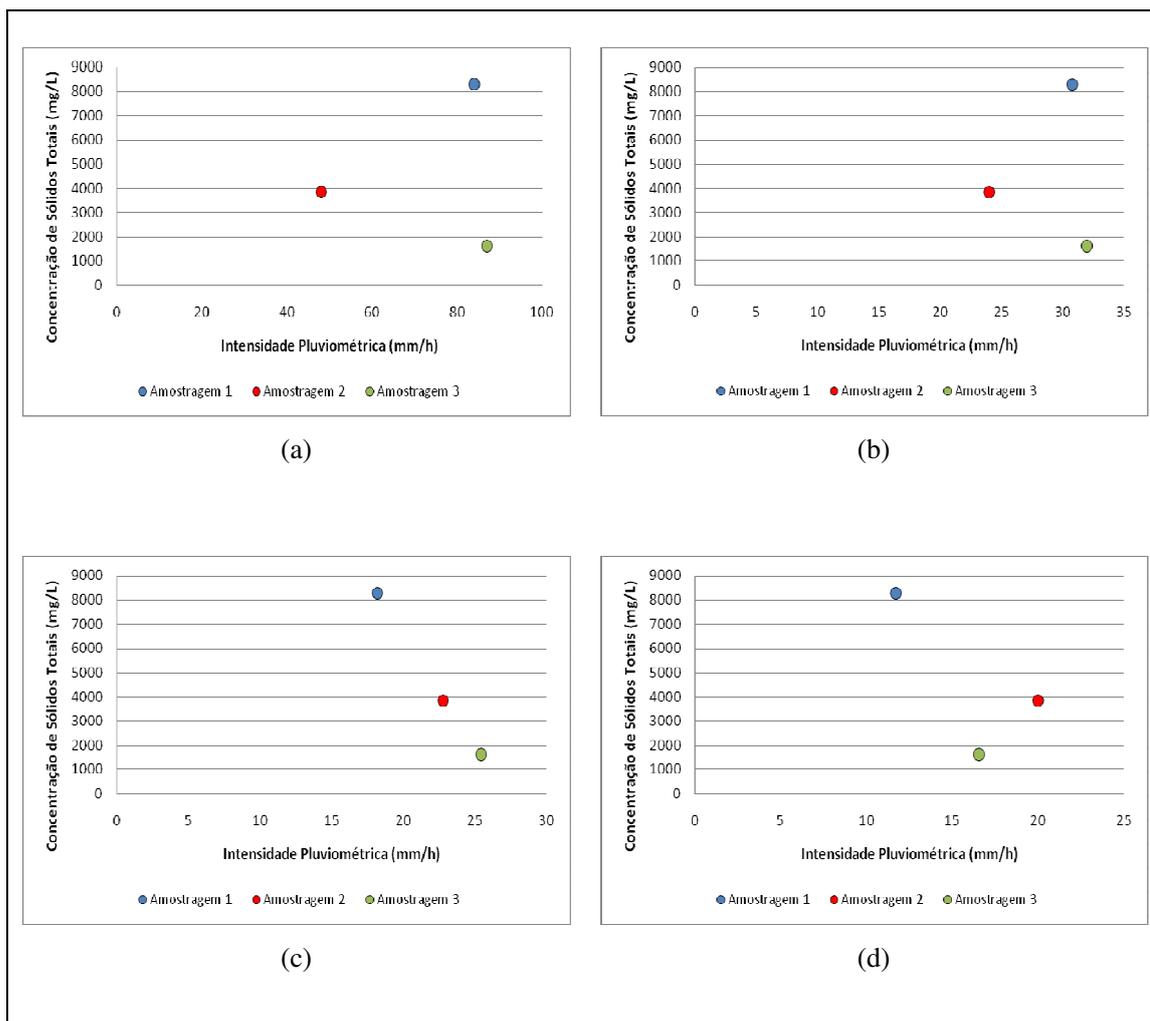


Figura 51 – Relação entre a média das intensidades pluviométricas máximas dos eventos antecedentes à amostragem e a concentração média de sólidos em suspensão da amostragem: (a) Discretização de 1 minuto; (b) Discretização de 15 minutos; (c) Discretização de 30 minutos; e (d) Discretização de 60 minutos.

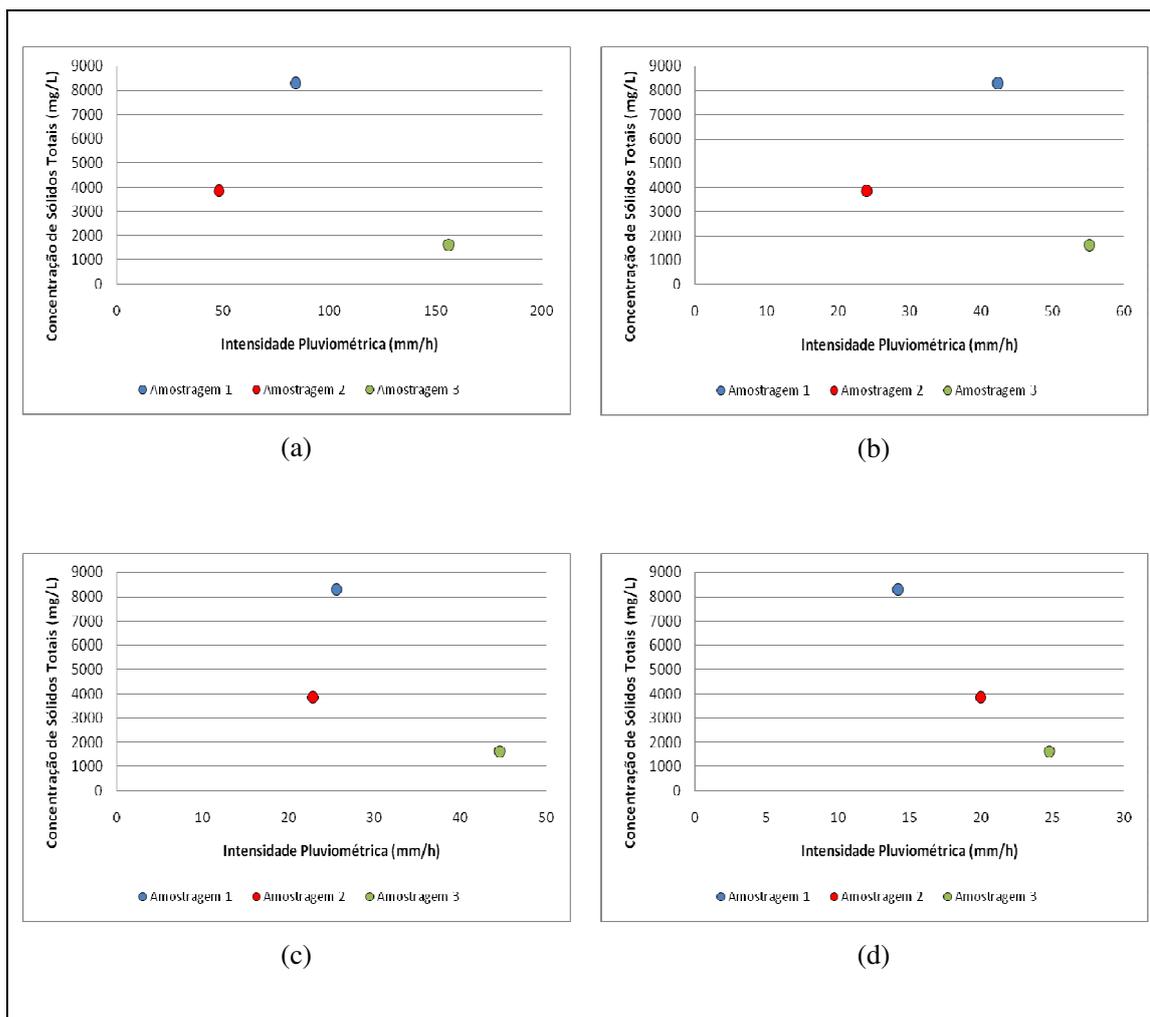


Figura 52 – Relação entre a intensidade pluviométrica máxima entre os eventos antecedentes à amostragem e a concentração média de sólidos em suspensão da amostragem: (a) Discretização de 1 minuto; (b) Discretização de 15 minutos; (c) Discretização de 30 minutos; e (d) Discretização de 60 minutos.

