



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CAMPUS II - CAMPINA GRANDE**

ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DO MODELO DISTRIBUÍDO  
WESP COM OS DADOS DA BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ - PB

RICARDO DE ARAGÃO

CAMPINA GRANDE

MAIO / 2000

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA / CAMPUS II**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS**

**ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DO MODELO DISTRIBUÍDO  
WESP COM OS DADOS DA BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ - PB**

**Campina Grande – PB**

**Maio/2000**

---

**RICARDO DE ARAGÃO**

**ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DO MODELO DISTRIBUÍDO  
WESP COM OS DADOS DA BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ – PB**

1008 - 50-20 888

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Vajapeyam S. Srinivasan

DEC/CCT/UFPB

Campina Grande

Maio de 2000



A659e Aragão, Ricardo de.  
Estimativa dos parâmetros do modelo distribuído WESP com os dados da bacia experimental de Sumé - PB / Ricardo de Aragão. - Campina Grande, 2000.  
162 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2000.  
"Orientação : Prof. Dr. Vajapeyan Srirangachar Srinivasan".  
Referências.

1. Bacia Experimental - Sumé (PB). 2. Modelo WESP. 3. Dissertação - Engenharia Civil. I. Srinivasan, Vajapeyam Srirangachar. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

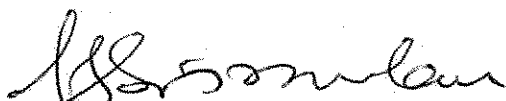
CDU 556.38(813.3)(043)

**RICARDO DE ARAGÃO**

**ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DO MODELO DISTRIBUÍDO  
WESP COM OS DADOS DA BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ – PB**

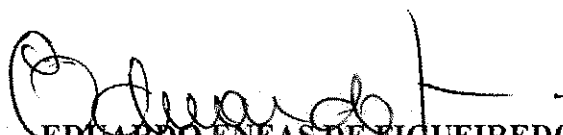
**Dissertação aprovada em 31 de maio de 2000**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**



**VANAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN – PhD**

**Presidente – Orientador**



**EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO – PhD**

**Examinador Interno**



**JAIME JOAQUIM DA SILVA PEREIRA CABRAL – PhD**

**Examinador Externo (UFPE)**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**Mai de 2000**

"A erosão é a doença mortal dos solos... A terra  
Morre e com ela morre o homem... A erosão marca  
O lugar da mais triste derrota humana e dela nenhum  
Continente escapa.... O solo não é um bem eterno...."  
(Dante Costa)

"É suficiente uma imprudência, uma exploração  
Irrefletida para desencadear um processo irreversível, que  
Muito rapidamente, faz desaparecer um capital biológico, cujo  
Acúmulo custou um tempo mil vezes maior que o tempo que dura  
A sua destruição..."  
(Vlandaeren)

"....Não vemos que o Brasil real, o Brasil das matas  
virgens e das minas, com os aluviões os sedimentos de milhares  
de séculos de trabalho do tempo e da natureza vai sendo desnudado,  
minado, raspado, pulverizado, ressecado...."  
(Alberto Torres)

## DEDICATÓRIA

À

Maria Helena, minha Avó (*in memoriam*)

Maria Dapaz, minha mãe

Issac de Aragão, meu pai

Patrícia e Tibério, meus irmãos

Maria Edviges G. Antonino, minha noiva

Junior e Camila, meus sobrinhos

## AGRADECIMENTO

A Deus, pela sua infinita bondade e pela oportunidade que me deu de ter vindo ao mundo.

A minha mãe, ao meu pai e aos meus irmãos pelo apoio, amor, atenção, compreensão, incentivo e dedicação durante toda a minha vida.

Ao professor Vajapeyam S. Srinivasan pela sua orientação e ensinamentos ministrados com seriedade e competência.

A Maria Edvirges Gonçalves Antonino, minha noiva, pela sua atenção, compreensão e incentivo durante toda a fase de desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Laboratório de Hidráulica da UFPB, em especial aos professores Carlos de Oliveira Galvão, Gledsneli Maria de Lima Lins, Eduardo Eneas de Figueiredo e Raimundo Sérgio Santos Góis pelos valiosos ensinamentos durante a minha vida na escola e sobre a escola da vida.

Aos colegas Maria Betania Almeida, Eunice Porto, Silvestre Nóbrega, Jorge Rabello e José Gomes da Silva pelo companheirismo em todos os momentos.

Aos colegas Raimundo Glauber Lima Cunha, Herden Sales Porto, Jailson Raposo Martins, José Moura Soares, Gilliano Vieira Lima Borges, Klebber Teodomiro Martins Formiga, Fernando Fernandes da Silva, Marcus Tiberio de Siqueira, Paulo Serrano, Jairo Solto Vilar, Juliana Barbosa, Alessandra Ramos, Dimitri Melo, Paula, Márcia Araujo, Douglas Luna, Alzira Neves de Oliveira, Alrezinha Dantas Veiga, Hugo Moraes de Alcântara, Haroldo Pereira dos Santos, Ismael José Pereira, Lindimar Dantas Leite, Paulo Roberto R. Pessoa, Raulino Farias de Brito, Valdomiro Rocha de Lima, Vera Lúcia Alves Rodrigues, Josefa de Sousa Barros (Jozete), Carlos Lamarque, José Leonardo, Walson Terlizzie, Adriano Frutuoso, ao alunos de graduação/Pós do Laboratório de Hidráulica.

Ao meu tio Afrânio de Aragão pelo incentivo durante a minha vida acadêmica.

Aos avaliadores Vajapeyam Srirangachar Srinivasan, Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral e Eduardo Eneas de Figueiredo por todas as informações fornecidas.

A todos que de forma direta ou indireta colaboraram e participaram da história deste trabalho.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Localização da Bacia Experimental de Sumé no Estado da Paraíba (divisão por bacias hidrográficas).....	22
Figura 3.2 - Zonas com características hidrológicas semelhantes as da bacia de Sumé.....	22
Figura 3.3 - Precipitação mínima, média e máxima de acordo com os meses.....	24
Figura 3.4 - Croqui de localização das instalações (Cadier et al.1983) .....	30
Figura 3.5 - Levantamento topográfico da microbacia 1 (Cadier et al.1983).....	31
Figura 3.6 - Levantamento topográfico da microbacia 2 (Cadier et al.1983).....	31
Figura 3.7 - Levantamento topográfico da microbacia 3 (Cadier et al.1983) .....	32
Figura 3.8 - Levantamento topográfico da microbacia 4 (Cadier et al.1983).....	32
Figura 3.9 - Fossa de sedimento e a localização dos amostradores (Cadier et al.1983)..	35
Figura 3.10 - Parcela de Erosão e Tanques coletores. (Cadier et al.1983).....	35
Figura 4.1 – Cascata de n planos recebendo escoamento lateral e descarregando no j-ésimo elemento de canal (Kibler e Woolhiser, 1970).....	43
Figura 4.2 – Esboço do sistema de erosão/deposição nos planos (kible e Woolhiser, 1970).....	53
Figura 4.3 – Fluxograma de funcionamento do Modelo WESP (Lopes, 1987).....	61
Figura 5.1 – Delineamento da microbacia 3 (Santos, 1994).....	68
Figura 5.2 – Delineamento da microbacia 4 (Galvão,1990).....	67
Figura 5.3 – Discretização da microbacia 3 em 23 elementos (Santos, 1994).....	69

Figura 5.4 – Discretização da microbacia 4 em 21 elementos (Galvão, 1990).....	69
Figura 5.5 - Relação entre lâmina escoada na parcela 4 e a lâmina escoada na parcela 1 para o período 1982 a 1987 para eventos com a lâmina escoada maior que 1mm.....	75
Figura 5.6 - Relação entre lâmina escoada na parcela 4 e a lâmina escoada na parcela 1 para o período 1988 a 1991 para eventos com a lâmina escoada maior que 1mm.....	75
Figura 5.7 - Relação entre erosão observada na parcela 4 e a erosão observada na parcela 1 para o período 1982 a 1987 para eventos com a lâmina escoada maior que 1mm.....	76
Figura 5.8 - Relação entre erosão observada na parcela 4 e a erosão observada na parcela 1 para o período 1988 a 1991 para eventos com a lâmina escoada maior que 1mm.....	76
Figura 5.9 - Relação entre lâmina escoada na parcela 4 e a lâmina escoada na parcela 1 para o período 1982 a 1991.....	77
Figura 5.10 - Relação entre erosão observada na parcela 4 e a erosão observada na parcela 1 para o período 1982 a 1991.....	77
Figura 5.11 - Relação entre erosão observada na microbacia 3 e a erosão calculada utilizando o valor médio do parâmetro $a$ .....	83
Figura 5.12 – Relação entre $N_s$ da parcela 4 e o total precipitado nos 5 dias anteriores	94
Figura 5.13 – Relação entre $N_s$ da parcela 4 e o total precipitado no dia anterior .....	94
Figura 5.14 – Relação entre $N_s$ da parcela 4 e o total precipitado no dia do evento .....	95
Figura 5.15 – Relação entre $N_s$ da parcela 4 e o índice de umidade IH para K igual a 0.95.....	95
Figura 5.16 – Relação entre $K_r$ da parcela 4 e o total precipitado nos 5 dias anteriores.....	96

Figura 5.17 – Relação entre $K_r$ da parcela 4 e o total precipitado no dia anterior .....	96
Figura 5.18 – Relação entre $K_r$ da parcela 4 e o total precipitado no dia do evento .....	97
Figura 5.19 – Relação entre $K_r$ da parcela 4 e o índice de umidade IH para K igual 0.95 .....	97
Figura 5.20 – Relação obtida entre $N_s$ da parcela 4 e o índice de umidade IH60 .....	98
Figura 5.21 – Relação obtida entre $K_r$ da parcela 4 e o índice de umidade IH60.....	99
Figura 5.22 – Relação entre $N_s$ da parcela 4 e $K_r$ da parcela 4 .....	100
Figura 5.23 – Relação entre $K_r$ da parcela 4 e IH60 para 1 dia anterior ao evento .....	101
Figura 5.24 – Relação entre $K_r$ da parcela 4 e IH60 para 2 dias anteriores ao evento	101
Figura 5.25 - Relação entre $K_r$ da parcela 4 e IH60 para 3 dias anteriores ao evento	102
Figura 5.26 - Relação entre o parâmetro $N_s$ da microbacia 3 e o índice de umidade IH60 .....	103
Figura 5.27 – Relação entre o parâmetro $a$ da microbacia 3 e o índice de umidade IH60 .....	104
Figura 5.28 – Relação entre o parâmetro $a$ da microbacia 3 e o parâmetro $N_s$ .....	104
Figura 5.29 - Relação entre lâmina calculada e lâmina observada na microbacia 4 utilizando os valores de $N_s$ e $K_r$ obtidos das curvas geradas.....	106
Figura 5.30 - Relação entre erosão calculada e erosão observada na microbacia 4 utilizando os valores de $N_s$ e $K_r$ obtidos das curvas geradas.....	113
Figura 5.31 - Relação entre lâmina calculada e lâmina observada na microbacia 4 tomando como base os valores dos parâmetros $N_s$ , $K_r$ e $a$ da calibração da microbacia 3 .....	113
Figura 5.32 - Relação entre erosão calculada e observada na microbacia 4 tomando como base os valores dos parâmetros $N_s$ , $K_r$ e $a$ da calibração da microbacia 3 .....	114

Figura 5.33 - Relação entre erosão calculada e observada na microbacia 4 tomando como base os valores dos parâmetros  $N_s$ ,  $K_r$  e  $a$  médio obtidos da calibração da microbacia 3 .....114

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Propriedades dos Solos Dominantes na Bacia Representativa de Sumé (Figueiredo, 1998).....	27
Tabela 3.2 - Características das microbacias estudadas (Cadier et al., 1983).....	28
Tabela 3.3 - Características das parcelas de 100 m <sup>2</sup> .....	33
Tabela 5.1 - Características físicas dos elementos da microbacia 4 para entrada no modelo WESP.....	71
Tabela 5.2 - Características físicas dos elementos da microbacia 3 para entrada no modelo WESP.....	72
Tabela 5.3 – Sequência de cálculo e posição relativa dos elementos da microbacia 3 (Santos, 1994).....	73
Tabela 5.4 – Sequência de cálculo e posição relativa dos elementos da microbacia 3 (Santos, 1994).....	74
Tabela 5.5 - Resultado da calibração dos parâmetros $N_s$ e $K_r$ para as parcelas 1 e 4.....	84
Tabela 5.6 - Resultado da calibração dos Parâmetros $N_s$ e $K_r$ e $a$ para a Microbacia 3.....	88
Tabela 5.7 – Resultado da aplicação dos parâmetro calibrados na Microbacia 3 para a Microbacia 4.....	107
Tabela 5.8 – Resultado da aplicação do valor médio do parâmetro $a$ na Microbacia 4 – erosão e erro percentual calculado.....	109
Tabela 5.9 – Resultado da aplicação dos valores de $N_s$ e $K_r$ calculados com as relações desenvolvidas.....	111

## LISTA DE SIMBOLOS

$a$	Fator de erodibilidade do solo nos canais
$A$	Área de seção transversal do fluxo
$C_s$	Concentração de sedimentos
$d$	Deposição dos sedimentos
$d_s$	Tamanho característico dos sedimentos
$d_{50}$	Diâmetro médio dos sedimentos
$e_i$	Erosão pelo impacto da chuva
$e_r$	Erosão por arrastamento pelo fluxo
$EC$	Erosão calculada
$EO$	Erosão observada
$f(t)$	Taxa de infiltração
$F(t)$	Acúmulo de Infiltração
$L_r$	Profundidade da frente de molhamento a partir da superfície
$\psi$	Potencial mátrico do solo
$P$	Porosidade
$EI30$	Índice de erosividade
$g$	Aceleração da gravidade
$h$	Profundidade do fluxo
$I$	Intensidade de precipitação
$IH$	Índice de umidade
$K$	Fator de redução da umidade do solo utilizado no cálculo do índice de umidade IH
$K_i$	Parâmetro de erodibilidade do solo pelo impacto das gotas de chuva
$K_r$	Parâmetro de erodibilidade do solo pelo fluxo superficial
$K_s$	Condutividade hidráulica saturada
$LC$	Lâmina calculada
$LO$	Lâmina observada
$m$	Parâmetro de geometria do plano ou do canal
$n_c$	Coefficiente de Manning para os canais
$n_p$	Coefficiente de Manning para os planos
$N_s$	Potencial de capilaridade

$p$	Porosidade efetiva do solo
5Diasa	Precipitação total acumulada para os últimos 5 dias
$q_A$	Fluxo de entrada lateral por unidade de comprimento do canal
$Q$	Vazão
$Q$	Vazão de entrada à montante do canal
$q_s$	Entrada lateral de sedimentos no canal
$r$	Taxa de entrada do fluxo superficial no plano
$R_H$	Raio hidráulico
$S$	Sucção média da frente de molhamento
$S_e$	Saturação efetiva relativa do solo
$S_f$	Declividade da linha de energia
$S_o$	Declividade do plano
$t$	Tempo
$t_p$	Tempo de empoçamento
$T_w$	Largura de topo do fluxo
$u$	Velocidade média do fluxo
$V_s$	Velocidade de queda das partículas
$W_p$	Perímetro molhado
$x$	Distância na direção do fluxo
$\alpha$	Parâmetro de rugosidade superficial
$\delta$	Coefficiente para tensão de cisalhamento crítica
$\Delta t$	Incremento de tempo
$\Delta x$	Incremento de distancia
$\varepsilon_c$	Coefficiente de deposição nos canais
$\varepsilon_p$	Coefficiente de deposição nos planos
$\phi$	Taxa de sedimento no fluxo
$\gamma$	Peso específico da água
$\gamma_s$	Peso específico dos sedimentos
$\nu$	Viscosidade cinemática da água
$\theta_i$	Umidade inicial do solo
$\theta_s$	Umidade na saturação do solo
$\tau$	Tensão de cisalhamento média
$\tau_c$	Tensão de cisalhamento crítica média

## LISTA DE ANEXO

Anexo I - Dados de Escoamento superficial e erosão das parcelas 1 e 4 e das microbacias 3 e 4.....	145
--	-----



## SUMÁRIO

Dedicatória.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Lista de Figuras.....	iv
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Símbolos.....	ix
Lista de Anexos.....	xi
Sumário.....	xii
Resumo.....	xiv
Abstract.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.3 BENEFÍCIOS.....	4
2. MODELIZAÇÃO HIDROLÓGICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DA EROSÃO - Revisão Sobre Modelos de escoamento e erosão.....	5
2.1 escoamento Superficial e os Mecanismos de Geração .....	5
2.2 erosão e os Mecanismos do Processo .....	8
2.3 Modelos Hidrológicos de escoamento e erosão .....	10
3. BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ (BES).....	20
3.1 Considerações Gerais.....	20
3.2 Localização.....	23
3.3 Características Físico-Climáticas da Bacia Experimental de Sumé.....	23
3.4 Dispositivo Experimental.....	26
3.5 Trabalhos Anteriores Utilizando Dados da BES.....	26
3.6 Dados Utilizados no Presente Trabalho.....	41
3.7 Considerações Finais.....	41

4. O MODELO WESP .....	42
4.1 Introdução.....	42
4.2 Equações Básicas do Modelo WESP .....	44
4.3 Descrição do Sistema WESP .....	56
4.4 Estimativa dos Parâmetros do Modelo.....	62
5. MODELAGEM DOS PROCESSOS DE ESCOAMENTO E EROSÃO NA BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ COM O MODELO WESP.....	64
5.1 Considerações Gerais.....	64
5.2 Discretização das Microbacias.....	65
5.3 Seleção dos Dados.....	66
5.4 Produção de escoamento Superficial e Sedimentos em Parcelas Desmatadas.....	74
5.5 Aplicação do Modelo.....	78
5.6 Relação entre Índices Físicos e os Parâmetros do Modelo WESP.....	92
5.7 Extrapolação de Valores de Parâmetros e Validação do Modelo.....	105
6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	115
6.1 Considerações gerais.....	115
6.2 Produção de escoamento e Sedimento nas parcelas.....	115
6.3 Aplicação do Modelo WESP.....	117
6.4 Avaliação do programa computacional .....	123
6.5 Transposição dos Parâmetros e Validação do Modelo.....	125
7. CONCLUSÕES .....	128
8. RECOMENDAÇÕES .....	130
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	131
ANEXO I .....	145

## RESUMO

Dados de lâmina escoada e de produção de sedimentos de duas parcelas de erosoão e duas micro-bacias, mantidas desmatadas, localizadas na Bacia Experimental de Sumé na Paraíba, foram utilizados para a calibragem dos parâmetros do modelo de base física orientado a evento WESP, com o objetivo de correlacioná-los com as condições físicas do solo representadas pela umidade antecedente. A relação entre o índice de umidade de Kohler IH e  $N_s$ , uma função de Green-Ampt que depende da umidade do solo e do potencial capilar, foi determinada para vários coeficientes representando diferentes condições de umidade antecedente, com o melhor resultado foi obtido para 0,6. Os parâmetros do modelo foram então verificado para uma das micro-bacias. Os resultados mostraram que o modelo é promissor para simular a vazão e a produção de sedimentos.

## ABSTRACT

Data of discharge and sediment yield from two erosion plots and two micro-basins, kept bare cleared, located within the Experimental Basin of Sumé in Paraíba state, were utilised in the calibration of the parameters of the physically based event oriented model WESP in order to associate them with the physical conditions of the soil represented by the antecedent moisture contents. The relationship between the Kohler's index  $I_H$  and  $N_s$ , the Green-Ampt function that depends on the soil moisture content and the matric potential, was established using different coefficients to represent the antecedent conditions, with the best result obtained for 0,6. The parameters model were then verified for one of the micro-basins. The results showed that the model is promising to simulated both discharge and sediment yield.

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades humanas está acelerando a modificação dos ecossistemas naturais e, conseqüentemente, a perda da biodiversidade no planeta. As intervenções do homem na natureza podem implicar na interrupção da integridade de ciclos biológicos como também colocar em risco a própria sobrevivência.

O crescimento populacional e a ocupação de novas áreas faz com que áreas antes cobertas com vegetação sejam desmatadas gerando um desequilíbrio de grandes proporções. Uma outra conseqüência é o uso crescente dos recursos naturais, principalmente o uso da água.

Na procura por uma produção de alimentos cada vez maior, a terra tem sido bastante exigida. Portanto, não há tempo suficiente para que a terra reponha os seus nutrientes pelos processos naturais. O uso de equipamentos modernos que permitem uma alta produtividade, também pode implicar numa perda alta de nutrientes. Sem um tratamento adequado estas perdas poderão levar aos processos de desertificação e, finalmente, à infertilidade do solo.

No Nordeste semi-árido a camada produtiva do solo possui pequena espessura vindo logo abaixo à camada rochosa. A vegetação, em boa parte da região, é rasteira e do tipo caatinga. As culturas empregadas nem sempre são adequadas para o tipo de solo e para a quantidade de água disponível. As chuvas são escassas, mas medianamente intensas (Leprun, 1981). Nestas condições, a eliminação da vegetação, associada com o tipo de cultura empregada e à erosividade da chuva são fatores que contribuem, de forma expressiva, para a erosão do solo.

A retirada da vegetação nativa para a plantação de insumos a serem usados na pecuária ou para a plantação de cultura de subsistência é um dos fatores contribuintes para a aceleração do processo erosivo na região Nordeste. Estudos têm mostrado a influência positiva, no combate a erosão, da vegetação nativa (Gomes et al., 1987; Srinivasan et al., 1988; Molinier et al., 1987; Figueiredo, 1998b; Tucci et al. 1998). No tocante à conservação do solo, a influência da vegetação pode ser sentida de três modos: o primeiro, está relacionado com a

proteção da superfície contra o impacto das gotas de chuva; o segundo, está nos maiores índices de infiltração e, por conseqüência, à diminuição do volume do escoamento superficial responsável pela erosão e transporte do material erodido para o sistema de drenagem; o terceiro, se vincula ao fato de a flora se constituir no obstáculo ao processo de arraste dos sedimentos pela enxurrada (Reis, 1988). A açudagem no Nordeste, principalmente em regiões semelhantes ao Cariri paraibano, é um outro fator que pode favorecer os efeitos da erosão. Para a construção dos açudes a vegetação nativa é retirada deixando o solo ao seu redor desprovido de proteção ficando sujeito aos efeitos erosivos da chuva (Figueiredo, 1999).

Recentemente tem-se como principais causadores da desertificação em áreas da região nordeste os seguintes: técnicas agrícolas mal empregadas, projetos de irrigação sem um projeto adequado de drenagem, o uso intensivo de uma mesma cultura durante vários anos, criação de rebanhos em áreas susceptíveis à erosão. Os casos mais graves são os de Gilbués e Irauçuba (no Ceará), Seridó (entre os Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte) e Cabrobó (Pernambuco) que foi apontado por Vasconcelos Sobrinho (1978 a,b). O núcleo de Cabrobó tem piorado ao longo das duas últimas décadas devido ao uso da terra sem o devido planejamento. Estes fatos mostram que maiores estudos sobre a erosão, as suas causas e as conseqüências são necessários para que outras áreas não entrem num processo de desertificação.

Com o objetivo de melhor entender como os processos de erosão e escoamento ocorrem e quais as modificações geradas por esses processos no meio ambiente, duas alternativas tem sido bastante utilizadas: a análise das respostas hidrológicas em bacias representativas e experimentais; o uso de modelos que representem os processos físicos com base em dados observados, para simular as conseqüências devido às mudanças no clima e no uso da terra.

O monitoramento contínuo do comportamento hidrosedimentológico em áreas experimentais, em diferentes escalas de produção, é uma alternativa para o entendimento do fenômeno hidrológico como também serve para fornecer dados para análises tais como: identificação das culturas que provocam a menor perda do solo da região e de técnicas de cultivo que favorecem a conservação do solo.

Com o objetivo de entender melhor os processos hidrológicos a Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) em conjunto com o ORSTOM (office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer) criou o programa de bacias representativas e experimentais em vários estados da região. Muitas informações básicas foram coletadas,

mas muitas das questões acima citadas ainda continuam sem resposta, o que torna necessário mais trabalhos de pesquisa para uma boa compreensão dos processos hidrosedimentológicos.

No semi-árido paraibano foram instaladas as Bacias Representativa e Experimental de Sumé (BRS e BES), operadas em conjunto com a Universidade Federal da Paraíba, Campus de Campina Grande. As bacias forneceram valiosas informações que serviram de base para estudos que tinham como finalidade, dentre outras, a de modelar o processo de erosão e escoamento superficial.

Modelos que consideram as características da bacia e os processos físicos envolvidos nas fases do ciclo hidrológico são ferramentas promissoras para a extrapolação das informações e simulação de respostas que sejam coerentes com a realidade física atual da bacia ou com a possibilidade de mudanças futuras. A bacia Representativa de Sumé tem características hidroclimáticas semelhantes a uma grande área da região Nordeste (Nouvelot, 1974). Um modelo que reproduza o comportamento hidrológico e sedimentológico desta bacia se constituiria numa importante ferramenta para a previsão da lâmina escoada e do sedimento erodido durante um evento de precipitação.

Com relação à precipitação, a região do cariri paraibano possui características peculiares: a precipitação é de curta duração e os eventos são bastante distintos entre si. Neste caso, os modelos de eventos seriam mais úteis pois o interesse é saber a produção de água num dado evento e não a reprodução do hidrograma sazonal. Beasley et al., (1980) enfatizam que os modelos de eventos fornecem meios diretos para uma simulação e obtenção da informação acima citada. Um outro aspecto que deve ser considerado neste processo seria a influência das mudanças no uso da terra sobre a produção de sedimentos. Apesar da facilidade de uso e da necessidade de um número reduzido de informações, os modelos do tipo concentrado, não conseguem refletir nos seus resultados essas mudanças. Por outro lado, os modelos distribuídos requerem um número maior de dados, mas poderão fornecer resultados que consideram as mudanças no uso da terra mesmo quando essas mudanças são bastante variadas dentro da bacia.

O modelo WESP (Watershed Erosion Simulation Program) foi desenvolvido por Lopes (1987a) com a finalidade de simular a resposta hidrológica de pequenas bacias hidrográficas sendo capaz de simular o escoamento e a erosão do solo sujeita a diferentes manejos culturas e cobertura vegetal. Ele tem sido utilizado em estudos anteriores com os dados de Sumé, por ter sido um modelo baseado nos processos físicos (hidrodinâmico), distribuído e eventual.

Apesar do fato de vários pesquisadores terem aplicado este modelo à Bacia Experimental de Sumé e terem obtido bons resultados (Galvão, 1990; Santos, 1994; Srinivasan e Galvão, 1995; Santos, 1997; Pereira, 1997), o número de eventos utilizados não foi suficiente para estender os resultados para outras regiões semelhantes. Portanto, há uma necessidade de avaliar a aplicabilidade deste modelo numa faixa ampla de eventos naturais.

Devido as simplificações existentes no modelo algumas características inerentes à bacia, que podem influenciar nos processos de infiltração, escoamento superficial e erosão precisam ser analisados à luz dos resultados obtidos com o modelo.

## **1.2 OBJETIVOS**

Com base no que foi exposto, este trabalho tem como objetivos:

- Estudar a possibilidade de relacionar os parâmetros do modelo WESP com as características físicas da Bacia Experimental de Sumé;
- Verificar a possibilidades de relacionar os parâmetros principais do modelo WESP com as condições físicas do solo da unidade experimental;
- Verificar a possibilidade de transferência dos parâmetros calibrados para uma outra bacia sujeita às mesmas condições climáticas, semelhantes às encontradas na Bacia Experimental de Sumé, para a validação do modelo e dos parâmetros.

## **1.3 BENEFÍCIOS**

Espera-se que o modelo hidrodinâmico, distribuído e eventual, calibrado satisfatoriamente e testado em uma outra bacia, sirva como uma ferramenta importante na avaliação hidrossedimentológica de pequenas bacias hidrográficas na região semi-árida do nordeste do Brasil.



## CAPÍTULO 2

### **2. MODELIZAÇÃO HIDROLÓGICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DA EROSÃO – REVISÃO SOBRE MODELOS DE ESCOAMENTO E EROSÃO**

Modelo é a representação de algum objeto ou sistema numa forma ou linguagem de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas (Cadier et al. 1987). A modelagem hidrológica consiste de descrição, através de métodos matemáticos, dos processos de chuva, interceptação, evaporação, transpiração, infiltração e escoamento superficial. Os modelos de erosão consistem na descrição, através de modelos matemáticos, dos processos de desagregação, transporte e deposição dos sedimentos (Figueiredo, 1998b). Segundo Beven (1989) os modelos, após a calibragem, permitem explorar as implicações de fazer certas hipóteses sobre a natureza do sistema real, e prever o seu comportamento sob circunstâncias que realmente poderiam ocorrer. Para que um modelo seja utilizado adequadamente, se faz necessário a compreensão da estrutura do modelo e suas limitações.

Serão apresentados a seguir alguns conceitos básicos sobre modelos chuva-vazão e modelos de erosão, como também uma breve revisão sobre os diversos aspectos da modelização destes processos.

#### **2.1 Escoamento Superficial e os Mecanismos de Geração**

A água proveniente da precipitação, que atinge a superfície do solo, percorre vários caminhos até atingir os rios, canais e reservatórios. O movimento da água sobre a superfície do solo é conhecido como escoamento superficial.

Dos elementos do ciclo hidrológico o escoamento superficial é o que exerce um dos papéis mais importantes, pois é a partir do conhecimento desta variável hidrológica que poderá ser efetuado o planejamento da utilização dos recursos hídricos superficiais.

O escoamento é regido por leis físicas (conservação de massa, energia e quantidade de movimento) e representado quantitativamente por variáveis como vazão, profundidade e velocidade. Ele é influenciado pelas características da precipitação (intensidade e duração), pelas características do solo (textura, capacidade de infiltração e umidade) e pela cobertura vegetal. Quanto maior for a capacidade que o solo possui para infiltrar menor será a parcela da precipitação que irá escoar.

De acordo com Rubin (1966) citado por Tucci (1987) e Figueiredo (1998b) a infiltração pode ser dividida em três categorias: a) infiltração controlada pela condutividade hidráulica saturada  $K_s$ - caso a intensidade da chuva seja menor que  $K_s$  toda a água precipitada infiltrará; b) infiltração controlada pela intensidade da chuva (intensidade menor que a capacidade de infiltração e maior que  $K_s$ ) – a taxa de infiltração será numericamente igual a intensidade da chuva; c) infiltração controlada pela capacidade de infiltração – a intensidade da chuva é maior que a capacidade de infiltração o que implica em saturação do perfil do solo e acúmulo de água, fato este conhecido como excesso de infiltração ou ponto de empocamento.

A saturação da camada superior do solo fará com que as pequenas depressões existentes sejam preenchidas. Caso haja continuação da precipitação ocorrerá a comunicação entre as poças e posteriormente o escoamento para as partes mais baixas da bacia.

Segundo Figueiredo (1998b) poderá ocorrer dois tipos de mecanismos geradores de escoamento: a) fluxo superficial devido ao excesso de precipitação, também conhecido como Hortoniano (Horton, 1933); b) fluxo superficial devido ao excesso de saturação.

No primeiro caso o escoamento acontece devido ao excesso de precipitação sobre a infiltração desde a superfície até as camadas inferiores. No segundo caso, a saturação do terreno ocorre devido ao aumento do nível da água no lençol subterrâneo. Em regiões onde o solo é raso, vindo logo em seguida a camada rochosa, o escoamento predominante é o Hortoniano. Em regiões úmidas, onde se constata a existência de um solo espesso e com formações aquíferas no subsolo, a elevação do nível freático poderá contribuir para a saturação do terreno ocorrendo o escoamento superficial devido ao excesso de saturação nos cursos que drenam a bacia até a foz.

A propagação do escoamento superficial em canais principais é descrita por equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento. As suposições básicas adotadas no desenvolvimento das equações de movimento são as seguintes: a) o fluxo é gradualmente variado; b) a declividade do canal é pequena e o leito é fixo; c) o fluido é incompressível e possui viscosidade constante; d) a distribuição da pressão é hidrostática; e) a quantidade de movimento devido ao escoamento lateral é desprezível; f) a resistência ao fluxo pode ser aproximada através de fórmulas de extrapolação e coeficientes de resistência utilizados para um fluxo permanente e uniforme.

Com base nestas considerações, são obtidas as seguintes equações:

Equação da Continuidade

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l \quad 2.1$$

Equação de Quantidade de Movimento:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + g \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = g \cdot (S_o - S_f) - v \cdot q_l / A \quad 2.2$$

onde  $Q$  é a vazão, ( $m^3/s$ );  $v$  é a velocidade média do fluxo, ( $m/s$ );  $h$  é a profundidade do fluxo, ( $m$ );  $q_l$  é o fluxo lateral por unidade de comprimento do canal, ( $m^2/s$ );  $x$  é a coordenada linear no espaço, ( $m$ );  $t$  é a coordenada do tempo, ( $s$ );  $A$  é a área molhada, ( $m^2$ ).

Os termos à esquerda da equação da quantidade de movimento são respectivamente: aceleração local do fluido, aceleração espacial convectiva e força devido à pressão por unidade de massa. Os termos a direita significam, respectivamente, força gravitacional ou de fricção e o termo devido ao fluxo lateral. A equação 2.2 é a forma unidimensional da equação de movimento descrevendo o fluxo não permanente nos canais, com a presença da entrada lateral. As equações 2.1 e 2.2 são conhecidas como equações de Saint Venant. O termo  $S_f$  é obtido, geralmente, das equações de fluxo uniforme (equação de Chezy, Manning ou Darcy-Weisbach).

Para o plano sem entrada lateral a equação da continuidade se torna:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad 2.3$$

## 2.2 Erosão e os Mecanismos do Processo

Grandes dificuldades têm sido encontradas na avaliação quantitativa da erosão e da produção de sedimento nas bacias hidrográficas devido à complexidade do próprio processo erosivo, que envolve grande número de variáveis independentes, caracterizando um fenômeno de alta complexidade e bastante difícil de ser tratado analiticamente (Lopes e Srinivasan, 1981). A erosão da terra útil é a que mais preocupa pois, o solo se constitui em uma camada de apenas alguns metros de espessura sujeita a ação erosiva constante (Carvalho, 1994).

Erosão é o processo de desagregação e transporte do solo por agentes erosivos. É o fenômeno do desgaste das rochas e dos solos e é dividido em desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas sólidas. Às partículas sólidas erodidas dá-se o nome de sedimentos. Por definição sedimento é a partícula derivada da fragmentação das rochas, por processos físicos ou químicos, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem para os rios ou para os locais de deposição (Carvalho, 1994).

Este trabalho poderá ter como agentes: a água, o vento e a gravidade. Como fatores que afetam a erosão pode-se citar como principais: a ação de microorganismos, o tipo de solo, a cobertura vegetal, as formações superficiais e as práticas gerais realizadas pelo homem (Carvalho, 1994).

O enfoque dado neste trabalho é para a erosão causada pela água (erosão hídrica), seja pela ação direta da chuva, seja pelo escoamento superficial. O resultado da erosão hídrica poderá evoluir de pequenos canais no solo até o estágio de voçorocas (grandes valas abertas no seio da terra). A erosão pela água é a que afeta, com maior intensidade e frequência, o semi-árido nordestino.

Erosão e sedimentação pela água compreendem os processos de desagregação, transporte e deposição dos sedimentos (ASCE, 1975). A desagregação diz respeito ao desprendimento de partículas sólidas do meio de que fazem parte, através de reações químicas, flutuação de temperatura e ações mecânicas. O material erodido ficará exposto à ação do vento ou do escoamento superficial, ou mesmo a ação de outras chuvas, disponível para ser transportado. O impacto das gotas de chuva é, após a ação do homem, o processo que mais contribui para a erosão. O transporte através da água pode acontecer de várias maneiras, dependendo do fluxo e das características das partículas. Partículas pesadas são transportadas por deslizamento, rolamento ou saltos curtos. Partículas muito leves são transportadas em suspensão no interior do fluxo e constituem a carga de lavagem (Simons & Sentürk, 1992). A

deposição acontece quando a quantidade de partículas presente no fluxo é maior que a capacidade que o fluxo possui para transportar a massa sólida. Ela geralmente acontece em deltas de rios e em áreas onde a velocidade do fluxo é bastante reduzida.

Dá-se o nome de perda de solo à diferença entre a quantidade do material que foi erodido e a quantidade depositada numa área. Este fator é geralmente expresso em kg/ha ou  $t/km^2$ . Se for considerada uma seção de medição para a saída dos sedimentos, o material que passará por essa seção por unidade de tempo, é denominado de produção de sedimento, geralmente expresso em  $t/km^2/ano$ .

### 2.2.1 Erosão nos planos

De acordo com Foster (1982) os processos de desagregação, transporte e deposição ocorrem, basicamente, nas áreas planas. As gotas de chuva ao caírem atingem uma velocidade, cujo valor está associado a uma energia cinética. Esta energia será dissipada quando as gotas atingirem a superfície do solo. Dependendo das condições da cobertura superficial (com ou sem vegetação) este impacto provocará ou não a desagregação das partículas. Essas poderão ser transportadas pelas gotas arremessadas, após o impacto, a uma curta distância. Isto faz com que algumas vezes o fluxo possa transportar mais material do que a sua capacidade de transporte (Foster, 1982; Schultz et al., 1985).

Leprun (1981) com base nos estudos de Ellison (1947), Mihara (1951) e Rose (1960) afirma que existe uma correlação entre a erosão e a energia cinética da chuva. Ao mesmo tempo a energia cinética depende da massa das gotas de chuva e de sua velocidade de chegada ao solo. Além desses fatores, a desagregação depende da erodibilidade do solo o que em termo depende dos seguintes fatores: da presença de materiais que reduzem a magnitude das forças erosivas, do manejo do solo, da rugosidade da superfície, da cobertura vegetal e dos resíduos deixado pelos usos anteriores desse solo.

Foster (1982) cita três estágios básicos para a erosão hídrica nos planos: erosão laminar ou em camadas, erosão em sulcos e a erosão em ravinas. Na erosão em lâminas a remoção dos sedimentos acontece através da retirada de uma fina camada do solo que poderá abranger uma grande área. Com a erosão em sulcos e pequenos cursos d'água dar-se-a o aparecimento de pequenas rugas ou sulcos nos quais se concentra o fluxo. A formação desordenada desses sulcos é devida à variação natural da resistência do solo e a pequenas variações na declividade do terreno. O fluxo proveniente de vários sulcos une-se para formar a drenagem superficial com canais de maiores dimensões. A erosão em ravinas é o estágio

final da erosão do solo. A concentração do fluxo resulta em grande erosão e provoca mudanças permanentes na topografia. A diferença entre este caso e o anterior (erosão em sulcos) é que no primeiro caso, as dimensões dos cursos d'água são tais que os sulcos poderão ser encobertos ou desfeitos completamente por práticas normais de cultivo, enquanto que com as ravinas, as dimensões são muito grandes para uma correção fácil.

### 2.2.2 Erosão nos canais

A erosão nos canais acontece devido à força de cisalhamento que o fluxo superficial exerce nas laterais e no leito do canal. O fluxo superficial que se concentra nos pequenos riachos é impulsionado para as partes mais baixas da bacia formando cursos d'água de maiores dimensões. Pelo menos, parte do material que foi erodido nos planos é transportado juntamente com o fluxo para os canais. Dependendo da quantidade disponível para transporte e das características do solo que compõe o leito e as laterais do canal, poderá haver maior ou menor erosão. Conseqüentemente isto irá levar ao aprofundamento e alargamento do canal. Segundo Figueiredo (1998b) este aprofundamento do canal em alguns casos poderá resultar no deslizamento das paredes laterais do canal devido à força da gravidade. Este é um dos processos formadores de ravinas em que ocorre a ruptura nas paredes laterais do canal.

Deve-se observar que a água infiltrada nos planos causa o aumento de umidade e a diminuição da resistência do solo, podendo levar ao deslizamento dos taludes dos canais.

## 2.3 Modelos Hidrológicos de Escoamento e Erosão

O modelo hidrológico é uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e para prever as conseqüências das diferentes ocorrências em relação às observadas (Tucci, 1998). A modelagem hidrológica permite verificar a consistência das informações disponíveis, que são em geral muito curtas, obtidas a partir das observações hidrológicas nas pequenas bacias. Com base nos dados observados, os modelos hidrológicos podem ser calibrados para uma certa bacia, permitindo, por exemplo, a geração de séries sintéticas.

### 2.3.1 Classificação dos Modelos

De acordo com Tucci (1998) os modelos classificam-se em: contínuos e discretos; concentrados e distribuídos; estocásticos e determinísticos; conceitual e empírico. Para Fleming & Al Kadhimi (1982) citado por (Galvão, 1990) os modelos matemáticos de

simulação hidrológica podem ser classificados como determinísticos e estocásticos. Estas definições levam a crer que existe um consenso entre os autores nessas últimas classificações ou seja, sendo o modelo estocástico ou determinístico ele poderá ser também concentrado ou distribuído, conceitual ou empírico.

Um sistema é dito contínuo quando os fenômenos são contínuos no tempo e discreto quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos. Um modelo é concentrado quando não se leva em conta a variabilidade espacial, e distribuído quando as variáveis e os parâmetros do modelo variam com o espaço e/ou o tempo. Segundo Dooge (1973) citado por Tucci (1987) um modelo é determinístico quando, para uma mesma entrada, o sistema produz sempre a mesma saída (devendo as condições iniciais serem exatamente as mesmas para certos sistemas), enquanto que o modelo é estocástico quando o relacionamento entre a entrada e a saída é estatístico. Os modelos são ditos conceituais quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os resultados dos processos físicos.