5.2 Processos Hidrossedimentológicos nas Parcelas Experimentais de Erosão

5.2.1 Monitoramento hidrossedimentológico

O monitoramento dos processos hidrossedimentológicos nas parcelas experimentais de erosão foi realizado a partir de amostragens de água, resultante do escoamento superficial produzido por rotinas de simulação de chuva, sendo um total de cinco para cada parcela.

As simulações e amostragens ocorreram entre os dias 28/11/2007 e 31/01/2008, sendo este período, coincidente com o período de crescimento da cultura de milho plantada no interior das parcelas. A primeira rotina de simulações foi realizada logo após o brotamento da cultura de milho, estando o solo praticamente descoberto. A segunda e a terceira rotina ocorreram em dois momentos distintos durante o crescimento da planta. A quarta e quinta rotinas foram realizadas no estágio máximo de crescimento da cultura. A Figura 53 apresenta as fases de crescimento da cultura de milho durante as rotinas de simulação de chuva.

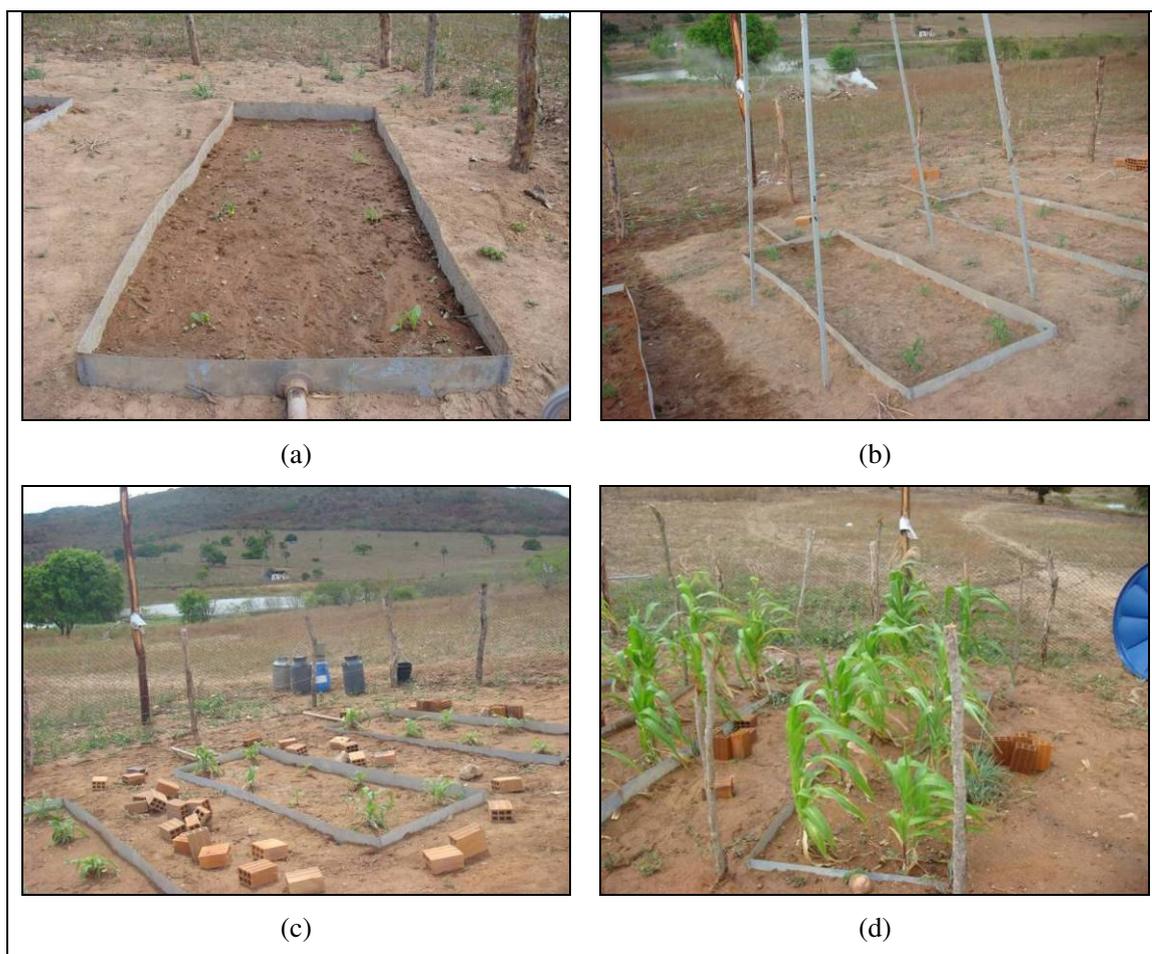


Figura 53 – Estágios de crescimento da cultura de milho: (a) Primeira rotina de simulações; (b) Segunda rotina de simulações; (c) Terceira rotina de simulações; e (d) Quarta e quinta rotina de simulações.

A primeira rotina de simulações de chuva foi realizada sob forte interferência do vento, ocasionando uma expressiva perturbação no fluxo da chuva que atingia as parcelas experimentais de erosão, com relação à distribuição espacial. Foram analisados os dados de velocidade máxima horária do vento registrados entre os dias 30/11/2007 e 06/12/2007 na estação meteorológica compacta instalada na bacia experimental. A Figura 54 apresenta o comportamento médio das velocidades máximas horárias do vento entre os dias 30/11/2007 e 06/12/2007.

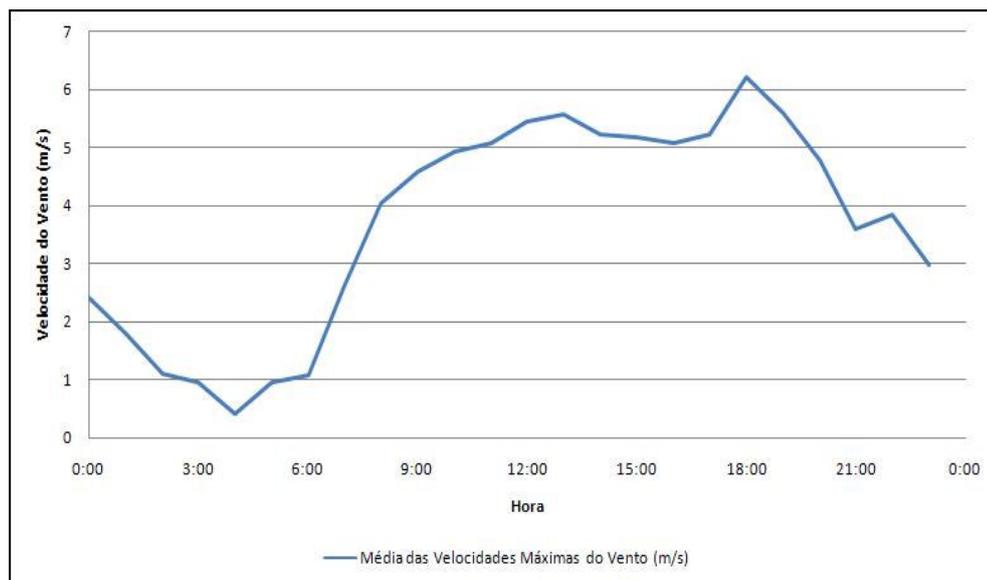


Figura 54 – Velocidades máximas horárias do vento entre os dias 30/11/2007 e 06/12/2007.

A partir da análise dos dados de velocidade do vento, verificou-se que a forte interferência do vento ocorreu devido ao horário de operação do simulador de chuva na primeira rotina, que teve início após as 9 horas e 30 minutos da manhã, para as três parcelas experimentais. Buscando amenizar os efeitos provocados pela interferência do vento, as rotinas de simulações seguintes foram realizadas nas primeiras horas da manhã.

A Tabela 9 apresenta as intensidades médias das precipitações simuladas nas parcelas experimentais de erosão.

A mudança de horário proporcionou, para as três parcelas experimentais monitoradas, uma maior homogeneidade em relação à distribuição espacial e intensidades dentro do programado.

Devido à interferência do vento ocorrida na primeira rotina de simulação de chuva, os resultados inerentes a mesma, não foram utilizados no presente estudo tendo em vistas possíveis erros e incertezas.

Tabela 9 – Intensidades média das precipitações simuladas nas parcelas experimentais de erosão.

Unidade Experimental	Evento	Data	Hora inicial	Intensidade Média (mm/h)	Desvio Padrão (mm/h)
Parcela experimental de erosão 1 – PEE1	Simulação 1	28/11/07	10:00	69,57	10,42
	Simulação 2	07/12/07	05:00	82,76	4,71
	Simulação 3	13/12/07	06:30	78,45	2,18
	Simulação 4	25/01/08	07:00	83,97	4,55
	Simulação 5	31/01/08	05:00	83,03	4,78
Parcela experimental de erosão 2 – PEE2	Simulação 1	29/11/07	09:30	101,25	15,12
	Simulação 2	07/12/07	06:30	125,38	8,07
	Simulação 3	13/12/07	05:00	118,60	7,99
	Simulação 4	25/01/08	04:30	123,01	2,88
	Simulação 5	31/01/08	07:30	121,54	11,99
Parcela experimental de erosão 3 – PEE3	Simulação 1	29/11/07	11:00	40,84	13,32
	Simulação 2	08/12/07	05:00	49,96	5,15
	Simulação 3	14/12/07	04:30	51,60	9,10
	Simulação 4	25/01/08	05:45	46,12	7,29
	Simulação 5	31/01/08	06:15	48,65	6,45

Excluindo o valor referente à primeira simulação de chuva, a intensidade média entre as simulações realizadas na parcela experimental de erosão 1 (PEE1) foi de 82,05 mm/h, sendo o desvio padrão médio de 4,05 mm/h. Com relação as parcelas experimentais de erosão 2 e 3 (PEE2 e PEE3), a intensidade média da chuva simulada foi de 122,13 e 49,08 mm/h, respectivamente. O desvio padrão médio para a PEE2 foi de 7,73 mm/h, enquanto que para PEE3 foi de 7,00 mm/h.

5.2.2 Produção de sedimentos

As diferentes intensidades pluviométricas operadas nas parcelas experimentais de erosão influenciaram diretamente os índices erosivos nas parcelas experimentais de erosão. Na Tabela 10 e na Figura 55 são apresentados os valores de descarga de sólidos totais relativos às amostragens realizadas nas parcelas experimentais de erosão.

Tabela 10 – Valores mínimos, máximos e médios de descarga de sólidos totais, encontrados ao longo das quatro simulações de chuva, nas parcelas experimentais de erosão.

Unidade Experimental	Evento	Data	Hora Inicial	Idade de Plantio (dias)	Descarga Sólida (g/h)			
					Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
Parcela Experimental de Erosão 1	Simulação 2	7/12/07	5:00	24	282,3	674,1	475,1	147,9
	Simulação 3	13/12/07	6:30	30	89,5	477,0	230,6	132,6
	Simulação 4	25/1/08	7:00	73	64,0	208,4	135,4	48,9
	Simulação 5	31/1/08	5:00	79	53,4	138,4	94,2	28,5
Parcela Experimental de Erosão 2	Simulação 2	7/12/07	6:30	24	278,6	2144,4	843,8	593,3
	Simulação 3	13/12/07	5:00	30	157,3	436,6	298,0	88,5
	Simulação 4	25/1/08	4:30	73	157,2	215,3	185,5	21,7
	Simulação 5	31/1/08	7:30	79	151,3	365,9	223,5	71,9
Parcela Experimental de Erosão 3	Simulação 2	8/12/07	5:00	25	43,2	300,7	165,3	82,4
	Simulação 3	14/12/07	4:30	31	91,1	380,9	161,0	83,5
	Simulação 4	25/1/08	5:45	73	37,9	184,1	80,7	39,9
	Simulação 5	31/1/08	6:15	79	50,2	212,9	87,5	46,0

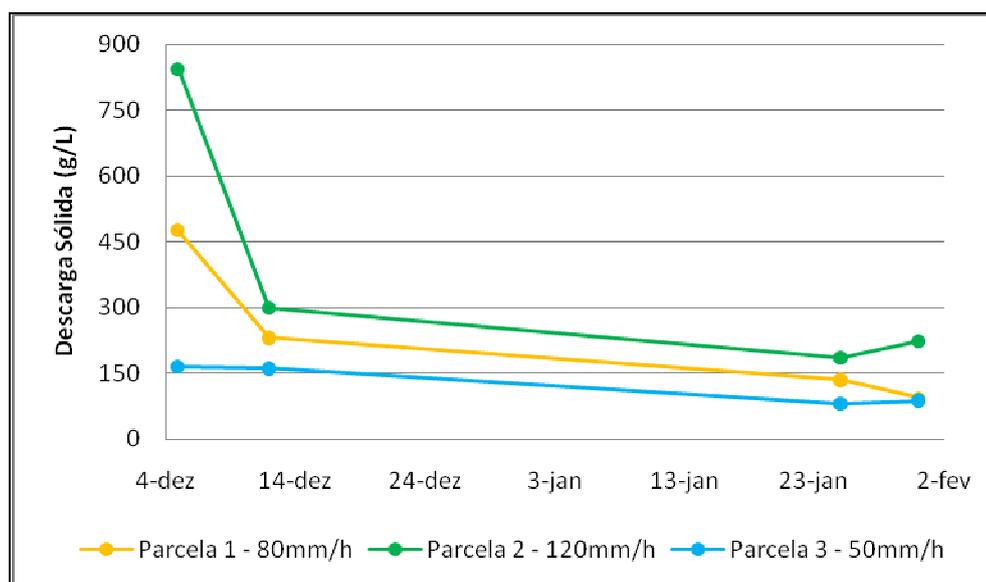


Figura 55 – Descarga média de sólidos totais, nas parcelas experimentais de erosão, ao longo das simulações de chuva.

A PEE 2, que foi operada sob a maior intensidade de chuva, apresentou os maiores resultados de descarga sólida, durante todo o período de monitoramento. Em um comparativo com os resultados obtidos para a PEE 1, a qual foi operada com a segunda maior intensidade de precipitação, a descarga sólida encontrada para a parcela

2 foi em média 65,8% superior. Com relação à PEE 3, operada sob intensidade pluviométrica aproximada de 50 mm/h, a diferença foi ainda maior, sendo superior a 200%.

Os valores de descarga sólida encontrados para a PEE 1 foram em média 89,1% superiores aos encontrados para a PEE3. A menor diferença encontrada, entre as duas parcelas, se deu durante a última simulação, quando a descarga sólida para a PEE 1 foi apenas 7% superior.

Com relação aos resultados obtidos para a PEE1, a partir da segunda simulação, os valores encontrados para descarga de sólidos totais decaíram sucessivamente. A descarga sólida encontrada para a quinta simulação representou apenas 19,8% do valor encontrado para a segunda simulação.

Na PEE2, a partir da segunda simulação, os valores sofreram uma queda acentuada de aproximadamente 78%, até a quarta simulação. Entre a quarta e a quinta simulação, houve um pequeno incremento, de cerca de 40 g/h, na descarga sólida.

A segunda simulação apresentou os maiores valores de descarga sólida na PEE3. Os índices, a partir de então, decaíram continuamente até a quarta simulação, representando cerca de 50% de déficit. Entre a quarta e a quinta simulação houve um pequeno incremento, representando aproximadamente 8%.

O decaimento nos valores de descarga sólida, observado em todas as parcelas experimentais de erosão, permite inferir que a redução da taxa erosiva deveu-se ao desenvolvimento da cultura de milho, sendo os maiores índices erosivos encontrados para a segunda rotina de simulações de chuva. Segundo CARVALHO (1994), a cobertura vegetal assume importância fundamental para a diminuição do impacto das gotas de chuva. Ainda segundo CARVALHO (1994), a proteção vegetal proporciona uma redução da velocidade das águas que escoam sobre o terreno, possibilitando maior infiltração de água no solo e, diminuição do carreamento das suas partículas, reduzindo assim as taxas erosivas.

A Figura 56 e a Figura 57 apresentam as frações de sólidos fixos e voláteis, nas parcelas experimentais de erosão, ao longo das simulações de chuva.