Os modelos conceituais ainda podem ser classificados em semiconceituais (relacionam características do processo, embora mantenham um razoável empirismo nos parâmetros da equação envolvida) e físicos (representam o mecanismo essencial que controlam o processo, incluindo variabilidades espaciais e temporais e podem identificar qual a parte do sistema que mais afeta o resultado). Por outro lado os modelos empíricos são aqueles que são gerados a partir dos dados observados, através de funções que não têm nenhuma relação com os processos físicos envolvidos. São estatísticos por natureza e são aplicáveis apenas para as condições para as quais foram obtidos.

### 2.3.2 Modelos Chuva-Vazão

Modelos do tipo chuva-vazão são modelos que procuram simular a vazão em uma dada seção, a partir da precipitação conhecida na bacia hidrográfica. Eles foram criados com as seguintes finalidades: melhor entendimento do fenômeno hidrológico na bacia, análise de consistência e preenchimento de falhas, dimensionamento de obras hidráulicas; previsão de cheias e análise das mudanças na resposta da bacia devido as modificações do uso da terra, entre outras. Segundo Tucci (1998) estes modelos surgiram com a necessidade de se obter séries hidrológicas de vazões mais longas e representativas, para diferentes projetos de recursos hídricos.

### *2.3.2.1 Modelos Empíricos*

Os modelos empíricos são baseados em dados observados e fornecem sempre a mesma resposta para a mesma entrada. São obtidos a partir de métodos estatísticos de regressão, análise de correlação e métodos baseados em funções estatísticas. Eles possuem limitações no que diz respeito às mudanças efetuadas na bacia justamente pela falta de significado físico dos seus parâmetros conforme Bathurst and O'Connell (1992) citado por Figueiredo (1998).

### *2.3.2.2 Modelos Conceituais Concentrados*

Muitos modelos hidrológicos são baseados na representação conceitual dos processos físicos que governam o fluxo de água através do meio poroso do solo e sobre ele. Tais modelos possuem dois tipos de parâmetros: parâmetros ligados às características da bacia (representam propriedades mensuráveis de uma bacia) e parâmetros de processo (representam propriedades que não são diretamente mensuráveis) (Sorooshian & Gupta, 1995).

Devido ao fato de poder incorporar conceitos ligados diretamente aos processos físicos os modelos chuva-vazão do tipo conceitual determinístico são os mais difundidos e utilizados. Apesar de ter sido dito que estes modelos baseiam-se nos conceitos sobre os processos hidrológicos eles possuem internamente um conjunto de funções empíricas fazendo com que os mesmos produzam bons resultados para alguns casos não sendo, no entanto, bons modelos para os processos físicos envolvidos, de um modo geral.

Com o advento dos computadores e o desenvolvimento de máquinas cada vez mais velozes foram desenvolvidos inúmeros modelos matemáticos dentre os quais Galvão (1990) cita: SSARR, do US Army Corps of Engineers, o Stanford Watershed Model, da Universidade de Stanford, o de Boughton, Austrália, o Mero Model, o Institute of Hydrology Model, da Grã-Bretanha, entre outros (Clarke, 1973; Fleming, 1977). Segundo Galvão (1990) no Brasil são bastante utilizados o SMAP (Lopes et al., 1981), o IPH II (Tucci et al., 1987), e o MODHAC (Lanna e Schwarzbach, 1989).

Abbott et al. (Beven, 1989) apontam como desvantagem ou limitação dos modelos conceituais concentrados, os seguintes pontos: eles necessitam de observações meteorológicas e hidrológicas relativamente longas para a sua calibração, a previsão dos efeitos das mudanças de uso do solo através da mudança no valor dos parâmetros não poderá ser efetuada com confiança, os modelos não utilizam informações relacionadas a topografia, tipo de solo e variações no tipo da vegetação.



### 2.3.2.3 Modelos Fundamentais

Os modelos conceituais retratam as condições médias da bacia, sendo as variáveis envolvidas analisadas segundo uma ótica global. Como consequência os fenômenos são retratados segundo formulações baseadas em parâmetros empíricos (Tucci, 1987). Durante muitos anos os hidrólogos têm adotado vários modelos concentrados e baseados nas médias sobre a bacia porém, com pouca compreensão dos seus efeitos.

O desenvolvimento de pesquisas que se preocupam com os processos físicos que ocorrem nas bacias fez com que os modeladores procurassem aproximar os modelos da realidade física, o que permitiria uma análise da influência das modificações causadas pela ação antrópica e natural sobre o meio ambiente. Os processos desenvolvidos nas bacias seriam retratados através de equacionamento físico.

Nos modelos conceituais concentrados os parâmetros são comuns a toda a bacia perdendo-se com isto características individuais e próprias de cada parte da bacia. Os modelos físicos que consideram a variação espacial dos parâmetros são denominados de físico-distribuídos. Apesar de representar um grande avanço na modelagem hidrológica este tipo de modelo requer uma quantidade muito grande de informação a respeito da bacia, o que limita a sua aplicação para algumas regiões.

### 2.3.3 Modelos de Produção de Sedimentos

Produção de sedimento diz respeito ao valor total de sedimento que sai de uma bacia hidrográfica ou de uma bacia de drenagem, medido numa seção de referência em um intervalo de tempo específico (Singh, 1989). O processo de produção de sedimento pode ser dividido em duas grandes categorias: a fase que ocorre nos planos e a fase que ocorre nos canais (Bennet, 1974).

Modelos de produção de sedimentos são representações hipotéticas dos processos físicos que ocorrem durante a erosão e o transporte de sedimentos de uma bacia (Bennet, 1974). Eles podem ser simples como uma equação de regressão ou complexos como os modelos que calculam a produção de água e sedimento nos planos e nos canais.

A modelagem da produção de sedimento é bem mais complexa do que os outros tipos de modelagens hidrológicas (chuva, vazão, evaporação, etc). Em se tratando dos processos de erosão existe uma dependência do modelo de erosão na resposta fornecida pelo modelo

hidrológico. Deve-se observar que os processos de erosão compreendem as fases de desagregação das partículas, transporte e sedimentação. O resultado final depende de cada uma destas fases e do que acontece em cada um dos elementos da bacia. Por sua vez, essas fases dependem de como a chuva age sobre o solo e também do desenvolvimento do hidrograma gerado. Caso o modelo hidrológico não consiga reproduzir corretamente o hidrograma observado o modelo de erosão irá fornecer um resultado diferente do observado em campo.

A idéia principal para a modelagem de erosão nos planos é que a carga de sedimento é controlada pelos seguintes fatores: pela quantidade de sedimento disponível para transporte, pelo processo de desagregação ou pela capacidade de transporte do meio que transportará o material sólido. Assim como os modelos chuva-vazão eles também poderão ser divididos em empíricos, conceituais e fundamentais ou de base física.

Alguns modelos de erosão foram citados por Lopes (1987) tendo o mesmo os dividido em classe: modelos baseados na USLE (*Universal Soil Loss Equation*) ou MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) e modelos baseados nos processos físicos. Para o primeiro caso tem-se: PTR (*Pesticide Transport and Runoff*) Crawford e Donigian (1973), ACTMO (*Agricultural Chemical Transport Model*) Frere et al., (1975), ANSWERS (Beasley et al, 1980). Para o segundo caso tem-se os trabalhos de Bennett (1974), Simons et al. (1975), Smith (1976), Li (1979), Borah et al. (1981), Smith et al. (1981) e Alonso e Decoursey (1983).

### 2.3.7 Modelos Empíricos

Modelos empíricos são baseados em observações empíricas. Nestes modelos a produção de sedimento é relacionada com algum fator que o influencia de forma significativa utilizando para tanto o ajustamento de curvas. Os parâmetros nesses modelos possuem pouco ou nenhum significado físico.

Um dos modelos de perda de solo mais antigo da literatura é o modelo de Musgrave (1947). Ele foi concebido com o propósito de apoio ao planejamento do controle de erosão e considera os efeitos da erodibilidade do solo, da cobertura vegetal, da declividade, do comprimento da superfície e da intensidade da chuva sobre a erosão do solo. A equação de Musgrave é expressa como segue:

$$A = CRS^{1.35} L^{0.35} P_{30}^{1.75} \quad 2.4$$

onde  $A$  é a perda média de solo durante um longo período (acre-in);  $C$  é o fator de erodibilidade do solo (in);  $R$  é o fator de cobertura de solo;  $S$  é a declividade (%);  $L$  é o comprimento de rampa (ft),  $P_{30}$  é a altura da precipitação de duração de 30 min com tempo de retorno de dois anos (in).

A USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é uma equação similar à equação de Musgrave (1947). Foi inicialmente proposta por Wischmeier e Smith (1960) e depois melhorada (Wischmeier e Smith, 1978). É talvez a equação mais largamente empregada para a prática do planejamento e controle da erosão nos Estados Unidos. O objetivo do seu desenvolvimento foi o de servir como ferramenta para os conservacionistas desenvolverem planos de gerenciamento de áreas agrícolas com a finalidade de controle da erosão e manutenção da produtividade. Ela exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão do solo, sendo o seu resultado um valor médio anual. As parcelas de erosão utilizadas no desenvolvimento da USLE eram de pequenas dimensões sendo submetidas exclusivamente a processos de erosão hídrica superficial laminar. A USLE é escrita como:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad 2.5$$

onde  $A$  é a perda de solo por unidade de área (t/ha);  $R$  é a erosividade combinada da precipitação pluviométrica;  $K$  é o fator de erodibilidade do solo;  $L$  é o comprimento do declive (m);  $S$  é a declividade do terreno (%);  $C$  é o fator de cobertura ou controle;  $P$  é o fator de práticas conservacionistas.

As principais limitações desta equação foram citadas por Leprun (1981) e Foster (1982) e consistem nas seguintes: a equação não é destinada para estimar a perda de solo por eventos isolados; é uma equação de erosão e conseqüentemente não estima deposição (Wischmeier, 1976); não estima erosão em canais ou em ravinas; aplica-se sobretudo aos cálculos de erosão sobre parcelas experimentais e não sobre terrenos de grandes dimensões; o uso desta equação em zonas semi-áridas exige a consideração de outros critérios.

A USLE foi elaborada para fornecer a produção de sedimentos que ocorreu durante um longo período de tempo. Caso a USLE seja utilizada para eventos isolados os resultados obtidos estarão fora da realidade. Segundo Foster (1982) este comportamento se dá devido ao fato de existir uma grande variação tanto no escoamento como na produção de sedimento que ocorre de evento para evento e que não é considerada. Para tentar solucionar este

problema William modificou (Foster, 1982) a USLE para estimar a produção de sedimentos de eventos individuais de escoamento. Isto foi conseguido, substituindo o fator de erosividade  $R$  de chuvas da USLE por um outro fator ( $R_w$ ) relacionado ao volume de escoamento e a vazão de pico do evento. Este novo fator  $R$  é dado por:

$$R_w = 9,05 \cdot (V \cdot Q_p)^{0,56} \quad (2.6)$$

onde  $V$  é o volume de escoamento ( $m^3$ ) e  $Q_p$  é a vazão de pico ( $m^3/s$ ).

À nova equação foi dado o nome de USLE Modificada ou MUSLE. Embora a MUSLE assuma que a deposição ocorra na bacia hidrográfica, ela somente fornece uma estimativa do total de sedimentos produzidos e não uma estimativa da produção de classes individuais de partículas.

### 2.3.8 Modelos Fundamentais

No que diz respeito a erosão não são muitos os modelos fundamentais que com sucesso modelam este processo. O processo de erosão é bastante complicado de ser modelado e depende de três fatores básicos: topografia, natureza do fluxo, características dos solos e dos sedimentos que o compõe. A combinação destas três características torna a erosão um processo extremamente complexo para ser modelado, em contraste com o processo físico de escoamento.

Foster (1982) e Beven & O'Connell (1982) citado por Figueiredo (1998b) citam as vantagens dos modelos de erosão de base física sobre os outros existentes (empíricos e semi-conceituais) como sendo: a técnica de modelagem é baseada na física dos processos, os parâmetros possuem significado físico, a bacia é considerada um sistema espacialmente variável com entradas variáveis e parâmetros mensuráveis, possibilidade da extrapolação para áreas hidrologicamente homogêneas não observada, aplicabilidade onde existem variações na topografia, uso de solo, cobertura vegetal e clima, consideração de áreas mais complexas, melhor precisão na modelagem dos eventos individuais.

Visto que os modelos de base física requerem maiores informações a respeito da bacia, o requisito básico para aplicação dos mesmos seria colher todos os dados necessários para uma boa representação dos processos envolvidos. Esta prática demandaria tempo e recursos, pois seria necessário a coleta de informação em vários locais da bacia. Para contornar este problema, costuma-se coletar os dados imprescindíveis ao modelo e estimar algumas outras

variáveis, de acordo com trabalhos disponíveis na literatura. As variáveis características dos processos, que não tiveram seus valores coletados ou estimados serão calibradas de acordo com dados observados.

As equações básicas para representar os processos hidrológicos são as leis básicas da física tais como o princípio da conservação da massa, energia e quantidade de movimento (equações de Saint Venant). A impossibilidade de representar o comportamento dos processos como eles ocorrem na prática, como também a limitação em termos computacionais de calcular, a nível tridimensional, a variabilidade do sistema são alguns dos fatores que têm limitado o desenvolvimento dos modelos distribuídos de base física.

Desde a criação dos primeiros modelos de base física, a literatura especializada tem visto uma série de trabalhos que mostram vantagens e desvantagens dos mesmos. Serão citadas aqui algumas das desvantagens mais freqüentemente observadas: restrição na aplicação deste modelo relacionadas com o problema de escala, calibração, validação e incertezas inerentes aos valores dos parâmetros e da saída fornecida; a necessidade de calibração dos parâmetros, as suposições utilizadas para resolver o sistema de equações gera alguns erros difíceis de serem eliminados. Mesmo os modelos mais complexos precisam de alguma forma de calibração da mesma maneira que os modelos conceituais.

Vários autores têm apontado virtudes e defeitos no emprego desta ferramenta computacional (Foster, 1982; Beven & O'Connell, 1982; Abbott et al., 1986 a, b; Beven, 1989; Galvão, 1990; Storm & Refsgaard 1996; O'Connell & Todini, 1996; Figueiredo, 1998).

Mesmo com as desvantagens acima citadas os estudos sobre os modelos de base física têm crescido. Isto acontece devido aos mesmos poderem fornecer, através das suas respostas, um melhor entendimento dos processos hidrosedimentológicos e por poderem representar com uma maior proximidade o desenvolvimento do ciclo hidrosedimentológico. A consideração da variação espacial da bacia e espaço-temporal da precipitação, faz com que os mesmos possam ser utilizados para a análise dos impactos causados pelo uso da terra sobre os processos erosivos. O significado físico dos parâmetros permite analisar a variação do comportamento do sistema devido a variação em algum componente do mesmo.

Vários modelos de base física, que calculam a erosão e o transporte de sedimentos, foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas. Serão citados a seguir alguns destes modelos:

O CSU (Li, 1977) usa um sistema de canais e planos para discretizar a bacia. Calcula a erosão e o transporte de sedimentos separadamente para o fluxo superficial e nos canais, e propaga o fluxo através de um modelo de onda cinemática. O modelo pode representar grandes e pequenas áreas. Alguns parâmetros devem ser calibrados. Serão produzidas distorções nos resultados caso a representação da bacia não seja adequada (Foster, 1982). É, talvez, o primeiro modelo de erosão distribuído e de base física.

O KINEROS - Smith e Woolhiser (1981) incorporaram ao modelo hidrológico de Rovey et al. (1977) componentes de erosão, transporte e deposição. O KINEROS é um modelo distribuído, não linear, onde a bacia é representada por planos retangulares, canais e elementos de armazenamento. Utiliza a equação da continuidade de sedimentos de Bennett (1974) e calcula o desprendimento das partículas pelo impacto das gotas de chuva através da equação Meyer e Wischmeier (1969). A taxa de erosão no canais é considerada como proporcional ao déficit da capacidade de transporte, e a deposição é considerada como excesso (ver Lopes 1987).

O modelo SHE (Système Hydrologique Européen) foi desenvolvido por um consórcio europeu de institutos de hidrologia (Bathurst, 1986; Bathurst et al., 1995) e consiste de um modelo distribuído, de base física e cuja as equações físicas são resolvidas através de um esquema de diferenças finitas. A bacia é discretizada através de uma grade horizontal e vertical. A sua versão melhorada, SHETRAN, considera os processos de erosão, transporte e deposição de sedimento e poluentes. Devido à sua concepção o modelo requer um grande número de informações e uma estrutura computacional onerosa, o que inviabiliza a sua utilização a nível pessoal.

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) desenvolveu o modelo WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) (ver Lopes et al., 1989). O modelo é baseado nos fundamentos da hidrologia, na física do solo, na ciência das plantas e na mecânica da erosão. Ele inclui componentes para planos, canais e para irrigação. A infiltração é baseada na equação de Green e Ampt e o escoamento nos canais é tratado através da modificação da componente de escoamento concentrado do modelo CREAMS (Knise, 1980). A bacia é representada por planos e canais.

Lopes (1987) utilizando a componente hidráulica do modelo KINEROS e as técnicas de modelagem de erosão, desenvolvidas no âmbito do projeto WEPP (*Water Erosion Prediction Project*), criou o modelo WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*). Neste modelo a bacia é discretizada através de um sistema de planos de escoamento que

descarregam em canais de drenagem. É um modelo distribuído, que simula eventos e foi elaborado para ser aplicado a pequenas bacias nas regiões semi-áridas. O modelo só considera perda de água por infiltração não sendo considerada a evaporação. O excesso de infiltração é dado pela equação de Green & Ampt (1911) com tempo de empoçamento calculado para uma chuva não permanente (Chu, 1978). A simplificação pela onda cinemática foi empregada para a equação da quantidade de movimento. O modelo considera erosão por impacto das gotas de chuva e pelo fluxo superficial. Estes processos são considerados não permanentes e variados e são descritos dinamicamente utilizando taxas de erosão e deposição simultaneamente, ao invés da abordagem convencional onde são utilizadas funções de transporte de sedimentos para fluxo permanente.

Apesar do estágio em que se encontram alguns destes modelos, eles tentam reproduzir os processos físicos que ocorrem na bacia. Isso é, de alguma maneira, o único caminho que se tem para chegar a resultados totalmente satisfatórios.

Com base no que foi discutido e nas características hidroclimatológicas da bacia Experimental de Sumé foi escolhido o modelo WESP para modelar e simular os processos hidrossedimentológicos na referida bacia. Este modelo será apresentado em maiores detalhes no Capítulo 4.

## CAPÍTULO 3

### 3 BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ

#### 3.1 Considerações Gerais

Os dados de campo utilizados neste trabalho foram coletados na Bacia Experimental de Sumé, localizada próxima a cidade de Sumé, no Estado da Paraíba (Figura 3.1). Nessa área experimental a Universidade Federal da Paraíba (UFPB), através do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste (PDCT/NE), financiado pelo CNPq e Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), tem desenvolvido pesquisas cujo objetivo é obter um melhor entendimento dos processos hidro-sedimentológicos que ocorrem no semi-árido nordestino, visto ser esta área experimental parte de uma área hidrologicamente representativa do Nordeste brasileiro.

A Bacia Experimental de Sumé está inserida na área da Bacia Representativa de Sumé cujos estudos foram iniciados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) no começo da década de 1970 (Cadier e Freitas, 1982). A bacia foi escolhida como representativa devido ao fato de seu solo, relevo, vegetação e clima serem semelhantes aos que são encontrados numa grande área do Nordeste (Figura 3.2) Cadier et al. (1983). A Bacia Representativa encontra-se localizada numa área onde as secas são freqüentes e portanto, conhecida como Polígono das Secas. Os baixos índices pluviométricos conjugados a uma grande evaporação e uma irregularidade temporal e espacial das precipitações provocam efeitos dramáticos da seca nesta região (Cadier et al., 1987). Enquanto a instalação da bacia Representativa foi muito útil para conhecer as relações hidrológicas básicas da região, as questões sobre a erosão do solo e a produção de sedimentos ficaram sem nenhuma resposta. Para superar esta deficiência e para se obter dados hidrosedimentológicos confiáveis, a Bacia Experimental de Sumé foi implantada dentro da Bacia Representativa de Sumé.

A instalação da Bacia Experimental de Sumé deu-se no início de 1981. A Bacia de Sumé foi escolhida com base nos seguintes critérios: era uma bacia já conhecida do ponto de



vista hidrológico (Cadier e Freitas, 1982), apresentava facilidades logísticas e de acesso, havia uma propriedade adequada aos estudos, com cessão do proprietário para tal fim (Cadier et al., 1983). Devido à problemas operacionais os dados iniciais só puderam ser coletados no inverno de 1982 (Srinivasan e Galvão, 1990).

De acordo com Cadier et al. (1983) a Bacia Experimental de Sumé foi criada com as seguintes finalidades: “criar, adaptar e desenvolver tecnologia e metodologia adequadas ao problema de escassez de recursos financeiros e hídricos do Nordeste brasileiro, integrar e relacionar o estudo das zonas de produção, ou de captação de água, com as zonas de utilização (ou perímetro de irrigação) que permitirá otimizar o manejo de água, assim como o dimensionamento dos reservatórios e superfícies irrigadas, em função das bacias de captação e apresentar resultados diretamente utilizáveis para a solução de problemas concretos de desenvolvimento do Trópico Semi-árido. Os resultados devem ser utilizados para o dimensionamento e a operação de pequenos perímetros de irrigação.

No ano de 1982 foi firmado um acordo entre a SUDENE e a UFPB para incluir a pesquisa dentro do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste (PDCT/NE), financiado pelo CNPq e pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). A campanha de 1983 ainda foi realizada pela SUDENE, com a integração da equipe da Área de Recursos Hídricos da UFPB, que assumiu a condução da pesquisa em 1984, através do projeto PB-22 "Modelo de aproveitamento hidro-agrícola em bacias experimentais na micro-região de Sumé-PB" do PDCT/NE.

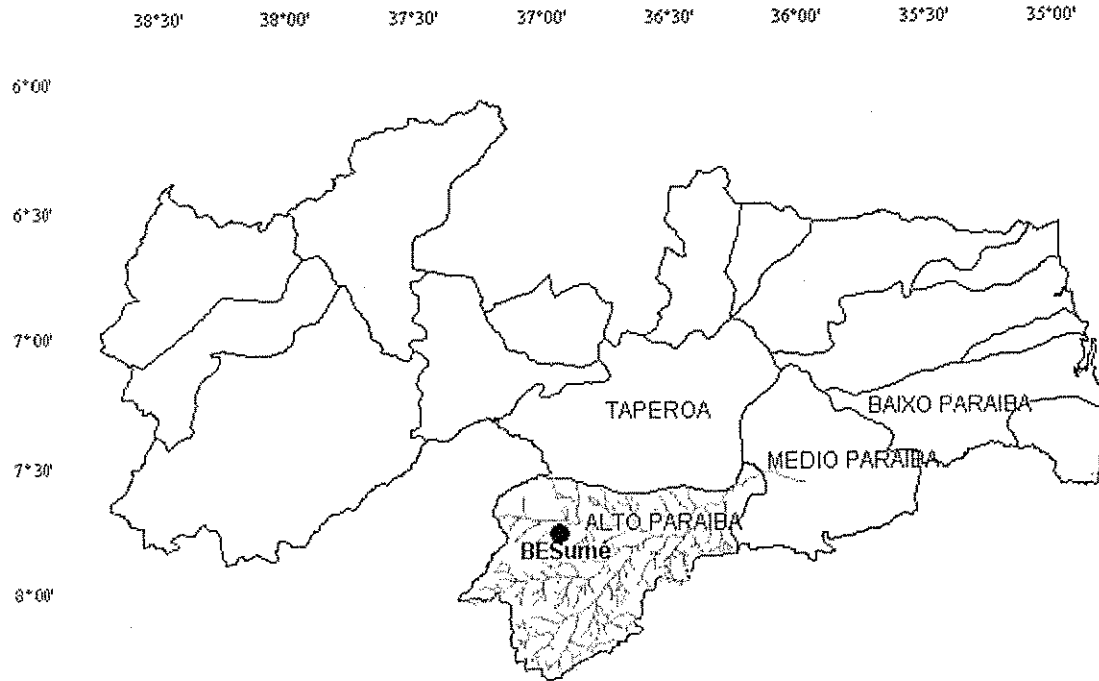


Figura 3.1 - Localização da Bacia Experimental de Sumé no estado da Paraíba (divisão por bacias hidrográficas)

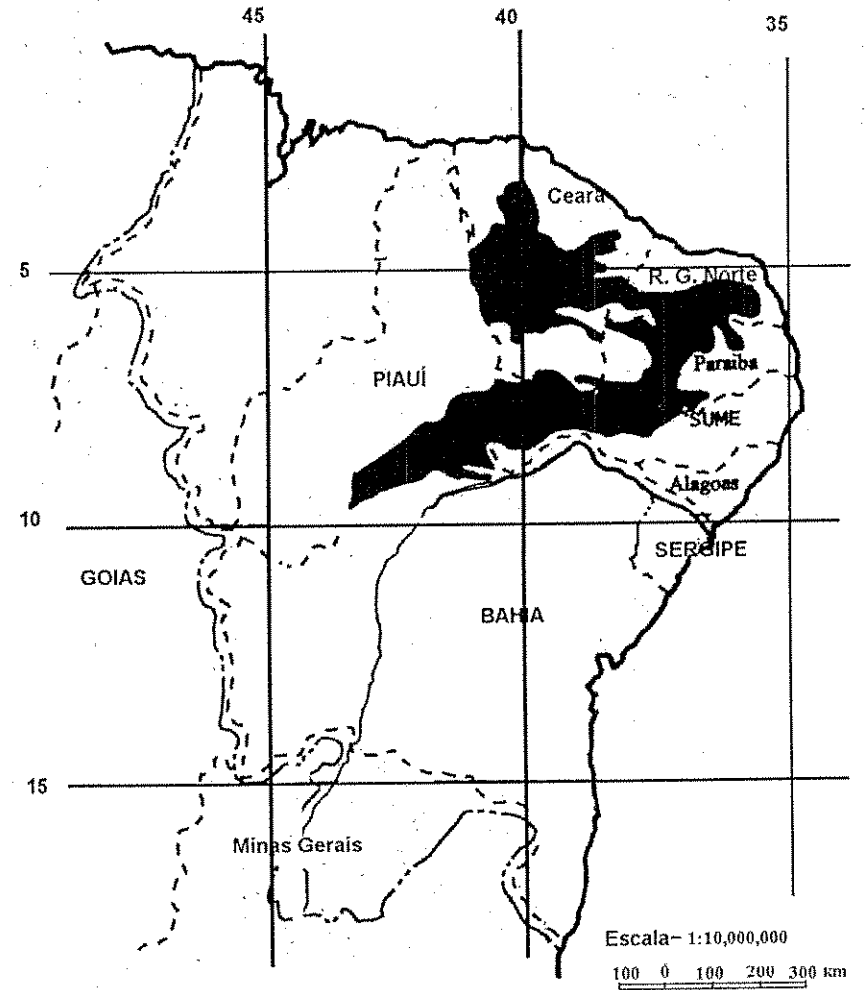


Figura 3.2 - Zonas com características hidrológicas semelhantes às da bacia de Sumé (Cadier et al. 1983)

## 3.2 Localização

A Bacia Experimental de Sumé está localizada na propriedade Fazenda Nova, no município de Sumé, Estado da Paraíba. Situa-se na altura do km 118 da BR-412, entre as cidades de Sumé e Monteiro. Faz parte da área superior da Bacia do Rio Paraíba, numa latitude de 7°44' Sul e longitude 36°57' Oeste (Cadier e Freitas, 1982). Esta região, uma das mais secas do Nordeste do Brasil, é denominada Cariris Velhos, ou apenas Cariri. A Bacia de Sumé tem características físico-climáticas semelhantes à cerca de 15% do "polígono das secas" (Nouvelout, 1974). As Figuras 3.1 e 3.2 mostram respectivamente a localização geográfica da Bacia Experimental de Sumé, bem como as outras zonas do Nordeste hidrologicamente semelhantes.

## 3.3 Características Físico-Climáticas da Bacia Experimental de Sumé

De acordo com Cadier et al. (1983) foi escolhida uma zona com solo e sub-solo de baixa permeabilidade onde o armazenamento por aqüedagem, deveria ser a solução básica para melhor utilização dos recursos hídricos.

### 3.3.1 Clima

A precipitação média anual varia entre 550 e 600 mm, com decenal seca igual a 300 mm e decenal úmida igual a 900 mm. O inverno é centralizado entre 15 de fevereiro e 20 de abril estando os meses chuvosos entre janeiro e junho. A precipitação em 24 h ultrapassada 5 vezes por ano é igual a 36 mm, 1 vez por ano é igual a 63 mm, 1 vez a cada 10 anos é igual a 106 mm, 1 vez cada 100 anos é igual a 152 mm (Cadier et al., 1983). A distribuição da precipitação ao longo do ano pode ser vista na Figura 3.3.

A temperatura média anual varia entre 23 e 27°C com amplitudes térmicas diárias de 10°C. A insolação apresenta uma média anual igual a 2800 horas enquanto que a evapotranspiração média é de 2000 mm/ano. A evaporação anual no Tanque Classe A é igual a 2900 mm.

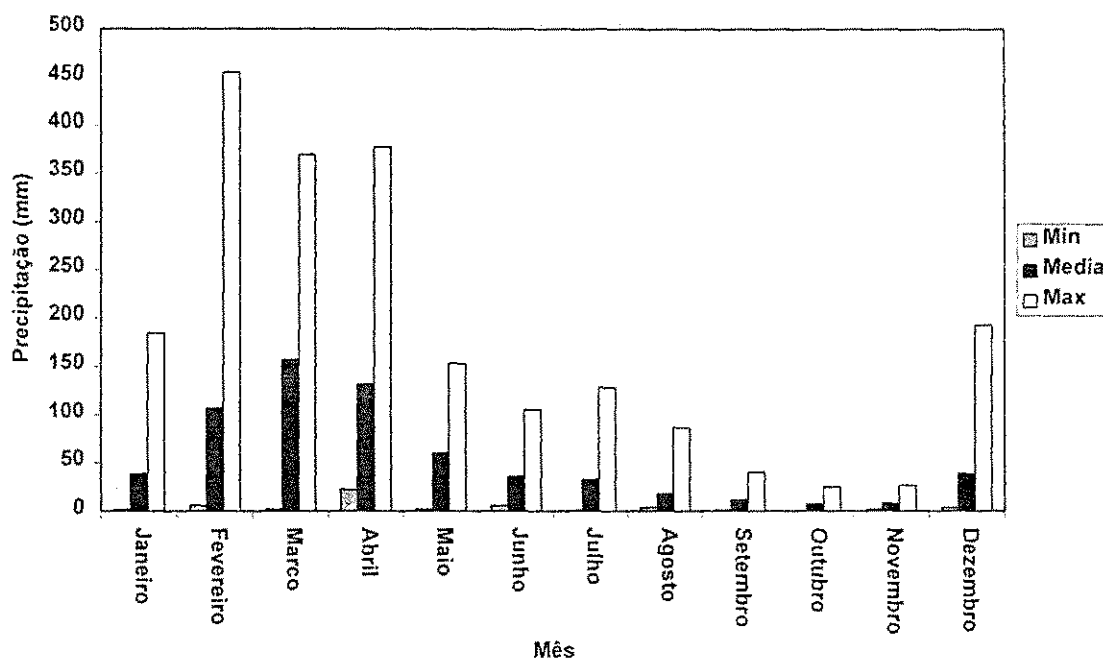


Figura 3.3 - Precipitação mínima, média e máxima de acordo com os meses

### 3.3.2 Subsolo

Segundo Albuquerque (1970) o subsolo do Cariri paraibano é formado por rochas do complexo cristalino pré-cambriano, na maioria granitos. De acordo com Siqueira (1964) citado por Galvão(1990) foi constatada a ocorrência de fendas e fissuras, mas na maioria não são interligadas em rede, impossibilitando o fluxo, e favorecendo a salinização das águas subterrâneas. O embasamento cristalino é impermeável mas com fissuras e presença de Gnaisses e quartzitos (Cadier et al., 1983).

### 3.3.3 Solo

O solo mais abundante do sertão nordestino é o bruno não cálcico vértico, constituindo cerca de 15% da superfície do polígono das secas. Este solo representa mais de 85% da superfície da bacia. Os outros 15% restantes são compostos por manchas de solos Bruno não cálcico modais associados a raros vertissolos. Os solos são rasos (espessura variando de alguns decímetros a pouco mais de 1 m). O perfil médio do solo de Sumé, determinado pelos estudos de Molinier et al. (1989) é o seguinte:

- i) Horizonte A com 20 cm de espessura, bruno acinzentado, textura franco-areno-argilosa, fase pedregosa com estrutura poliédrica a cúbica, porosidade média;
- ii) Horizonte B, de 20 a 70 cm de profundidade, bruno, textura franco-argilo-arenosa, estrutura cúbica a prismática até maciça, com porosidade muito fina;
- iii) Horizonte C, de 70 a 90 cm de profundidade, textura areno-argilosa, proveniente de um gnaisse com anfibólio.

Os solos na sua morfologia têm estreita dependência da estrutura geológica. A sucessão das rochas da superfície para o fundo é: pegmatita quartzítica feldspática, gnaisse com anfibólio, anfibolito de acordo com Molinier et al. (1989b). Isto determina a distribuição espacial:

- i) Nas vertentes, onde os solos bruno não cálcico vérticos são dominantes, cada ocorrência de pegmatita é marcada por uma saliência topográfica e a aparição de solos bruno modais, enquanto que as micro depressões correspondem a uma rocha basáltica mais alterada e aos vertissolos;

Os horizontes do solo em Sumé, podem ser agrupados em duas grandes classes:

a) Horizontes porosos e permeáveis. São os horizontes A dos solos bruno não cálcico vérticos, e da totalidade dos solos bruno pouco desenvolvidos passando aos solos litólicos. A taxa de argila não ultrapassa 15-20%. A densidade aparente está próxima de 1.5, ou seja, uma porosidade total de 40 a 45%. Estes horizontes têm uma baixa capacidade de estocagem de água, porém são os condutores do sistema.

b) Os horizontes B compactos, pouco permeáveis. Os horizontes B são vérticos. A densidade aparente aumenta com a profundidade, chegando a 1.8, ou seja, uma porosidade de 30 a 32%. A proporção de argila na faixa de (40 a 45%) e o grande poder de contração e expansão fazem com que essas camadas sejam pouco permeáveis, mas com a capacidade de reter grandes quantidades de água quando molhadas. A Tabela 3.1 traz as propriedades dos solos dominantes na Bacia Representativa de Sumé.

### 3.3.4 Relevo

O relevo varia de ondulado a pouco ondulado, com declividade variando entre 4% e 9%.

### 3.3.5 Vegetação

A vegetação nativa na região é do tipo caatinga dos cariris velhos, com um estrato dominante, do ponto de vista do recobrimento foliar, de 2 a 3 m de altura. O estrato de 4 a 6 m também é importante, mas os arbustos estão sobretudo localizados ao longo dos eixos de drenagem Fotius (1983) citado por Cadier et al., (1983). A vegetação da região do cariri é a caatinga hiperxerófila, arbóreo arbustiva e a da bacia Experimental de Sumé é o Marmeleiro (*Croton sonderianos*) e a Caatingueira (*Caesalpinia pyramidales*) e a jurema Preta (*Mimosa Hostilis*) (Cadier et al., 1983).

## 3.4 Dispositivo Experimental

As instalações da Bacia Experimental são formadas por quatro microbacias com áreas entre 0,5 e 1 ha, caracterizando a topografia do terreno e a cobertura vegetal, nove parcelas experimentais de 100 m<sup>2</sup> e uma sub-bacia de 10 km<sup>2</sup> (Umburana), operadas sob chuva natural. Várias microparcels de 1 m<sup>2</sup> também foram instaladas e operadas sob chuva simulada. Duas das microbacias estão localizadas em área com cobertura nativa, estando as outras duas microbacias localizadas numa área onde a cobertura nativa foi completamente removida. As microbacias e parcelas experimentais apresentam entre si diversas condições topográficas e de manejo e uso do solo. Além dos dados de escoamento superficial foram coletadas amostras padronizadas para estimativa da quantidade de sedimentos transportados pelo fluxo. Uma estação climatológica, uma rede de cinco pluviômetros (P49, P51, P52, P53, P57) e três pluviógrafos (PG49, PG53, PG57), e um abrigo para técnicos também faziam parte destas instalações (Srinivasan e Galvão, 1990). Os dados coletados e os outros detalhes dos estudos nas parcelas de 1 m<sup>2</sup> podem ser encontrados nos relatórios de Audry et al. (1987), Molinier et al. (1987) e Molinier et al. (1989). A Figura 3.4 mostra o croqui das instalações da Bacia Experimental de Sumé.

Tabela 3.1 - Propriedades dos Solos Dominantes na Bacia Representativa de Sumé (Figueiredo, 1998b)

Propriedades	Horizonte A	Horizonte B	Referências
a) Faixa do diâmetro do Solo			
>20 mm	4.10%	0.00%	Cadier e Freitas (1982)
2 – 20 mm	8.30%	1.50%	
0.20 - 2 mm	21.90%	29.50%	
0.05 - 0.2 mm	28.30%	20.70%	
0.002 - 0.05 mm	21.90%	15.80%	
<0.002 mm	15.80%	32.50%	
b) Densidade			
	1.74 kg/m	1.80 kg/m	Cadier e Freitas (1982)
	1.38 kg/m	1.34 kg/m	Molinier et al. (1989a)
	1.52 kg/m	1.56 kg/m	Montenegro e Silans (1991)
c) Porosidade	0.48	0.497	Molinier et al. (1989a)
d) Quantidade de Água			
Na saturação	0.28 m/m	0.375 m/m	Molinier et al. (1989a)
	0.30 m/m	0.340 m/m	Montenegro e Silans (1991)
No ponto de Murcha	0.058 m/m	0.084 m/m	Cadier e Freitas (1982)
	0.133 m/m	0.153 m/m	Molinier et al. (1989a)
Na capacidade de campo	0.018 m/m	0.190 m/m	Cadier e Freitas (1982)
	0.183 m/m	0.198 m/m	Molinier et al. (1989a)
	0.163 m/m	0.221 m/m	Montenegro e Silans (1991)
a 10 kPa	0.245 m/m	0.326 m/m	Molinier et al. (1989a)
	0.188 m/m	0.238 m/m	Montenegro e Silans (1991)
Residual	0.022 m/m	0.028 m/m	Molinier et al. (1989a)
	0.014 m/m	0.047 m/m	Montenegro e Silans (1991)
e) Condutividade Hidráulica			
	26.0 mm/h	-	Cadier e Freitas (1982)
	0.588 mm/h	0.546 mm/h	Molinier et al. (1988)
	0.500 mm/h	0.500 mm/h	Molinier et al. (1989b)
	25.0 mm/h	3.0 mm/h	Montenegro e Silans (1991)

### 3.4.1 Microbacias

As quatro microbacias e algumas parcelas, começaram a ser operadas no início do período chuvoso de 1982. Foram realizados os levantamentos topográficos, botânicos, pedológicos etc, com a finalidade de estabelecer as características físicas da bacia experimental (Cadier et al. 1983).

As microbacias 1 e 2 (M1 e M2) foram instaladas na área de vegetação nativa ao passo que as microbacias 3 e 4 (M3 e M4) foram instaladas na área onde a vegetação nativa foi retirada deixando desta forma o solo nu. As características relativas à cada microbacia podem ser vistas na Tabela 3.2. Os mapas topográficos das bacias estão apresentados nas Figuras 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8.

Tabela 3.2 - Características das microbacias estudadas (Cadier et al., 1983).

Microbacia	Área (ha)	Perímetro (m)	Declividade média (%)	Cobertura Vegetal
01	0,62	398	7,0	Caatinga Nativa
02	1,07	466	6,1	Caatinga Nativa
03	0,52	302	7,1	Desmatada
04	0,48	270	6,8	Desmatada

Foi instalada em cada microbacia uma fossa retangular de 2300 l de capacidade, equipada com um vertedor triangular de 90°, um linígrafo e um dispositivo de amostragem das águas que sangram. O vertedor foi dimensionado para uma vazão máxima de 270 l/s, o que corresponde à descarga provocada por uma chuva com intensidade de 100 mm/h que se escoaria em sua totalidade sobre uma superfície de 1 ha, com uma velocidade média de 0.2 a 0.3 m/s no canal da fossa (Cadier et al. 1983).

A fossa é pré-calibrada e o hidrograma do escoamento gerado é obtido através da curva de calibragem do vertedor e do linígrama registrado. O volume total escoado é calculado pela soma do que passa pelo vertedor e aquele que fica retido na fossa.

A obtenção do volume escoado através do vertedor foi realizada pelo processamento das informações geradas pelos linígrafos instalados em cada fossa. Utilizou-se para tanto o processo de digitalização das informações e posterior processamento através de programas desenvolvidos durante a pesquisa. Visto que cada fossa foi previamente calibrada os registros de nível podem ser transformados em volumes na fossa permitindo, assim, o cálculo do volume total acumulado com o tempo



até o transbordamento. O volume que transbordou foi calculado pelo volume do hidrograma gerado pelo vertedor.