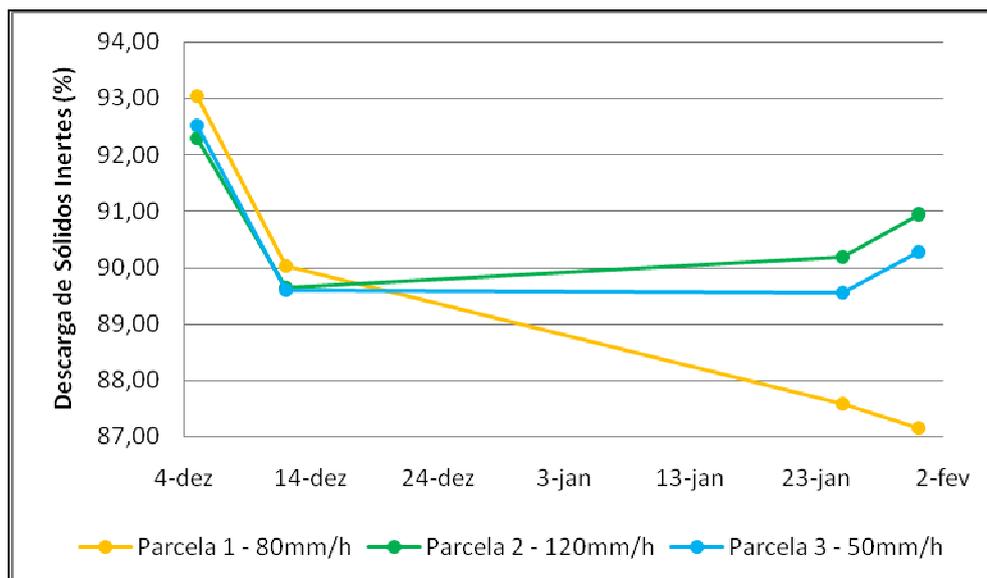


Figura 56 – Fração de sólidos fixos, nas parcelas experimentais de erosão, ao longo das simulações de chuva.

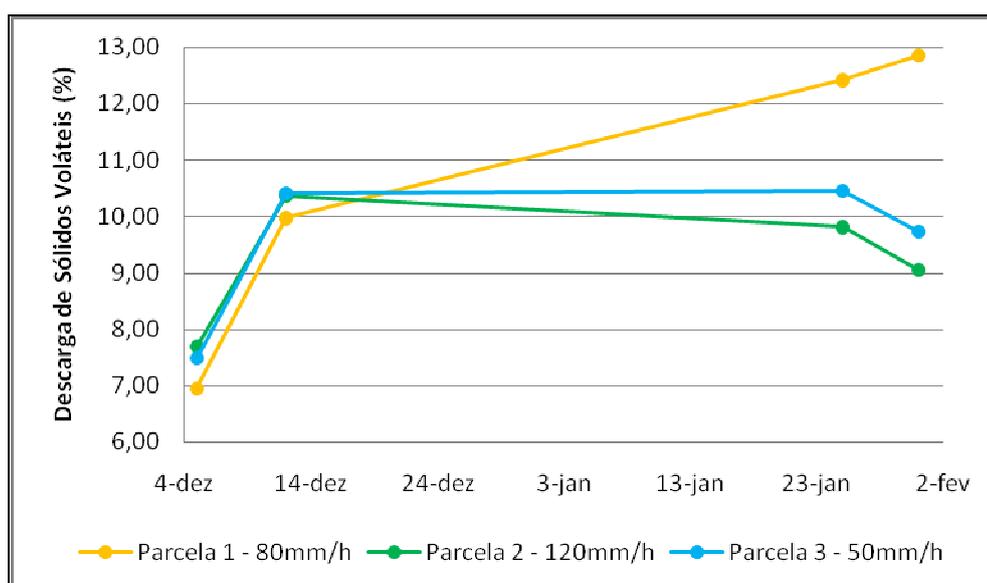


Figura 57 – Fração de sólidos voláteis, nas parcelas experimentais de erosão, ao longo das simulações de chuva.

As parcelas experimentais apresentaram valores semelhantes em relação às frações de sólidos fixos e voláteis. As frações de sólidos fixos estiveram, em porcentagem, entre 87,15 e 93,29. Conseqüentemente, as frações de sólidos voláteis variaram de 6,71 a 12,85%. As maiores porcentagens de sólidos inertes ocorreram durante a segunda rotina de simulações de chuva.

É possível que o incremento nas porcentagens de sólidos voláteis, verificada após a segunda rotina de simulação de chuva, tenha ocorrido devido à contribuição de detritos vegetais provenientes da própria cultura de milho. VIANA *et al.* (2006) alertam para o fato de que a lavagem das palhadas da cultura de milho é responsável pela remoção de nutrientes das mesmas além de proporcionar o desprendimento de fragmentos vegetais, tendo como destino principal o solo.

Após as simulações de chuva realizadas nas parcelas experimentais de erosão, foi possível fazer a determinação da lâmina total escoada referente a cada simulação de chuva (Tabela 11).

Tabela 11 – Produção de sedimentos e lâmina total escoada referente a cada simulação de chuva realizada nas parcelas experimentais de erosão.

Unidade Experimental	Evento	Lamina Escoada (mm)	Produção de Sedimentos (kg/ha)
Parcela Experimental de Erosão 1 – PEE1	Simulação 2	69,46	1583,77
	Simulação 3	66,05	768,60
	Simulação 4	67,45	451,26
	Simulação 5	68,65	313,90
Parcela Experimental de Erosão 2 – PEE2	Simulação 2	81,40	2812,65
	Simulação 3	101,86	993,42
	Simulação 4	84,40	618,40
	Simulação 5	97,50	744,94
Parcela Experimental de Erosão 3 – PEE3	Simulação 2	28,75	550,89
	Simulação 3	32,15	536,76
	Simulação 4	32,54	269,08
	Simulação 5	32,90	291,76

A PEE1 apresentou uma lâmina média escoada de 67,9 mm. A produção média de sedimentos foi de 779,4 kg/ha. Para a PEE2 a lâmina média escoada foi de 91,3 mm, e, a produção média de sedimentos foi de 1.292,3 kg/ha. Com relação aos resultados obtidos para a PEE3, a lâmina média escoada foi de 31,6 mm, e, a produção média de sedimentos de 412,1 kg/ha.

Os resultados encontrados para produção de sedimentos se mostraram compatíveis com os encontrados por SANTOS (2006), para o cultivo morro abaixo, embora o autor tenha utilizado uma cultura agrícola diferente.

Não foram verificadas reduções significativas na lâmina escoada, ao longo do crescimento da cultura de milho e conseqüente proteção do solo, nas parcelas experimentais estudadas. Tal constatação diverge do comportamento natural citado por SILVA *et al.* (2003) de que a proteção do solo é responsável por aumentar a rugosidade do mesmo, servindo de barreira no caminho das águas, evitando a formação de enxurradas e favorecendo a infiltração. Este comportamento, entretanto, ratifica a complexidade dos estudos hidrossedimentológicos, tendo em vista os diversos fatores envolvidos nos processos. É possível que a não redução da lâmina escoada nas parcelas esteja relacionada com o arranjo utilizado no plantio do milho e a distribuição foliar da cultura o que corrobora com o citado por ARGENTA *et al.* (2001) e SANTOS *et al.* (2000).

SANTOS (2006), ao simular chuva em suas parcelas experimentais de erosão, observou uma lâmina escoada maior para parcela experimental com plantio de feijão morro abaixo que para parcela experimental com solo desmatado. Esse comportamento anormal também foi observado em alguns resultados encontrados por SRINIVASAN e GALVÃO (2003), onde para um mesmo evento pluviométrico, os valores de lâmina escoada observados para a parcela com cultura de milho cultivado morro abaixo foram superiores aos valores observados para a parcela com solo exposto.

Para este estudo, contudo, a produção de sedimentos em função da lâmina escoada mostra um abrandamento nas taxas erosivas, resultante da proteção vegetal exercida pela cultura de milho (Figura 58).