A avaliação da produção total de sedimentos da bacia é baseada em amostragem realizada no material retido na fossa (em suspensão e depositado no fundo) e no fluxo vertente. A amostragem dos sedimentos retidos na fossa foi realizada em três estágios, conforme estabelecido no roteiro de coleta de dados para as microbacias. A concentração média obtida pela média das amostras em cada estágio é relacionada a um volume de água correspondente. Três orifícios situados na placa do vertedor e em alturas diferentes drenavam uma pequena parte da mistura de água-sedimento que passava pelo vertedor, acumulando-a em dois recipientes coletores nos quais eram coletadas duas amostras. Uma terceira amostra adicional, quando possível, era coletada manualmente durante o evento, na descarga do vertedor. A concentração média destas duas ou três amostras corresponde ao volume vertido. A produção total de sedimentos é calculada pelo somatório da produção relativa a cada estágio da fossa e ao escoamento através do vertedor. A Figura 3.9 mostra a fossa de sedimento e a localização dos amostradores e do linígrafo.

### 3.4.2 As Parcelas de Erosão

Na Bacia Experimental foram instaladas nove parcelas de erosão com diferentes declividades e cobertura vegetal representando assim as possíveis combinações de declividade, manejo e cobertura vegetal na bacia experimental. As parcelas são do tipo preconizadas por Wischmeier e Smith (1960) e possuem uma área de 100 m<sup>2</sup> (22.0 m x 4.55 m).

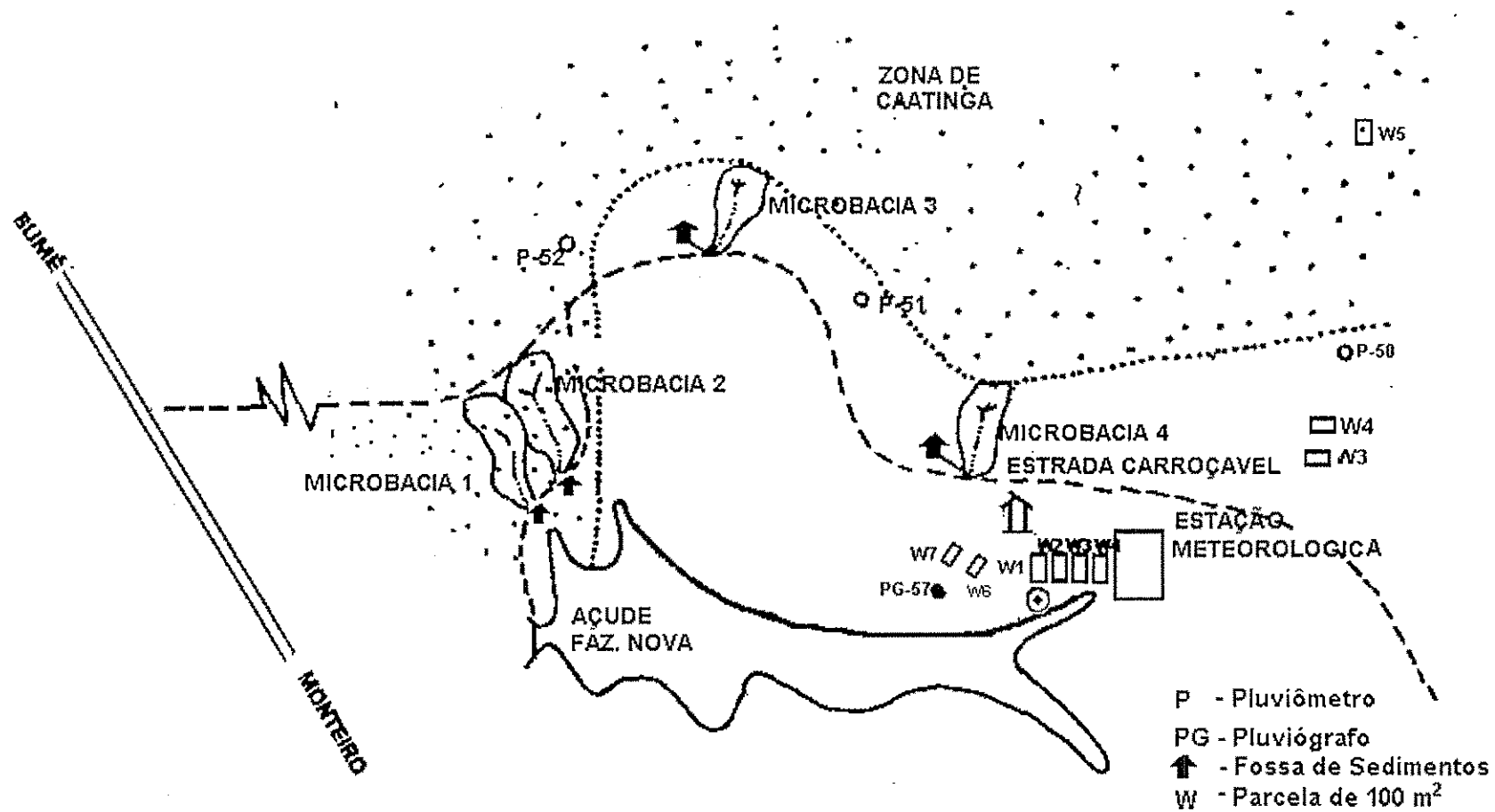


Figura 3.4 - Croqui de localização das instalações (Cadier et al.1983)

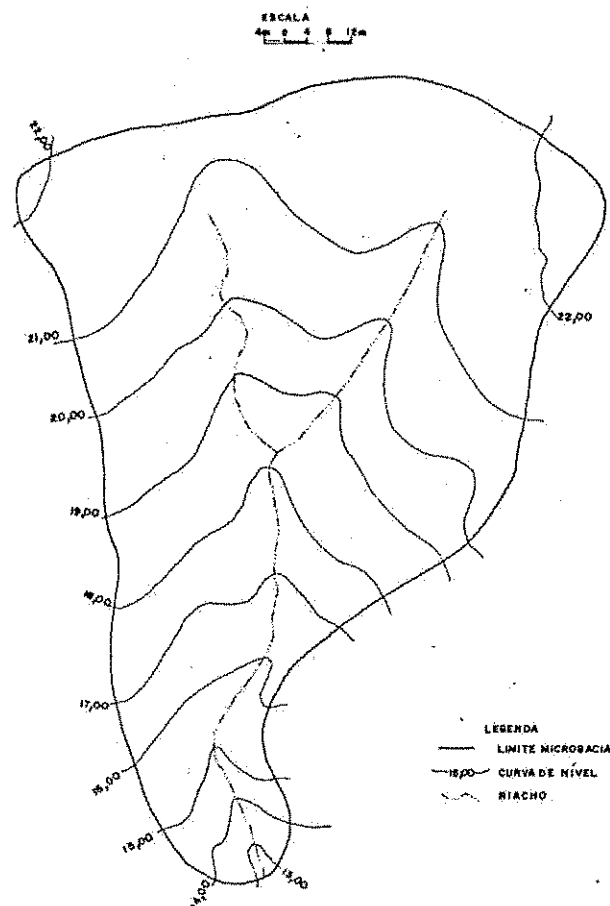


Figura 3.5 - Levantamento topográfico da microbacia 1  
(Cadier et al, 1983)

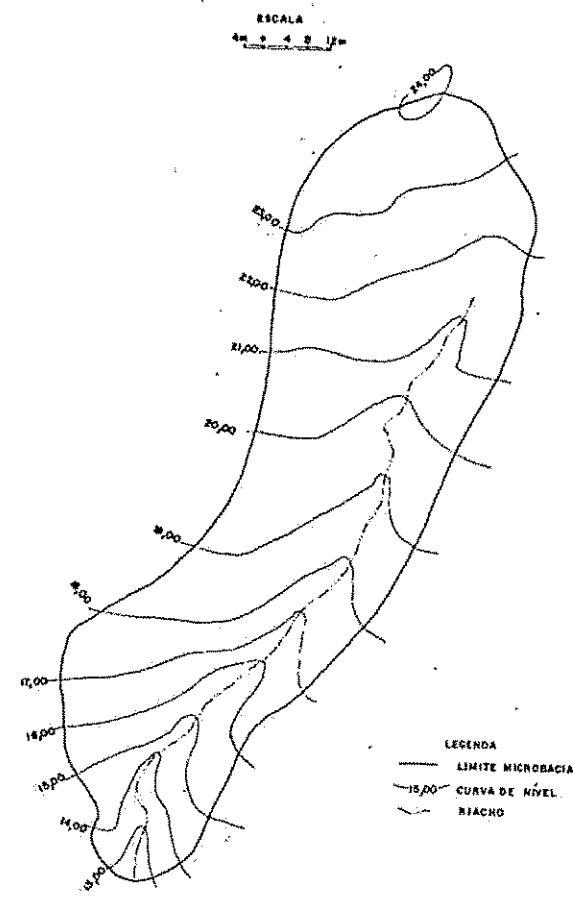


Figura 3.6 - Levantamento topográfico da microbacia 2  
(Cadier et al, 1983)

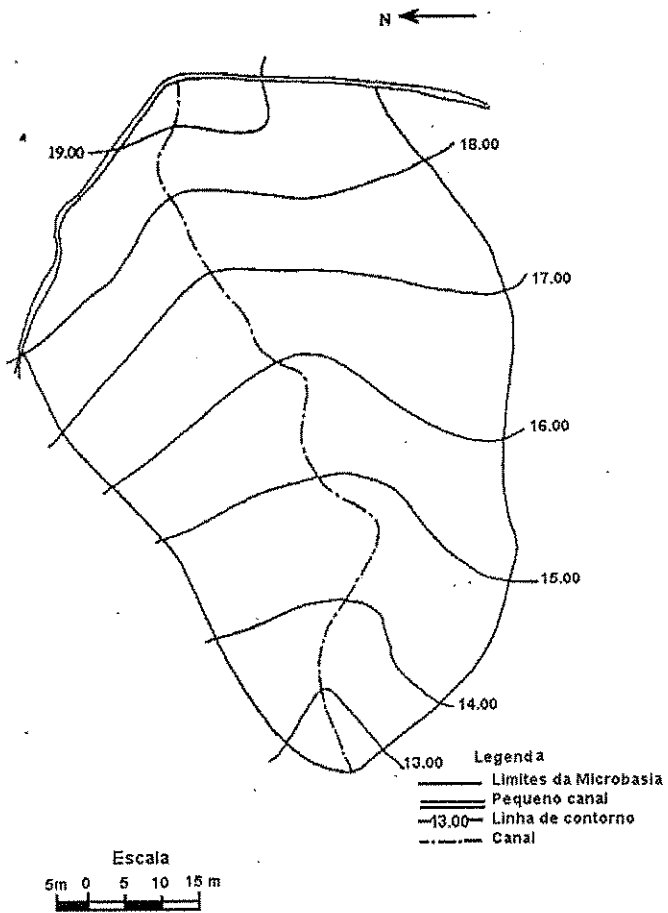


Figura 3.7 - Levantamento topográfico da microbacia 3  
(Cadier et al, 1983)

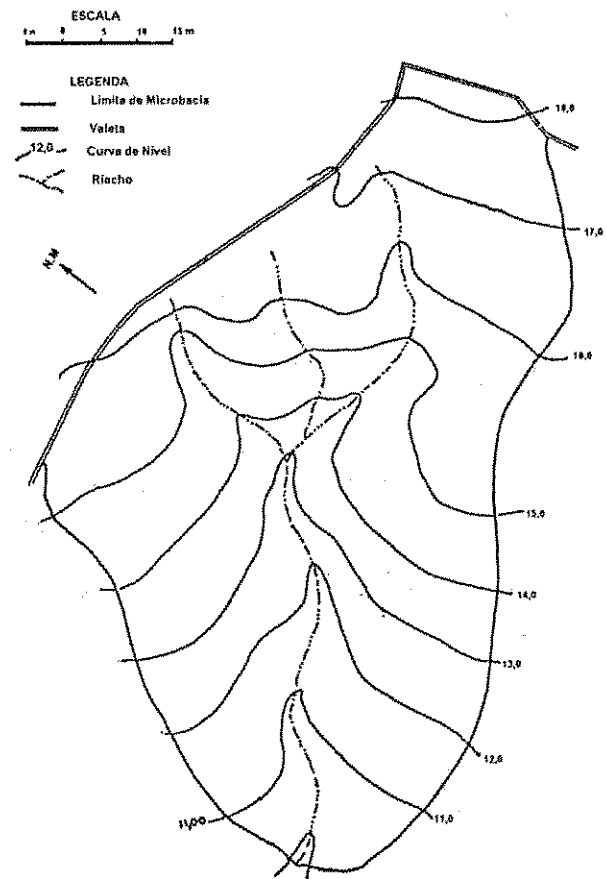


Figura 3.8 - Levantamento topográfico da microbacia 4  
(Cadier et al, 1983)

A Tabela 3.3 apresenta as características de cada parcela bem como o período de operação. Nota-se que a parcela 5 tem o mesmo tipo de cobertura vegetal das microbacias 1 e 2. As parcelas 1 e 4 são desmatadas da mesma forma das microbacias 3 e 4.

Tabela 3.3 - Características das parcelas de 100 m<sup>2</sup>

Parcela	Declividade Média (%)	Cobertura Vegetal	Período de Observação
1	3,8	Desmatada	1982 – 1991
2	3,9	Cobertura morta	1982 – 1991
3	7,2	Cobertura morta	1982 – 1991
4	7,0	Desmatada	1982 – 1991
5	9,5	caatinga nativa	1982 – 1991
6	4,0	Palma morro abaixo Milho Pousio	1983 – 1988 1989 1990 – 1991
7	4,0	Palma em contorno Feijão Pousio	1983 – 1988 1989 1990 – 1991
8	4,0	Tipo Wischmeier	1986 – 1991
9	4,0	Caatinga nova (1981)	1986 – 1991

Nas parcelas, estavam instalados dois tanques de fibro-cimento de 1000 litros, com um sistema de partidores no primeiro, onde, dentre nove tubos partidores, apenas um era ligado ao segundo tanque, conforme a Figura 3.10. O volume total escoado se torna a soma do conteúdo do primeiro mais nove vezes o volume escoado ao segundo. No primeiro tanque foi colocado um balde para captar o escoamento e a erosão provenientes das pequenas chuvas, facilitando a medição volumétrica e a amostragem. A avaliação da produção de sedimentos foi realizada através de amostragem nos dois tanques. As amostras foram coletadas no balde coletor, no primeiro tanque (em dois estágios de drenagem e a diferentes concentrações), e no segundo tanque (num único estágio homogeneizado). Os tanques foram pré-calibrados, de modo que a amostragem de cada estágio possa ser associada a um volume conhecido. A produção total de sedimentos foi estimada pelo somatório da produção avaliada para cada estágio. Não haviam linígrafos nos tanques medidores das parcelas, de modo que não era possível obter o hidrograma do evento, mas apenas o volume total escoado (Cadier et al. 1983; Srinivasan e Galvão, 1990).

### 3.4.3 Observações Meteorológicas

Para efetuar o registro da precipitação na Bacia Experimental de Sumé foram instalados cinco pluviômetros e três pluviógrafos nas proximidades das parcelas e microbacias. Uma estação climatológica instalada na BES possui tanque evaporimétrico "Classe A", termômetros, anemômetros, conjunto psicométrico e heliógrafo. Os dados de precipitação utilizados neste trabalho foram obtidos do pluviógrafo 49, devido a sua localização central e maior período de dados disponíveis. Os dados provenientes das observações foram apresentados por Srinivasan e Galvão (1990).

### 3.4.4 Dados Coletados

Além das informações de precipitação provenientes do pluviógrafo 49, equipamentos instalados nas microbacias e parcelas permitiram coletar dados referentes ao escoamento superficial e à erosão, provocados por cada evento de chuva. As medições foram realizadas logo após cada cheia, o que implicou na presença permanente de um técnico no campo durante a estação chuvosa (Cadier et al., 1983). Os dados básicos referentes ao escoamento e produção de sedimento nas parcelas e microbacias também se encontram no relatório de Srinivasan e Galvão (1990).

O tratamento dos dados oriundos das observações foram efetuados ao longo da pesquisa, à medida que eram obtidos. Foram criados formulários específicos da coleta como também procedimentos para o bom andamento dos trabalhos durante a coleta (Galvão, 1990).

Devido à grande quantidade de informações a serem processadas alguns programas de computador foram desenvolvidos com a finalidade de agilizar a tarefa que, de outra forma, seria laboriosa e passível de ter erros. As informações existentes nos pluviogramas assim como as existentes nos linigramas foram passadas para o meio digital através de um processo de digitalização em mesa digitalizadora. Devido aos certos problemas operacionais, ocorreram descontinuidades no processo de coleta bem como no processo de manutenção da condição dos experimentos (Galvão, 1990; Srinivasan e Galvão, 1990). Esta situação exige uma certa cautela na utilização completa da série de dados.

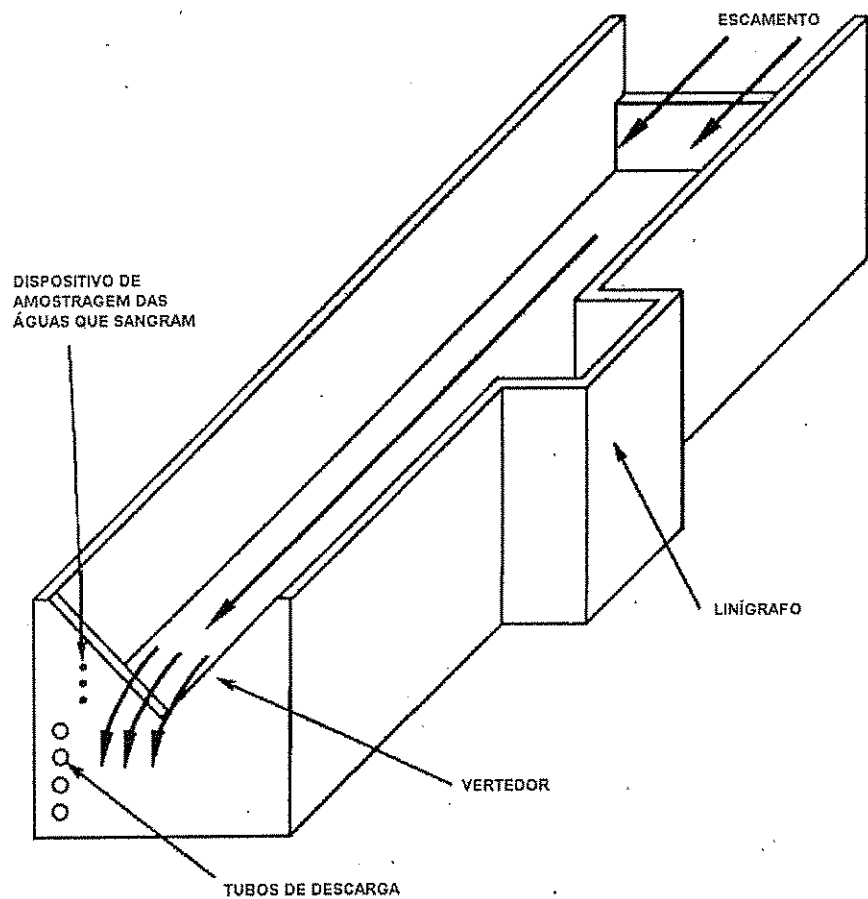


Figura 3.9 - Fossa de sedimento e a localização dos amostradores (Cadier et al, 1983)

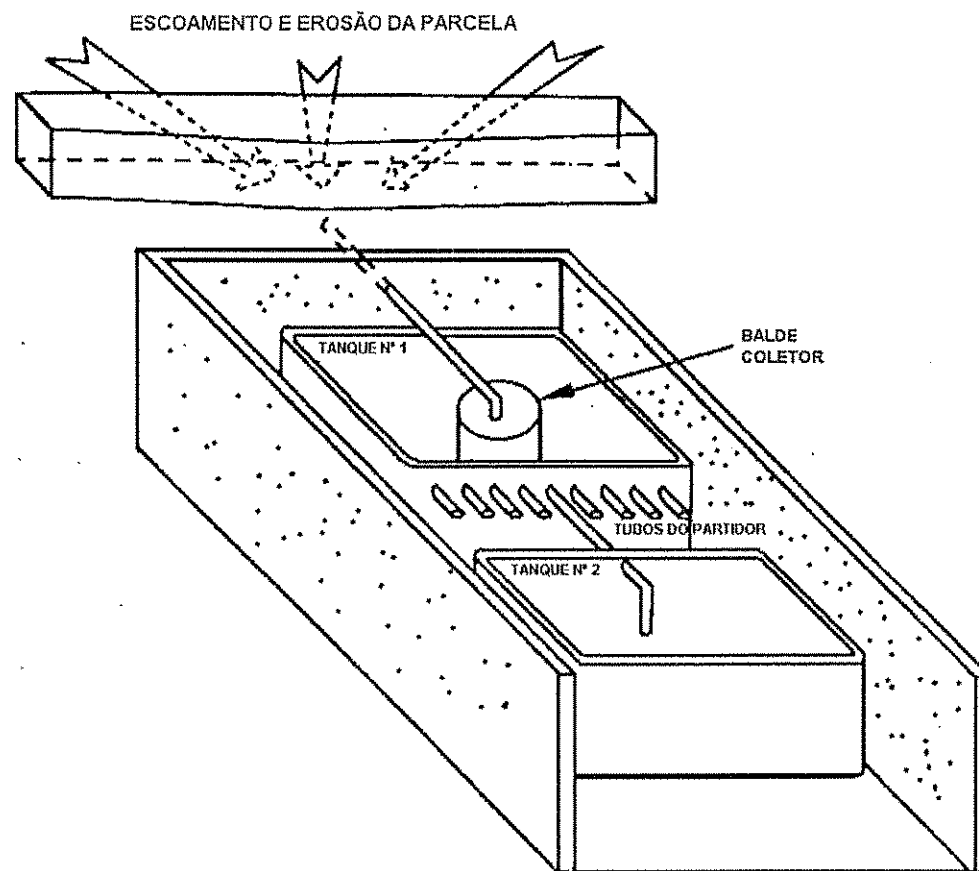


Figura 3.10 - Parcela de Erosão e Tanques coletores. (Cadier et al, 1983)

Cada evento de precipitação que gerou escoamento nas parcelas recebeu um número de identificação e a denominação de "cheia". Nos dez anos de coleta de dados foram catalogados 284 eventos. Devido aos problemas citados nem todos os eventos foram utilizados neste trabalho.

Os detalhes dos processos de medição de escoamento superficial e produção de sedimentos nas microbacias e parcelas são encontrados em Cadier et al., (1983) e Galvão (1990).

### **3.5 Trabalhos Anteriores utilizando dados da BES**

O Nordeste brasileiro tem sofrido longos períodos de estiagem. Esse fenômeno é cíclico, mas ainda não se sabe ao certo a frequência e o período de atuação (SUDENE, 1985). A grande variabilidade espacial e temporal da precipitação no Nordeste gera microregiões de clima e características hidrológicas bastante diferentes. Convive-se constantemente com a necessidade de armazenamento das águas de chuva para enfrentar o período de estiagem como também, com a necessidade de utilização da água armazenada para o desenvolvimento de agricultura de subsistência. Uma das maneiras de conviver com este dualismo seria a identificação de áreas que favoreçam o escoamento superficial (preferencialmente de solo raso e não agricultáveis) e áreas que favoreçam a agricultura e portanto destinado a conservação para que num lado seja aumentado o escoamento superficial para a acumulação e no outro haja locais onde o solo é protegido contra erosão e perdas de nutrientes (Cadier et al. 1983; Srinivasan e Galvão, 1995). Desta forma surgiu a necessidade do conhecimento detalhado da região Nordeste, suas características hidroclimáticas, sua cobertura vegetal e o tipo de solo.

Em estudos prévios Nouvellot (1974) cita que para a obtenção deste conhecimento se faz necessário estudar uma bacia hidrográfica representativa que deve representar uma região ou zona hidrologicamente homogênea. Admite-se, portanto, que existe uma zona físico-climática homogênea correspondente a uma zona hidrológica teoricamente homogênea.

Com este pensamento foram implantadas as bacias representativa e experimental de Sumé em uma área conhecida como cariri paraibano. Observa-se, na Figura 3.2, a área de abrangência desta representatividade, citada por Cadier e Freitas (1982) e Cadier et al. (1983).



A bacia representativa de Sumé é formada por três subbacias: Gangora (130 km<sup>2</sup>), Umburana (10,7 km<sup>2</sup>) e Jatobá (27 km<sup>2</sup>). A bacia experimental de Sumé encontra-se inserida na subbacia de Umburana e é composta de quatro microbacias e nove parcelas de erosão.

Os primeiros resultados, no que diz respeito as Bacias Representativa e Experimental de Sumé, foram apresentados por Cadier e Freitas (1982) e Cadier et al. (1983). Nestes estudos foram realizadas análises preliminares dos dados obtidos nos primeiros anos da pesquisa, procurando evidenciar tendências no comportamento dos processos.

Gomes et al. (1987) e Srinivasan et al. (1988), com base nos dados coletados na BES, efetuaram uma análise das relações entre escoamento superficial, precipitação e umidade do solo. Ficou evidenciado o papel da cobertura vegetal sobre os processos acima descritos como também sobre o processo de erosão. Nesses trabalhos foram verificadas a influência da umidade do solo sobre o escoamento e sobre a erosão. O índice adotado para quantificar a umidade do solo foi o de Kohler que relaciona a umidade do solo com as chuvas antecedentes. Ficou constatado que quanto maior for o valor deste índice maior será a parcela da precipitação a ser transformada em escoamento superficial. A partir deste índice os gráficos que relacionam a chuva com a vazão podiam ser melhor caracterizados. Sabe-se que existe uma relação estreita entre umidade do solo e a erosividade de chuva. Essa relação ficou melhor caracterizada quando o índice de erosividade de chuva, EI30, (Wischmeir e Smith, 1960) foi tomado como variável independente.

Um dos objetivos dos experimentos e análises desenvolvidos por Gomes et al. (1988), Srinivasan et al. (1988) e Molinier et al. (1988) foi a avaliação dos efeitos das diferentes escalas de produção. A princípio foi testada uma relação de regressão linear entre lâmina observada em parcelas de 1 m<sup>2</sup>, operadas sob chuva artificial, e o índice de umidade de Kohler. Posteriormente foram testadas relações de transposição entre parcelas de 100 m<sup>2</sup> e uma subbacia de 10 ha, operadas sob chuva natural. Na comparação do escoamento nas diversas escalas foi constatado que a lâmina do escoamento aumenta quando a área diminui.

Molinier et al. (1989) propôs uma outra relação entre chuva e escoamento, com base nos dados provenientes da Bacia Experimental de Sumé. Foram consideradas as características dos diversos estratos que compõem o solo e a sua influência sobre o processo de infiltração. Nesse trabalho foram definidos os diversos horizontes que compõem o solo da Bacia Experimental de Sumé, assim como os fluxos que ocorrem nos horizontes do solo. As

relações obtidas foram denominadas de modelo vertical tendo sido apontado como vantagem do seu uso o fato do mesmo representar os principais componentes do balanço hídrico.

Um trabalho semelhante ao efetuado por Molinier et al. (1989) foi desenvolvido por Montenegro (1990) tendo como diferencial o fato do referido autor ter procurado um melhor entendimento do processo de repartição da chuva entre infiltração e escoamento superficial. Montenegro (1990) analisou a influência dos horizontes do solo sobre a infiltração. Foram empregadas nessa pesquisa medições com tensiômetros e sondas de neutrons.

Nos vários trabalhos pesquisados os resultados da aplicação de modelos numéricos à bacia Experimental de Sumé têm mostrado uma melhor relação entre a lâmina observada e a calculada do que entre a erosão observada e a calculada. Os motivos desse comportamento foram discutidos no capítulo 2. O que se tem procurado ao longo da pesquisa são maneiras de modelar e entender melhor os processos que ocorrem na região da bacia, principalmente os processos de erosão. Como visto, foram testadas várias equações de regressão envolvendo as variáveis hidrológicas (escoamento superficial, erosão, precipitação), bem como a relação entre os resultados obtidos e os parâmetros físicos. Se relações consistentes entre os processos de escoamento superficial e alguns índices ou indicadores de condições de solo pudessem ser desenvolvidos, os trabalhos de conservação de solo seriam em muito facilitados pois não seriam necessários sistemas computacionais aplicados para o cálculo de perda de solo, de escoamento superficial entre outros. Contudo, os processos de erosão são dependentes de uma série de fatores que não são fáceis de ser resumidos numa relação de regressão. Para que os estudos possam lograr êxito é necessário que a física dos processos seja considerada. Daí, a procura por modelos computacionais cujas equações internas possam refletir de alguma maneira, as condições físicas.

Os modelos, sejam eles empíricos ou baseados em conceitos físicos, quando bem calibrados, poderão fornecer respostas para muitas indagações feitas sobre o comportamento de uma determinada bacia.

Com base no exposto Galvão (1990) aplicou dois modelos, um semiconceitual e outro de base física, às microbacias da Bacia Experimental de Sumé. O primeiro modelo a ser empregado foi o MODIBI (Ibiza, 1983) conceitual, global, cuja simulação é efetuada a nível diário. O segundo modelo, WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*), foi desenvolvido por Lopes (1987) e baseia-se na física dos processos de infiltração, escoamento superficial e erosão/deposição. O modelo simula eventos e não considera a evaporação

durante o evento. Para este modelo a bacia é discretizada em planos e canais. Os resultados obtidos mostraram que a aplicação destes modelos à bacia experimental é promissora, mas as variações existentes entre os valores do parâmetro de umidade/sucção do solo do modelo WESP deveriam ser melhor explicadas e estudadas.

O modelo WESP na sua forma original não possui algoritmo de calibração automática de parâmetros o que exige o laborioso trabalho de calibração de parâmetros através de tentativa e erro. Dada esta limitação, Santos (1994) implementou um calibrador automático, para os parâmetros do modelo, com base no método de Powell (1964). A partir dos valores obtidos pela calibração foi testada uma relação de regressão entre o parâmetro de infiltração e o número de dias sem chuvas. O número de elementos envolvidos na discretização da bacia influencia no resultado do modelo. Para verificar a configuração mais adequada para discretizar uma bacia, Santos (1994) discretizou a microbacia 3 de três maneiras diferentes: 23 elementos, 10 elementos e 4 elementos. Com base nos resultados ele concluiu que das discretizações utilizadas aquela onde os parâmetros apresentaram a menor variação foi a discretização para 10 elementos.

Em trabalhos anteriores (Gomes et al., 1987; Srinivasan et al., 1988; Srinivasan & Galvão, 1995) a influência da cobertura vegetal, da declividade e do tipo de cultura sobre o escoamento superficial e a erosão foram evidenciados. Um trabalho semelhante foi efetuado por Santos et al. (1996) usando como aparato experimental uma pequena parcela de erosão sujeita a chuva artificial. O enfoque foi dado a influência da declividade, da intensidade da chuva e da granulometria do leito arenoso sobre a produção de sedimentos. Foram considerados vários diâmetros representativos para ver a influência destes no comportamento do processo de erosão. Com base nos resultados obtidos foi determinada uma equação de regressão que fornece a quantidade de sedimentos erodidos em  $\text{kg/m}^2$ . Segundo os autores, essa equação pode ser aplicada para a regiões semelhantes à da bacia experimental com o objetivo de previsão da erosão, tomando-se como base a intensidade do evento em análise. Sabe-se que a produção de sedimentos em solos nus, devido à chuvas intensas, depende de vários fatores sendo os mais importantes: a composição do solo (textura), a intensidade da chuva, o grau de declividade e o comprimento do plano. Santos et al., (1998a) utilizando o experimento citado por Santos et al., (1996) e Santos (1997), observou que a erosão se dá de maneira diferente quando tem-se areia e argila em proporções fixas como componentes do solo. A erosão para planos de leito arenosos depende mais da intensidade e

da declividade do que para planos argilosos. Foi também observado que quando o solo é composto deste dois elementos o processo de erosão ocorre de forma semelhante ao caso onde existisse apenas areia. Ou seja, a presença de areia na mistura faz com que ocorra uma perturbação na superfície do solo acelerando, desta forma, a erosão da argila.

Pereira (1997) aplicou o modelo WESP às parcelas 1 e 4 da Bacia Experimental de Sumé e verificou a existência de uma relação exponencial de decaimento entre o parâmetro de umidade/sucção da equação de Green & Ampt e o parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial do modelo de erosão. A aplicação dos valores fornecidos pela função, mostrou que a mesma forneceu resultados satisfatórios, apesar do baixo valor do coeficiente de correlação.

Figueiredo (1998b) aplicou o modelo SHETRAN (Systeme Hydrologique Eropéen) a bacia Representativa de Sumé e a Bacia Experimental de Sumé. Foram obtidos bons resultados no que diz respeito à simulação dos processos de erosão e escoamento superficial.

A crescente utilização dos modelos fundamentais faz surgir a necessidade de obtenção de um número maior de informações a respeito da bacia a ser modelada. Portanto, técnicas que forneçam os valores de parâmetros a partir de alguns características da bacia seriam de grande valia para o aprimoramento do uso de modelos. Nesse sentido, Figueiredo (1998b) e Santos et al. (1998) discutem técnicas para a estimativa de parâmetros físicos do solo da bacia experimental e representativa de Sumé com base em informações como textura, número de dias secos antecedentes ao evento, a intensidade e duração do evento entre outros. Figueiredo (1998b) utilizou os métodos preconizados por Saxton et al. (1986) e Rawls e Brakensiek (1989) para a determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ). A comparação entre os valores obtidos e observados por Molinier et al. (1987, 1989) levou-o a concluir que as metodologias são potencialmente aplicáveis principalmente pelo método de Saxton et al. (1986) fazendo-se necessário, no entanto, maiores investigações utilizando-se modelos de base física.

Santos (1998) mostrou a existência, através de um aparato experimental, de uma relação de dependência entre  $N_s$  e o potencial mátrico do solo  $\varphi$  e de  $N_s$  e a umidade do solo. Por sua vez a umidade do solo está relacionada ao número de dias anteriores sem chuva. Assim, foi confirmado a relação anteriormente obtida (Santos, 1994) de  $N_s$  com o número de dias sem chuva,  $D$ .

### 3.6 Dados Utilizados no Presente Trabalho

A coleta de dados hidrosedimentológicos na Bacia Experimental de Sumé compreendeu o período 1982 a 1997 totalizando 284 eventos de precipitação, que geraram lâmina e erosão nas parcelas e microbacias. Neste trabalho foram empregados os dados referentes a 264 eventos que compreendem o período 1982 a 1991. O motivo desta escolha foi que, no período 1992/1997, não foram coletados dados em alguns dos experimentos. Por indicação de Eric Cadier (SUDENE/ORSTOM) em comunicação pessoal a Galvão (1990) foram eliminados deste estudo os eventos ocorridos no período 26/03 a 08/05/1985. Neste período o regime de chuvas ultrapassou condições usuais gerando escoamento subterrâneo, fato este não considerado pelo modelo e que poderia levar a resultados fora da realidade.

Antes da utilização dos dados disponíveis foi efetuada uma verificação e análise de consistência para que os dados reflitam o que de fato ocorreu durante o evento de precipitação. Apesar do esforço que tem sido empregado ao longo da pesquisa foram encontradas algumas inconsistências no que diz respeito aos dados de precipitação. Estes problemas foram eliminados através da verificação do pluviograma do evento.

Serão utilizados no presente trabalho os dados referentes à lâmina escoada e peso total de sedimento produzido em cada um dos experimentos. A relação dos eventos a serem utilizados encontra-se presente nas Tabelas 1 e 2 do Anexo I. Os dados de precipitação ao longo do tempo serão aqueles provenientes do pluviógrafo localizado nas proximidades da estação climatológica junto com a parcela 1 (PG49).

### 3.7 Considerações Finais

As pesquisas realizadas na Bacia Experimental de Sumé, bem como os dados provenientes da mesma, têm contribuído de forma bastante significativa para o entendimento dos processos de produção de escoamento e de sedimento no semi-árido nordestino, e em particular na região do cariri paraibano.

No próximo capítulo serão apresentados os fundamentos do modelo computacional WESP. O mesmo foi desenvolvido para ser empregado em pequenas bacias hidrográficas em condições semi-áridas e será utilizado nesta pesquisa como a ferramenta básica de modelagem dos processos de escoamento e erosão.

## CAPÍTULO 4

### 4 O MODELO WESP

#### 4.1 Introdução

O modelo WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*), desenvolvido por Lopes (1987), é um modelo distribuído, de base física, orientado a evento, concebido para ser aplicado à pequenas bacias hidrográficas. O WESP, da maneira como foi elaborado, tem os seguintes objetivos: fornecer subsídios para um melhor entendimento dos processos de escoamento superficial e erosão, servir de ferramenta de apoio à decisão no que diz respeito às práticas agrícolas, conservação do solo e a geração de séries sintéticas de escoamento, entre outros. O modelo WESP considera as mudanças espaciais em topografia, rugosidade superficial, propriedades dos solos, geometria e condições do uso da terra na simulação do escoamento superficial e da erosão do solo.

Neste modelo a bacia é representada por um conjunto de planos e canais com os planos contribuindo com fluxo na lateral ou no topo do canal. A delimitação de planos e canais é efetuada utilizando-se um mapa topográfico. Os limites dos planos devem ser linha de fluxo ou linhas de contorno. A definição dos planos deve ser baseada nas características de solo, declividade e cobertura vegetal.

O grau de distorção introduzido pela representação simplificada da geometria, é uma função do tamanho e número de elementos usados na representação (Lane and Woolhiser, 1977). Cada plano, assim como cada canal pode ser descrito através de seus parâmetros únicos, condições iniciais e informações de precipitação. Um exemplo de uma cascata de planos e canais encontra-se presente na Figura 4.1.

O cálculo do excesso de infiltração é efetuado com base na equação de Green and Ampt (1911) com as modificações preconizadas por Mein e Larson (1973). O tempo de

empoçamento para uma chuva não permanente é calculado de acordo com o proposto por Chu (1978). O modelo utiliza uma forma simplificada das equações de Saint-Venant (de continuidade e de quantidade de movimento) para descrever o movimento da água e a equação proposta por Bennet (1974) para descrever o movimento dos sedimentos nas bacias hidrográficas. Por ser distribuído e de base física as variações na topografia, cobertura vegetal, rugosidade superficial, características de solo e uso da terra são considerados através dos parâmetros relacionados aos elementos que compõem a bacia discretizada.

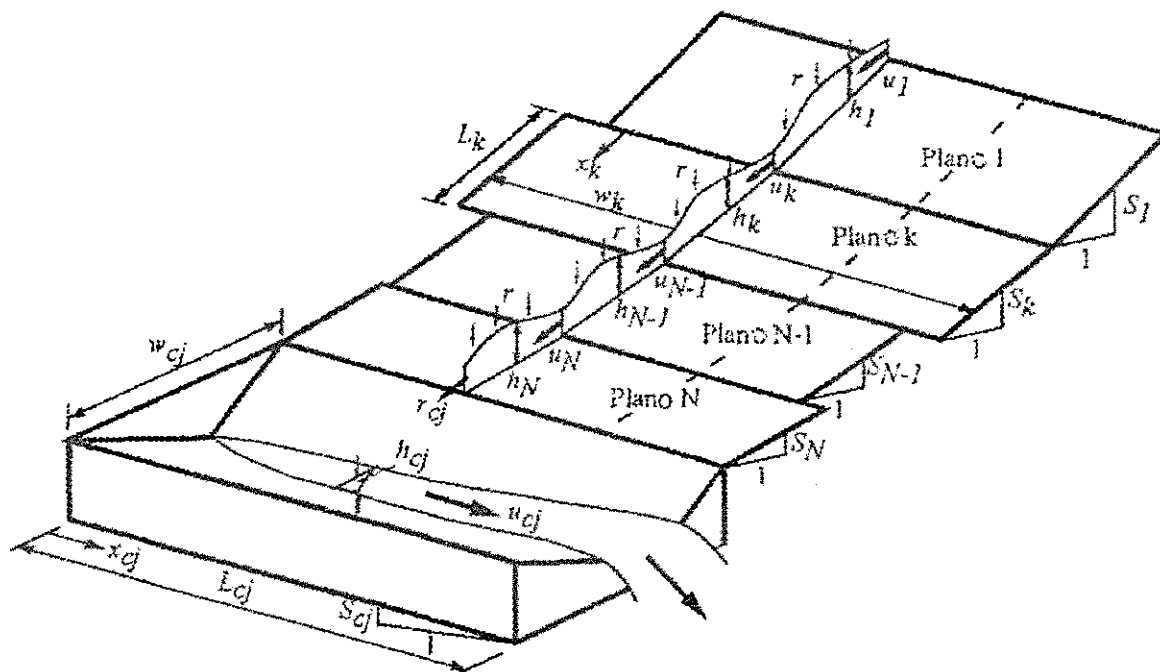


Figura 4.1 – Cascata de  $n$  planos recebendo escoamento lateral e descarregando no  $j$ -ésimo elemento de canal (Kibler e Woolhiser, 1970)

As equações de continuidade para o escoamento superficial e para o transporte de sedimentos são resolvidas numericamente usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos (Lopes, 1987).