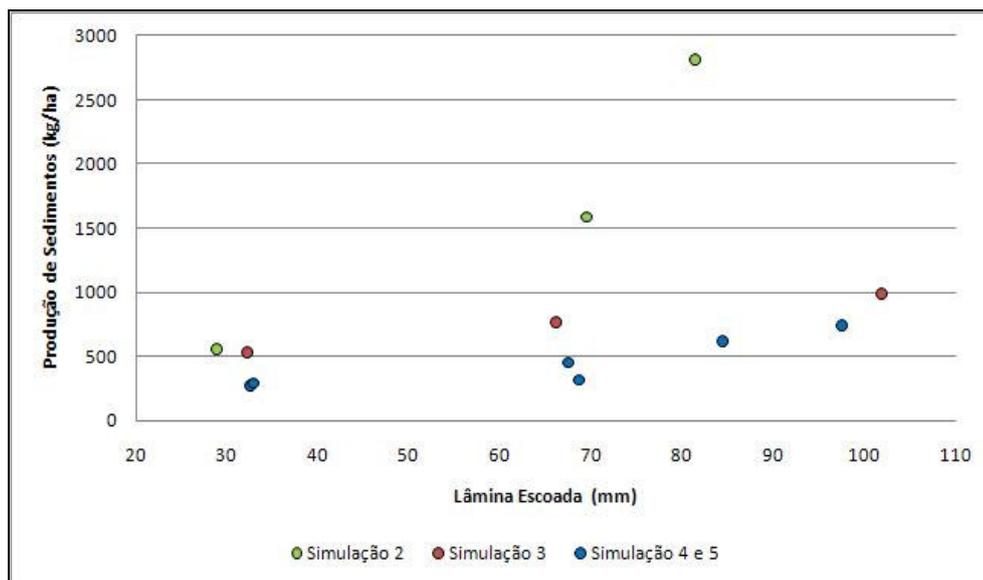


Figura 58 – Relação entre a produção de sedimentos e a lâmina total escoada referente às simulações de chuva nas parcelas experimentais de erosão.

Como foi visto anteriormente, isto se deve à diminuição do impacto das gotas de chuva, reduzindo assim a desagregação das partículas e o transporte de sedimentos na enxurrada, o que está de acordo com CARVALHO (1994) e SANTOS (2006). Os autores afirmam ainda que, quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, tanto menor será a propensão de ocorrência de erosão.

Para todas as rotinas de simulações de chuva realizadas, a produção de sedimentos apresentou tendência de crescimento em função do aumento da lâmina escoada. Esse comportamento corrobora com os resultados obtidos nas parcelas experimentais da bacia experimental de Sumé (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003). Na segunda rotina de simulações de chuva, a qual foi realizada no início do desenvolvimento da cultura de milho, foram observados os maiores valores de produção de sedimentos em função da lâmina escoada, além de uma tendência de crescimento em função da lâmina escoada, mais acentuada que as demais. A quarta e a quinta rotina de simulações foram realizadas quando a cultura de milho se encontrava em seu estágio máximo de crescimento. Nestas duas últimas rotinas de simulações de chuva, foram encontrados os menores valores de produção de sedimentos em função da lâmina escoada.

Com relação à concentração de sólidos totais, a segunda rotina de simulações de chuva foi a única a apresentar tendência de crescimento em função do aumento da lâmina escoada (Figura 59).

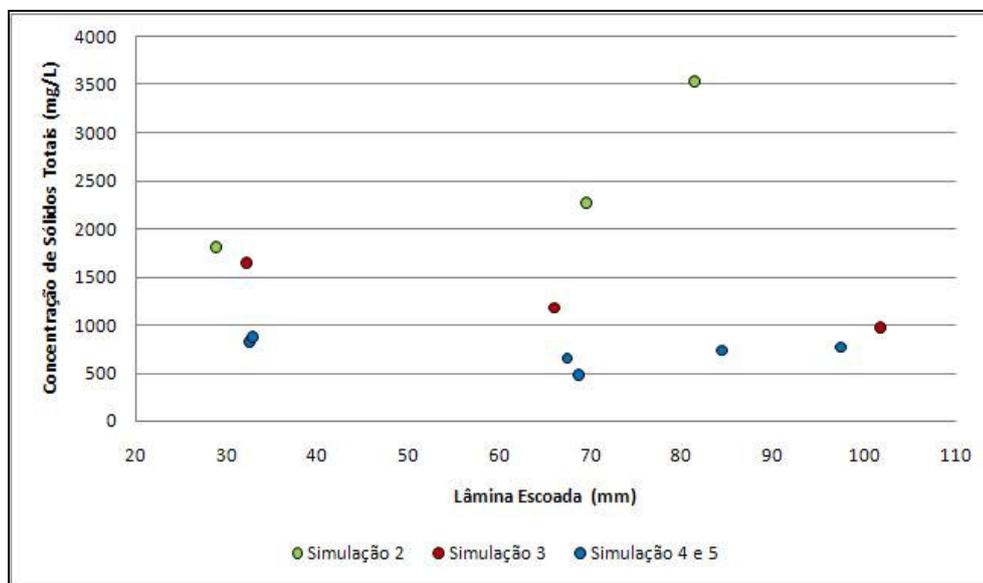


Figura 59 – Relação entre a concentração de sólidos totais e a lâmina total escoada referente às simulações de chuva nas parcelas experimentais de erosão.

Nas demais rotinas foram observadas tendências de decaimento das concentrações de sólidos totais em função do aumento da lâmina escoada, sendo este comportamento semelhante ao encontrado por MELO *et al.* (2008). O crescimento da cultura de milho exerceu influência direta na redução das concentrações de sólidos totais.

Na Figura 60 é apresentada a relação entre a produção de sedimentos e a intensidade pluviométrica de 60 minutos ao longo das simulações de chuva realizadas.

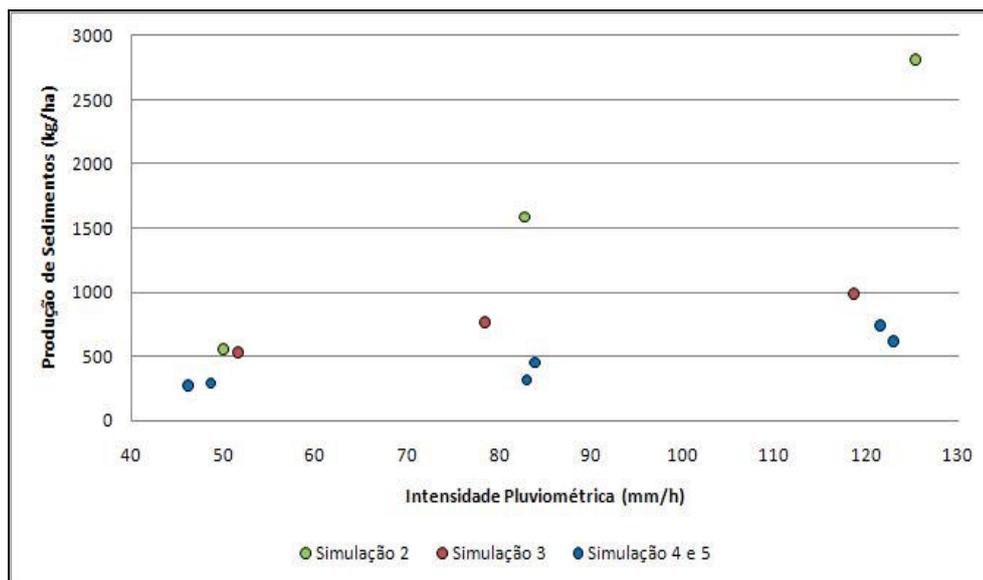


Figura 60 – Relação entre a produção de sedimentos e a intensidade pluviométrica de 60 minutos, referente às simulações de chuva nas parcelas experimentais de erosão.

Assim como na análise referente à lâmina escoada, foi verificada uma tendência de crescimento da produção de sedimentos em função do aumento da intensidade pluviométrica, para todas as rotinas de simulações de chuva. Esse comportamento também foi observado no estudo desenvolvido por MOREIRA *et al.* (2006), onde foi monitorada a produção de sedimentos em uma parcela experimental no semi-árido do Rio Grande do Norte. No gráfico também foi possível perceber o decaimento dos índices erosivos em função do crescimento da cultura de milho. O crescimento da cultura do milho proporcionou incrementos na produção de sedimentos com tendência menos íngreme em função do aumento da intensidade pluviométrica.

Na Figura 61 encontra-se a relação entre a concentração de sólidos totais e a intensidade pluviométrica de 60 minutos nas parcelas experimentais de erosão ao longo das simulações de chuva realizadas.

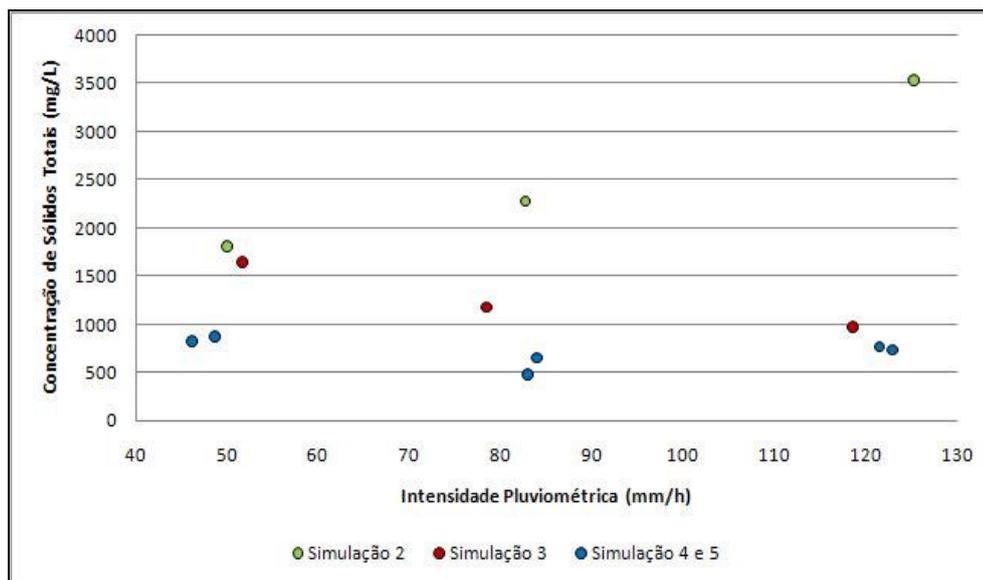


Figura 61 – Relação entre a concentração de sólidos totais e a intensidade pluviométrica de 60 minutos, referente às simulações de chuva nas parcelas experimentais de erosão.

As concentrações de sólidos totais, referentes às rotinas de simulações de chuva realizadas, não apresentaram tendências semelhantes entre si, quando relacionadas com a intensidade pluviométrica de 60 minutos. As concentrações de sedimentos da segunda rotina de simulações apresentaram tendência de crescimento em função do aumento da intensidade enquanto que as concentrações de sedimentos referentes às demais rotinas apresentaram tendências de decaimento.

Destaca-se, que foi observado um crescimento irregular do milho plantado nas parcelas experimentais, sendo o maior desenvolvimento na região mais baixa das mesmas (Figura 62). Como o estudo foi realizado em período de escassez pluviométrica, praticamente toda a água precipitada na região onde estão instaladas as parcelas experimentais de erosão era proveniente do simulador de chuva. Segundo CUNHA *et al.* (2008), após a água infiltrar no solo, as condições hídricas do terreno dependerão de sua movimentação vertical e lateral. Considerando a declividade do terreno, a região mais baixa das parcelas experimentais de erosão pode ter recebido uma condição hídrica mais favorável ao desenvolvimento da cultura do milho.

Outra possibilidade é que tenha ocorrido acúmulo de nutrientes na região mais baixa, baseada na hipótese de que apenas uma parte do total erodido no interior das parcelas experimentais e, dos nutrientes derivados da própria cultura de milho (VIANA *et al.*, 2006), tenha sido efetivamente retirada das mesmas através da calha coletora.



Figura 62 – Crescimento irregular da cultura de milho em uma parcela experimental de erosão.

Além da irregularidade citada anteriormente, o desenvolvimento da cultura de milho nas parcelas foi inferior ao observado na região durante a época de plantio. ANJOS *et al.* (2008) afirmam que a época do plantio é um fator de extrema importância para o sucesso da agricultura de sequeiro, principalmente na região semi-árida brasileira. Ainda segundo ANJOS *et al.* (2008), a melhor época para plantio do milho ocorre no período de maior concentração na distribuição das chuvas. Segundo SUDENE (1990 *apud* BRASIL, 2005c) maio, junho e julho são os três meses consecutivos mais chuvosos no município de Santana do Ipanema, enquanto que outubro, novembro e dezembro, são os três meses mais secos. As fortes temperaturas registradas nos meses de realização do presente estudo, em associação com a precipitação irregular foram determinantes para a anomalia apresentada. O plantio de milho na região de estudo geralmente é realizado em meados de abril e a colheita do mesmo ocorre em junho.

No estudo desenvolvido por SANTOS (2006), não foram observadas anormalidades no desenvolvimento das culturas agrícolas cultivadas nas parcelas experimentais de erosão. Segundo SANTOS (2006), o estudo foi realizado durante o período chuvoso da região, entre os meses de abril e agosto. Além disso, a declividade média do terreno, onde foram instaladas as parcelas experimentais, foi de 6%, sendo portanto menos acentuada que a do presente estudo, possibilitando assim uma condição hídrica mais uniforme.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os processos hidrossedimentológicos são responsáveis por diversos transtornos sócio-econômicos, principalmente na região semi-árida, de forma que a compreensão desse fenômeno trará subsídios para o emprego otimizado de técnicas buscando a conservação do solo e da água.

Os eventos pluviométricos erosivos monitorados na bacia Experimental de Santana do Ipanema representaram 15,7% do total de chuvas registradas no pluviógrafo da microbacia, sendo esta porcentagem, segundo HUDSON (1995 *apud* DIAS e SILVA, 2003), típica de regiões com clima tropical. Do total de eventos pluviométricos erosivos registrados, 66,7% apresentaram padrão pluviométrico intermediário ou atrasado, o que representa um indicativo do potencial erosivo das chuvas na região de estudo.

A partir da análise dos registros de eventos pluviométricos, verificou-se que o risco de erosão aumenta entre os meses de fevereiro e maio, visto que, somente nesses quatro meses, ocorreram 59,5% do total de eventos pluviométricos erosivos monitorados. Em contrapartida, os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro não apresentaram registro de evento pluviométrico erosivo.

Em relação ao solo nu, a proteção do solo exercida pelo cultivo do milho, mesmo sendo morro abaixo, proporcionou uma redução na produção de sedimentos para todas as intensidades pluviométricas simuladas nas parcelas experimentais de erosão.

A produção de sedimentos apresentou tendência de crescimento em função do aumento do escoamento superficial tanto para os eventos monitorados na microbacia quanto para o monitoramento realizado nas parcelas.

As taxas erosivas estudadas nas parcelas experimentais de erosão estiveram diretamente relacionadas com a intensidade da precipitação. Com relação às taxas erosivas verificadas na microbacia não foram identificadas correlações entre as intensidades pluviométricas máximas antecedentes às amostragens e as concentrações médias de sólidos em suspensão referentes ao material coletado durante as amostragens. É possível que a análise tenha sido prejudicada devido ao acúmulo de deflúvio

superficial resultante de diferentes eventos pluviométricos antecedentes a uma mesma amostragem na fossa de sedimentos.

Os resultados observados a partir do monitoramento hidrossedimentológico na bacia experimental do riacho Gravatá são resultantes de ocorrências restritas com relação à sazonalidade do ciclo. As taxas erosivas obtidas a partir da simulação de chuva nas parcelas são resultantes de intensidades pluviométricas elevadas, representativas de uma pequena parte do ciclo sazonal da região, enquanto que na microbacia o monitoramento esteve restrito a pouco mais de um mês de observação. No entanto, sua importância se deve ao monitoramento da evolução dos processos erosivos e do escoamento superficial em função de diferentes usos e coberturas de solo, podendo representar um avanço significativo no conhecimento do tema, dada a sua especificidade regional e a necessidade de estratégias de controle e remediação dos impactos negativos numa região altamente susceptível aos efeitos climáticos.

O processo de medição baseado em amostragens provoca erros de difícil mensuração (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003). É possível que os principais erros inerentes ao processo de amostragem no presente trabalho sejam resultantes: (a) da coleta de amostra de fundo na fossa de sedimentos, tendo em vista a dificuldade de incorporação do sedimento mais pesado durante a agitação da água reservada na fossa; e (b) da precisão no tempo de coleta de amostra na calha das parcelas experimentais de erosão. A pequena quantidade de dados hidrossedimentológicos impossibilitou a quantificação dos erros intrínsecos do processo de amostragem.

Nas parcelas experimentais, apesar da água utilizada na operação do simulador de chuva ter sido submetida a um processo de filtração, é possível que uma fração dos sólidos em suspensão presente na água advinda do açude, cuja dimensão foi inferior a malha filtrante, tenha contribuído no aporte de sedimentos presentes nas amostras coletadas. Porém essa contribuição não foi quantificada no presente trabalho. O mesmo ocorreu com relação aos sólidos dissolvidos presentes na água utilizada na operação do simulador de chuva.