#### 4.1.1 Dados Necessários

Os dados requeridos para a execução do modelo são os seguintes:

a) Características da bacia:

1. Geometria: área superficial, elevações e rugosidade superficial  $n_p$

2. Rede de drenagem: declividade, seções transversais de escoamento e coeficiente de rugosidade dos canais  $n_c$
  3. Solos: condutividade hidráulica saturada  $K_s$ , e o parâmetro de umidade/potencial de capilaridade  $N_s$
- b) Parâmetros de erosão/deposição: Erodibilidade do solo - parâmetro de erodibilidade por impacto das gotas de chuva ( $K_i$ ) e por arrastamento pelo fluxo nos planos ( $K_r$ ) e nos canais,  $\alpha$
2. Características dos sedimentos: tamanho característico  $d_s$  e peso específico  $\gamma_s$
  3. Parâmetros para tensão crítica: arrastamento  $\delta$ , e de deposição  $\varepsilon_p$  e  $\varepsilon_c$ .
- c) Características da precipitação: Histograma e a distribuição espacial na bacia

Alguns destes parâmetros são obtidos através de mapas topográficos, outros são medidos em campo, estimados a partir de indicações na literatura, estimados experimentalmente ou ainda obtidos por otimização quando há disponibilidade de dados de produção de escoamento superficial e de sedimentos.

## 4.2 Equações Básicas do Modelo WESP

### 4.2.1 Infiltração

O modelo WESP considera como perdas da precipitação apenas a infiltração, sendo o restante considerado como excesso de precipitação. O componente de infiltração no modelo calcula o excesso de precipitação usando a equação de Green e Ampt (1911) modificada por Mein & Larson (1973), com cálculo do tempo de empoçamento para chuva não permanente pela equação desenvolvida por Chu (1978).

O modelo de Green e Ampt utiliza parâmetros físicos do solo que poderão ser determinados através de experimentos efetuados no campo ou através de características do solo. A equação original foi derivada a partir da equação de Darcy através das seguintes hipóteses: (1) que a superfície do solo é coberta por uma poça de água cuja profundidade pode ser desconsiderada; (2) que existe uma frente de molhamento distinta e definível; (3) a frente de molhamento pode ser vista como um plano que separa uma zona uniformemente molhada



ou úmida de uma zona com umidade inicial  $\theta_i$ ; (4) uma vez que o solo esteja molhado, o conteúdo de água na zona úmida não varia enquanto existir infiltração (o que faz com que o valor da condutividade hidráulica na zona úmida não varia com o tempo durante a infiltração); (5) existe uma pressão negativa na frente de molhamento.

A equação de Green e Ampt (1911) com a modificação proposta por Mein e Larson (1973) para modelar a infiltração durante uma chuva permanente, é escrita como segue:

$$f_c = K_s \left[ 1 + \frac{N_s}{F} \right] \quad (4.1)$$

onde  $f_c$  é a taxa de infiltração (m/s),  $K_s$  é a condutividade hidráulica efetiva do solo (m/s),  $F$  é a lâmina acumulada de infiltração (m),  $N_s$  é o potencial efetivo, ou potencial de capilaridade, associado à frente de molhamento (m),  $t$  é o tempo (s).

De acordo com Skaggs e Khaleel (1982) embora a derivação inicial da equação assumisse saturação total atrás da frente de molhamento, Philip (1954) não considerou esta suposição assumindo que o conteúdo da água na saturação,  $\theta_s$ , fosse constante, mas não necessariamente igual a porosidade, como também que  $K_s$  efetivo seja menor que a condutividade hidráulica saturada.

Observa-se pela Equação 4.1 a independência da taxa de infiltração com a intensidade da chuva. Esta característica faz com que sejam necessários um reduzido número de informações para a sua utilização (Mein e Larson, 1973; Smith, 1977).

O acúmulo de infiltração pode ainda ser expresso como:

$$F = (\theta_s - \theta_i)L_f \quad (4.2)$$

onde  $\theta_s$  é o conteúdo de água do solo na saturação ( $m^3/m^3$ ),  $\theta_i$  é o conteúdo inicial de água do solo ( $m^3/m^3$ ) e  $L_f$  é a profundidade da frente de molhamento contando a partir da superfície (m).

O potencial de capilaridade  $N_s$  pode ser calculado como:

$$N_s = (1 - S_e).p.S \quad (4.3a)$$

$$N_s = (\theta_s - \theta_i)\psi \quad (4.3b)$$

onde  $S_e$  é a saturação efetiva relativa e varia entre 0 e 1 e é dada por  $\theta_i/\theta_s$ ,  $p$  é a porosidade efetiva e varia entre 0 e 1,  $S$  é a sucção média na frente de molhamento (m) e  $\psi$  é o potencial mátrico do solo ou potencial capilar e varia de 0 até a profundidade  $L_f$ (m).

A condutividade hidráulica é uma função da umidade e das características do solo (Tucci, 1998). Para o estado de saturação a taxa de infiltração é igual a condutividade hidráulica saturada. Nesta fase o potencial de sucção encontra-se próximo a zero.

A Equação 4.1 foi desenvolvida considerando-se uma chuva permanente. Para a chuva permanente existe a fase onde não ocorreu a saturação e a fase após a saturação, sendo estas dependentes da intensidade da chuva. Existe entre estas duas fases um intervalo de tempo onde o solo passa de não saturado para saturado, conhecido como tempo de empoçamento. Após este intervalo começa o empoçamento na superfície do terreno, e o escoamento superficial.

Mein e Larson (1973) aplicaram o modelo de Green e Ampt para uma chuva permanente, determinando a infiltração acumulada no tempo de empoçamento como:

$$F = it_p \text{ para } t = t_p \quad (4.4)$$

$$F = it \text{ para } t < t_p \quad (4.5)$$

$$f_c = K_s \left[ 1 + \frac{Ns}{F} \right] \text{ para } t > t_p \quad (4.6)$$

Contudo, sabe-se que na natureza as chuvas não são permanentes. Assim, a validade da aplicação do modelo de Green & Ampt para as chuvas não permanentes, depende do grau de não permanência das chuvas (Skaggs e Khaleel, 1982).

Chu (1978) utilizou o modelo de Green e Ampt para uma chuva não permanente e obteve uma boa relação entre o escoamento calculado e o escoamento observado. Para este caso o tempo de empoçamento foi determinado como sendo igual a:

$$t_p = t_{n-1} + (K_s.Ns/(i-K_s) - P(t_{n-1}) + R(t_{n-1}))/i \quad (4.7)$$

onde,  $t_p$  é o tempo de empoçamento (s),  $i$  é a intensidade de precipitação (mm/h),  $p$  é a chuva acumulada (mm),  $R$  é o escoamento acumulado (mm) e  $t_{n-1}$  é o tempo no início do intervalo considerado (h), e as outras variáveis são as mesmas já descritas.

## 4.2.2 - Escoamento Superficial

No modelo WESP o escoamento superficial (nos planos e nos canais) é considerado unidimensional, não permanente e espacialmente variado sendo este escoamento resultante da propagação do excesso de precipitação em relação à infiltração.

Além da consideração de escoamento unidimensional outras suposições são feitas na avaliação deste componente (Tucci, 1998): o fluxo é gradualmente variado, o leito é fixo e a declividade é pequena, o fluido é incompressível e de viscosidade constante, a distribuição de pressão é aproximadamente hidrostática, o momento gerado pelo fluxo lateral é desprezível, o coeficiente de rugosidade do escoamento pode ser obtido através de fórmulas e coeficientes de resistência utilizados para o escoamento uniforme.

### 4.2.2.1 Escoamento nos Planos

As equações básicas utilizadas para a análise do fluxo superficial são descritas pela:

Equação da Continuidade

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = r, \text{ e} \quad (4.8)$$

Equação de Quantidade de Movimento:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + g \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = g \cdot (S_0 - S_f) - r \cdot (u/h) \quad (4.9)$$

onde  $h(x,t)$  é a profundidade do fluxo numa distância  $x$  (m) do início do plano no tempo  $t$ ,  $u(x,t)$  é a velocidade média (m/s),  $r(x,t)$  é a taxa de entrada lateral do fluxo por unidade de comprimento e as outras variáveis foram previamente descritas.

Segundo Lopes (1987) a consideração de fluxo unidimensional é uma simplificação significativa na prática. A chuva é particionada utilizando as equações de Mein e Larson e Chu em infiltração e excesso de precipitação. Este excesso é então propagado como se a

superfície fosse impermeável. Uma outra simplificação é que a infiltração é uniformemente distribuída sobre a superfície (Lopes 1987).

A aproximação da onda cinemática é empregada para obter a solução numérica da equação da quantidade de movimento. A consideração básica é que a declividade da linha de energia é igual à declividade do plano ou do fundo do canal, isto é:

$$S_o = S_f \quad (4.10)$$

onde  $S_o$  é a declividade do plano ou do fundo canal (%) e  $S_f$  é a declividade da linha de energia (%).

A aproximação pela onda cinemática implica que a força de atrito e a de gravidade são preponderantes sobre os outros termos da equação dinâmica e o modelo simula somente as condições de fluxo à montante da seção em análise não podendo ser utilizado para considerar as influências do fluxo à jusante. A abordagem da onda cinemática é uma excelente aproximação para a maioria dos escoamentos sobre planos (Woolhiser e Ligget, 1967). Para a aplicação dessa abordagem duas restrições devem ser observadas: a) a celeridade da onda deve ser maior que a da onda cinemática ou o número de Froude  $F_r < 1.5$ ; b) o número cinemático ( $K$ ) deve ser maior que 20 (Woolhiser e Ligget, 1967).

O número cinemático é dado por:

$$K = (S_o L_o / F_r^2 Y_o) \quad (4.11)$$

onde  $K$  é o número cinemático,  $S_o$  é a declividade do plano ou do fundo do canal (%),  $L_o$  é o comprimento do elemento (m),  $F_r$  é o número de Froude (adimensional) e  $Y_o$  é a profundidade (m).

A equação 4.10 pode ser usada para escrever uma equação paramétrica para a velocidade local como (Lopes, 1987):

$$u = \alpha h^m \quad (4.12)$$

onde  $h$  é a profundidade (m);  $\alpha$  e  $m$  são parâmetros relacionados à declividade, rugosidade superficial e as condições de fluxo (laminar ou turbulento).

Substituindo a Equação 4.12 na Equação 4.8 obtêm-se:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha m h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = r(x,t) \quad (4.13)$$

Enquanto a chuva está ocorrendo o fluxo lateral  $r(x,t)$  é representado, em um dado instante, como uma diferença positiva entre a intensidade e a infiltração. Ele será zero caso a capacidade de infiltração seja maior que a intensidade.

As condições de fronteira são as seguintes:

- a) caso o plano esteja na fronteira da bacia (mais à montante) a condição apropriada seria:

$$\text{Para } t \geq 0, h(0,t) = 0 \quad (4.14)$$

$$\text{Para } x \geq 0, h(x,0) = 0 \quad (4.15)$$

A equação da onda cinemática é resolvida numericamente através de um esquema implícito de diferenças finitas a quatro pontos.

O critério de estabilidade utilizado no modelo é o seguinte:

$$\Delta t < \Delta x / (\alpha \cdot m \cdot h^{m-1}) \quad (4.16)$$

onde:  $\Delta t$  e  $\Delta x$  são os incrementos no tempo e espaço utilizados no esquema, e as outras variáveis são as mesmas já descritas.

A fórmula de Manning para o fluxo turbulento é escrita como segue:

$$u = (1/n)(R_H)^{2/3}(S_f)^{1/2} \quad (4.17)$$

onde  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning

Para planos e canais abertos  $R_H = h$ . Esta aproximação e a substituição da equação (4.10) na equação (4.17), resulta na equação (4.12) com os seguintes valores de  $\alpha$  e  $m$ :

1. A fórmula de Manning:

$$\alpha = S^{1/2} / n \quad \text{e} \quad m = 5/3 \quad (4.18)$$

onde  $S$  é a declividade e  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning.

2. A fórmula de Chezy:

$$\alpha = C S^{1/2} \quad e \quad m = 3/2 \quad (4.19)$$

onde  $C$  é o parâmetro de rugosidade de Chezy ou coeficiente de Chezy

O valor de  $n$  de Manning ou  $C$  de Chezy é escolhido de acordo com os seguintes critérios: a) a natureza do material da superfície molhada e b) a semelhança dos trechos do canal com um trecho retilíneo. Devido a estes fatores o valor de  $n$  ou  $C$  é bastante subjetivo, exceto para os casos de canal artificial. Existem na literatura tabelas e ábacos que fornecem os valores deste dois coeficientes de resistência para diversas condições de fluxo [Lane e Woolhiser (1977)].

#### 4.2.2.2 Escoamento nos Canais

O WESP representa o fluxo não permanente, à superfície livre, e gradualmente variado também através da aproximação da onda cinemática. Os segmentos de canais recebem o fluxo proveniente de planos, nas suas laterais ou na sua extremidade superior. O fluxo nos canais também pode ser originário de um ou mais canais à montante. O modelo considera como desprezível o efeito da precipitação direta sobre o canal.

A equação da continuidade e da quantidade de movimento aplicada aos canais com fluxo lateral distribuído podem ser escritas da seguinte forma:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x, t) \quad (4.20)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g \cdot (S_0 - S_f) - q_A \cdot (u/A) \quad (4.21)$$

onde  $A$  é a área da seção transversal do canal ( $m^2$ ),  $Q$  é a vazão ( $m^3/s$ ), e  $q$  é a vazão lateral por unidade de comprimento do canal ( $m^3/s/m$ ). Com base na abordagem da onda cinemática a Equação 4.21 pode ser escrita como:

$$Q = \alpha R H^{m-1} A \quad (4.22)$$

onde  $R_H$  é o raio hidráulico. Desta forma foi assumido que  $Q$  é uma função de  $A$  ou seja,  $Q$  pode ser expresso como sendo uma função unicamente de  $A$  e a Equação 4.20 é escrita como segue:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{dQ}{dA} \frac{\partial A}{\partial x} = q(x, t) \quad (4.23)$$

onde todas as variáveis já foram descritas e estão sujeitas às seguintes condições iniciais de contorno:

$$Q(0, t) = Q_0(t), \text{ para } t \geq 0, \text{ e} \quad (4.24)$$

$$Q(x, 0) = 0, \text{ para } x \geq 0. \quad (4.25)$$

Onde  $Q_0(t)$  é a vazão de entrada à montante do trecho do canal.

Substituindo  $R_H(x, t) = A(x, t)/W_P(x, t)$ , na Equação 4.22 pode-se relacionar  $Q(x, t)$  com  $A(x, t)$ . Tem-se desta forma:

$$Q = \alpha A^m / (W_P)^{m-1} \quad (4.26)$$

onde  $W_P(x, t)$  é o perímetro molhado (Lopes 1987).

As equações 4.22 e 4.23 são resolvidas utilizando-se um esquema de diferenças finitas a quatro pontos, não linear, e de segunda ordem, inicialmente proposto por Rovey et al. (1977). A expansão da série de Taylor é usada na linearização das equações, baseada num esquema implícito de diferenças finitas a quatro pontos (Lopes 1987).

### 4.2.3 - Componente Erosão-Deposição

O WESP simula o movimento das partículas desagregadas por impacto ou por arrasto, juntamente com o movimento do fluxo superficial. O modelo leva em conta os processos de desagregação, transporte e deposição nos planos e canais. Para o desenvolvimento deste componente foram necessárias algumas expressões que descrevem a taxa com a qual cada fonte e cada sorvedouro contribui para a concentração de sedimento.

O desenvolvimento da modelagem deste componente é baseado nos trabalhos de Einstein (1968), Bennet (1974), Foster (1982), Croley (1982), Mehta (1983) e Lane e Shirley (1985). A resolução da equação da conservação de massa é feita através de um esquema implícito de diferenças finitas.

Tanto nos planos como nos canais a equação usada para descrever a dinâmica dos sedimentos é a equação do balanço de massa [Bennett (1974) e Foster (1982)]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(C_s h) + \frac{\partial}{\partial x}(C_s Q) = \phi(x,t) \quad (4.27)$$

onde  $C_s$  é a concentração em massa dos sedimentos ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\phi(x,t)$  é a taxa de sedimento entrando para o fluxo ( $\text{kg/m}^2/\text{s}$ ). O termo  $\partial(C_s Q)/\partial x$  representa a variação da carga de sedimento com a distância e o termo  $\partial(C_s h)/\partial t$  representa a taxa de armazenamento de sedimento com a profundidade do fluxo. As outras variáveis foram previamente definidas.

A taxa de sedimento presente no fluxo é formada pelas seguintes componentes:

$$\phi = e_R + e_I - d \quad (4.28)$$

onde  $e_R$  é a erosão devida ao arrasto pelo fluxo superficial,  $e_I$  é a erosão devida ao impacto das gotas de chuva e  $d$  representa a deposição das partículas.

#### 4.2.3.1 Erosão nos planos

O sistema é representado através de um volume de controle de fluxo sobre o plano, alimentado pela erosão e transporte e considerando as perdas pela deposição conforme mostrado na Figura 4.1.



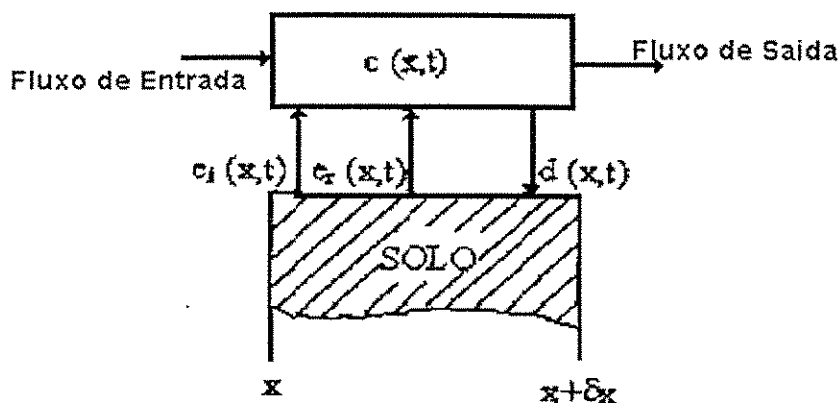


Figura 4.2 – Esboço do sistema de erosão/deposição nos planos

A erosão dos sedimentos da superfície do solo, bem como a deposição dos que estão em movimento, pode ocorrer simultaneamente à taxas diferentes. Desta forma a concentração de sedimento é determinada pela magnitude relativa desses processos. A erosão de sedimentos aumenta a concentração. A deposição a reduz.

Para os planos a componente  $e(x,t)$ , que é a quantidade de sedimento que entra no fluxo variando no tempo, devido aos agentes erosivos, é composta de duas fontes principais: o desprendimento das partículas pelo impacto das gotas de chuva, ( $e_i$ ), e o desprendimento devido às forças de cisalhamento causado pelo fluxo ( $e_f$ ).

$$e = e_f + e_i - d \quad (4.29)$$

A água que flui sobre a superfície do solo exerce uma força sobre as partículas que tendem a movê-las ou colocá-las em movimento. Para os sedimentos grossos a força de resistência é devida ao peso das partículas. Para os sedimentos finos (argila e siltes) a resistência é devida a coesão entre as mesmas (Foster, 1982). A entrada em movimento dos sedimentos erodidos pela tensão de cisalhamento pode ser representada por uma expressão que relaciona a erosão devido ao fluxo superficial com uma potência da tensão de cisalhamento efetiva média agindo sobre a superfície do solo (Rovey et al., 1982 e Foster, 1982).

$$e_R = K_r \tau^{1.5} \quad (4.30)$$

onde  $Kr$  é um fator de erodibilidade do solo pelo fluxo superficial ( $\text{kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$ ) e  $\tau(x,t)$  é a tensão de cisalhamento média “efetiva” ( $\text{N/m}^2$ ).

Foster (1982) propôs uma relação para a erosão por impacto das gotas de chuva, para uma precipitação uniforme, sobre a região de interesse. Esta equação foi posteriormente modificada por Lane e Shirley (1985) para a seguinte expressão:

$$eI = K_i.i.r \quad (4.31)$$

onde:  $K_i$  é um coeficiente de erodibilidade do solo por impacto da chuva, ( $\text{kg.s/m}^4$ );  $i(t)$  é a intensidade de chuva, ( $\text{m/s}$ );  $r(x,t)$  é o excesso de precipitação, ( $\text{m/s}$ ).

A deposição dos sedimentos é proporcional a concentração média de sedimentos e a velocidade de que queda das partículas. O coeficiente de proporcionalidade desta expressão depende das propriedades do solo e do fluido, ou seja:

$$d = \varepsilon_p.V_s.C \quad (4.32)$$

onde  $\varepsilon_p$  é um coeficiente de deposição que depende das propriedades do solo e do fluido, (adimensional);  $V_s$  é a velocidade de queda da partícula, ( $\text{m/s}$ );  $C(x,t)$  é a concentração de sedimentos em transporte, ( $\text{kg/m}^3$ ).

Para o cálculo da velocidade de queda Lopes (1987) utilizou a expressão proposta por Rubey:

$$V_s = F.((\gamma_s - \gamma)/\gamma).g.d_s^{1/2} \quad (4.33)$$

onde

$$F = (2/3 + (36.v^2/g.(d_s)^3.((\gamma_s/\gamma) - 1)))^{1/2} - (36.v^2/g.(d_s)^3.((\gamma_s/\gamma) - 1))^{1/2} \quad (4.34)$$

em que  $\gamma_s$  é o peso específico do sedimento, ( $\text{N/m}^3$ );  $\gamma$  é o peso específico de água, ( $\text{N/m}^3$ );  $\nu$  é a viscosidade cinemática da água, ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $d_s$  é o tamanho representativo do sedimento, ( $\text{m}$ );  $g$  é a aceleração da gravidade, ( $\text{m/s}^2$ ).

As condições iniciais e de fronteira são as seguintes:

$$C(0,t) = K_i.i(t).r(t)/(\varepsilon_p.V_s + r(t)) \text{ para } t \geq t_p \quad (4.35)$$

$$C(x, t_p) = K_i i(t) \cdot r(t_p) / (\varepsilon p \cdot V_s + r(t_p)) \text{ para } x \geq 0 \quad (4.36)$$

onde  $t_p$  é o tempo de empoçamento (s),

#### 4.2.3.2 Erosão nos Canais

O modelo de erosão estima a carga total, não diferenciando o que é carga do leito ou carga em suspensão. Considera-se simultaneamente a deposição e o desprendimento ao longo do canal, como também a entrada lateral dos sedimentos provenientes dos planos da bacia.

Para o transporte de sedimento num fluxo concentrado foi empregada a equação da continuidade proposta por Bennet (1974) que considera um fluxo unidimensional:

$$\frac{\partial}{\partial t}(C_s A) + \frac{\partial}{\partial x}(C_s Q) = e_R - d + q_s \quad (4.37)$$

onde  $e_R$  é a taxa de desprendimento de sedimentos pelo fluxo (kg/m/s),  $d$  é a taxa de deposição dos sedimentos (kg/m/s),  $q_s$  é a entrada lateral de sedimentos provenientes dos planos adjacentes (kg/m/s), e as outras variáveis são as mesmas já descritas.

As condições iniciais e de fronteira, que devem ser satisfeitas:

$$C(0, t) = C_0(t), \text{ para } t \geq 0 \quad (4.38)$$

$$C(x, 0) = 0, \text{ para } x \geq 0 \quad (4.39)$$

onde  $C_0(t)$  é a concentração de sedimentos chegando à montante do trecho considerado. É assumido que os perfis do leito são relativamente estáveis, com material do leito mais grosso que silte (0,062 mm).

Para modelar a entrada de sedimento pelo fluxo nos canais foi utilizada a expressão desenvolvida para o cálculo da capacidade de transporte da carga do leito citada por Croley (1982) e Foster (1982):

$$e_R = a (\tau - \tau_c)^n, \text{ para } \tau \geq \tau_c \quad (4.40)$$

$$e_R = 0, \text{ para } \tau \leq \tau_c \quad (4.41)$$

A tensão de cisalhamento média é obtida pela relação:

$$\tau = \gamma R_H S_f \quad (4.42)$$

A tensão de cisalhamento crítica é calibrada pela expressão:

$$\tau_c = \delta (\gamma_s - \gamma) d_s \quad (4.43)$$

onde  $R_H$  é o raio hidráulico (m),  $a$  é o fator de erodibilidade nos canais, um coeficiente de desprendimento de sedimento, ( $\text{kg.m}^2/\text{N}^{1.5}.\text{s}$ );  $\tau(x,t)$  é a tensão de cisalhamento média, ( $\text{N}/\text{m}^2$ );  $\tau_c$  é a tensão de cisalhamento crítica média para o tamanho representativo das partículas, ( $\text{N}/\text{m}^2$ );  $n$  é um expoente;  $\delta$  é um coeficiente de proporcionalidade para tensão de cisalhamento crítica, dependente das propriedades do fluxo e dos sedimentos, (adimensional), e as outras variáveis já foram descritas.

Uma vez que a tensão de cisalhamento atinge o valor crítico, os sedimentos no leito entram em movimento Lopes (1987).

A deposição nos canais é considerada proporcional à concentração e à velocidade de queda efetiva dos sedimentos, ou seja:

$$d = \varepsilon_c T_W V_s C \quad (4.44)$$

onde:  $\varepsilon_c$  é o coeficiente de deposição para os canais, (adimensional);  $T_W(x,t)$  é a largura de topo do fluxo, (m), as outras variáveis já foram descritas.

## 4.3 Descrição do Sistema WESP

### 4.3.1 Descrição Geral

O sistema computacional WESP é composto pelos seguintes subsistemas: um gerador de arquivos de entrada, um utilitário para modificar os parâmetros no arquivo de entrada, um utilitário para cálculo do intervalo de tempo de simulação e o modelo WESP propriamente dito. Esta organização simplifica o desenvolvimento e manutenção do código, e reduz a quantidade de memória residente necessária para a execução do programa. O código fonte foi escrito em linguagem FORTRAN 77 (Lopes, 1987).

Verificou-se que o modelo não efetuava a simulação quando a duração do evento era superior a um determinado valor e quando o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), necessário para que houvesse convergência no cálculo,  $\Delta t$ , era bastante reduzido. Após uma criteriosa análise, observou-se que durante a simulação as informações geradas a partir do processamento, eram armazenadas em matrizes para uma posterior utilização. Quando o  $\Delta t$  era muito pequeno o número de informações a serem armazenadas nas matrizes era maior do que o previamente determinado no programa resultando na parada do processamento. A solução encontrada foi aumentar o tamanho das matrizes proporcionando o cálculo para eventos de longa duração.

#### 4.3.2 Gerador de Arquivos de Entrada

O programa que gera os arquivos de entrada de dados, com as informações da bacia a ser modelada é denominado de INPUT. As informações a serem utilizadas por este programa são fornecidas através de um processo iterativo onde o usuário fornece as informações gerais sobre a divisão da bacia e informações específicas referentes aos planos e canais que compõem a bacia. Algumas das informações contidas no arquivo de parâmetro são calculadas pelo programa INPUT a partir das informações previamente fornecidas.

O modelo requer três tipos de informações básicas

- 1) características da bacia hidrográfica;
- 2) parâmetros de erosão e deposição;
- 3) características da precipitação.

Encontra-se a seguir o conteúdo do arquivo de parâmetros utilizado pelo WESP. Este arquivo é organizado da seguinte forma:

A primeira linha do arquivo contém informações que são comuns para toda a bacia:

DURAT - duração do evento (s)

DT - intervalo de tempo para os cálculos numéricos (s)

CLEN - comprimento característico da bacia (m)

ABASIN - área da bacia (m<sup>2</sup>)

A segunda linha do arquivo também contém informações que são comuns para toda a bacia:

VISC - viscosidade cinemática da água

GRAV - aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

GAMWAT - peso específico da água ( $N/m^3$ )

GAMSED - peso específico dos sedimentos ( $N/m^3$ )

POWER - o expoente  $n$  da equação da velocidade de fluxo

A partir da terceira linha as informações ocorrem em grupos de três linhas e que dependem das características dos elementos (planos ou canais):

XLENGTH - comprimento do elemento na direção do escoamento (m)

WIDTH - largura do elemento (m) - Quando este parâmetro é igual a zero, o elemento é identificado como um canal.

SLOPE - declividade do elemento (%)

ALPHA - relação entre declividade e o número de Manning ou seja, ALPHA é igual a  $S_f^{1/2}/n$

Caso o elemento seja um plano a segunda linha do grupo conterà as seguintes informações:

NTOP - número do elemento que contribui imediatamente a montante (no topo) do elemento atual

KS - condutividade hidráulica saturada (m/s)

NS - potencial de sucção (m) - parâmetro de umidade/tensão ou sucção capilar

M - índice do padrão de chuva - utilizado na rotina de leitura do arquivo de chuva

Caso o elemento seja um plano a terceira linha do grupo conterà as seguintes informações:

THETA - fator de peso espacial nas equações numéricas

OMEGA - fator de peso temporal nas equações numéricas

SEDSIZE - tamanho característico do sedimento (m)

RKI - parâmetro de erodibilidade pelo impacto das gotas de chuva ( $kg.s/m^4$ )

RKR - parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial ( $kg.m/N^{1.5}.s$ )

Caso o elemento seja um canal, a segunda linha do grupo conterà as seguintes informações:

NTOP - número do elemento que contribui imediatamente à montante (no topo) do elemento atual

NLEFT - número do elemento que contribui pela lateral esquerda do elemento

NRIGHT - número do elemento que contribui pela lateral direita do elemento

NCHN1 número do primeiro canal contribuindo no topo do canal atual

NCHN2 - número do segundo canal contribuindo no topo do canal atual

ZL e ZR - declividade das paredes do canal (esquerda e direita respectivamente)

BOTTOM - largura de fundo do canal (m)

Caso o elemento seja um canal, a terceira linha do grupo conterà as seguintes informações:

THETA - fator de peso espacial nas equações numéricas

OMEGA - fator de peso temporal nas equações numéricas

SEDSIZE - tamanho característico dos sedimentos (m)

CLAMBDA - parâmetro para a tensão de cisalhamento crítica

RKR - parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial ( $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$ )

#### 4.3.3 Utilitário para modificação do arquivo de parâmetro

O WESP contém um programa específico para permitir a modificação dos valores de parâmetros durante o processo de simulação. O programa é denominado de WESPAR. No entanto, as modificações poderão ser efetuadas também através de um editor de texto. Neste caso os valores a serem modificados devem seguir o formato previamente determinado pelo modelador para o funcionamento correto do sistema.

#### 4.3.4 Utilitário para cálculo do intervalo de tempo de simulação

O programa PLNSTAB foi desenvolvido com a finalidade de fornecer o intervalo de tempo de simulação que permitisse a convergência do modelo numérico. Ele utiliza como informações de entrada o valor do comprimento do maior canal ou da maior cascata de planos, a declividade do maior canal ou do elemento mais a jusante na cascata de planos, o valor do coeficiente de rugosidade de Manning do elemento acima citado, o valor da condutividade hidráulica saturada e o valor da intensidade máxima do evento. Com base nessas informações e na Equação 4.15 o intervalo de tempo é determinado.

#### 4.3.5 O modelo WESP

O modelo WESP propriamente dito é composto por três rotinas principais de simulação (Lopes, 1987). São elas: *A rotina de infiltração, escoamento superficial e erosão e deposição.*

O programa computacional WESP é composto por um programa principal e onze subrotinas. O fluxograma de funcionamento do modelo WESP é mostrado na Figura 4.2

Cada rotina citada anteriormente utiliza uma ou mais subrotinas assim divididas:

a) Infiltração -

INFIL - calcula as taxas de infiltração nos planos de escoamento usando a equação de GREEN e AMPT e gera o histograma do excesso de precipitação;

b) Escoamento superficial (planos e canais)

c) PLNFLOW - propaga o excesso de precipitação através dos planos de escoamento, usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos

CHNFLOW - propaga o escoamento superficial concentrado através dos segmentos de canais, usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos



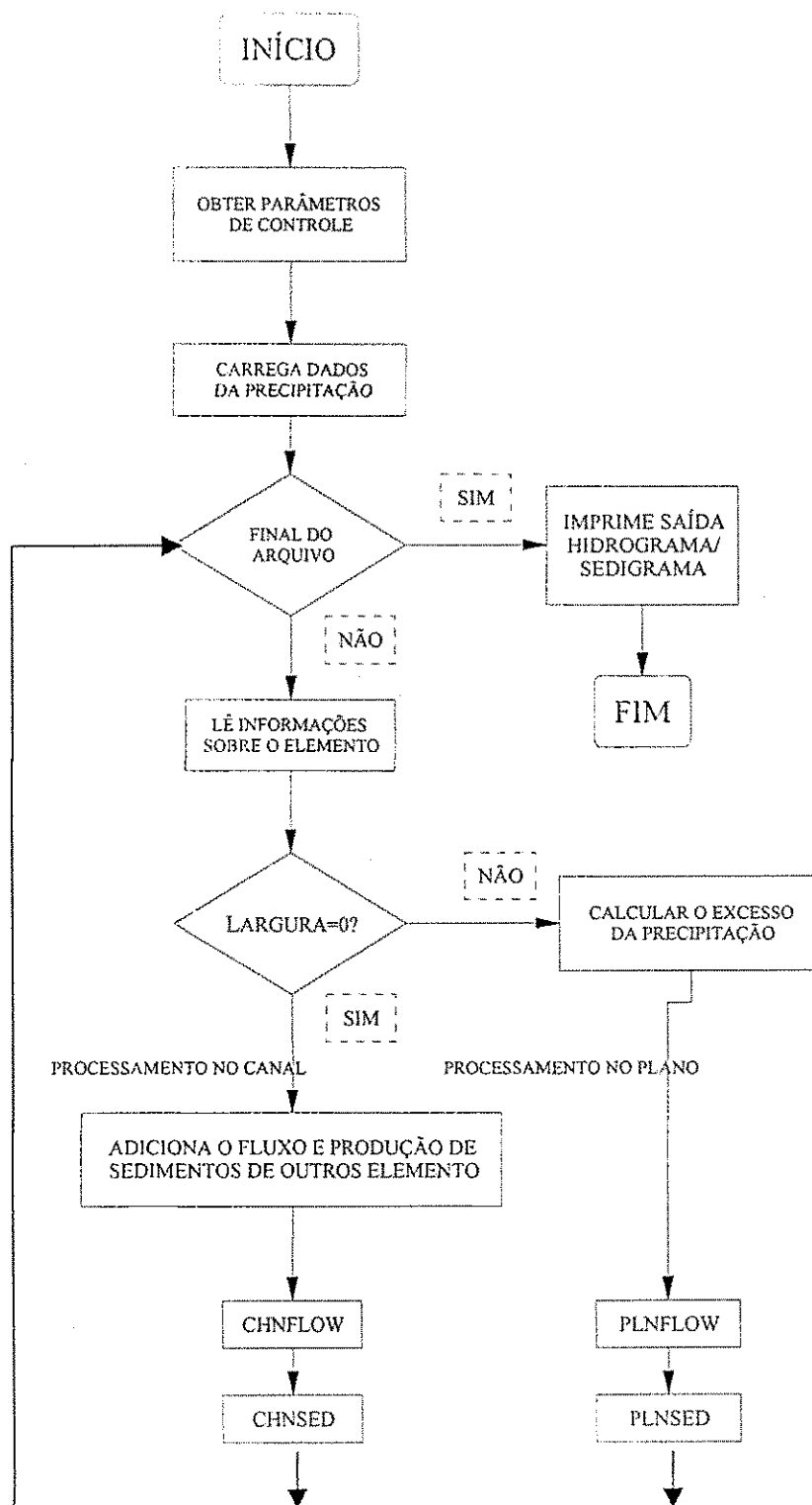


Figura 4.3 – Fluxograma de funcionamento do Modelo WESP (Lopes, 1987)

#### d) Erosão e deposição

PLNSED - calcula as taxas de desprendimento do solo pelo impacto das gotas de chuva e tensão de arrastamento, e as taxas de deposição nos planos de escoamento (encostas da bacia), e propaga o sedimento através dos planos de escoamento, usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos.

CHNSED - calcula as taxas de desprendimento por arrastamento, as taxas de deposição nos leitos dos canais e propaga o sedimento através dos segmentos de canais (rede de drenagem), usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos.

As demais subrotinas são auxiliares para o programa principal e estão relacionadas ao cálculo numérico das equações envolvidas. Maiores detalhes poderão ser encontrados em Lopes (1987).

#### 4.3.5.1 Seqüência Computacional

A seqüência computacional do modelo WESP é organizada de tal modo que o fluxo de entrada "inflow" requerido por qualquer elemento (plano ou canal), em qualquer estágio da simulação provém de elementos previamente processados. Esta seqüência é determinada pelo usuário, durante o processo de discretização da bacia e segue o padrão descrito pelas linhas de fluxo através da "cascata" de planos. A ordem na qual os elementos aparecem na linha de fluxo define a seqüência computacional (Lopes, 1987).

Durante uma simulação (execução) os resultados na saída de alguns elementos são retidos em uma localização de armazenamento temporário, enquanto outros elementos são processados até que a junção entre canais convergentes seja atingida. (Lopes, 1987).

## 4.4 Estimativa dos parâmetros do Modelo

Os parâmetros listados no item 4.3.2 podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- 1) parâmetros que são obtidos através de ensaios na área experimental ou de acordo com as características deste;
- 2) parâmetros que são obtidos através de literatura, com base em trabalhos efetuados na bacia em estudo ou em áreas semelhantes;
- 3) parâmetros que precisam de calibração;
- 4) parâmetros que estão relacionados ao evento em estudo.

Para os parâmetros do primeiro grupo tem-se os seguintes: ABASIN, XLENGHT, WIDTH, SLOPE, ALPHA, NTOP, SEDSIZE, KS, NLEFT e NRIGHT.

Os parâmetros do segundo grupo são os seguintes: GRAV, GRAMWAT, GAMESD, POWER, ALPHA, M, THETA, OMEGA e CLAMBDA.

No terceiro grupo caso estão os seguintes parâmetros: KS, NS, KI e KR.

No quarto e último grupo encontram-se os parâmetros: DURAT e DT.

Neste trabalho os parâmetros do primeiro grupo foram obtidos após a discretização das microbacias ou pelas características das parcelas. Os parâmetros do segundo grupo foram obtidos a partir das indicações de Lopes (1987), Galvão (1990). O valor dos parâmetros do terceiro grupo foram obtidos evento a evento pela calibração. O valor de DURAT foi obtido do arquivo de precipitação e o valor de DT foi gerado a partir do programa PLNSTAB.

Para a condutividade hidráulica saturada o valor adotado neste trabalho foi o mesmo utilizado por Galvão (1990), 5 mm/h, a partir dos trabalhos de Molinier et al., (1988) e Mollinier (1989).

Os parâmetros  $N_S$ ,  $K_i$  e  $K_r$  são mais sensíveis às variações de cobertura do solo, da topografia do terreno, das características do evento e dos extratos que compõem o solo. Estes parâmetros são determinados pela calibração.

A calibração destes parâmetros, bem como a determinação da faixa de variação dos mesmos será apresentada no Capítulo 5.

## CAPÍTULO 5

### 5 MODELAGEM DOS PROCESSOS DE ESCOAMENTO E EROSÃO NA BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ COM O WESP

#### 5.1 Considerações Gerais

Modelos de base física são ferramentas promissoras para a quantificação das mudanças causadas pela influência dos fenômenos naturais e antrópicos (ARS, 1983). O conjunto de parâmetros pertencentes a esta classe de modelos refletem as variações nas características da cobertura do solo da bacia. Portanto, são dependentes das mudanças que por ventura possam ocorrer na superfície do solo. Dada essa dependência, tem-se casos extremos nos valores dos parâmetros na situação em que a bacia se encontra completamente desmatada devido às condições favoráveis tanto para o escoamento superficial quanto para a erosão do solo. Gomes et al. (1987) mostraram que, na Bacia Experimental de Sumé, as bacias cobertas com vegetação nativa só geravam erosão e escoamento superficial quando a precipitação era superior a 30 mm. Dada as características da região semi-árida o caso de bacias desmatadas é o que gera mais preocupação devido às perdas que poderão ocorrer no solo e tudo o mais que dependa delas. Portanto, neste trabalho a modelagem tem como objetivo principal, a estimativa do escoamento superficial e da erosão nas bacias desmatadas (Microbacias 3 e 4) instaladas na Bacia Experimental de Sumé. Neste capítulo serão apresentados e escolhidos os dados que foram utilizados para o emprego do modelo, a metodologia para obtenção dos valores dos parâmetros para a simulação e os resultados proveniente da aplicação desta metodologia.

Sabe-se que a lâmina escoada e a quantidade de sedimentos que saem pelo exutório da bacia, de uma forma geral, são resultantes dos efeitos combinados dos processos que ocorrem nos planos superficiais e nos canais. Para determinar os parâmetros dos planos utilizou-se os dados das duas parcelas desmatadas (parcelas 1 e 4), considerando que elas estão sujeitas aos

mesmos eventos de precipitação e encontram-se em condições semelhantes às microbacias desmatadas, isto é 3 e 4.

Tendo em vista que um dos objetivos do estudo é a utilização do modelo calibrado para simulação em outras bacias que se encontram em condições semelhantes, se faz necessário testar este procedimento numa bacia com dados diferentes. No presente trabalho a qualidade e eficiência desse processo de simulação será testado aplicando-se os parâmetros obtidos na microbacia 3 para a microbacia 4, tendo em vista que as mesmas estão sujeita às mesmas condições climáticas, e possuem o mesmo tipo de cobertura vegetal e do solo.