No presente estudo, não foi possível fazer um comparativo entre os resultados encontrados para a microbacia, e para as parcelas experimentais de erosão, devido à grande diferença existente entre as lâminas totais escoadas. Além disso, as duas áreas

experimentais não apresentam semelhança com relação à declividade média, sendo esta característica capaz de interferir diretamente nos resultados obtidos.

Devido à carência de mão de obra qualificada alocada de forma permanente na região de estudo, o monitoramento hidrossedimentológico na microbacia foi prejudicado, resultando no acúmulo de deflúvio superficial na fossa de sedimentos, resultante de diferentes eventos pluviométricos antecedentes a uma mesma amostragem. Também não foi possível realizar o acompanhamento dos processos hidrossedimentológicos de forma contínua, acompanhando a sazonalidade do ciclo, o que impossibilitou o cálculo das taxas erosivas anuais.

Devido à pequena quantidade de observações na microbacia, não foi possível realizar a calibração do vertedor da fossa de sedimentos. Recomenda-se que seja realizada a calibração do vertedor, permitindo assim que o hidrograma do escoamento gerado seja obtido através da curva de calibração.

Recomenda-se o acompanhamento contínuo dos processos hidrossedimentológicos na bacia experimental levando-se em conta as variações no uso e na cobertura do solo. Recomenda-se ainda o estudo da composição granulométrica dos sedimentos transportados pelas enxurradas, bem como um estudo sobre a infiltração de água no solo desta região. Tais medidas proporcionariam um maior entendimento sobre a dinâmica dos processos hidrossedimentológicos.

Para as parcelas experimentais de erosão, sugere-se o estudo com o cultivo de palma e de feijão, sendo essas atividades agrícolas usuais na região, além de estudo com solo exposto. Sugere-se ainda o monitoramento sob chuva natural, a utilização de práticas conservacionistas, e o estudo utilizando vegetação nativa.

Em adição aos aparatos experimentais já instalados na bacia experimental, sugere-se que seja realizado o acompanhamento hidrossedimentológico em escalas diferentes da utilizada no presente trabalho, tais como parcelas com maiores dimensões, microbacias e sub-bacias representativas, buscando um maior conhecimento dos efeitos de escala, trazendo assim, subsídios valiosos para a análise do comportamento de parâmetros e de variáveis hidrológicas entre as escalas.

A complexidade que o estudo dos processos hidrossedimentológicos possui, tendo em vista à quantidade de fatores que influenciam este fenômeno, reforça a necessidade de serem realizados mais estudos de campo sobre este fenômeno na região

da bacia experimental, buscando inclusive a validação de modelos computacionais de perda de solo a serem aplicados na região semi-árida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, J. B., LOPES, P. R. C., LIMA, L. T., SILVA, M. S. L. (2008). Métodos de Captação de Água de Chuva "in situ". Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/doc/agriculture/8_6_Jose_Barbosa.doc>. Acesso em: 10 set. 2008.

APHA (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. Amer. Public Health Association/ American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, D.C., USA, 1134 p.

ARAGÃO, R., SRINIVASAN, V. S., FIGUEIREDO, E. E., MORAES, H. A., SANTOS, L. L., MENEZES, F. A., MAGALHÃES, M. S. (2006). Efeito de Escala nos Parâmetros do Modelo Kineros2 aplicado a Bacias de Diferentes Dimensões no Semi-Árido Nordestino. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, PE, 2006.

ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., SANGOI, L. (2001). Arranjo de Plantas em Milho: Análise do Estado-da-Arte. Revista Ciência Rural, v. 31, n. 6, p. 1075 – 1084, Santa Maria, RS, 2001.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. (2005). Conservação do solo. Ícone Editora, São Paulo, SP, 2005. 355p.

BONUMÁ N. B., PAIVA, J. B. D., GASTALDINI, M. C. C., GOMES, J. A. A., SANGOI, R., BELLING, F., ABELIN, S., DOMINGUES, R. (2007). Bacia Experimental do Lageado Grande, São Martinho da Serra, RS: Instrumentação e Primeiros Resultados. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP, 2007.

BRASIL (2005a). Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, 2005.

BRASIL (2005b). Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – Estado de Alagoas, Diagnóstico do Município de Santana do Ipanema. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2005.

BRASIL (2005c). Diagnóstico Ambiental do Município de Santana do Ipanema, Alagoas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Solos, 2005.

BOER, M., PUIGDEFÁBREGAS, J. (2005). Effects of spatially structured vegetation patterns on Hill-slope erosion in a semiarid Mediterranean environment: a simulation study. Earth Surface Processes and Landforms, v. 30, p. 149 – 167, 2005.

CAMPOS, R. (2007). Erosão em Bacias e Assoreamento de Reservatórios no Semi-Árido Brasileiro: Particularidades e Subsídios para Estimativa. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP, 2007.

CARVALHO, D. F., CRUZ, E. S., PINTO, M. F., SILVA, L. D. B., GUERRA, J. G. M. (2009). Características da Chuva e Perdas por Erosão sob Diferentes Práticas de Manejo do Solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 3 – 9, Campina Grande, PB, 2009.

CARVALHO, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM, Eletrobrás. Rio de Janeiro, RJ, 1994. 372 p.

CERDAN, O.; BISSONNAISB, Y. L.; GOVERS, G.; LECOMTE, V.; OOST, K. V.; COUTURIER, A.; KING, C.; DUBREUIL, N. (2004). Scale effect on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. *Journal of Hydrology*, v. 299, p. 4 – 14, 2004.

CIDREIRA, M. A. S., FONTES, A. S., ALMEIDA, R. B., MEDEIROS, Y. D. P. (2006). Análise da Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Bacia Experimental do Rio do Cedro – BA. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, PE, 2006.

COIADO, E. M., SIVIERO, M. R. L. (2007). Impactos da Ocupação e Conservação do Solo na Carga de Lavagem. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP, 2007.

CRUZ, E. S. (2006). Influência do Preparo do Solo e de Plantas de Cobertura na Erosão Hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

CUNHA, J. E., NÓBREGA, M. T., CASTRO, S. S. (2008). Infiltração da Água no Solo no Sistema Pedológico Campus do Arenito, Cidade Gaúcha, Noroeste do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 5, p. 1837 – 1848, Viçosa, MG, 2008.

DIAS, A. S., SILVA, J. R. C. (2003). A Erosividade das Chuvas em Fortaleza (CE). I – Distribuição, Probabilidade de Ocorrência e Período de Retorno – 1ª Aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 2, p. 335 – 345, Viçosa, MG, 2003.

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 485 – 493, Viçosa, MG, 2001.

FABRIMAR (2007). Catálogo de Produtos de Irrigação. Disponível em: <http://www.fabrimar.com.br/produto_selecionado.asp?ref_produto=Sempre%20Verde&cat_produto=Irrigação>. Acesso em: 15 ago. 2007.

FARIAS, T. R. L., COSTA, A. C., ARAÚJO, J. C. (2007). Produção de Sedimentos em uma Bacia Experimental do Semi-Árido: Medida e Modelagem. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP, 2007.

FIGUEIREDO, E. E. (1998). Estimativa de Parâmetros Físicos do Solo da Bacia Representativa de Sumé com Base na Textura. IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Campina Grande, PB, 1998.

FONTES, A. S., OLIVEIRA, J. I. R., MEDEIROS, Y. D. P. (2003). A Evaporação em Açudes no Semi-Árido Nordestino do Brasil e a Gestão das Águas. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, PR, 2003.

FONTES, A. S., ALVARES, D., MEDEIROS, Y. D. P. (2004). Bacia Experimental do Rio do Cedro: Implantação e Primeiros Resultados. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís, MA, 2004.

FREITAS, F. J., CANTALICE, J. R. B., BEZERRA, S. A., SILVA, M. D. R. O., SANTOS, P. M., CORREA, R. M., LIMA, P. A., FIGUEIRA, S. B. (2008). Erosão em Entressulcos sob Caatinga e Culturas Agrícolas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 4, p. 1743 – 1751, Viçosa, MG, 2008.

GARCIA, A. R., MACHADO, C. C., SILVA, E., SOUZA, A. P., PEREIRA, R. S. (2003). Volume de Enxurrada e Perda de Solo em Estradas Florestais em Condições de Chuva Natural. Revista Árvore, v. 27, n.4, p. 535 – 542, Viçosa, MG, 2003.

HIDROWEB (2009). Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

HUNTER (2007). SRS & PS Sprays. Disponível em: <http://www.hunterindustries.com/Resources/PDFs/Product_Guides/Domestic/lit212w.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2007.