## 5.2 Discretização das microbacias

Algumas simplificações na representação geométrica das bacias são necessárias para que as equações do modelo, que descrevem o fluxo unidimensional de água sobre a superfície da bacia sejam válidas. Encontram-se na literatura especializada vários métodos de representação da bacia para que o modelo numérico empregado possa propagar a lâmina do escoamento e os sedimentos produzidos até a seção de medição [Kibler e Woolhiser (1970), Onstad e Foster (1975), Curtis (1976), Lane & Woolhiser (1977), Smith (1977) e Foster (1982)]. Isto necessita a identificação de elementos com características uniformes em cada um deles, podendo os mesmos variar de elemento para elemento. Curtis (1976), Lane & Woolhiser (1977) e Foster (1982) citam como método de discretização a divisão da bacia em planos e canais.

Para o modelo WESP a bacia é um conjunto de planos e canais. Sendo assim, a parcela de erosão se constitui em um elemento único de plano, e portanto, não necessita de nenhuma simplificação na sua representação. Por outro lado, a microbacia será composta de vários elementos (planos e canais) e sua discretização exige uma maior cautela, visto que este procedimento terá influência direta nos valores dos parâmetros e no resultado final produzido pelo modelo. As dimensões e formas dos elementos devem ser escolhidas de maneira a preservar as características físicas da bacia e gerar a menor distorção possível. Mesmo assim, o processo de discretização sempre produz distorções e caso estas distorções sejam significativas, poderão trazer grandes diferenças entre o hidrograma simulado e o observado (Lane e Woolhiser ,1977). Galvão (1990) discretizou a microbacia 4 (Figura 5.2) em um sistema de 21 elementos (Figura 5.4) e Santos (1994) a microbacia 3 (Figura 5.1) em 23 elementos (Figura 5.3). Posteriormente Santos (1994) discretizou a microbacia 3 em duas outras configurações (4 elementos e 10 elementos) com o objetivo de determinar a influência

da discretização da bacia sobre os resultados obtidos. Ele verificou a configuração de 10 elementos produzia melhores resultados, apesar da diferença nos resultados entre a configuração de 23 elementos e 10 elementos ser muito pequena. Contudo, neste trabalho foi utilizada a configuração da microbacia 3 em 23 elementos (Figura 5.3). Dessa forma a comparação de resultados entre as duas bacias pode ser feita em condições semelhantes da discretização. Isto facilitaria também a comparação dos resultados com os trabalhos anteriores (Galvão, 1990 e Pereira, 1997). As características de cada elemento para as duas microbacias encontram-se listadas nas Tabelas 5.1 e 5.2.

O processamento computacional e a propagação do escoamento e da erosão através dos elementos deve corresponder a seqüência natural do processo físico. O modelo precisa de uma seqüência numérica que deverá ser fornecida juntamente com o arquivo de parâmetros referente a cada microbacia. Na Tabela 5.3 encontra-se listada a seqüência de cálculo utilizada por Galvão para a microbacia 4. Santos utilizou para a microbacia 3, a seqüência computacional listada na Tabela 5.4. As mesmas divisões e, portanto, mesmas seqüências de processamentos computacionais de Galvão e Santos foram utilizadas no presente trabalho.

### 5.3 Seleção dos Dados

Da base de dados existente para a Bacia Experimental de Sumé, os dados principais, utilizados neste trabalho foram as informações de produção de escoamento e sedimento (lâmina e peso total) como também os dados de pluviografia referentes ao período de estudo, evento por evento.

Pretendia-se, inicialmente, utilizar todos os eventos registrados e com dados nas parcelas 1 e 4, mas uma análise prévia mostrou que, para alguns eventos, existia dados de lâmina ou de produção de sedimento em um parcela, mas não existia na outra. O mesmo fato foi observado nos dados das microbacias 3 e 4. Notou-se também que, para alguns eventos a lâmina escoada foi muito pequena (abaixo de 1 mm). Visto que o modelo de produção de sedimento depende do resultado obtido no modelo hidrológico, lâminas muito baixas ou muito altas poderiam resultar em valores inconsistentes dos parâmetros do modelo. Com base no exposto decidiu-se eliminar os eventos que geraram em ambas as parcelas o valor de lâmina abaixo de 1 mm. Pelos mesmos motivos, foram eliminados os eventos onde não foram encontrados dados de lâmina ou de erosão em uma das parcelas analisadas (parcelas 1 e 4) (Tabela 3 do Anexo I).

A mesma análise foi efetuada no conjunto de dados das microbacias 3 e 4, o que permitiu a identificação dos problemas descritos para as parcelas de erosão (falta de informação de lâmina ou de erosão entre outros). Foram identificados também vários eventos com lâmina escoada próxima de zero. Decidiu-se eliminar os eventos que apresentaram as seguintes características: lâmina escoada nas microbacias abaixo de 0,5 mm; eventos com falta de dados de lâmina ou de erosão. Os dados restantes, bem como outras informações relacionadas ao evento que gerou cada cheia em estudo foram utilizados neste trabalho e estão listados na Tabela 4 do Anexo I.

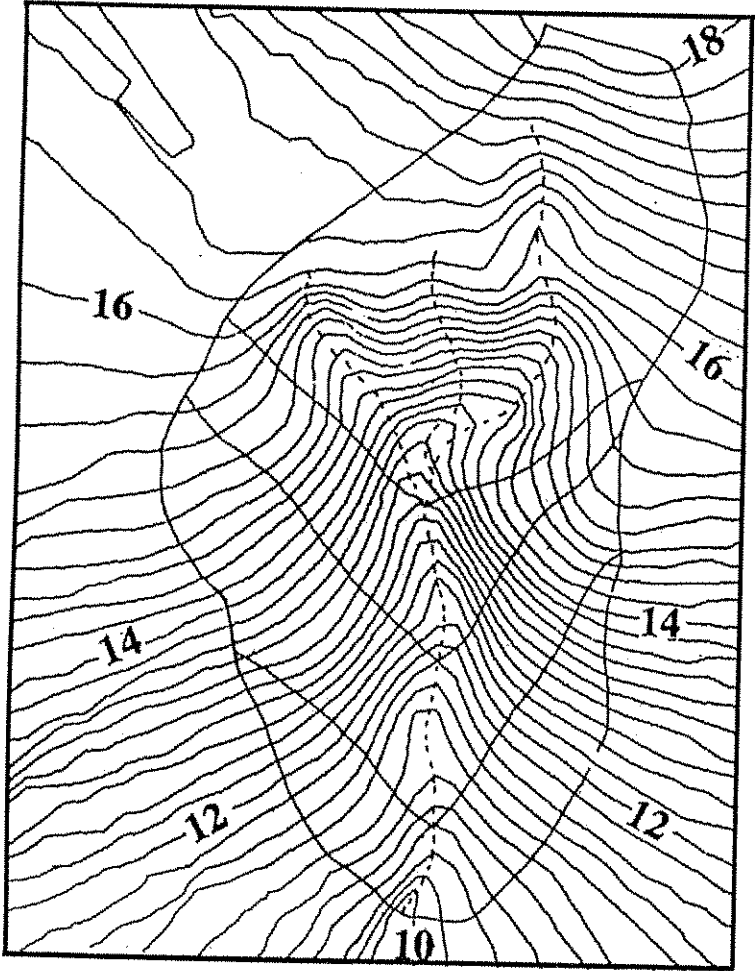


Figura 5.1 – Delineamento da microbacia 3 (Santos, 1994)

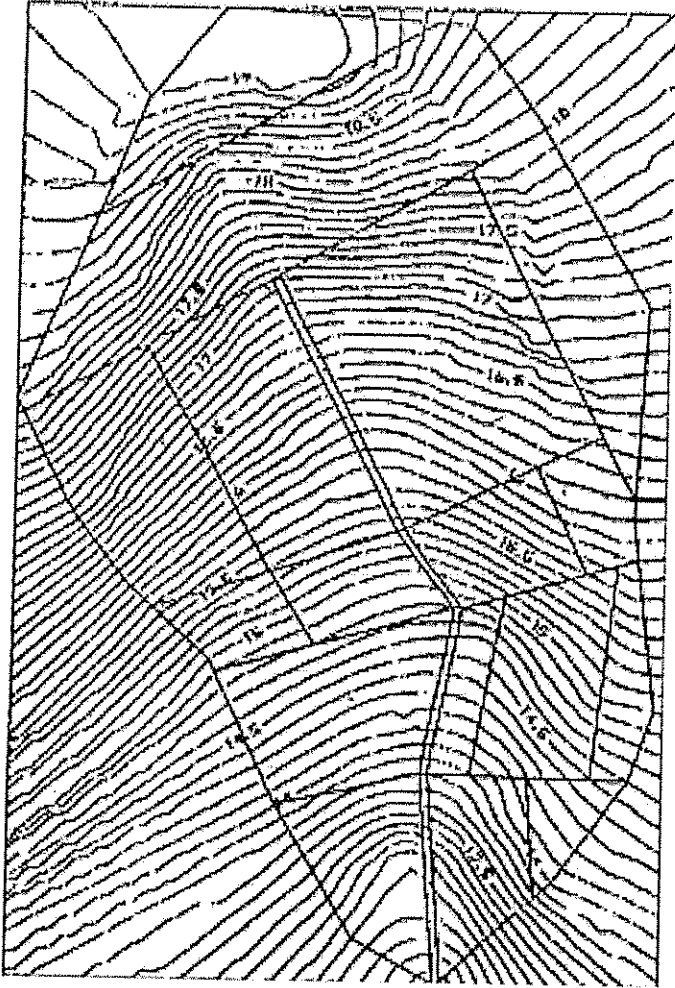


Figura 5.2 – Delineamento da microbacia 4 (Galvão, 1990)



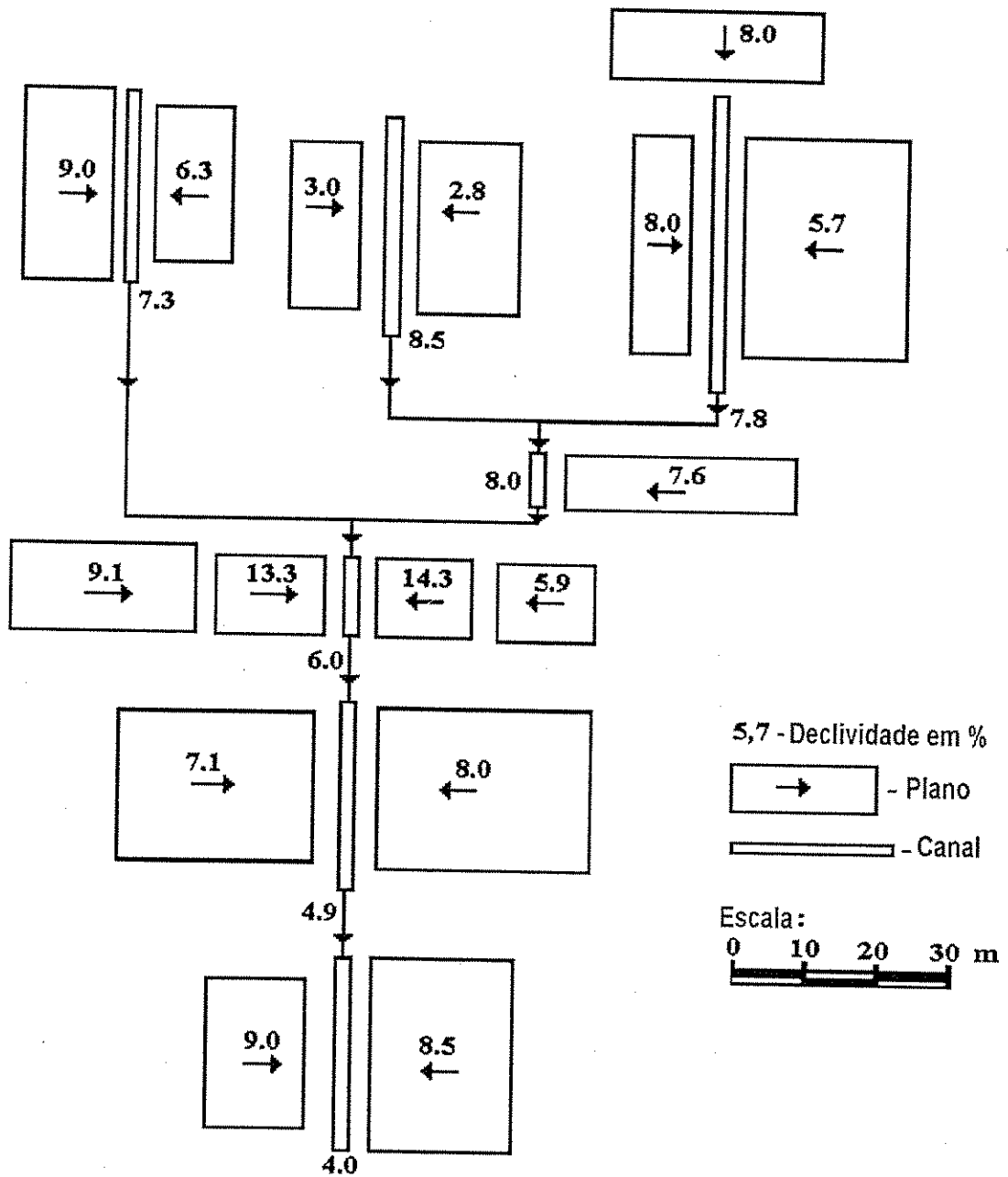


Figura 5.3 – Discretização da microbacia 3 em 23 elementos (Santos, 1994)

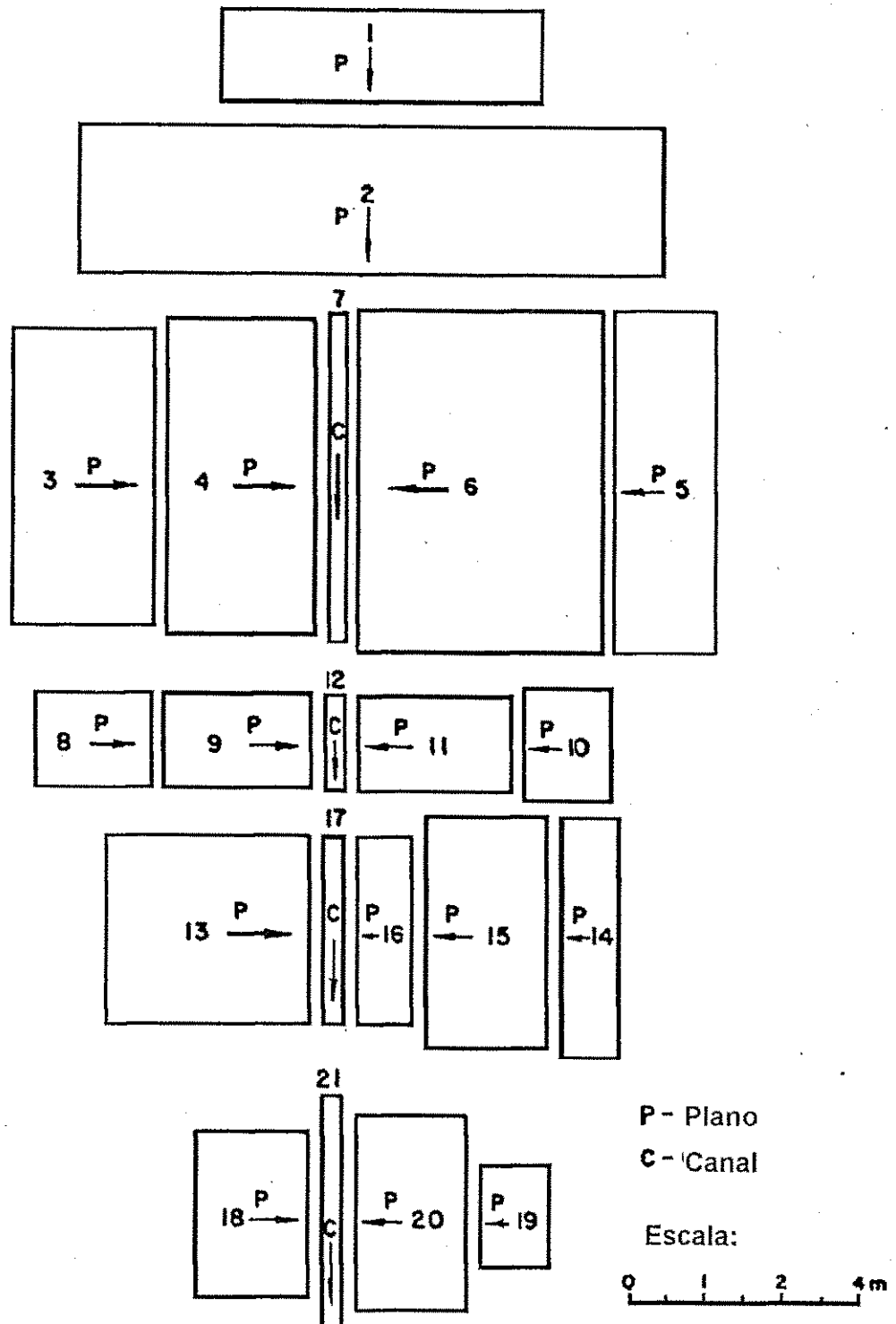


Figura 5.4 – Discretização da microbacia 4 em 21 elementos (Galvão, 1990)

Tabela 5.1 – Características físicas dos elementos da microbacia 4 para entrada no modelo WESP

Elemento	Area (m <sup>2</sup> )	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base <sup>1</sup> (m)	Inclinação <sup>2</sup>
1	272,0	8,5	32,0	0,082		
2	812,0	14,0	58,0	0,079		
3	392,0	14,0	28,0	0,021		
4	450,0	15,0	30,0	0,013		
5	330,0	10,0	33,0	0,020		
6	780,0	24,0	32,5	0,035		
7	-	31,5	-	0,060	0,3	2:1
8	103,5	11,5	9,0	0,013		
9	135,0	15,0	9,0	0,007		
10	93,5	8,5	11,0	0,023		
11	139,5	15,5	9,0	0,053		
12	-	9,0	-	0,055	0,4	2:1
13	360,0	20,0	18,0	0,009		
14	119,6	5,2	23,0	0,020		
15	264,0	12,0	22,0	0,050		
16	99,0	5,5	18,0	0,020		
17	-	18,0	-	0,055	0,0	0,25:1
18	176,0	11,0	16,0	0,027		
19	65,0	6,5	10,0	0,033		
20	209,0	11,0	19,0	0,082		
21	-	22,5	-	0,058	0,0	0,25:1

(1) Dimensão da base da seção transversal do canal

(2) Inclinação das laterais da seção transversal do canal. Relação entre a dimensão vertical sobre a horizontal.

Tabela 5.2 – Características físicas dos elementos da microbacia 3 para entrada no modelo WESP

Elemento	Area (m <sup>2</sup> )	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base <sup>1</sup> (m)	Inclinação <sup>2</sup>
1	262,00	10,0	26,2	0,080	-	
2	225,00	7,5	30,0	0,080	-	
3	662,20	22,0	30,1	0,057	-	
4	-	46,0	-	0,078	0	0,25:0,25
5	162,50	6,5	25,0	0,030	-	-
6	325,00	13,0	25,0	0,028	-	-
7	-	35,0	-	0,085	0	0,25:0,25
8	182,00	26,0	7,0	0,076	-	-
9	-	5,0	-	0,080	0	0,25:0,25
10	302,50	11,0	27,5	0,090	-	-
11	180,00	8,0	22,5	0,063	-	-
12	-	27,5	-	0,073	0	0,25:0,25
13	463,75	26,5	17,5	0,091	-	-
14	235,50	15,0	15,7	0,133	-	-
15	206,72	13,6	15,2	0,059	-	-
16	219,80	14,0	15,7	0,143	-	-
17	-	15,7	-	0,060	0,1	0,50:0,50
18	508,80	24,0	21,2	0,071	-	-
19	612,50	25,0	24,5	0,080	-	-
20	-	24,5	-	0,049	0,1	0,50:0,50
21	223,86	12,3	18,2	0,090	-	-
22	378,00	16,8	22,5	0,085	-	-
23	-	20	-	0,04	0,2	0,50:0,50

(1) Dimensão da base da seção transversal do canal

(2) Inclinação das laterais da seção transversal do canal. Relação entre a dimensão vertical sobre a horizontal.

Tabela 5.3 – Seqüência de cálculo e posição relativa dos elementos da microbacia 3 (Santos, 1994)

Elemento	Plano antecedente			Canal antecedente	
	Superior	Esquerda	Direita	1	2
1	0				
2	1				
3	0				
4	3				
5	0				
6	5				
7	2	6	4		
8	0				
9	8				
10	0				
11	10				
12	0	11	9	7	
13	0				
14	0				
15	14				
16	15				
17	0	16	13	12	
18	0				
19	0				
20	19				
21	0	20	18	17	

Tabela 5.4 – Seqüência de cálculo e posição relativa dos elementos da microbacia 3 (Santos, 1994)

Elemento	Plano antecedente			Canal antecedente	
	Superior	Esquerda	Direita	1	2
1					
2					
3					
4	1	2	3		
5					
6					
7		5	6		
8					
9			8	4	7
10					
11					
12		10	11		
13					
14	13				
15					
16	15				
17		14	16	9	12
18					
19					
20		18	19	17	
21					
22					
23		21	22	20	

## 5.4 Produção de Escoamento Superficial e Sedimentos em Parcelas Desmatadas

A partir dos eventos selecionados para as parcelas, procurou-se identificar valores dos parâmetros de escoamento e erosão em áreas planas e desmatadas. O período de dados (1982 a 1991) foi dividido em dois intervalos: 1982 a 1987 e 1988 a 1991. A seguir, para os intervalos citados, efetuou-se uma comparação gráfica de lâmina escoada na parcela 4 e lâmina escoada na parcela 1 (Figuras 5.5 e 5.6). Posteriormente, foram analisados para cada intervalo os gráficos que relacionam a erosão observada na parcela 4 e erosão observada na parcela 1 (Figuras 5.7 e 5.8). Como o próximo passo, para cada variável (lâmina e erosão) os dados dos dois períodos foram reunidos em um único gráfico com o objetivo de verificar se as tendências observadas nos dois períodos eram as mesmas e se o conjunto de dados podia ser considerado como pertencente a mesma população (Figuras 5.9 e 5.10). Caso existisse alguma tendência nos processos de escoamento superficial e erosão, esperava-se detectá-la nesta fase, e identificar a natureza da tendência ao longo do tempo.

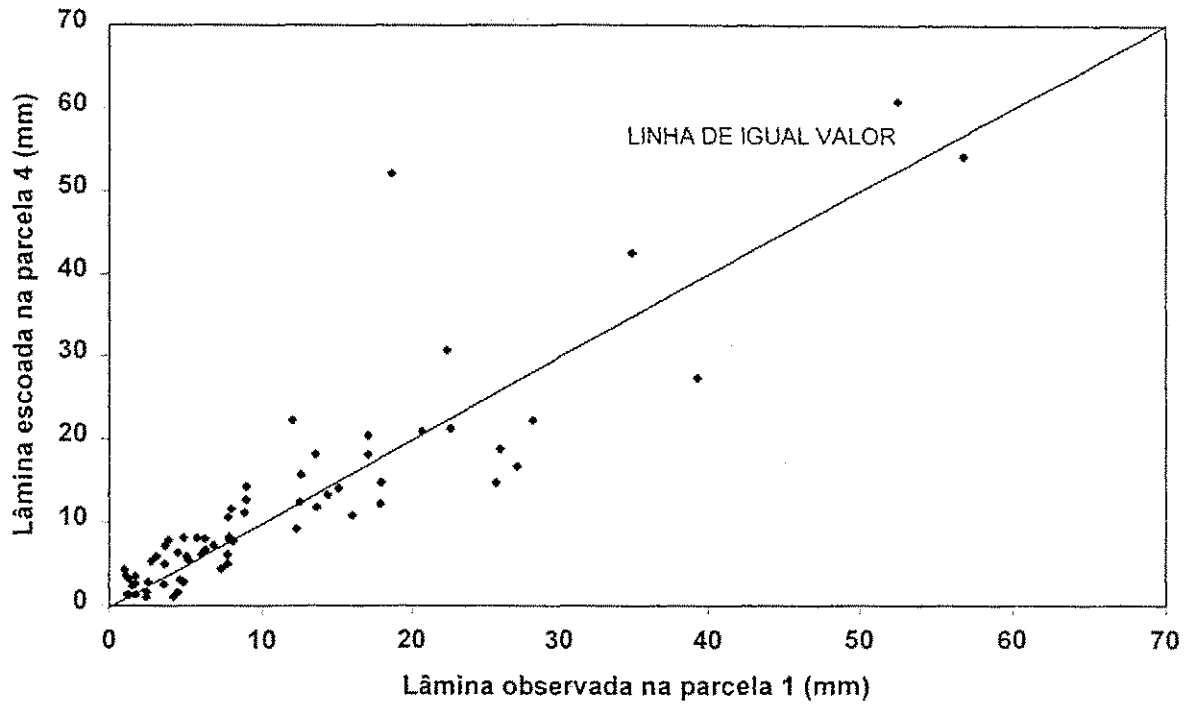


Figura 5.5 - Relação entre lâmina escoada na parcela 4 e a lâmina escoada na parcela 1 para o período 1982 a 1987 para eventos com a lâmina escoada maior que 1mm.

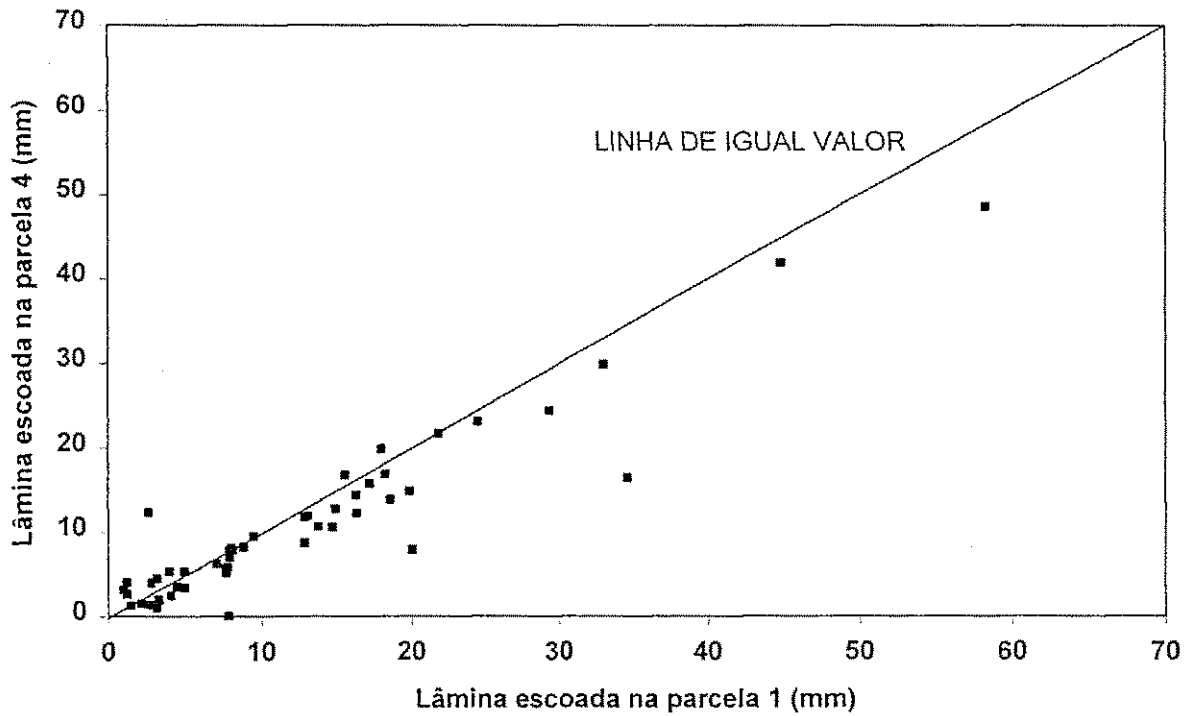


Figura 5.6 - Relação entre lâmina escoada na parcela 4 e a lâmina escoada na parcela 1 para o período 1988 a 1991 para eventos com a lâmina escoada maior que 1mm.

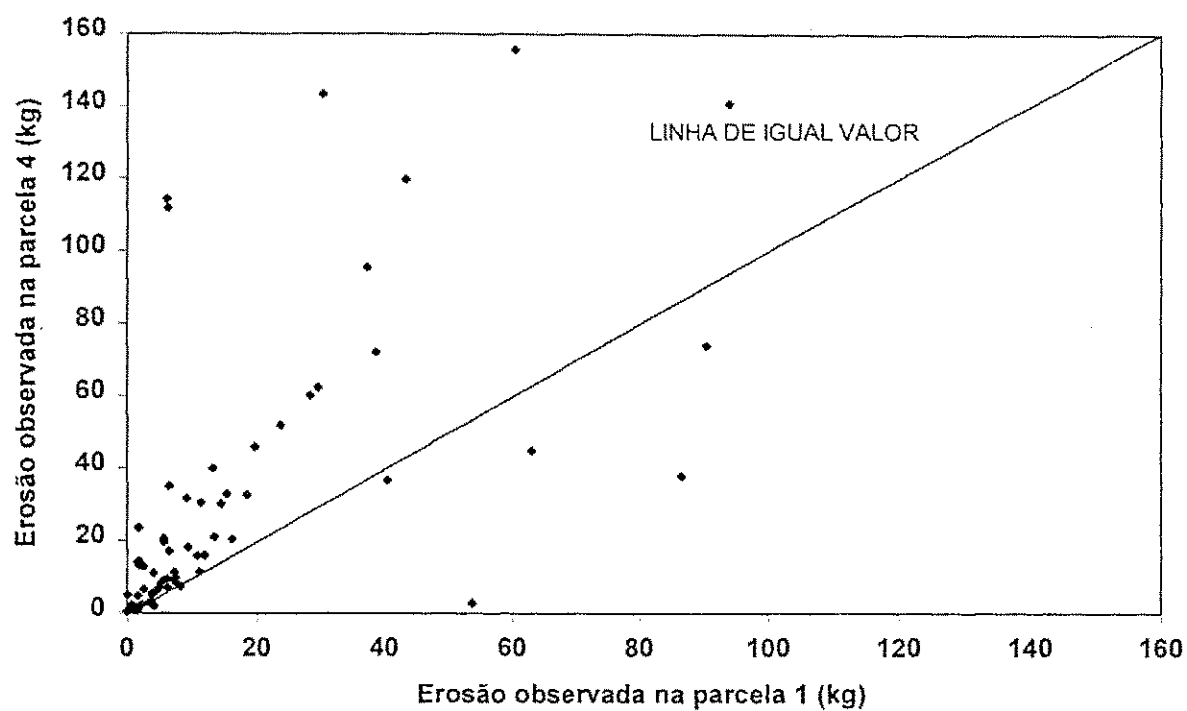


Figura 5.7 - Relação entre erosão observada na parcela 4 e a erosão observada na parcela 1 para o período 1982 a 1987 para eventos com a lâmina escoada maior que 1mm.

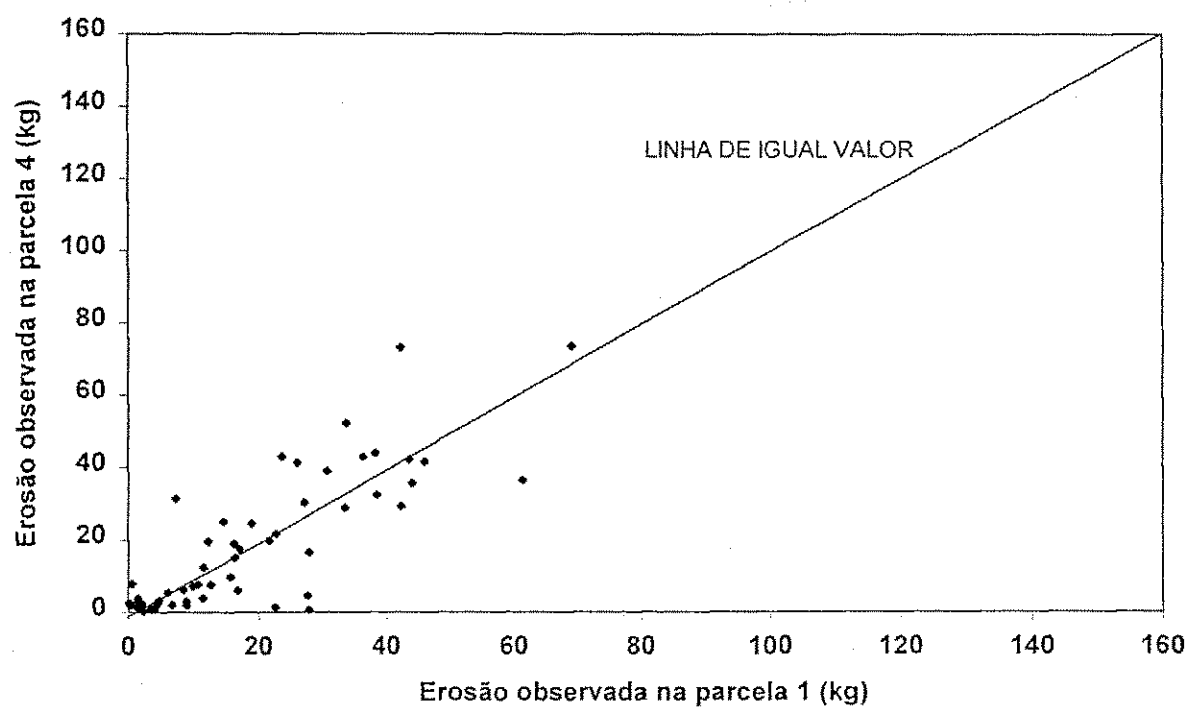


Figura 5.8 - Relação entre erosão observada na parcela 4 e a erosão observada na parcela 1 para o período 1988 a 1991 para evento com a lâmina escoada maior que 1mm.



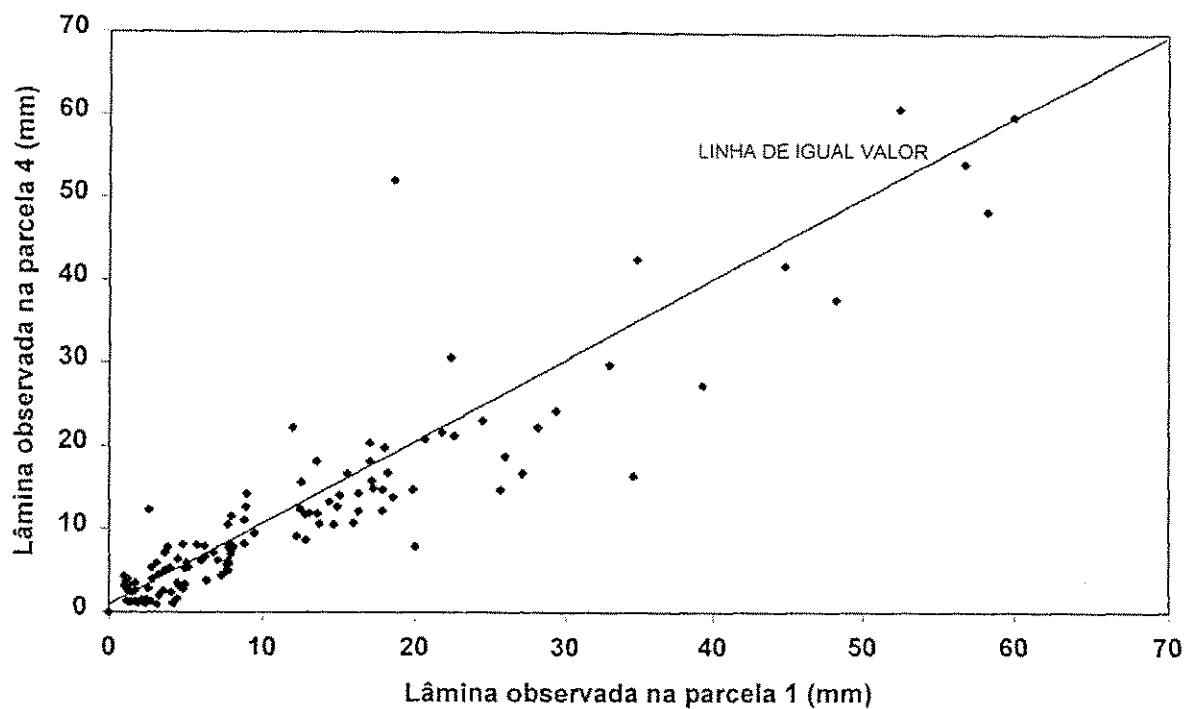


Figura 5.9 - Relação entre lâmina escoada na parcela 4 e a lâmina escoada na parcela 1 para o período 1982 a 1991.

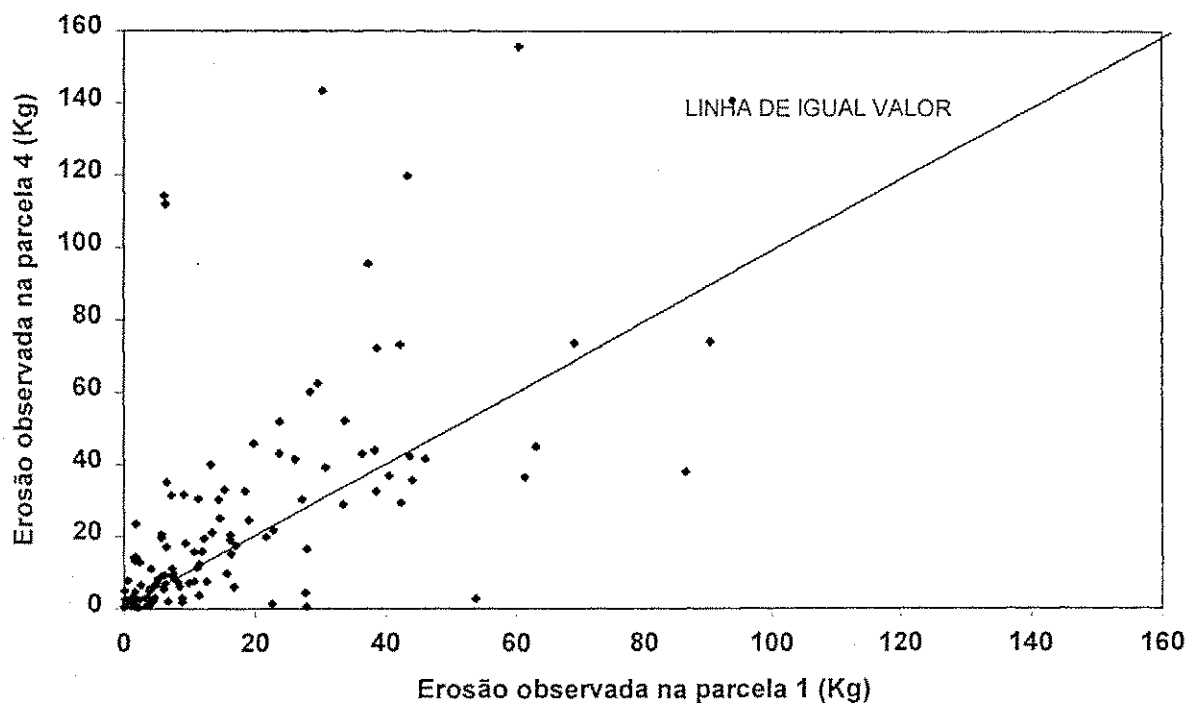


Figura 5.10 - Relação entre erosão observada na parcela 4 e a erosão observada na parcela 1 para o período 1982 a 1991.

Os gráficos mostram que existe uma diferença notável na produção de lâmina e de sedimento ao longo do tempo em que os dados foram coletados. Nota-se tendências bem diferentes entre a produção de lâmina e a produção de sedimentos nos dois períodos nas duas parcelas. Isto leva a crer que há mudanças nas condições de solo durante o período de observação. É provável que as mudanças sejam contínuas e graduais durante o período, e isto certamente implicaria na variação nos valores dos parâmetros entre os eventos observados.

A reunião de todos os dados em um mesmo gráfico permite verificar as tendências predominantes do escoamento e erosão entre as duas parcelas. Estes aspectos serão discutidos mais adiante, no capítulo 6.

## 5.5 Aplicação do Modelo

Numa bacia hidrográfica os processos de escoamento e erosão podem ser tratados essencialmente como processos sobre planos e canais. Então a bacia hidrográfica precisa ser concebida como uma combinação de um sistema de planos e sistema de canais. Desta forma a discretização de uma bacia em elementos também permite ao modelador observar os processos que acontecem em cada elemento de forma separada. Contudo, na Bacia Experimental de Sumé os dados de escoamento e erosão obtidos nas microbacias são resultantes do efeito combinado de processos em todos os elementos e desta forma não permitem quantificar os efeitos dos processos erosivos que ocorrem nos planos ou nos canais. O conhecimento completo dos processos de erosão em planos é de grande importância pois os mesmos ocorrem em áreas bem maiores do que as dos canais e são as fontes geradoras dos sedimentos que são transportados para fora da bacia através dos canais.

Os dados de parcelas, que representam unicamente os processos que ocorrem nos planos, serviram para quantificar este processo e para calibrar os parâmetros de planos. Os valores dos parâmetros do modelo, que são calibrados nas parcelas de erosão, foram utilizados nos planos das microbacias para a obtenção dos valores dos parâmetros relativo aos processos em canais, na fase de calibragem.

### 5.5.1 Determinação dos Parâmetros do Modelo

O modelo WESP utiliza um total de 20 parâmetros cujos valores devem ser fornecidos na fase da simulação. Este conjunto de parâmetros pode ser dividido em três grupos: a) parâmetros cujos valores podem ser prontamente fixados com base nas informações disponíveis na literatura; b) parâmetros cujos valores podem ser medidos experimentalmente

no campo ou no laboratório; c) parâmetros cujos valores devem ser determinados por um processo de calibração, ajustando os parâmetros para minimizar a diferença entre os valores de escoamento e erosão observados e os valores calculados pelo modelo dos mesmos.

Neste trabalho os valores dos parâmetros do modelo foram definidos como segue:

**Tamanho característico dos sedimentos ( $d_s$ ):** existem vários critérios para a escolha deste parâmetro, mas o valor mais utilizado tem sido aquele para o qual 50% da amostra em peso possui diâmetro maior, também denominado de  $d_{50}$ . Galvão (1990), através de ensaios no campo, determinou para os experimentos em estudo os seguintes valores medianos: parcela 1, 0.430 mm; parcela 4, 0.730 mm; microbacia 3, 0.5 mm; microbacia 4, 0.52 mm. Estes valores foram empregados neste trabalho.

**Peso específico da água ( $\gamma$ ):** considerado igual a  $9779 \text{ N/m}^3$ , a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  (Streeter & Wylie, 1982) sendo esta temperatura a média usualmente encontradas na BES (Cadier e Freitas, 1982; Cadier et al., 1983).

**Peso específico dos sedimentos ( $\gamma_s$ ):** assumido igual a 2.65 vezes o peso específico da água o que produz um  $\gamma_s$  igual a  $25.914,35 \text{ N/m}^3$ .

**Aceleração da gravidade ( $g$ ):** adotado igual a  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

**Viscosidade cinemática da água ( $\nu$ ):** considerado o valor de  $0.894 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , a  $25^\circ\text{C}$  (Streeter & Wylie, 1982);

**Coefficiente para a tensão de cisalhamento crítica ( $\delta$ ):** foi utilizado o mesmo valor proposto por Lopes (1987), obtido do diagrama de Shields, tomando-se como base o diâmetro mediano e o peso específico dos sedimentos, o que forneceu um  $\delta$  igual a 0,047.

**Parâmetro de deposição de sedimentos nos planos ( $\epsilon_p$ ):** este parâmetro não é calibrável, não é mensurável, como também, é difícil determinar com exatidão o seu valor. O modelo é pouco sensível a sua variação. Sendo assim, qualquer diferença no cálculo do modelo será ajustada através dos parâmetros de erosão. Por não ter sido encontrada outras fontes de informação na literatura sobre este parâmetro foi utilizado o valor recomendado por Lopes (1987) ou seja 0,5.

**Parâmetro de deposição para os canais ( $\epsilon_c$ ):** A utilização do valor deste parâmetro segue a mesma justificativa dada para o parâmetro anterior. Desta forma, conforme a

recomendação de Lopes (1987), baseado nos estudos de Einstein (1968), foi adotado  $\varepsilon_c$  igual a 1,0.

**Coefficiente de rugosidade de Manning para os planos ( $n_p$ ):** foi adotado para  $n_p$  o valor igual a 0,02, com base nos estudos de Woolhiser (1975), para a condição de superfície das parcelas e microbacias desmatadas de Sumé.

**Condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ):** o valor deste parâmetro depende das condições e do tipo de solo e pode ser determinado através de ensaios de campo. Audry et al. (1987) e Molinier et al. (1989) efetuaram várias medições e verificaram que  $K_s$  variava entre 0,5 mm/h e 25 mm/h. Eles recomendaram a Galvão (1990) que utiliza-se o valor de 5,0 mm/h nos trabalhos com o modelo hidrológico, por ser este representar um valor frequentemente observado na bacia. Sendo assim, foi utilizado neste trabalho o mesmo valor.

A grande maioria dos parâmetros restantes foi fixada a partir das informações na literatura ou das características do experimento em estudo (parcela ou microbacia). No caso dos parâmetros provenientes da literatura eles são difíceis de serem avaliados no campo e foram identificados por Lopes (1987), Galvão (1990), Santos (1994) e Pereira (1997) como menos sensíveis. Restaram apenas os parâmetros que possuem relação direta com as características da bacia estudada (condição de solo no momento do evento de precipitação, tipo de evento de precipitação, etc). São eles:  $N_s$ ,  $K_i$ ,  $K_r$  e  $a$ , conforme os detalhes do modelo WESP apresentado no capítulo anterior.

**O parâmetro  $K_i$  (parâmetro de erodibilidade por impacto das gotas de chuva):** este parâmetro exerce influência sobre a erosão que acontece entre o início do evento de precipitação e o tempo de empoçamento. Neste intervalo as gotas agem diretamente sobre o solo nu, erodindo-o devido ao impacto. A lâmina formada pelo excesso de precipitação serve de anteparo para as gotas de chuva diminuindo ou até eliminando a ação do impacto das mesmas. No entanto, Galvão (1990) e Santos (1994) observaram que o resultado do cálculo de erosão não era muito sensível às variações deste parâmetro tendo sido fixado um valor ( $K_i$  em  $5 \times 10^8 \text{ kg.s/m}^4$ ) a ser utilizado em todos os eventos. Portanto, foi utilizado neste trabalho este valor tanto para as parcelas de erosão como para os planos das microbacias estudadas.

**O parâmetro  $N_s$  (parâmetro de umidade e potencial de capilaridade):** por ser um modelo de um evento o WESP não possui internamente um sistema de atualização das condições de umidade do solo no intervalo de tempo entre cada evento. Sendo assim, o a

condição de umidade do solo no início de cada evento é otimizado através do parâmetro  $N_s$ , evento a evento.

**O parâmetro  $K_r$  (fator de erodibilidade do solo pelo fluxo superficial):** também depende das condições de umidade do solo (Srinivasan e Galvão, 1995; Pereira, 1997). Seu valor pode variar para cada evento e portanto, deve ser calibrados evento a evento.

**O parâmetro  $a$  (fator de erodibilidade do solo pelo fluxo concentrado):** este parâmetro varia de evento a evento, uma vez que a tensão de cisalhamento nos canais vai depender da condição do fluxo. Sendo assim, fixado os parâmetros a serem utilizado nos planos das microbacias, o valor do parâmetro  $a$  foi calibrado evento a evento, tentando minimizar a diferença entre o valor da erosão calculada e o valor da erosão observada em cada evento.

Numa bacia hidrográfica os processos físicos de escoamento e erosão que ocorrem, podem ser separados como processos em planos e processos em canais, conforme o modelo. No presente trabalho, os parâmetros referentes aos planos foram obtidos num processo de calibragem utilizando-se os dados coletados nas parcelas 1 e 4. Transpondo os valores destes parâmetros para os planos das microbacias, os parâmetros de processos em canais foram obtidos utilizando-se os dados coletados numa das microbacias. Por fim, a validação do modelo calibrado foi feita com os dados de outra microbacia que tem praticamente as mesmas características físicas. Neste trabalho, utilizou-se a microbacia 3 para calibragem e a microbacia 4 para a simulação e validação.

### 5.5.2 Calibração dos Parâmetros do Modelo WESP para as Parcelas

Os resultados produzidos pelo módulo de erosão dependem das respostas provenientes do módulo hidrológico. Sendo assim, deve-se calibrar inicialmente o parâmetro  $N_s$  para cada evento obtendo um bom ajuste no hidrograma. Então, partiu-se de um valor inicial arbitrário de  $N_s$  e, alterando progressivamente este valor, procurou-se fazer com que a lâmina calculada pelo modelo fosse igual ou muito próximo do valor observado. Em seguida, o valor de  $K_r$  foi calibrado partindo-se de um valor inicial arbitrário. Procurou-se fazer com que a erosão calculada estivesse próxima do valor observado. Os valores dos parâmetros, obtidos para as duas parcelas, encontram-se listados na Tabela 5.5.

A Tabela 5.5 também mostra os eventos onde não foi possível a calibração do parâmetro  $N_s$ . Não sendo possível a calibração do parâmetro  $N_s$ , torna-se incompatível o

escoamento com a erosão tornando inviável a calibração do parâmetro de erosão  $K_r$ . Portanto decidiu-se excluir os eventos onde ocorreram tais problemas.

Tendo em vista o fato da parcela 4 estar praticamente contígua a microbacia 4, ela representa melhor as suas características. A microbacia 3 também se localiza na vizinhança da parcela 4 e da microbacia 4, apresentando características do solo semelhantes entre si. Por isso, utilizou-se os dados da parcela 4 para obtenção dos valores do parâmetro de erosão a serem empregados nos planos das microbacias. Doravante, os dados de parcela aqui utilizados serão os relativos a parcela 4.

A eliminação dos eventos na parcela 4 levou a uma redução no número de eventos utilizáveis de 123 para 87. Mesmo assim, a representatividade dos eventos é bastante ampla, cobrindo todas as faixas de escoamento e erosão bem como o período de observação. A partir dos valores obtidos para o parâmetro  $K_r$  da parcela 4 foi calculada a média aritmética. O valor resultante ( $1,786 \text{ kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$ ) foi empregado nos planos da microbacia 3. Desta forma o número de parâmetros a serem calibrados para a microbacia 3 foi reduzido de quatro ( $N_s$ ,  $K_r$ ,  $K_i$  e  $a$ ) para dois ( $N_s$  e  $a$ ), uma vez que o valor de  $K_i$  tinha sido fixado inicialmente e o valor de  $K_r$  adotado como o valor médio da parcela 4. Este valor de  $K_r$  médio foi obtido após a eliminação dos eventos onde ou o  $N_s$  foi zero ou o  $K_r$  foi zero.

### 5.5.3 Calibração dos Parâmetros do Modelo WESP para as Microbacias

Uma vez definidos os valores de  $K_r$  e  $K_i$ , a serem utilizados nos planos da microbacia, restaram para calibração os parâmetros  $N_s$  e  $a$  com os dados observados na microbacia 3.

O parâmetro  $N_s$  é o único parâmetro que influencia o processo de escoamento superficial além das condições físicas da bacia e da chuva. O parâmetro  $N_s$  representa todos os efeitos combinados da infiltração e da geração do escoamento. Portanto, não seria adequado utilizar na microbacia 3 o valor do parâmetro  $N_s$  obtido nas parcelas. Este procedimento difere do procedimento adotado para o caso do parâmetro  $K_r$  (valor médio do  $K_r$  da parcela 4). Observando-se que o valor deste parâmetro difere bastante entre as parcelas 1 e 4, entre as quais, a única diferença evidente é a declividade, torna-se clara a sensibilidade deste parâmetro (Tabelas 5.5). Observa-se também que  $N_s$  não só varia com os eventos, refletindo a variação da umidade inicial, como também com a topografia, o local, e o movimento de água no solo, dentre outros. O emprego direto do  $N_s$  da parcela 4 nos planos da microbacia levaria

o modelo a calcular uma lâmina distante do valor observado podendo inviabilizar a calibragem do parâmetro "a" de erosão em canais.

Sendo assim, foi efetuada a calibração do parâmetro  $N_s$  para a microbacia 3, evento a evento. O procedimento empregado foi o mesmo utilizado para a calibração do  $N_s$  nas parcelas de erosão. Ao término da calibração do parâmetro  $N_s$ , foi calibrado o valor do parâmetro de erosão em canais pelo fluxo concentrado,  $a$ . A calibração do parâmetro  $a$  seguiu o mesmo procedimento da calibração do parâmetro  $K_r$ . O resultado da calibração dos referidos parâmetros para a microbacia 3 encontra-se listado na Tabela 5.6. A erosão nos elementos canais é devido à tensão de cisalhamento ou força trativa do fluxo concentrado. O valor deste parâmetro não deveria variar muito, de evento para evento, quando a variação do parâmetro  $K_r$  fosse permitida. Este fato foi verificado em Santos (1997). Uma vez fixado o valor de  $K_r$  (valor médio) o parâmetro  $a$  teve uma variação significativa, de evento para evento, o que indica uma variação do parâmetro  $K_r$  dos planos com a umidade inicial. Para uma avaliação quantitativa desta variação, foram calculadas novamente o valor de erosão para cada evento utilizando o valor médio da calibração do parâmetro "a". Os resultados obtidos encontram-se listados na Tabela 5.6. O gráfico de dispersão entre os valores observados e os calculados, utilizando o valor médio de "a", esta apresentada na Figura 5.11.

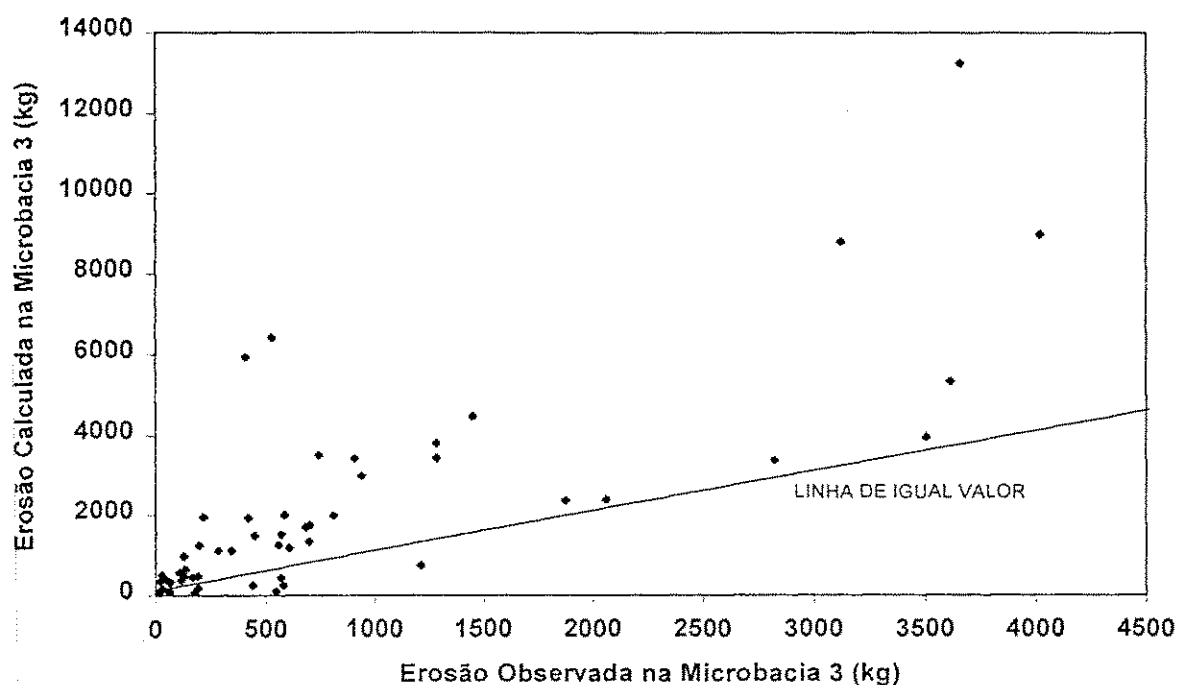


Figura 5.11 - Relação entre erosão observada na microbacia 3 e a erosão calculada utilizando o valor médio do parâmetro a.

Tabela 5.5 - Resultado da calibração dos parâmetros Ns e Kr para as parcelas 1 e 4

CH	DATA	IH60 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Duração (min)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Kr	EC (kg)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Kr	EC (kg)
4	23/04/1982	1,2	94,50	108	PI	14,400	5,740	8,600	14,400	0,130	5,740	P4	13,332	20,444	11,003	13,330	0,846	20,444
16	07/02/1983	13,7	24,00	455	PI	17,870	8,290	1,530	17,869	0,811	8,290	P4	12,225	7,393	6,767	12,230	0,857	7,393
19	19/02/1983	3,6	87,00	154	PI	1,210	1,170	19,550	1,200	0,193	1,200	P4	1,340	0,720	34,125	1,300	0,358	0,800
22	06/04/1983	0,1	42,80	125	PI	6,260	5,720	27,650	6,260	0,681	5,720	P4	8,010	19,612	17,144	8,010	1,493	19,612
36	04/04/1984	19,1	20,18	1010	PI	22,630	6,519	0,000	12,691	-1	-1	P4	21,312	35,023	0,000	12,700	-1	-1
39	15/04/1984	3,9	18,33	908	PI	2,791	2,584	1,811	2,791	1,870	2,584	P4	5,362	6,588	0,000	4,120	-1	-1
41	19/04/1984	15,1	62,25	206	PI	4,880	13,460	7,413	4,880	1,461	12,780	P4	8,210	21,060	0,000	6,500	-1	-1
42	20/04/1984	16,5	120,00	360	PI	56,790	128,428	1,421	56,790	0,500	128,428	P4	54,245	245,204	3,069	54,250	1,062	245,201
46	19/05/1984	1,8	28,80	568	PI	3,100	6,520	46,048	3,100	5,203	6,520	P4	5,910	17,090	24,455	5,910	3,510	17,090
47	20/05/1984	18,5	20,70	271	PI	6,050	19,780	1,119	6,010	4,872	18,620	P4	6,230	45,841	0,925	6,200	8,597	46,000
49	23/05/1984	8,6	59,40	368	PI	12,577	30,300	6,178	12,577	1,341	30,300	P4	15,710	143,356	1,250	15,710	4,359	143,356
50	24/05/1984	21,5	23,68	303	PI	7,840	15,359	0,478	7,830	2,717	15,800	P4	7,900	32,980	0,449	7,700	4,621	33,000
51	25/05/1984	23,3	13,50	308	PI	7,330	6,320	0,000	5,310	-1	-1	P4	4,430	6,947	0,304	4,500	3,912	7,000
52	17/07/1984	0,9	29,10	748	PI	3,640	9,200	29,535	3,640	5,917	9,200	P4	5,010	31,630	22,526	5,010	9,545	31,630
53	25/08/1984	3,5	54,54	622	PI	5,745	11,340	54,602	5,800	1,584	11,300	P4	8,156	30,550	34,055	8,200	2,088	31,000
55	25/01/1985	1,4	28,28	300	PI	7,740	7,340	10,730	7,680	1,184	7,400	P4	6,160	11,220	15,743	6,000	1,992	11,000
57	03/02/1985	0,5	31,26	234	PI	4,860	7,470	5,368	4,860	1,692	7,470	P4	2,860	8,561	13,418	2,860	3,604	8,561
58	04/02/1985	8,5	22,58	165	PI	6,830	9,420	0,000	6,300	-1	-1	P4	7,210	18,203	0,000	6,400	-1	-1
59	05/02/1985	13,7	41,60	273	PI	20,700	43,344	4,963	20,700	1,450	43,500	P4	20,907	119,796	4,631	20,900	3,327	120,000
60	10/02/1985	4,0	102,00	771	PI	52,500	37,309	66,320	52,800	0,132	38,000	P4	60,878	95,436	30,500	60,840	0,449	95,436
61	11/02/1985	59,0	21,78	631	PI	16,000	6,320	0,000	12,411	-1	-1	P4	10,818	111,929	0,514	10,818	9,999	111,929
62	12/02/1985	59,7	5,45	346	PI	2,410	0,170	0,000	0,145	-1	-1	P4	1,020	4,910	0,000	0,143	-1	-1
63	13/02/1985	41,2	43,29	594	PI	15,100	29,620	0,934	15,101	1,894	29,620	P4	14,126	62,309	1,541	14,126	3,566	62,309
66	17/02/1985	13,6	30,60	349	PI	26,000	94,028	21,995	1,540	6,280	1,770	P4	18,839	141,000	0,149	18,839	7,678	141,000
68	19/02/1985	48,4	31,57	953	PI	39,300	60,480	0,000	1,000	-1	-1	P4	27,392	155,656	0,000	21,123	-1	-1
69	20/02/1985	56,3	37,13	331	PI	28,200	28,430	0,000	17,574	-1	-1	P4	22,298	60,138	0,000	17,577	2,811	60,138
70	21/02/1985	51,9	10,71	455	PI	4,460	11,900	0,000	3,800	-1	-1	P4	1,660	15,960	0,697	1,700	9,999	14,000



Tabela 5.5 – Resultado da calibração dos parâmetros Ns e Kr para as parcelas 1 e 4

CH	DATA	IH60 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Duração (min)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Kr	EC (kg)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Kr	EC (kg)
71	27/02/1985	2,9	31,67	167	P1	8,820	23,734	12,000	8,880	3,200	23,680	P4	11,200	51,832	7,719	11,200	4,513	51,832
72	02/03/1985	7,7	24,00	75	P1	1,120	1,810	9,200	1,135	4,651	1,806	P4	3,670	13,170	1,434	3,670	4,005	13,170
74	04/03/1985	12,4	23,20	449	P1	12,300	13,250	0,000	11,000	-1	-1	P4	9,190	40,025	2,414	9,190	3,534	40,000
75	18/03/1985	0,2	36,00	318	P1	1,540	1,770	22,000	1,539	6,648	1,768	P4	2,430	4,680	17,409	2,430	6,081	4,680
76	19/03/1985	12,0	91,50	860	P1	12,500	63,090	3,255	12,500	2,350	3,200	P4	12,454	44,928	3,500	12,409	1,325	44,897
78	24/03/1985	24,4	8,11	965	P1	2,460	0,081	0,000	0,982	-1	-1	P4	1,610	0,436	0,000	0,983	-1	-1
106	05/06/1985	18,9	31,26	466	P1	3,890	1,870	17,250	3,892	0,675	1,876	P4	7,830	14,451	3,442	7,800	1,449	14,400
108	12/06/1985	25,4	28,42	484	P1	7,780	11,180	0,192	7,783	1,401	11,180	P4	5,050	11,415	7,424	5,000	2,235	11,800
110	07/12/1985	0,0	86,40	190	P1	3,672	53,810	47,886	3,671	10,000	22,991	P4	7,181	2,700	28,858	7,000	0,220	2,800
111	14/12/1985	3,0	61,00	261	P1	17,091	40,480	10,400	17,090	1,631	40,406	P4	20,450	36,798	6,698	20,500	1,021	36,800
114	06/02/1986	6,0	32,00	389	P1	1,730	2,005	7,990	1,731	1,988	2,011	P4	2,630	1,949	3,701	2,580	0,647	2,000
117	13/02/1986	52,7	54,00	689	P1	7,750	4,232	0,000	4,910	-1	-1	P4	4,990	1,946	0,000	4,901	-1	-1
118	26/02/1986	0,1	117,00	448	P1	7,780	3,917	19,156	7,780	0,123	3,920	P4	10,577	5,048	10,207	10,500	0,128	5,000
119	28/02/1986	12,0	126,00	674	P1	7,990	4,722	47,000	7,910	0,762	4,710	P4	11,620	6,310	24,000	11,800	0,329	6,500
120	02/03/1986	17,9	38,00	719	P1	4,200	1,182	0,100	4,250	0,209	1,179	P4	1,070	0,930	0,000	4,530	-1	-1
122	04/03/1986	19,2	210,00	25	P1	7,740	3,834	1,400	7,720	0,000	19,650	P4	6,140	2,813	5,280	6,139	0,000	12,612
123	05/03/1986	17,4	52,28	139	P1	6,310	1,560	2,700	6,321	0,089	1,559	P4	6,680	1,505	2,000	6,682	0,070	1,507
124	08/03/1986	8,0	144,00	94	P1	13,580	5,197	45,000	13,530	0,000	8,889	P4	18,160	8,185	20,190	6,170	0,000	10,713
132	09/04/1986	21,9	43,20	222	P1	8,940	4,894	9,900	8,900	0,490	4,880	P4	12,710	6,989	1,490	12,729	0,296	6,978
136	21/04/1986	1,3	60,60	325	P1	17,930	16,221	11,600	17,900	0,428	16,219	P4	14,790	20,347	23,500	14,730	0,646	20,334
137	22/04/1986	21,5	30,92	83	P1	4,620	2,109	3,300	4,600	0,420	2,100	P4	3,150	1,953	9,150	3,149	0,637	1,952
139	06/05/1986	3,1	30,00	880	P1	1,270	0,305	11,500	1,300	1,500	0,300	P4	3,290	0,563	4,800	3,293	0,375	0,563
143	24/11/1986	0,0	102,00	659	P1	1,009	1,682	5,650	1,000	10,000	1,200	P4	4,343	0,664	21,100	4,343	0,124	0,661
144	07/02/1987	3,7	96,00	49	P1	2,588	2,368	8,400	2,580	1,178	2,360	P4	2,841	2,437	7,400	2,846	0,666	2,434
146	12/02/1987	5,6	25,20	144	P1	1,751	3,473	7,040	1,751	7,953	3,470	P4	1,344	2,923	8,280	1,354	7,037	2,922
149	03/03/1987	6,2	63,00	785	P1	17,071	14,448	16,400	17,020	0,549	14,447	P4	18,143	30,178	13,000	18,110	0,912	30,155

Tabela 5.5 – Resultado da calibração dos parâmetros Ns e Kr para as parcelas 1 e 4

CH	DATA	IH60 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Duração (min)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Kr	EC (kg)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Kr	EC (kg)
150	10/03/1987	1,3	84,00	562	P1	1,341	0,792	12,820	1,340	0,960	0,490	P4	1,300	2,283	8,530	1,400	0,589	2,300
152	15/03/1987	4,1	99,00	250	P1	13,617	3,883	8,900	13,650	0,000	7,707	P4	11,843	5,576	17,000	5,570	0,024	11,880
155	02/05/1987	0,3	31,70	250	P1	4,500	10,825	19,680	4,500	4,447	10,820	P4	6,429	15,833	11,250	6,800	2,099	16,000
158	28/06/1987	1,9	33,00	669	P1	5,077	6,145	5,500	5,090	4,066	6,139	P4	5,974	114,318	0,520	5,974	9,900	48,724
159	29/06/1987	16,1	27,00	382	P1	1,269	1,319	2,086	1,269	2,372	1,320	P4	1,203	1,294	2,109	1,300	1,397	1,300
164	15/02/1988	42,8	159,00	108	P1	18,019	7,354	30,000	18,070	0,000	16,517	P4	19,854	31,380	17,300	19,835	0,210	31,327
165	23/02/1988	1,3	22,00	158	P1	2,158	8,916	5,800	2,200	9,900	7,600	P4	1,482	3,004	8,200	1,456	5,040	3,065
166	24/02/1988	8,1	96,00	441	P1	34,641	42,361	0,000	29,329	-1	-1	P4	16,476	29,286	18,900	16,479	1,064	29,284
167	25/02/1988	35,9	21,00	230	P1	7,719	6,086	0,000	6,600	-1	-1	P4	5,137	5,383	0,650	5,138	1,616	5,380
169	09/03/1988	0,7	90,00	400	P1	3,984	4,508	38,000	3,940	0,562	4,504	P4	5,345	2,220	17,000	5,390	0,043	2,218
170	11/03/1988	5,8	288,00	167	P1	33,006	38,349	14,800	33,070	0,000	112,310	P4	29,870	43,885	28,500	29,850	0,000	73,720
172	14/03/1988	12,8	42,00	111	P1	7,092	27,232	2,091	7,092	1,666	27,230	P4	6,249	30,288	3,673	6,400	1,340	30,300
173	15/03/1988	16,0	115,20	94	P1	21,841	36,384	8,514	21,840	0,373	36,380	P4	21,676	42,985	8,895	22,000	0,317	43,200
175	21/03/1988	4,8	114,00	289	P1	12,868	38,598	6,505	12,870	1,914	38,600	P4	11,825	32,326	9,090	11,900	1,013	33,000
177	24/03/1988	7,5	120,00	535	P1	13,129	23,748	7,000	13,150	0,263	23,742	P4	11,933	43,002	11,500	11,990	0,748	42,997
178	05/04/1988	0,1	108,00	113	P1	8,820	44,046	22,500	8,830	2,524	44,030	P4	8,292	35,678	26,000	8,202	1,649	35,676
179	08/04/1988	5,3	108,00	608	P1	7,939	14,627	9,880	7,939	0,758	14,630	P4	7,012	25,147	14,120	7,000	1,093	25,000
181	13/04/1988	3,8	144,00	202	P1	18,596	43,657	17,392	18,596	0,652	43,660	P4	13,871	42,141	43,890	13,900	0,696	43,000
183	19/04/1988	4,1	90,00	91	P1	12,868	33,542	5,476	12,868	2,118	33,540	P4	8,740	28,892	15,970	8,700	1,914	28,900
184	20/04/1988	16,2	28,00	58	P1	1,464	1,354	2,800	1,460	1,712	1,350	P4	1,266	1,269	3,500	1,263	1,282	1,500
185	22/04/1988	8,5	42,00	934	P1	13,782	21,686	0,763	13,782	2,744	21,690	P4	10,625	19,871	3,945	10,700	1,953	20,000
186	30/04/1988	3,1	80,00	35	P1	20,062	22,623	0,000	14,800	-1	-1	P4	7,959	1,348	10,000	7,970	0,003	1,356
187	06/05/1988	1,0	90,00	218	P1	8,042	16,242	5,193	8,042	1,573	16,240	P4	8,136	18,995	4,900	8,000	1,021	19,000
189	09/07/1988	0,0	144,00	452	P1	29,390	33,701	12,414	29,390	2,337	33,700	P4	24,339	52,178	26,850	24,400	0,626	52,200
193	12/01/1989	0,0	54,00	357	P1	4,506	6,764	19,000	4,500	2,480	6,762	P4	3,522	1,928	23,500	3,530	0,687	1,940
195	19/01/1989	0,9	54,00	197	P1	7,787	8,513	6,900	7,797	0,520	8,509	P4	5,816	6,148	16,780	5,810	0,472	6,147

Tabela 5.5 – Resultado da calibração dos parâmetros Ns e Kr para as parcelas 1 e 4

CH	DATA	IH60 (mm)	Imax (mm/h)	Duração (min)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Kr	EC (kg)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Kr	EC (kg)
197	01/03/1989	0,0	48,00	164	P1	8,102	17,105	7,250	8,107	1,411	17,106	P4	7,969	17,518	7,790	7,968	1,152	17,507
198	22/03/1989	0,0	114,00	133	P1	17,203	42,217	17,650	17,217	1,250	42,220	P4	15,821	73,074	25,400	15,900	1,777	73,000
199	25/03/1989	9,3	118,80	857	P1	18,250	46,044	6,380	18,250	0,698	18,252	P4	16,798	41,486	10,335	16,800	0,436	41,500
201	28/03/1989	13,2	114,00	808	P1	58,255	73,241	1,970	58,300	0,128	73,200	P4	48,532	230,225	0,000	40,000	-1	-1
203	01/04/1989	15,7	18,86	309	P1	1,220	0,247	3,600	1,224	0,475	0,246	P4	3,982	2,490	0,000	2,800	-1	-1
204	02/04/1989	18,4	19,09	115	P1	3,167	0,413	0,380	3,170	0,241	0,412	P4	0,929	2,001	4,850	0,926	8,680	2,000
208	08/04/1989	20,3	36,00	523	P1	16,323	19,003	0,000	10,560	-1	-1	P4	12,211	24,556	0,000	10,000	-1	-1
209	16/04/1989	1,9	96,00	135	P1	24,506	26,103	21,600	24,554	0,758	26,110	P4	23,088	41,384	29,630	23,088	0,317	41,312
211	23/04/1989	5,1	22,67	391	P1	1,034	1,422	4,850	1,022	4,174	1,420	P4	3,117	2,694	0,000	2,000	-1	-1
212	27/04/1989	1,6	132,00	442	P1	7,989	15,636	9,400	7,942	3,276	15,635	P4	7,969	9,752	0,000	0,000	-1	-1
215	09/05/1989	0,8	63,00	301	P1	4,097	8,935	9,900	4,061	3,350	8,933	P4	2,430	1,841	17,200	2,500	1,028	1,850
217	12/05/1989	6,4	36,00	255	P1	1,258	1,583	0,300	1,242	9,793	1,576	P4	2,603	3,701	0,000	1,500	-1	-1
218	11/06/1989	0,0	120,00	330	P1	9,507	12,702	6,200	9,574	0,947	12,700	P4	9,535	7,573	6,320	9,514	0,389	7,565
220	13/06/1989	27,5	14,18	300	P1	2,608	0,596	0,000	1,800	-1	-1	P4	12,403	7,843	0,000	10,000	-1	-1
224	04/07/1989	3,8	84,00	218	P1	2,858	2,097	1,270	2,826	0,685	2,096	P4	3,967	2,346	0,160	3,939	0,376	2,346
226	06/07/1989	19,7	95,00	375	P1	19,902	61,366	2,690	19,909	0,924	61,316	P4	14,835	36,480	16,840	14,867	0,644	36,486
227	07/07/1989	30,2	44,00	305	P1	14,915	11,568	0,000	13,100	-1	-1	P4	12,785	12,478	0,087	12,800	1,139	12,480
229	20/09/1989	0,0	66,00	190	P1	14,702	27,972	13,200	14,703	1,820	27,961	P4	10,581	16,607	28,900	10,589	1,191	16,603
238	09/02/1990	7,5	156,00	98	P1	16,334	22,816	22,700	16,330	0,342	22,812	P4	14,356	21,654	31,690	14,530	0,260	21,730
239	10/02/1990	26,0	42,00	146	P1	3,287	16,787	2,840	3,281	7,359	16,784	P4	1,967	6,053	6,074	2,000	2,963	6,100
240	25/02/1990	0,2	78,00	572	P1	2,729	27,913	0,000	0,000	-1	-1	P4	1,336	0,564	0,000	1,000	-1	-1
241	26/02/1990	6,9	78,00	378	P1	4,988	3,507	1,360	4,959	0,594	3,506	P4	3,390	0,821	4,900	3,323	0,110	0,818
242	07/04/1990	0,0	84,00	335	P1	3,230	9,956	10,000	3,220	5,395	9,953	P4	4,457	7,196	5,400	4,451	1,793	7,193
245	30/04/1990	5,8	25,50	957	P1	7,896	11,515	0,325	7,896	2,384	11,515	P4	7,739	3,882	0,455	7,800	0,489	3,900

CH - cheia ou número do evento;

IH60 - Índice de umidade para K igual a 0,6

Imax - intensidade máxima do evento;

Duração - duração total do evento em minutos;

EXP - tipo do experimento (parcela ou microbacia)

Ns – parâmetro de umidade/tenção de sucção

Kr – parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial

LO – lâmina observada

EO – erosão observada

LC – erosão calculada

-1 – não foi possível calcular

Tabela 5.6 - Resultado da calibração dos Parâmetros Ns e Kr e a para a Microbacia 3

CH	DATA	IH60 (mm)	IH95 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Duracao (min)	SDiasa (mm)	Chant (mm)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Krmed	a	EC (kg)	amed	EC (kg)
4	23/04/1982	1,2	35,1	94,50	108	2,2	0,0	43,7	M3	6,640	155,480	31,500	6,670	1,786	0,00001	200,000	0,022	200,000
16	07/02/1983	13,7	49,1	24,00	455	40,3	10,0	44,5	M3	0,480	1,799	92,000	0,480	1,786	0,00100	1,700	0,022	33,88
22	06/04/1983	0,1	4,9	42,80	125	0,0	0,0	26,1	M3	1,518	14,336	127,000	1,528	1,786	0,00001	30,000	0,022	25,150
35	03/04/1984	6,9	18,1	13,71	579	2,1	9,0	25,0	M3	3,223	191,216	0,900	3,210	1,786	0,00840	191,393	0,022	468,87
36	04/04/1984	19,1	36,6	20,18	1010	10,8	25,2	45,0	M3	9,324	704,080	2,500	9,314	1,786	0,00800	704,620	0,022	1743,782
37	05/04/1984	38,5	69,4	17,50	241	77,4	45,0	16,9	M3	3,711	129,780	1,200	3,696	1,786	0,00532	129,841	0,022	484,583
39	15/04/1984	3,9	24,1	18,33	908	8,8	4,9	9,0	M3	2,222	44,309	3,000	2,202	1,786	0,00180	44,253	0,022	409,563
40	18/04/1984	4,7	88,4	22,40	257	16,0	4,0	20,5	M3	4,950	126,337	12,600	4,975	1,786	0,00217	126,324	0,022	960,623
41	19/04/1984	15,1	37,0	62,25	206	36,6	20,5	12,4	M3	3,774	141,954	14,000	3,805	1,786	0,00001	180,580	0,022	180,563
45	26/04/1984	8,6	57,7	30,55	248	18,0	1,4	7,4	M3	0,936	32,760	13,400	0,947	1,786	0,00415	32,797	0,022	151,66
46	19/05/1984	1,8	6,5	28,80	568	2,5	2,5	29,0	M3	2,220	22,360	53,000	2,245	1,786	0,00097	22,329	0,022	336,69
47	20/05/1984	18,5	30,2	20,70	271	29,6	29,0	10,8	M3	2,550	28,600	8,500	2,600	1,786	0,00072	28,598	0,022	488,91
49	23/05/1984	8,6	29,4	59,40	368	46,2	0,6	27,2	M3	5,100	46,800	43,000	5,076	1,786	0,00001	200,290	0,022	650,45
50	24/05/1984	21,5	48,2	23,68	303	69,0	27,2	17,3	M3	2,026	117,240	12,300	2,052	1,786	0,00645	117,302	0,022	362,8
58	04/02/1985	8,5	20,5	22,58	165	14,4	13,5	14,4	M3	3,786	195,624	14,500	3,900	1,786	0,00418	195,791	0,022	1247,56
59	05/02/1985	13,7	29,6	41,60	273	28,0	14,3	34,8	M3	16,800	407,897	13,000	16,734	1,786	0,01099	407,561	0,022	5938,8
61	11/02/1985	59,0	105,0	21,78	631	94,5	94,2	40,5	M3	9,220	260,000	0,000	0,000	1,786	-1	-1	0,022	-1
63	13/02/1985	41,2	112,7	43,29	594	142,6	8,9	30,2	M3	10,651	193,440	4,500	10,588	1,786	0,00001	220,000	0,022	720,00
66	17/02/1985	13,6	184,2	30,60	349	51,0	5,0	40,3	M3	8,967	222,560	7,500	9,003	1,786	0,00001	250,000	0,022	532,68
69	20/02/1985	56,3	148,9	37,13	331	143,1	45,4	30,2	M3	9,760	103,126	13,400	9,749	1,786	0,00001	350,100	0,022	785,40
70	21/02/1985	51,9	152,3	10,71	455	175,6	30,2	10,2	M3	0,928	20,830	1,580	0,927	1,786	0,00720	20,070	0,022	57,7
71	27/02/1985	2,9	61,3	31,67	167	9,8	0,0	32,8	M3	12,739	151,632	5,200	12,699	1,786	0,00001	295,970	0,022	3329,98
73	03/03/1985	10,4	218,1	18,35	361	30,0	0,0	10,2	M3	0,924	4,014	8,500	0,922	1,786	0,00080	4,310	0,022	15,00
74	04/03/1985	12,4	57,4	23,20	449	19,4	10,2	21,6	M3	6,004	58,830	9,000	6,060	1,786	0,00020	59,777	0,022	350,00
76	19/03/1985	12,0	24,3	91,50	860	21,6	19,8	23,5	M3	7,132	301,998	24,000	7,180	1,786	0,00001	337,270	0,022	780,00
77	23/03/1985	7,2	130,0	15,75	834	25,0	0,0	33,5	M3	0,901	-1,000	0,000	-1	1,786	-1	-1	0,022	-1
106	05/06/1985	18,9	90,9	31,26	466	1,6	1,4	34,9	M3	4,600	606,320	14,000	4,480	1,786	0,01010	603,220	0,022	1172,74
107	11/06/1985	1,7	60,0	76,00	250	0,0	0,0	40,7	M3	21,716	2279,144	5,100	21,726	1,786	0,00001	2458,770	0,022	3500,00
108	12/06/1985	25,4	46,4	28,42	484	38,8	40,6	11,6	M3	3,240	284,097	15,310	3,243	1,786	0,00740	284,350	0,022	1108,1

Tabela 5.6 - Resultado da calibração dos Parâmetros Ns e Kr e a para a Microbacia 3