IBGE (2008). Contagem da População 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default_coment.shtm>. Acesso em: 20 set. 2008.

IICA (2007). Projeto Áridas. Disponível em: <<http://www.iica.org.br/2001/projaridas/>>. Acesso em: 07 jul. 2007.

LOPES, W. T. A., (2003). Efeitos de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semi-Árida da Paraíba. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Campus I, Campina Grande, PB, 2003.

LOPES, V. L.; CANFIELD, H. E. (2004). Effects of Watershed Representation on Runoff and Sediment Yield Modeling. Journal of the American Water Resources Association, v. 40, n. 2, p. 311 – 319, 2004.

MACHADO, R. L., CARVALHO, D. F., COSTA, J. R., OLIVEIRA, D. H., PINTO, M. F. (2008). Análise da Erosividade das Chuvas Associada aos Padrões de Precipitação Pluvial na Região de Ribeirão das Lajes (RJ). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 5, p. 2113 – 2123, Viçosa, MG, 2008.

MEDEIROS, P. H. A., VIEIRA, V. P. P. B. (2006). Importância da Abordagem dos Processos Hidrossedimentológicos na Gestão dos Recursos Hídricos no Semi-Árido Brasileiro. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, PE, 2006.

MEHL, H. U., ELTZ, F. L. F., REICHERT, J. M., DIDONÉ, I. A. (2001). Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 475 – 483, Viçosa, MG, 2001.

MELO, R. O., CANTALICE, J. R. B., ARAÚJO, A. M., CUNHA, M. (2008). Produção de Sedimento Suspenso de uma Típica Bacia Hidrográfica Semi-Árida. VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Campo Grande, MS, 2008.

MONTENEGRO, A. A. A., NASCIMENTO, J., CORREA, M. M., SILVA, V. P., MOURA, R. F., RIBEIRO, M. R., MONTENEGRO, S. M. G. L., MONTEIRO, T. (2004). Implantação e Monitoramento da Bacia Experimental do Riacho Jatobá, Pernambuco. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís, MA, 2004.

MORAES, M. F. (2007). Estimativa do Balanço Hídrico na bacia Experimental/Representativa de Santa Maria/Cambiocó - Município de São José de Ubá, Rio de Janeiro. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MOREIRA, L. F. F., RIGUETTO, A. M., GUIMARÃES JÚNIOR, J. A., LIMA, R. R. M. (2006). Produção de Sedimentos numa Parcela Experimental no Semi-Árido Nordeste. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, PE, 2006.

MOURA, E. M., SILANS, A. M. B. P., LIRA, G. A. R., ALMEIDA, C. N., SILVA, T. C., VITORINO FILHO, S., LUCENA, A. P., SILVA JÚNIOR, W. R., FILGUEIRA, H. J. A., SOUSA, E. E. (2004a). Bacia Experimental do Rio Guaraíra: Operação e Monitoramento. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís, MA, 2004.

MOURA, E. M., LUCENA, A. P., SILVA, F. C., LIRA, G. A. R., SILVA, T. C., SILANS, A. P. (2004b). Bacia Experimental do Rio Guaraíra – Análise dos Eventos Chuvosos. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís, MA, 2004.

NOLLA, D. (1982). Erosão do Solo, o Grande Desafio. Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1982. 412p.

ONDA, Y., KATO, H., TANAKA, Y., TSUJIMURA, M., DAVAA, G., OYUNBAATAR, D (2007). Analysis of runoff generation and soil erosion processes by using environmental radionuclides in semiarid areas of Mongolia. *Journal of Hydrology*, 333, p. 124 – 132, 2007.

PEREIRA, J. A. (1997). Modelagem do Escoamento Superficial e da Erosão em Microbacias na Bacia Experimental de Sumé, PB. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Campina Grande, PB, 1997.

PORTO, R. M. (2003). Hidráulica Básica. Segunda edição, EESC, USP, Projeto REENG, São Carlos, SP, 2003. 540 p.

RIGHETTO, A. M., MEDEIROS, V. M. A., MOREIRA, L. F. F., GUIMARÃES JÚNIOR, J. A., MATTOS, A. (2004). Bacia Experimental de Serra Negra do Norte, RN – Caracterização e Eventos Observados. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís, MA, 2004.

RIGHETTO, A. M., MEDEIROS, V. M. A., MOREIRA, L. F. F. (2005). Implantação da Bacia Experimental de Serra Negra do Norte, RN. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, PB, 2007.

SANGOI, R. G., PAIVA, J. B. D., MARÇAL, D. C. A., BONUMÁ, N. B., GOMES, J. A. A. (2007). Avaliação da Produção de Sedimentos em Eventos Chuvosos na Bacia Hidrográfica Experimental do Lageado Grande - São Martinho da Serra, RS. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP, 2007.

SANTOS, C. A. G., SUZUKI, K., WATANABE, M., SRINIVASAN, V. S. (2000). Influência do Tipo da Cobertura Vegetal sobre a Erosão no Semi-Árido Paraibano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 1, p. 92 – 96, Campina Grande, PB, 2000.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; COELHO, A. L. (2002). Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto – MG. Revista Escola de Minas, v. 55, n. 4, p. 25 – 36, Ouro Preto, MG, 2002.

SANTOS, T. E. M. (2006). Avaliação de Técnicas de Conservação de Água e Solo em Bacia Experimental do Semi-Árido Pernambucano. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2006.

SANTOS, C. A. G., SILVA, R. M., PAIVA, F. M. L. (2006). Modelagem Hidrossedimentológica e Efeito de Escala: O Caso da Bacia Experimental de São João do Cariri. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, PE, 2006.

SANTOS, C. A. G., SILVA, R. M., AGUIAR, L. M. C. (2007). Estimativa da Produção de Sedimentos na Bacia Experimental Jatobá a partir de Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP, 2007.

SEMARHN (2005). Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema. Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais, 2005.

SILVA, S. A., OLIVEIRA, R. (2001). Manual de Análises Físico-Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias. DEC/CCT/UFCG, Campina Grande, PB, 2001. 270p.

SILVA, A. M., SCHULZ, H. E., CAMARGO, P. B. (2003). Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. Editora RIMA. São Carlos, SP, 2003. 140p.

SILVA, F. O., MOREIRA, L. F. F., SANTOS, I. C. P., LIMA, R. R. M. (2007a). Processos Hidrossedimentológicos em uma Parcela Experimental no Semi-Árido Potiguar. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP, 2007.

SILVA, J. J. N., SANTOS, T. E., SILVA JÚNIOR, V. P., MONTENEGRO, A. A. A., SILVA, A. P. N. (2007b). Escoamento Superficial Medido e Simulado pelo Modelo da Curva-Número em Sistema Experimental Cultivado sob Diferentes Formas de Manejo

com Feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.). XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP, 2007.

SINGH, P.K., BHUNYA, P.K., MISHRA, S.K., CHAUBE, U.C. (2008) A sediment graph model based on SCS-CN method. *Journal of Hydrology*, v. 349, p. 244 – 255, 2008.

SOUSA, G., FIGUEIREDO, E. E. (2007). Simulação Hidrossedimentológica em Bacias do Nordeste Semi-Árido com o Modelo Distribuído Modfipe. II International Conference on Water in Arid and Semiarid Lands, Gravatá, Pernambuco, Brasil, 2007.

SRINIVASAN, S. V., GALVÃO, C. O. (2003). Bacia Experimental de Sumé: Descrição e Dados Coletados. Campina Grande: UFCG/CNPq, 2003.

SUASSUNA, J. (2002). A Pequena e Média Açudagem no Semi-Árido Nordestino: Uso da Água na Produção de Alimentos. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/josu1712.html>>. Acesso em: 05 maio 2007.

USGS (2006). Topographic Mapping, United States Geological Survey. Disponível em: <<http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/booklets/topo/topo.html>>. Acesso em: 07 mar. 2006.

VIANA, J. H. M.; CRUZ, J. C., ALVARENGA, R. C, SANTANA, D. P. (2006). Manejo do Solo para Cultura do Milho. Circular Técnica nº 77. EMBRAPA/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Sete Lagoas, MG, 2006.

VINÍCIUS, F. (2008). Sintomas de Doenças Já Se Manifestam. *Gazeta de Alagoas*, Maceió, 20 jan. 2008. *Caderno Municípios*, página D16.