CH	DATA	IH60 (mm)	IH95 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Duracao (min)	5Diasa (mm)	Chant (mm)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Krmed	a	EC (kg)	amed	EC (kg)
114	06/02/1986	6,0	13,5	32,00	389	11,8	8,4	8,5	M3	1,680	109,375	8,150	1,691	1,786	0,00540	109,348	0,022	558,9
116	12/02/1986	1,2	11,2	82,00	252	14,0	0,0	86,6	M3	44,875	3409,529	45,000	44,812	1,786	0,00001	3959,660	0,022	22213,6
117	13/02/1986	52,7	83,1	54,00	689	94,4	86,6	30,3	M3	4,580	684,678	0,215	4,523	1,786	0,01060	686,150	0,022	1696,3
121	03/03/1986	21,2	131,2	18,75	322	87,4	0,0	10,7	M3	1,140	68,822	0,680	1,142	1,786	0,00696	68,810	0,022	320,1
122	04/03/1986	19,2	59,1	210,00	25	65,2	10,7	9,8	M3	2,491	160,677	216,600	2,494	1,786	0,00001	274,360	0,022	650,6
123	05/03/1986	17,4	58,6	52,28	139	75,8	9,8	13,4	M3	4,970	218,351	5,930	4,971	1,786	0,00085	218,610	0,022	1958,1
124	08/03/1986	8,0	46,1	144,00	94	35,4	2,2	33,2	M3	17,448	581,239	22,480	17,447	1,786	0,00001	2963,070	0,022	10200,5
126	21/03/1986	3,7	131,1	90,00	568	10,0	0,0	130,8	M3	94,236	6500,528	3,460	94,237	1,786	0,00001	7238,660	0,022	46518,4
132	10/04/1986	21,9	55,2	43,20	222	5,0	4,7	27,2	M3	8,597	1288,841	10,650	8,597	1,786	0,01000	1288,100	0,022	3434,6
134	15/04/1986	10,7	164,8	18,00	1147	6,0	5,0	8,0	M3	0,410	26,489	6,880	0,411	1,786	0,00001	45,000	0,022	61,8
135	15/04/1986	10,7	44,9	22,90	417	16,8	8,8	8,0	M3	1,350	65,448	7,750	1,347	1,786	0,00840	65,451	0,022	335,8
136	21/04/1986	1,3	20,8	60,60	325	1,5	0,6	34,5	M3	18,346	3121,695	9,550	18,347	1,786	0,00620	3123,320	0,022	8792,3
137	22/04/1986	21,5	47,0	30,92	83	34,3	34,5	10,3	M3	4,220	342,943	31,800	4,216	1,786	0,00091	342,860	0,022	1103,1
141	16/07/1986	1,9	16,7	27,00	908	5,0	5,0	28,6	M3	0,465	21,816	64,300	0,467	1,786	0,01565	21,810	0,022	95,4
142	20/07/1986	3,9	36,9	54,00	288	7,5	8,0	13,8	M3	1,250	65,282	22,150	1,251	1,786	0,00928	65,571	0,022	305,2
151	12/03/1987	8,3	62,9	31,50	67	17,2	10,0	5,0	M3	0,413	-1,000	9,190	0,414	1,786	-1	-1	0,022	-1
152	15/03/1987	4,1	21,8	99,00	250	25,2	0,0	27,2	M3	12,965	633,817	10,530	12,968	1,786	0,00001	1864,030	0,022	6603,36
153	28/03/1987	0,4	8,7	152,00	923	2,2	0,0	63,6	M3	27,650	4800,676	0,000	-1	1,786	-1	-1	0,022	-1
155	02/05/1987	0,3	3,1	31,70	250	0,0	0,0	19,6	M3	2,313	1214,520	31,400	2,308	1,786	0,05840	1215,740	0,022	724,2
158	28/06/1987	1,9	4,2	33,00	669	6,6	2,8	24,9	M3	1,210	544,586	16,400	1,210	1,786	0,11000	520,000	0,022	246,2
159	29/06/1987	16,1	24,8	27,00	382	27,6	24,9	5,2	M3	1,371	168,182	2,170	1,371	1,786	0,01210	168,200	0,022	447,7
161	09/07/1987	0,9	30,6	48,00	272	7,0	2,0	26,4	M3	9,794	2823,699	6,670	9,792	1,786	0,02900	2848,860	0,022	3363,1
162	20/01/1988	0,1	2,0	78,00	155	0,0	0,0	24,6	M3	5,712	2061,864	79,500	5,709	1,786	0,02420	2068,660	0,022	2379,4
165	23/02/1988	1,3	25,7	22,00	158	0,0	0,0	12,2	M3	1,577	568,492	7,700	1,569	1,786	0,05000	563,460	0,022	437,9
167	25/02/1988	35,9	71,3	21,00	230	61,2	51,7	16,9	M3	6,454	1000,781	0,000	6,120	1,786	-1	-1	0,022	-1
168	02/03/1988	2,5	104,9	26,70	323	17,0	0,0	20,6	M3	4,638	571,508	5,750	4,640	1,786	0,01170	573,120	0,022	1515,8
169	09/03/1988	0,7	17,4	90,00	400	0,0	0,0	15,4	M3	3,391	448,007	46,500	3,386	1,786	0,00540	448,800	0,022	1483,3
172	14/03/1988	12,8	45,9	42,00	111	64,8	0,0	13,8	M3	5,669	1875,530	3,850	5,669	1,786	0,02180	1878,770	0,022	2356,1
174	19/03/1988	6,1	131,5	37,50	75	14,5	0,0	7,3	M3	1,689	580,074	25,758	1,689	1,786	0,04600	583,500	0,022	240,4

Tabela 5.6 - Resultado da calibração dos Parâmetros Ns e Kr e a para a Microbacia 3

CH	DATA	IH60 (mm)	IH95 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Duracao (min)	5Diasa (mm)	Chant (mm)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Krmed	a	EC (kg)	amed	EC (kg)
177	24/03/1988	7,5	38,8	120,00	535	33,3	2,2	22,1	M3	13,521	4019,039	5,500	13,521	1,786	0,00330	4079,820	0,022	8984,7
178	05/04/1988	0,1	8,7	108,00	113	0,0	0,0	22,1	M3	10,600	3615,401	13,515	10,602	1,786	0,01267	3615,190	0,022	5338,4
179	08/04/1988	5,3	19,6	108,00	608	22,0	0,0	16,4	M3	7,231	1286,654	20,300	7,232	1,786	0,00316	1286,160	0,022	3792,3
183	19/04/1988	4,1	25,5	90,00	91	11,7	0,3	23,0	M3	9,633	3504,551	11,368	9,631	1,786	0,01876	3504,730	0,022	3952,7
184	20/04/1988	16,2	41,3	28,00	58	34,3	23,0	5,5	M3	1,810	441,747	11,565	1,813	1,786	0,05475	441,270	0,022	241,1
186	30/04/1988	3,1	21,9	80,00	35	4,3	3,6	14,8	M3	5,361	887,392	87,070	5,361	1,786	0,00001	1039,210	0,022	3163,6
187	06/05/1988	1,0	14,6	90,00	218	1,4	0,0	16,0	M3	7,821	910,363	10,400	7,818	1,786	0,00352	909,960	0,022	3425,0
190	13/07/1988	7,1	64,4	12,85	353	0,0	0,0	10,3	M3	0,449	65,434	4,000	0,450	1,786	0,05750	65,640	0,022	78,6
193	12/01/1989	0,0	0,0	54,00	357	0,0	0,0	23,4	M3	9,154	746,217	4,520	9,151	1,786	0,00304	747,060	0,022	3493,8
197	01/03/1989	0,0	0,6	48,00	164	0,0	0,0	16,4	M3	6,751	941,854	12,550	6,750	1,786	0,00499	941,610	0,022	2977,6
198	22/03/1989	0,0	0,6	114,00	133	0,0	0,0	30,6	M3	20,603	2699,883	4,850	20,600	1,786	0,00200	2654,860	0,022	9366
199	25/03/1989	9,3	24,6	118,80	857	37,0	0,0	34,6	M3	14,852	3891,241	0,000	0,438	1,786	-1	-1	0,022	-1
200	27/03/1989	15,8	67,4	32,00	196	65,0	5,0	6,1	M3	0,438	546,810	14,450	0,438	1,786	0,35451	546,500	0,022	96,3
202	29/03/1989	63,6	154,5	44,00	13	40,0	0,0	9,2	M3	6,894	-1,000	13,835	6,892	1,786	-1	-1	0,022	-1
203	01/04/1989	15,7	75,8	18,86	309	102,4	9,2	14,9	M3	4,105	-1,000	0,000	2,577	1,786	-1	-1	0,022	-1
204	02/04/1989	18,4	77,1	19,09	115	108,0	14,9	8,8	M3	5,385	559,906	6,245	5,385	1,786	0,00538	559,620	0,022	1255,9
206	06/04/1989	7,5	133,7	14,00	284	23,0	3,0	6,4	M3	3,316	215,099	0,000	2,100	1,786	-1	-1	0,022	-1
207	07/04/1989	8,4	133,0	6,00	450	11,2	6,4	25,4	M3	10,438	714,906	0,000	2,820	1,786	-1	-1	0,022	-1
208	08/04/1989	20,3	62,7	36,00	523	36,4	25,4	27,0	M3	22,317	2251,472	0,000	10,330	1,786	-1	-1	0,022	-1
209	16/04/1989	1,9	28,2	96,00	135	5,8	0,0	39,8	M3	27,970	4397,258	9,010	27,970	1,786	0,00001	5420,500	0,022	-1
210	21/04/1989	3,2	126,6	66,00	137	40,0	0,0	10,8	M3	3,751	696,909	0,350	3,751	1,786	0,01623	696,560	0,022	1325,4
211	23/04/1989	5,1	29,6	22,67	391	9,4	0,0	7,6	M3	4,730	571,748	0,000	2,915	1,786	-1	-1	0,022	-1
212	27/04/1989	1,6	19,4	132,00	442	15,6	0,0	27,1	M3	16,759	3095,746	0,000	14,568	1,786	-1	-1	0,022	-1
215	09/05/1989	0,8	11,2	63,00	301	6,6	0,0	13,1	M3	4,785	1210,139	7,350	4,785	1,786	0,02100	1204,000	0,022	1257,72
216	11/05/1989	5,0	85,1	13,50	264	14,0	0,0	5,6	M3	0,576	191,692	1,900	0,578	1,786	0,05015	191,900	0,022	175,6
217	12/05/1989	6,4	19,7	36,00	255	16,5	0,0	11,2	M3	2,960	308,888	0,000	1,530	1,786	-1	-1	0,022	-1
218	11/06/1989	0,0	1,3	120,00	330	0,0	0,0	22,7	M3	11,947	-1,000	1,425	11,946	1,786	-1	-1	0,022	-1
225	05/07/1989	7,9	46,8	126,00	346	0,0	0,0	24,9	M3	16,185	1031,776	6,100	16,184	1,786	0,00001	1330,910	0,022	1800,000
226	06/07/1989	19,7	34,5	95,00	375	41,0	24,9	30,7	M3	21,775	3659,086	0,620	21,774	1,786	0,00026	3658,410	0,022	13236,7

Tabela 5.6 - Resultado da calibração dos Parâmetros Ns e Kr e a para a Microbacia 3

CH	DATA	IH60 (mm)	IH95 (mm)	Imax (mm/h)	Duracao (min)	5Diasa (mm)	Chant (mm)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Krmed	a	EC (kg)	amed	EC (kg)
228	08/07/1989	36,3	117,8	28,67	425	32,0	5,0	12,5	M3	5,265	436,053	0,000	5,080	1,786	-1	-1	0,022	-1
229	20/09/1989	0,0	0,2	66,00	190	0,0	0,0	39,4	M3	16,140	528,779	9,600	16,150	1,786	0,00038	528,120	0,022	6429,7
239	10/02/1990	26,0	39,8	42,00	146	47,1	35,8	9,1	M3	5,095	422,803	0,330	5,096	1,786	0,00497	423,130	0,022	1928,7
242	07/04/1990	0,0	0,0	84,00	335	0,0	0,0	15,2	M3	2,093	133,923	16,550	2,094	1,786	0,00671	134,010	0,022	639,1
245	30/04/1990	5,8	17,4	25,50	957	21,5	4,5	19,9	M3	8,281	584,962	0,025	8,285	1,786	0,00543	585,690	0,022	2003,9
247	28/05/1990	1,2	25,9	96,00	432	0,0	0,0	16,2	M3	5,178	812,857	6,430	5,175	1,786	0,01141	813,110	0,022	1992,0
253	19/10/1990	0,0	3,0	90,00	76	0,0	0,0	15,8	M3	10,160	1452,749	27,600	10,160	1,786	0,00670	1454,790	0,022	4475,1
254	22/01/1991	0,0	0,7	30,00	124	0,0	0,0	10,5	M3	0,425	177,754	15,080	0,426	1,786	0,14951	177,710	0,022	67,6

CH - cheia ou número do evento;

IH60 - Índice de umidade para K igual a 0,6

Imax - intensidade máxima do evento;

Duração - duração total do evento em minutos;

EXP - tipo do experimento (parcela ou microbacia)

5Diasa - total precipitado nos cinco dias anteriores ao evento

Chant - total precipitado no dia anterior ao evento

Chuva - total precipitado no dia do evento

Ns - parâmetro de umidade/tenção de sucção

Kr - parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial

LO - lâmina observada

EO - erosão observada

LC - erosão calculada

-1 - não foi possível calcular

Assim como no caso das parcelas, não foi possível calibrar  $N_s$  para alguns dos eventos selecionados na microbacia. Observa-se na Tabela 5.6, que para alguns eventos não foi possível calibrar o parâmetro de erosão. Este fato pode estar associado a erros na medição ou eventos de características singulares. Os eventos que apresentaram estes problemas foram eliminados pelos mesmos motivos citados para parcelas. Nota-se na mesma tabela uma grande variação no valor de  $N_s$  de evento para evento. Esta situação e as possíveis razões para este comportamento serão discutidos no próximo capítulo.

## 5.6 Relação entre Índices Físicos e os Parâmetros do Modelo WESP

Com base nos trabalhos de Lopes (1987), Srinivasan & Galvão (1995) e Santos (1998a) sabe-se que o parâmetro  $N_s$  possui uma relação com a umidade do solo no início do evento. A Equação 4.3 (a e b) já mostra esta dependência. Na prática, a variação de  $N_s$  entre os eventos refletem não somente a variação da umidade inicial do solo, mas também todos os outros efeitos que não correspondem a situação idealizada do modelo de infiltração. Assim, o desenvolvimento de uma relação que forneça o valor de  $N_s$  para um dado estado de umidade do solo seria um grande avanço na utilização de modelos de base física do tipo WESP. Pereira (1997) já tem observado uma variação do  $K_r$  com  $N_s$  e definiu uma relação gráfica entre os dois parâmetros. Assim, a identificação de uma relação quantitativa entre umidade inicial e o  $N_s$  seria de grande valia na determinação dos parâmetros do modelo WESP.

Gomes et al. (1987) verificaram a existência de uma relação entre a lâmina escoada nas parcelas e a umidade do solo utilizando o índice de Kohler (Gomes et al., 1987) para caracterizar a umidade do solo. Santos (1994), utilizando alguns eventos selecionados, em que a erosão na microbacia 3 foi maior do que 100 kg, determinou uma relação entre  $N_s$  e o número de dias antecedentes sem chuva. Pereira (1997), com base nos eventos utilizados por Santos e Galvão, testou a relação entre  $N_s$ ,  $K_r$  de parcelas e microbacias e os seguintes índices: índice de umidade de Kohler, precipitação total acumulada para os cinco dias anteriores ao evento e o número de dias anteriores ao evento sem a ocorrência de chuva. Após vários testes não foi encontrada nenhuma relação significativa entre os índices citados e os parâmetros do modelo. No entanto, Pereira (1997) encontrou uma clara tendência de variação entre  $K_r$  e  $N_s$ . Santos (1998a) analisou a relação entre  $N_s$  e o número de dias sem chuvas e entre a tensão capilar e a umidade do solo. Através de um aparato experimental o mesmo verificou que o parâmetro  $N_s$  cresce quando a tensão capilar cresce e diminui quando a umidade aumenta. Mesmo assim, não foi encontrada uma relação quantitativa entre os parâmetros e os índices



citados. Entretanto, a existência de uma dependência do parâmetro  $N_s$  com a umidade é uma condição implícita no modelo. Por esta razão, decidiu-se testar outros índices de umidade para encontrar esta relação.

Utilizando-se os valores dos parâmetros, resultantes da calibração, foram testadas as relações entre os mesmos e os seguintes índices: índice de umidade de Kohler, precipitação total acumulada nos cinco dias anteriores ao evento (mm), precipitação no dia do evento (mm) e precipitação total no dia anterior ao evento (mm). A relação que fornece o índice de Kohler é escrita como segue:

$$IH = K (IH_{i-1} + P_{i-1}) \quad (5.1)$$

onde  $K$  é um fator redutor com valor variável e que precisa ser determinado;  $IH_{i-1}$  é o índice de umidade do dia anterior ao evento (mm);  $P_{i-1}$  é a precipitação do dia anterior ao evento (mm).

Gomes et al. (1987) utilizaram o valor de 0,95 para  $K$  na relação entre a lâmina escoada e a precipitação para valores altos e baixos do índice de Kohler. Apesar de apresentar apenas duas relações, a influência deste índice sobre o escoamento ficou bem evidenciada. No presente caso, porém, não foi encontrada nenhuma relação entre os parâmetros do modelo e os índices acima citados resultando, na maioria dos casos, numa grande dispersão de pontos na relação gráfica (Figuras 5.12 a 5.19). Através de um programa para ajuste de função, foram testados o ajustamento de várias funções que relacionam os parâmetros aos índices citados. Os resultados obtidos mostraram um coeficiente de determinação em torno de 0,1, para a maioria dos casos. Estes resultados levaram a crer que os índices utilizados não eram satisfatórios para explicar a variação dos parâmetro, apesar da tendência visual que alguns gráficos apresentam (Fig. 12 e 13). Decidiu-se, então, testar outros valores para o redutor  $K$  na definição do índice da umidade. Assim, foram utilizados os valores de 0,5; 0,6; 0,7 e 0,8 para  $K$  na verificação da variação de  $N_s$  com o índice de umidade de Kohler.

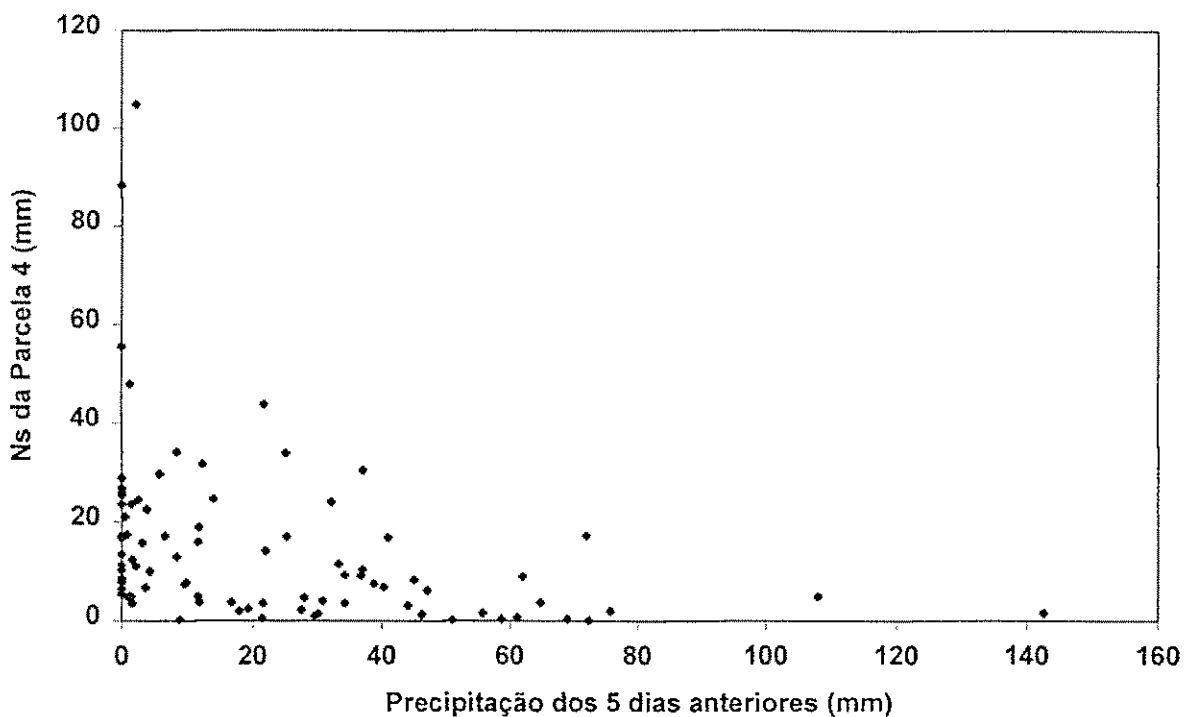


Figura 5.12 – Relação entre Ns da parcela 4 e o total precipitado nos 5 dias anteriores

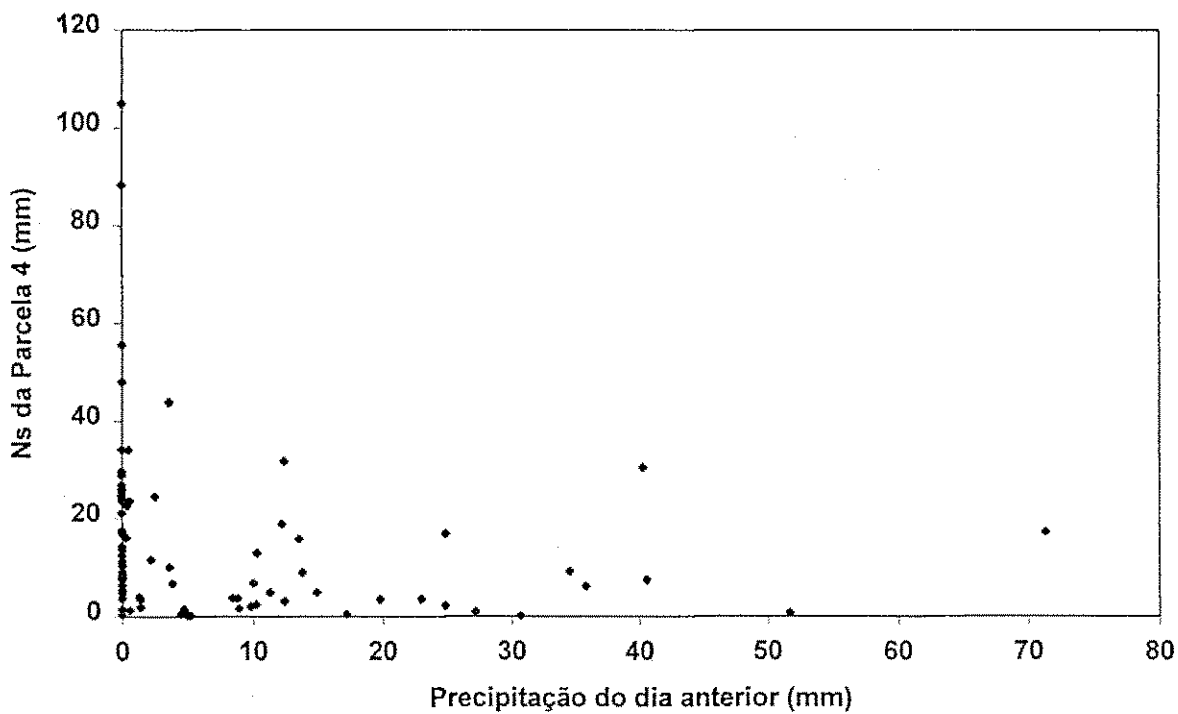


Figura 5.13 – Relação entre Ns da parcela 4 e o total precipitado no dia anterior

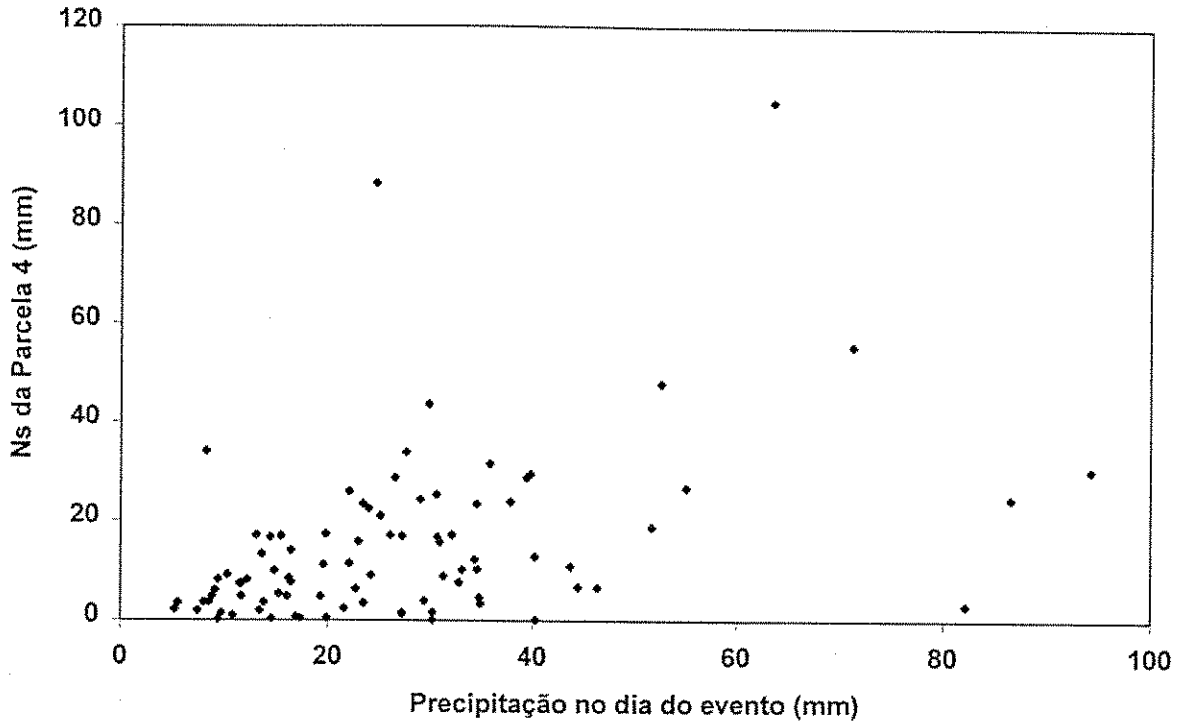


Figura 5.14 – Relação entre Ns da parcela 4 e o total precipitado no dia do evento

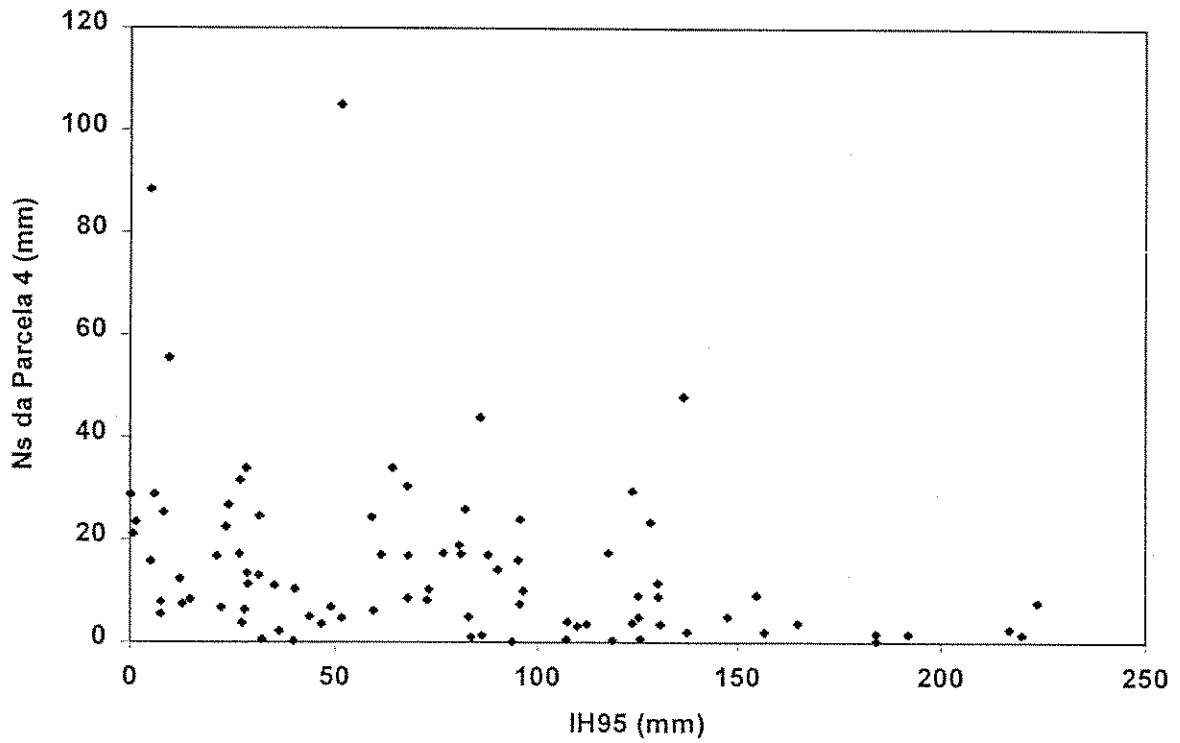


Figura 5.15 – Relação entre Ns da parcela 4 e o índice de umidade IH para K igual a 0.95

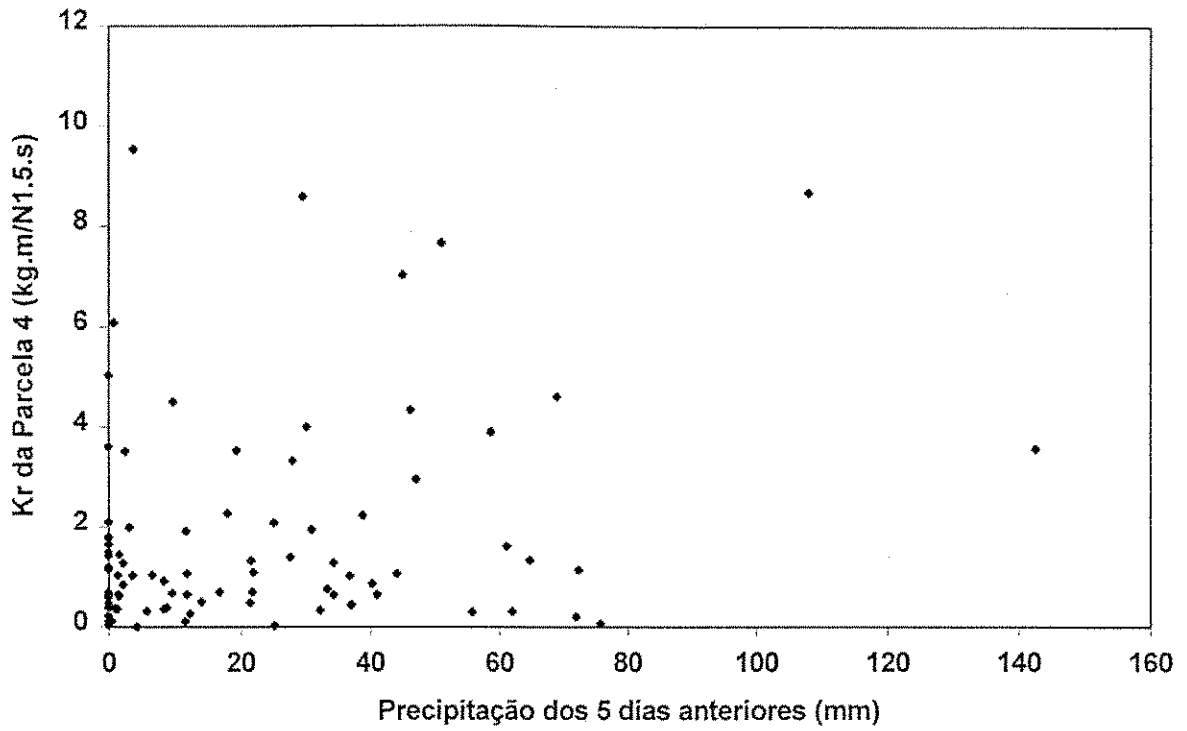


Figura 5.16 – Relação entre Kr da parcela 4 e o total precipitado nos 5 dias anteriores

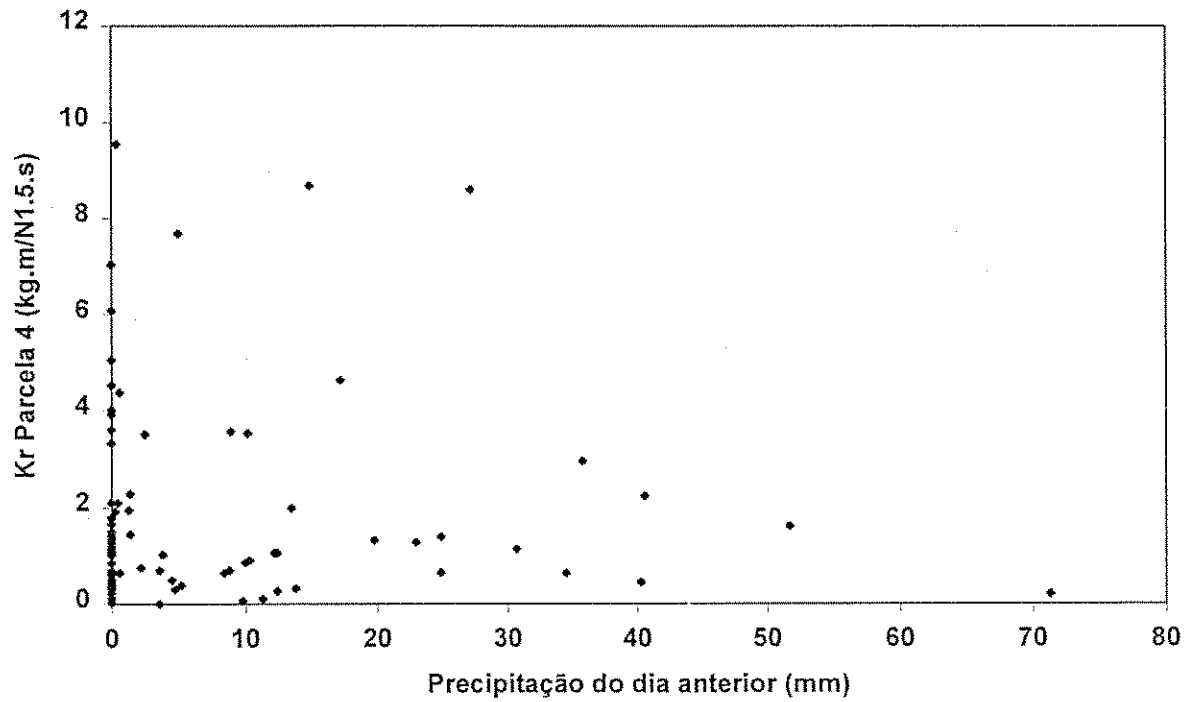


Figura 5.17 – Relação entre Kr da parcela 4 e o total precipitado no dia anterior

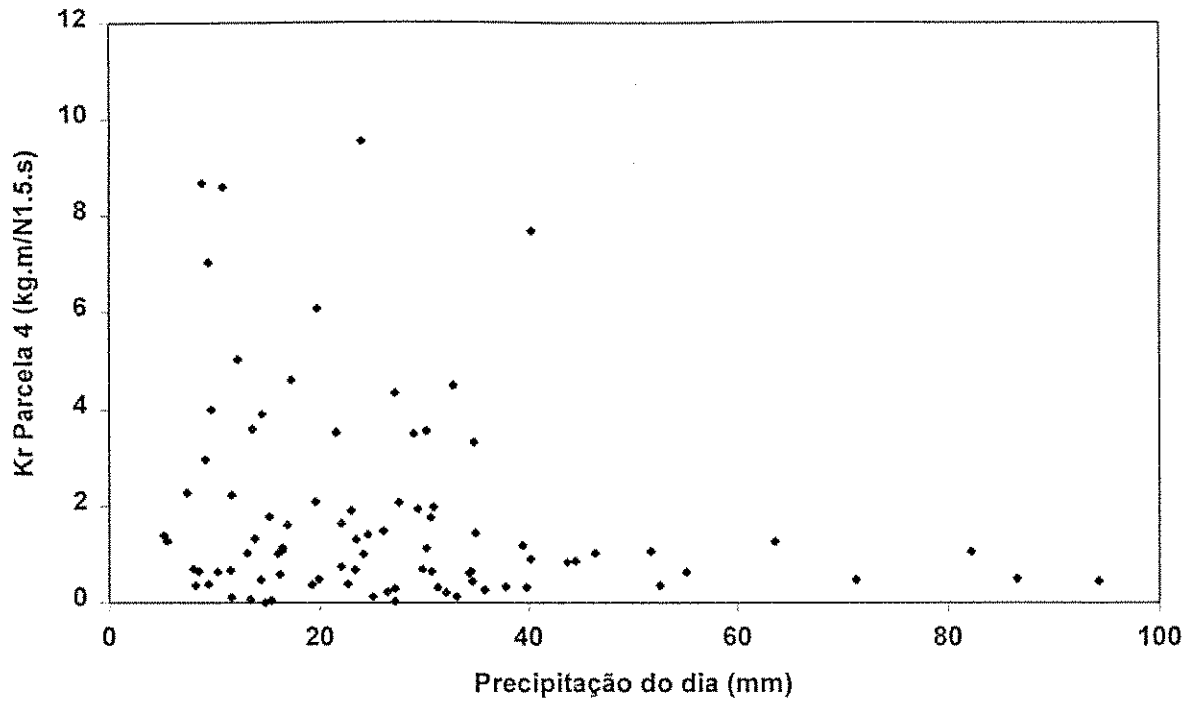


Figura 5.18 – Relação entre  $K_r$  da parcela 4 e o total precipitado no dia do evento

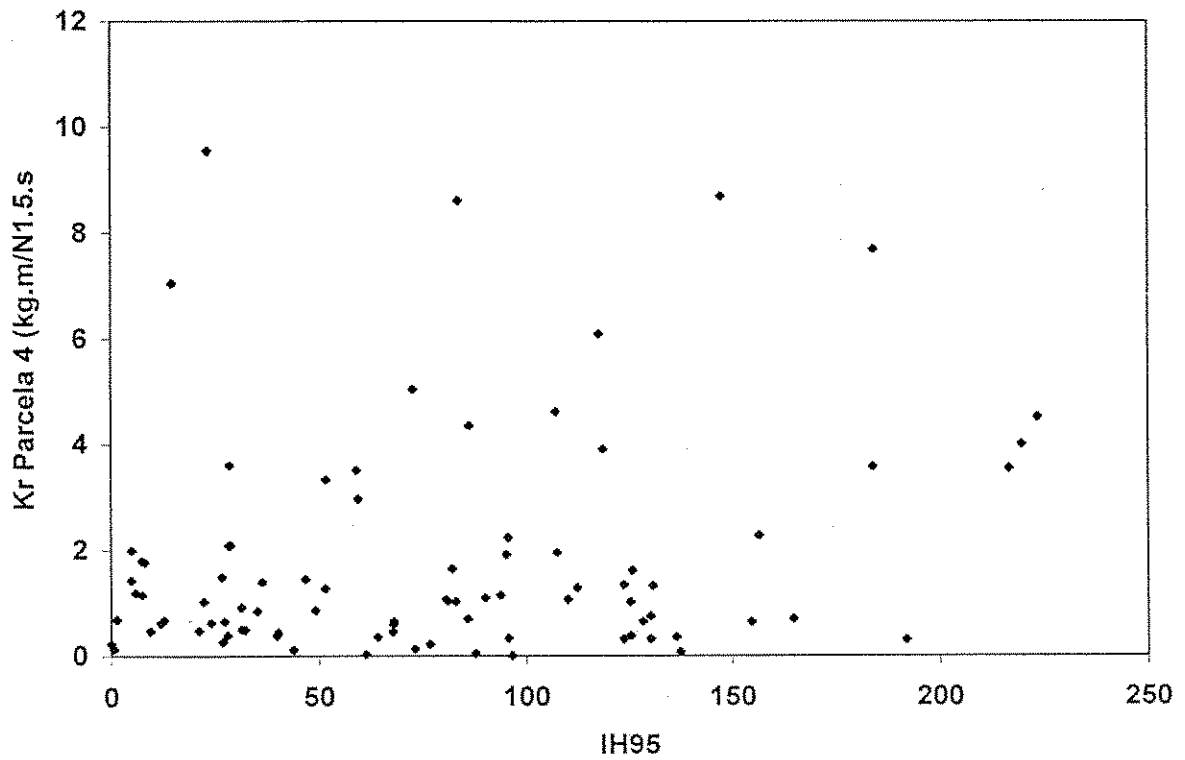


Figura 5.19 – Relação entre  $K_r$  da parcela 4 e o índice de umidade IH para K igual 0.95

De uma certa forma, o valor de  $K$  representa a capacidade do solo para reter a umidade, atendendo às demandas de evaporação e movimento de água para outras camadas. Tratando-se da capacidade do solo de recuperar a capacidade de infiltração, rapidamente ou lentamente, o valor redutor mais adequado seria aquele que reflete esta capacidade do solo. Assim, a melhor relação entre  $N_s$  e  $IH$  foi encontrada para  $K$  igual a 0,6. Através de uma ferramenta computacional foi determinada uma relação exponencial de regressão entre o parâmetro  $N_s$  e o índice de umidade,  $IH$ , para  $K$  igual a 0,60 conforme mostrado na Figura 5.20.

Uma vez definida a relação entre  $N_s$  e  $IH60$  foi verificada a existência de uma relação semelhante entre  $K_r$  e  $IH60$  (Figura 5.21). Não foram obtidos bons resultados, visto que a dispersão foi elevada e conseqüentemente nenhuma tendência clara pode ser constatada.

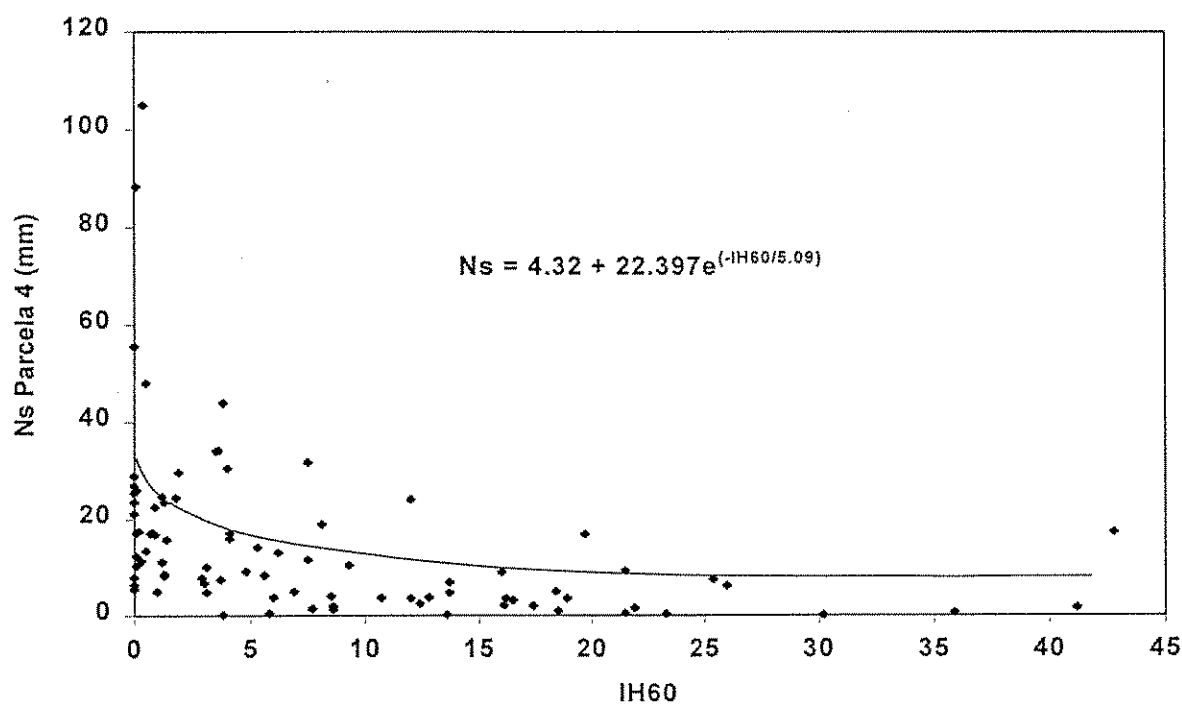


Figura 5.20 – Relação obtida entre  $N_s$  da parcela 4 e o índice de umidade  $IH60$

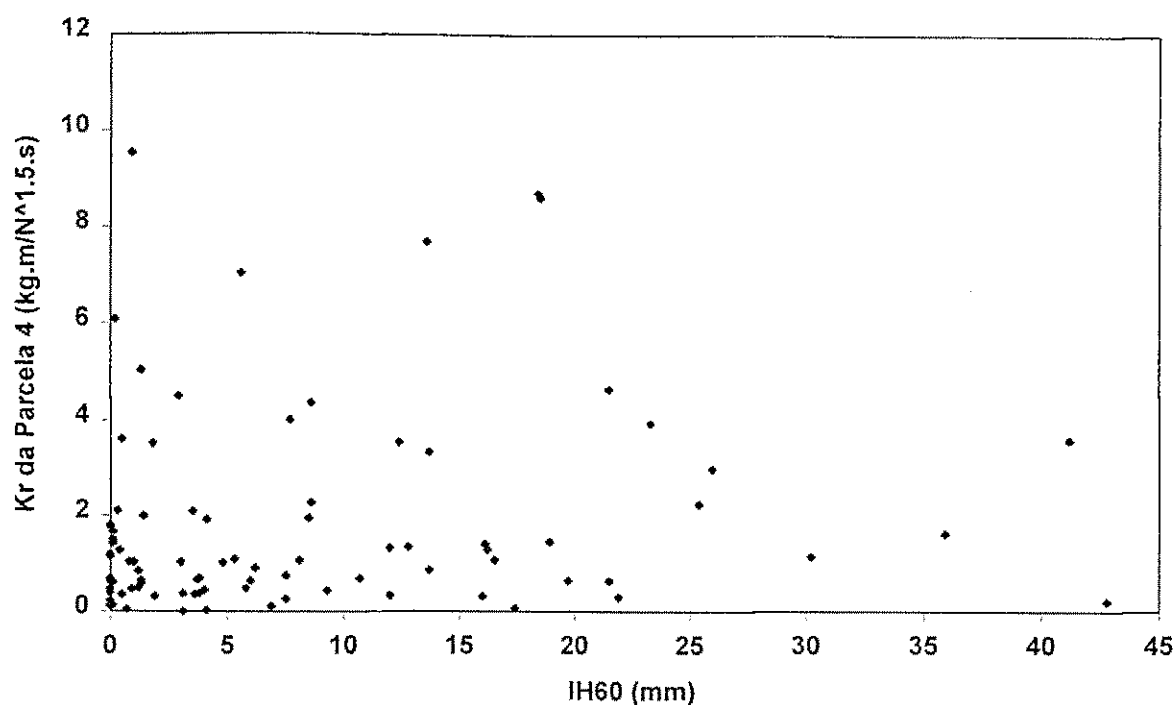


Figura 5.21 – Relação obtida entre  $K_r$  da parcela 4 e o índice de umidade IH60

A erosão depende dos fatores relacionados à precipitação (intensidade, duração), das características e da condição do solo (diâmetro mediano, umidade do solo, textura) e do escoamento (Leprun, 1981; Lal, 1990). Por sua vez, o escoamento depende da umidade e esta umidade está diretamente relacionada ao parâmetro  $N_s$ . Observa-se que existe, de forma indireta, uma relação entre  $N_s$  e o parâmetro ligado à erosão,  $K_r$ . A relação proposta por Pereira (1997) entre  $K_r$  e  $N_s$  foi verificada com base no conjunto de eventos usado no presente trabalho, tendo sido confirmada a tendência obtida pelo referido autor (Figura 5.22). Este fato confirma a existência de uma relação entre o parâmetro de erosão e a umidade do solo.

Quanto maior a umidade do solo a ligação entre as partículas torna-se mais frágil, pois a água tende a penetrar entre as partículas. Desta forma, um aumento na umidade fará com que o solo torne-se mais erodível. Sendo assim, para valores baixos de  $N_s$  (solo úmido), o valor de  $K_r$  deve ser alto. Apesar da verificação clara da tendência e do tipo de variação esperada, o coeficiente de correlação para a curva de melhor ajuste foi baixo. Isto leva a crer que, apesar da influência significativa da umidade do solo, outros fatores, como os acima citados, afetam a erodibilidade do solo e precisam ser investigados.

Com o intuito de definir melhor uma possível relação direta entre o parâmetro  $K_r$  e a umidade do solo, foram testadas graficamente as relações entre os parâmetros e o índice de umidade IH60 para um dia, dois e três dias anteriores ao evento (Figuras 5.23 a 5.25). Apesar

de não ser possível a determinação de uma relação quantitativa aceitável entre estas grandezas a melhor relação qualitativa entre o  $K_r$  da parcela 4 e o  $I_{H60}$  foi obtida quando relacionado com o índice de dois dias anteriores ao evento (Figura 5.24). O critério usado para esta escolha foi a análise visual das tendências obtidas.

As relações entre o parâmetros  $K_r$  do modelo, calibrado com os dados de parcela, e os índices físicos (precipitação total acumulada para os cinco dias anteriores ao evento, precipitação total no dia anterior ao evento e precipitação no dia do evento) não foram boas. Este fato merece uma investigação futura detalhada, visto que as parcelas possuem condições topográficas mais homogêneas, e as propriedades das diversas camadas de solo poderiam, ser importantes na definição desta relação. Por isso decidiu-se utilizar índice de umidade de Kohler somente para relacionar os parâmetros  $N_s$  e  $a$  da microbacia 3.

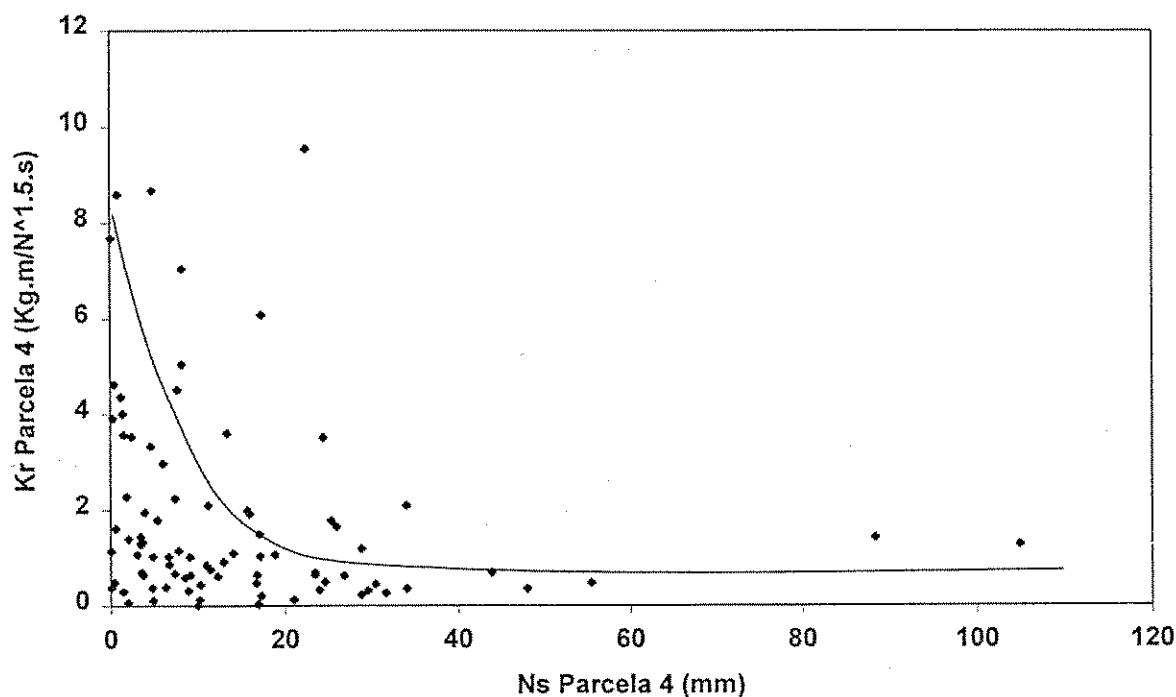


Figura 5.22 – Relação entre  $N_s$  da parcela 4 e  $K_r$  da parcela 4



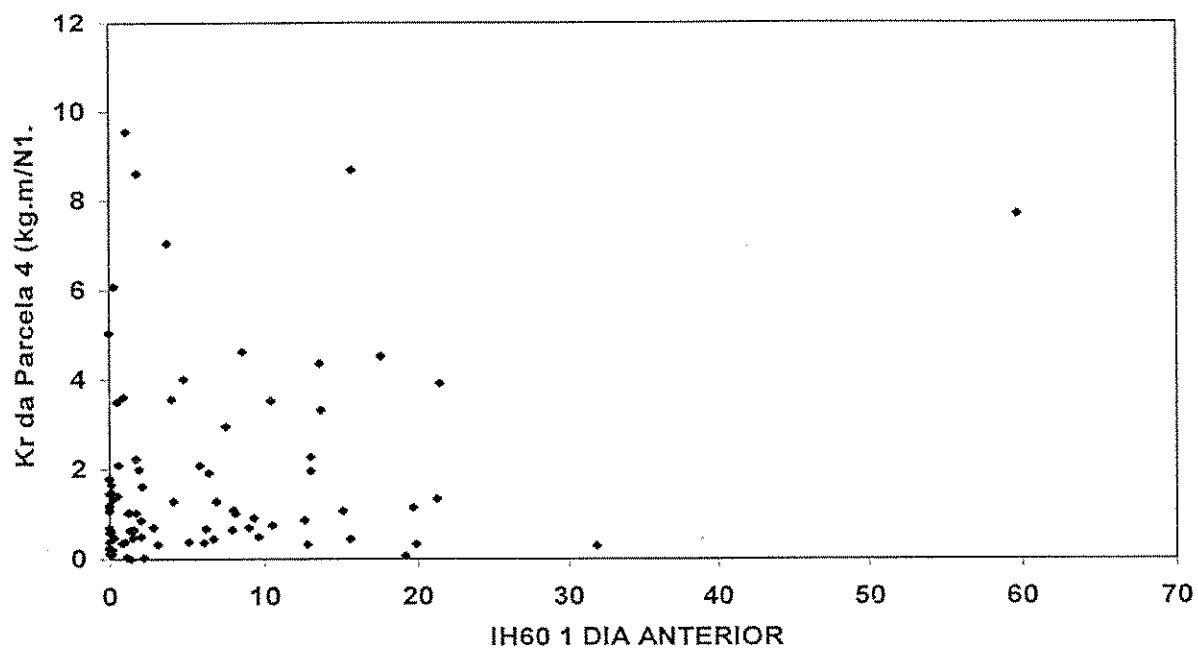


Figura 5.23 – Relação entre Kr da parcela 4 e IH60 para 1 dia anterior ao evento

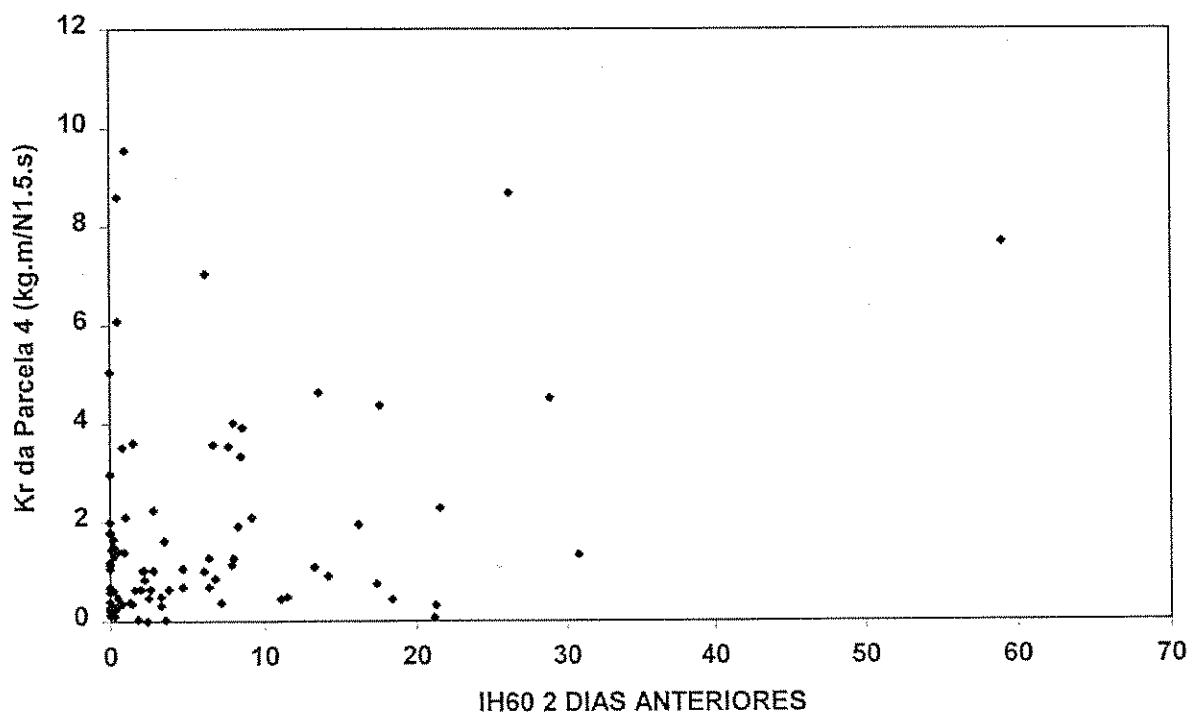


Figura 5.24 – Relação entre Kr da parcela 4 e IH60 para 2 dias anteriores ao evento

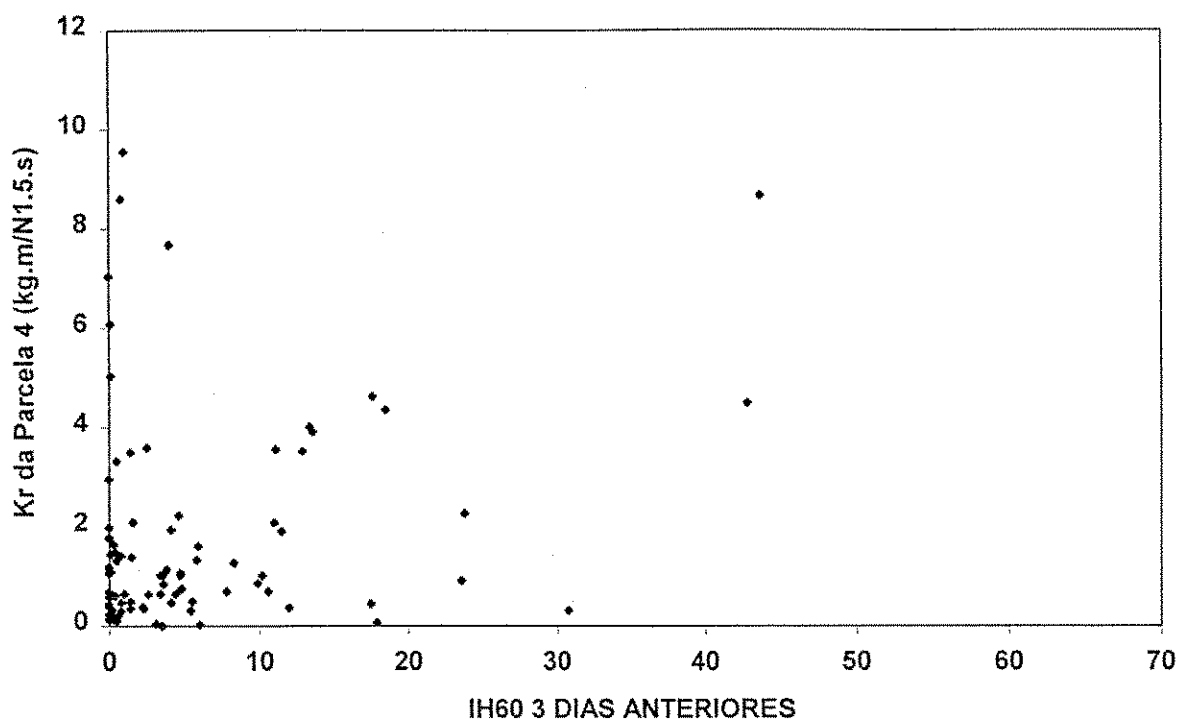


Figura 5.25 - Relação entre Kr da parcela 4 e IH60 para 3 dias anteriores ao evento

Inicialmente foi testada a relação entre os valores de  $N_s$  e o índice de umidade  $IH60$  (Figura 5.26). Aparentemente existe uma tendência entre  $N_s$  da microbacia 3 e  $IH60$ . Foi efetuada uma análise de correlação bem como a foi testado o ajustamento de curva, mas para os dois casos citados não foram obtidos bons resultados. Posteriormente foram testadas as relações entre  $N_s$  e  $a$ , e entre  $a$  e  $IH60$  (Figuras 5.27 e 5.28). Assim como para  $K_r$  obteve-se uma grande dispersão na relação entre o parâmetro  $a$  e o  $IH60$ . Nota-se, para um único valor de  $a$ , vários valores de  $IH60$ . No gráfico de dispersão, que mostra a relação entre  $a$  e  $N_s$ , a nuvem de pontos mostra uma tendência interessante (Figura 5.28), bem diferente da tendência mostrada pela relação entre  $K_r$  e  $N_s$ .

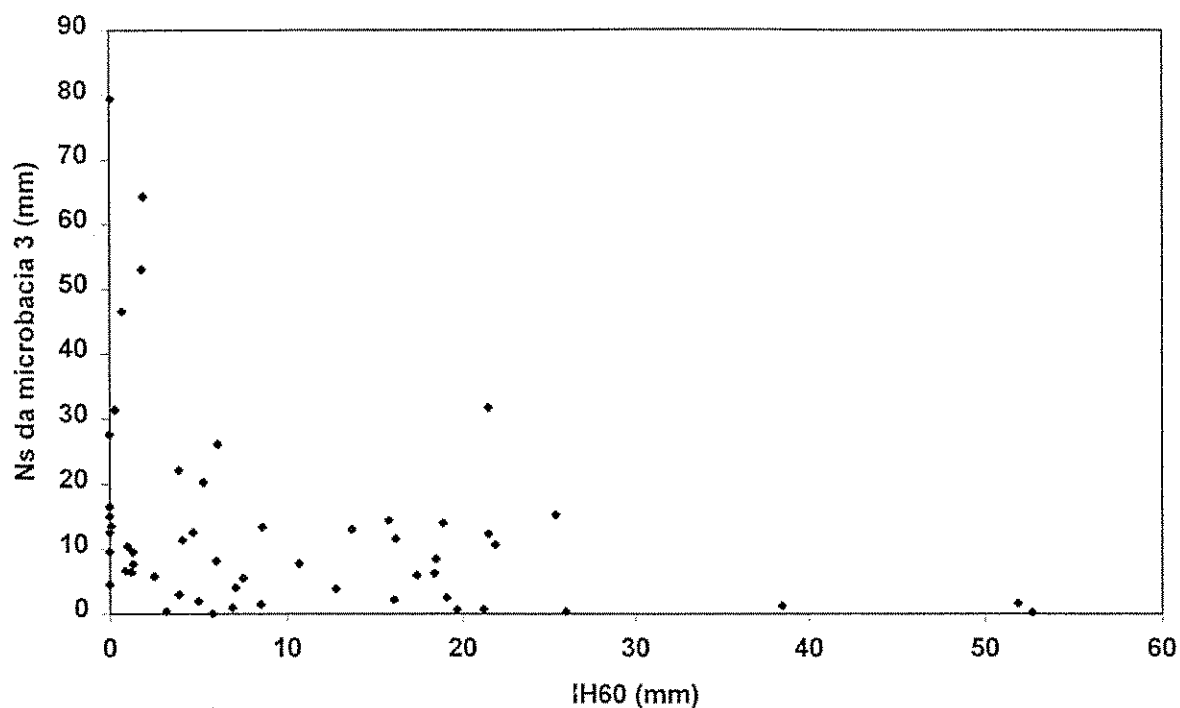


Figura 5.26 - Relação entre o parâmetro  $N_s$  da microbacia 3 e o índice de umidade IH60

Observa-se na Figura 5.28 que, para valores pequenos de  $N_s$  (solo próximo da saturação), o valor de  $\alpha$  é alto, mas tende a diminuir até  $N_s$  igual a 32 mm voltando a crescer a partir deste valor. As razões para este crescimento não são evidentes. Entretanto, as implicações desta tendência serão discutidas no capítulo a seguir.

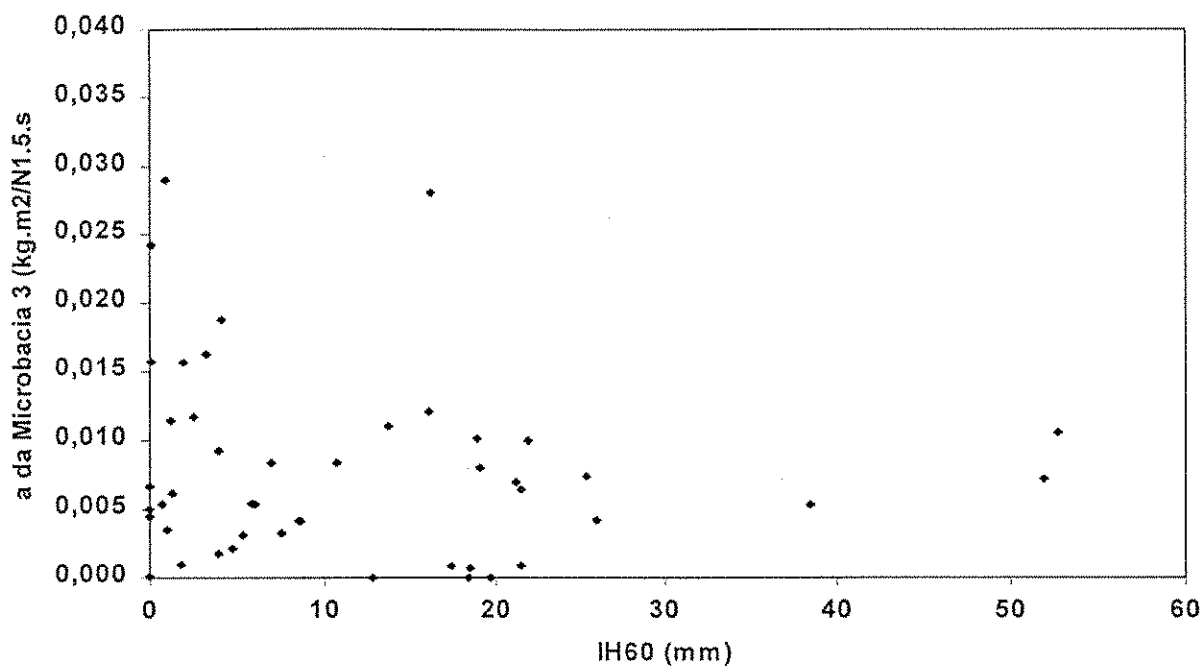


Figura 5.27 – Relação entre o parâmetro  $a$  da microbacia 3 e o índice de umidade IH60

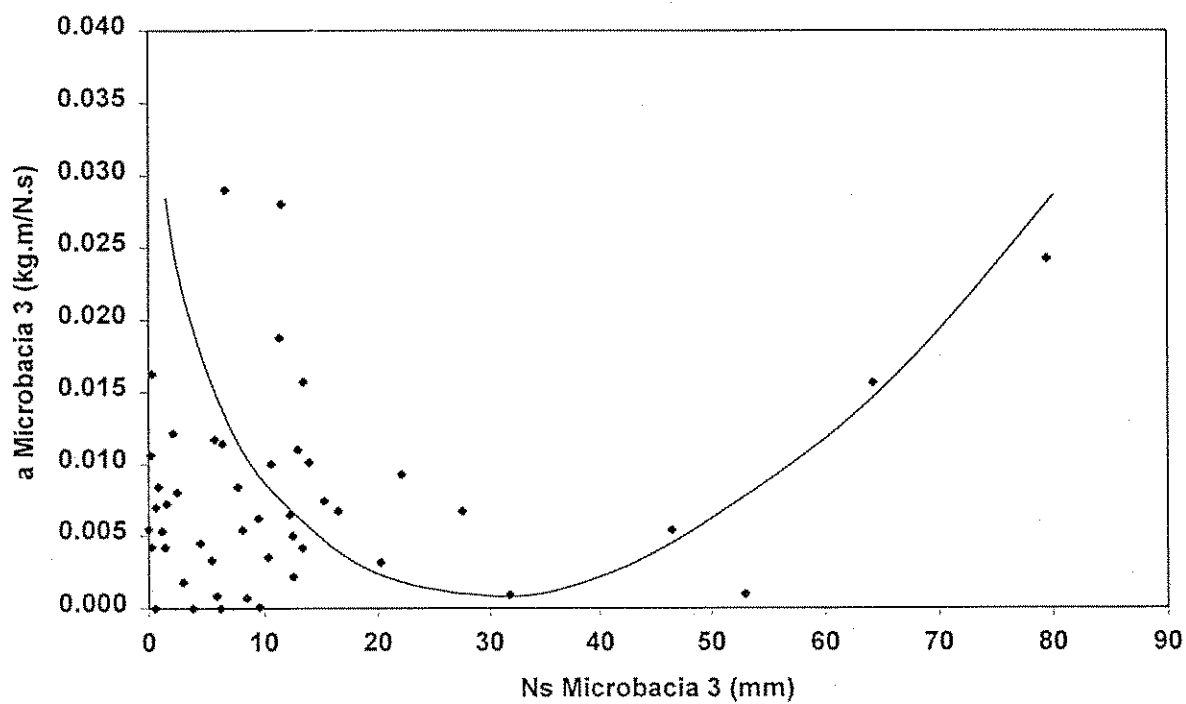


Figura 5.28 – Relação entre o parâmetro  $a$  da microbacia 3 e o parâmetro Ns

## 5.7 Extrapolação de Valores de Parâmetros e Validação do Modelo

Dentre os objetivos da modelagem dos processos de produção de escoamento superficial e erosão um dos mais importantes é a extrapolação ou transferência dos parâmetros do modelo para bacias sem informações disponíveis para calibração. A finalidade é poder prever a lâmina do escoamento e o total de sedimentos produzidos nestas bacias para um dado evento de precipitação. Quando o conjunto de dados disponível é de tamanho razoavelmente grande, costuma-se separar uma parte dos dados para calibração e outra parte para a validação do modelo. Este procedimento permitirá comprovar se o modelo de fato funciona nas condições almejadas. Contudo, este procedimento tem como a limitação o fato de, uma vez calibrado, ele só serviria para a bacia onde os dados foram observados.

Entretanto, quando se tem em mente a verificação da possibilidade da transferência de parâmetros calibrados numa bacia para outra, efetua-se a calibração dos parâmetros do modelo com dados observados em uma bacia e aplica-se estes parâmetros a uma outra bacia, também com dados completos que permitem uma avaliação da eficácia do modelo. Para atingir este objetivo se faz necessário o seguinte: a bacia escolhida para receber os parâmetros calibrados esteja em condições semelhantes àquela onde os parâmetros foram obtidos e o conjunto de dados disponíveis para a calibração do modelo seja consistente e suficientemente representativo para a obtenção de parâmetros representativos. As microbacias 3 e 4 encontram-se em condições propícias para atingir este objetivo. No presente trabalho a calibração dos parâmetros foi efetuada com dados da microbacia 3. Os valores obtidos foram utilizados na microbacia 4 com vistas a validação do modelo.

Uma vez que os valores de  $K_r$  e  $K_i$  foram previamente definidos (ver item 5.5) e os valores de  $N_s$  e "a" foram calibrados para a microbacia 3, tem-se em mãos o conjunto de parâmetros necessários para a referida microbacia. A validação do modelo na microbacia 4 seguiu três metodologias diferentes:

- a) a utilização dos parâmetros  $N_s$  e  $K_r$ , gerados a partir da relação encontrada no item 5.5, juntamente com o valor do parâmetro de erosão nos canais "a", obtido por calibração na microbacia 3, evento a evento;
- b) a utilização do valor médio do parâmetro de erosão para os canais "a", obtidos na microbacia 3, nos canais da microbacia 4 juntamente com os valores de  $N_s$ ,  $K_r$  e  $K_i$  da microbacia 3, admitindo apenas a variação do parâmetro  $N_s$ , de evento a evento

Tabela 5.7 – Resultado da aplicação dos parâmetro calibrados na Microbacia 3 para a Microbacia 4

CH	DATA	IH60 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	NS (mm)	LC (mm)	K <sub>rmed</sub> (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	a (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	EC (kg)	Erro (%)
35	03/04/1984	6,9	13,71	25,0	M4	0,836	5,481	0,900	3,250	1,786	0,0084	232,980	-4150,96
36	04/04/1984	19,1	20,18	45,0	M4	5,408	30,240	2,500	9,360	1,786	0,0080	691,320	-2186,11
37	05/04/1984	38,5	17,50	16,9	M4	1,062	4,185	1,200	3,730	1,786	0,0053	161,930	-3769,63
39	15/04/1984	3,9	18,33	9,0	M4	0,025	0,115	3,000	0,000	1,786	0,0018	0,000	100,00
40	18/04/1984	4,7	22,40	20,5	M4	0,000	0,000	12,600	0,000	1,786	0,0022	25361,000	-1,00
45	26/04/1984	8,6	30,55	7,4	M4	0,014	0,115	13,400	0,956	1,786	0,0042	32,620	-28215,97
46	19/05/1984	1,8	28,80	29,0	M4	0,010	0,182	53,000	2,266	1,786	0,0010	19,252	-10454,82
47	20/05/1984	18,5	20,70	10,8	M4	0,025	0,926	8,500	2,630	1,786	0,0007	19,970	-2055,66
50	24/05/1984	21,5	23,68	17,3	M4	0,079	0,144	12,300	2,069	1,786	0,0065	119,650	-82990,28
58	04/02/1985	8,5	22,58	14,4	M4	0,876	19,200	1,450	3,823	1,786	0,0042	160,201	-734,38
59	05/02/1985	13,7	41,60	34,8	M4	11,400	236,640	13,000	16,905	1,786	0,0110	2389,920	-909,94
70	21/02/1985	51,9	10,71	10,2	M4	0,297	0,326	1,580	0,923	1,786	0,0072	42,312	-12863,24
106	05/06/1985	18,9	31,26	34,9	M4	3,500	630,240	14,000	4,540	1,786	0,0101	0,000	100,00
108	12/06/1985	25,4	28,42	11,6	M4	4,210	95,520	15,310	3,269	1,786	0,0074	247,730	-159,35
114	06/02/1986	6,0	32,00	8,5	M4	1,032	131,809	8,150	1,705	1,786	0,0054	91,320	30,72
117	13/02/1986	52,7	54,00	30,3	M4	3,470	516,915	0,215	4,583	1,786	0,0106	534,140	-3,33
121	03/03/1986	21,2	18,75	10,7	M4	0,400	8,491	0,680	0,380	1,786	0,0070	70,166	-726,38
123	05/03/1986	17,4	52,28	13,4	M4	4,010	141,609	5,930	5,045	1,786	0,0009	22,603	84,04
132	10/04/1986	21,9	43,20	27,2	M4	5,638	268,199	10,650	8,691	1,786	0,0100	1002,830	-273,91
135	15/04/1986	10,7	22,90	8,0	M4	0,940	43,312	7,750	1,360	1,786	0,0084	84,050	-94,06
136	21/04/1986	1,3	60,60	34,5	M4	15,810	1285,222	9,550	18,540	1,786	0,0062	1680,020	-30,72
137	22/04/1986	21,5	30,92	10,3	M4	3,450	144,803	31,800	0,091	1,786	0,0009	0,724	99,50
141	16/07/1986	1,9	27,00	28,6	M4	0,014	0,142	64,300	0,486	1,786	0,0157	46,084	-32362,67
142	20/07/1986	3,9	54,00	13,8	M4	0,080	0,780	22,150	1,282	1,786	0,0093	85,403	-10849,10
155	02/05/1987	0,3	31,70	19,6	M4	1,073	154,648	31,400	2,334	1,786	0,0584	1264,370	-717,58
159	29/06/1987	16,1	27,00	5,2	M4	0,303	11,938	2,170	1,388	1,786	0,0121	156,280	-1209,09
161	09/07/1987	0,9	48,00	26,4	M4	5,102	175,931	6,670	9,878	1,786	0,0290	2802,640	-1493,04
162	20/01/1988	0,1	78,00	24,6	M4	5,436	574,755	79,500	5,771	1,786	0,0242	1621,000	-182,03

Tabela 5.7 – Resultado da aplicação dos parâmetro calibrados na Microbacia 3 para a Microbacia 4

CH	DATA	IH60 (mm)	Imax (mm/h)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	NS (mm)	LC (mm)	Krmed (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	A (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	EC (kg)	Erro (%)
165	23/02/1988	1,3	22,00	12,2	M4	1,843	488,404	7,700	1,592	1,786	0,0520	88,734	81,83
168	02/03/1988	2,5	26,70	20,6	M4	1,622	323,081	5,750	4,679	1,786	0,0117	528,920	-63,71
169	09/03/1988	0,7	90,00	15,4	M4	5,994	191,400	46,500	3,428	1,786	0,0054	247,650	-29,39
172	14/03/1988	12,8	42,00	13,8	M4	6,140	1967,820	3,850	21,310	1,786	0,0000	243,230	87,64
174	19/03/1988	6,1	37,50	7,3	M4	1,239	575,604	26,200	0,035	1,786	0,0440	4,548	99,21
177	24/03/1988	7,5	120,00	22,1	M4	8,775	2716,364	5,500	13,650	1,786	0,0033	1202,570	55,73
178	05/04/1988	0,1	108,00	22,1	M4	10,468	3299,756	13,515	10,672	1,786	0,0157	372,820	88,70
179	08/04/1988	5,3	108,00	16,4	M4	5,017	1340,662	20,300	7,312	1,786	0,0032	431,880	67,79
183	19/04/1988	4,1	90,00	23,0	M4	8,642	3195,927	11,368	9,740	1,786	0,0188	362,120	88,67
184	20/04/1988	16,2	28,00	5,5	M4	1,609	556,524	11,565	0,036	1,786	0,0280	5,517	99,01
187	06/05/1988	1,0	90,00	16,0	M4	6,662	657,622	10,400	7,870	1,786	0,0035	387,710	41,04
190	13/07/1988	7,1	12,85	10,3	M4	0,099	1,870	4,000	0,420	1,786	0,0575	139,790	-7377,00
193	12/01/1989	0,0	54,00	23,4	M4	0,000	0,000	4,520	9,248	1,786	0,0045	0,000	-1,00
197	01/03/1989	0,0	48,00	16,4	M4	6,978	1123,134	12,550	130,790	1,786	0,0050	0,000	100,00
200	27/03/1989	15,8	32,00	6,1	M4	0,095	90,559	14,450	0,433	1,786	0,3150	25361,070	-27905,11
204	02/04/1989	18,4	19,09	8,8	M4	3,482	344,849	6,245	0,114	1,786	0,0000	2,684	99,22
210	21/04/1989	3,2	66,00	10,8	M4	2,159	802,821	0,350	3,802	1,786	0,0162	105,050	86,91
216	11/05/1989	5,0	13,50	5,6	M4	0,337	201,085	1,900	0,463	1,786	0,0502	40,750	79,73
226	06/07/1989	19,7	95,00	30,7	M4	21,841	3122,324	0,620	22,022	1,786	0,0000	761,850	75,60
229	20/09/1989	0,0	66,00	39,4	M4	14,917	16635,783	9,600	16,370	1,786	0,0001	143,430	99,14
239	10/02/1990	26,0	42,00	9,1	M4	3,538	2507,399	0,330	5,157	1,786	0,0042	59,240	97,64
242	07/04/1990	0,0	84,00	15,2	M4	3,146	165,439	16,550	2,104	1,786	0,0067	125,770	23,98
245	30/04/1990	5,8	25,50	19,9	M4	6,749	539,351	0,025	8,412	1,786	0,0054	480,470	10,92
247	28/05/1990	1,2	96,00	16,2	M4	4,955	757,495	6,430	5,430	1,786	0,0114	685,490	9,51
253	19/10/1990	0,0	90,00	15,8	M4	11,919	894,618	27,600	1,000	1,786	0,0067	77,490	91,34
254	22/01/1991	0,0	30,00	10,5	M4	0,425	252,000	15,080	0,041	1,786	0,1495	18,723	92,57

Tabela 5.8 – Resultado da aplicação do valor médio do parâmetro  $\alpha$  na Microbacia 4 – erosão e erro percentual calculado

CH	DATA	IH60 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Krmed (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	amedM3 (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	EC (kg)	Erro
35	03/04/1984	6,9	13,71	25,0	M4	0,84	5,48	0,900	3,25	1,786	0,022	592,750	-10715,34
36	04/04/1984	19,1	20,18	45,0	M4	5,41	30,24	2,500	9,36	1,786	0,022	1837,740	-5977,18
37	05/04/1984	38,5	17,50	16,9	M4	1,06	4,18	1,200	3,73	1,786	0,022	650,020	-15433,47
39	15/04/1984	3,9	18,33	9,0	M4	0,03	0,12	3,000	0,00	1,786	0,022	0,000	100,00
40	18/04/1984	4,7	22,40	20,5	M4	0,00	0,00	12,600	0,00	1,786	0,022	0,000	-1
45	26/04/1984	8,6	30,55	7,4	M4	0,01	0,12	13,400	0,96	1,786	0,022	168,660	-146306,25
46	19/05/1984	1,8	28,80	29,0	M4	0,01	0,18	53,000	2,27	1,786	0,022	418,680	-229439,47
47	20/05/1984	18,5	20,70	10,8	M4	0,03	0,93	8,500	2,63	1,786	0,022	526,320	-56713,47
50	24/05/1984	21,5	23,68	17,3	M4	0,08	0,14	12,300	2,07	1,786	0,022	396,780	-275441,67
58	04/02/1985	8,5	22,58	14,4	M4	0,88	19,20	1,450	3,82	1,786	0,022	806,260	-4099,27
59	05/02/1985	13,7	41,60	34,8	M4	11,40	236,64	13,000	16,90	1,786	0,022	4574,110	-1832,94
70	21/02/1985	51,9	10,71	10,2	M4	0,30	0,33	1,580	0,92	1,786	0,022	125,940	-38484,56
106	05/06/1985	18,9	31,26	34,9	M4	3,50	630,24	14,000	4,54	1,786	0,022	359,790	42,91
108	12/06/1985	25,4	28,42	11,6	M4	4,21	95,52	15,310	3,27	1,786	0,022	707,500	-640,68
114	06/02/1986	6,0	32,00	8,5	M4	1,03	131,81	8,150	1,71	1,786	0,022	354,010	-168,58
117	13/02/1986	52,7	54,00	30,3	M4	3,47	516,92	0,215	4,58	1,786	0,022	1063,370	-105,71
121	03/03/1986	21,2	18,75	10,7	M4	0,40	8,49	0,680	0,25	1,786	0,022	216,340	-2447,96
123	05/03/1986	17,4	52,28	13,4	M4	4,01	141,61	5,930	5,05	1,786	0,022	1214,940	-757,95
132	10/04/1986	21,9	43,20	27,2	M4	5,64	268,20	10,650	8,69	1,786	0,022	2110,680	-686,98
135	15/04/1986	10,7	22,90	8,0	M4	0,94	43,31	7,750	1,36	1,786	0,022	214,220	-394,59
136	21/04/1986	1,3	60,60	34,5	M4	15,81	1285,22	9,550	18,54	1,786	0,022	5256,120	-308,97
137	22/04/1986	21,5	30,92	10,3	M4	3,45	144,80	31,800	0,09	1,786	0,022	8,530	94,11
141	16/07/1986	1,9	27,00	28,6	M4	0,01	0,14	64,300	0,49	1,786	0,022	63,370	-44539,34
142	20/07/1986	3,9	54,00	13,8	M4	0,08	0,78	22,150	1,28	1,786	0,022	198,910	-25401,28
155	02/05/1987	0,3	31,70	19,6	M4	1,07	154,65	31,400	2,33	1,786	0,022	467,560	-202,34
159	29/06/1987	16,1	27,00	5,2	M4	0,30	11,94	2,170	1,39	1,786	0,022	276,070	-2212,52
161	09/07/1987	0,9	48,00	26,4	M4	5,10	175,93	6,670	9,88	1,786	0,022	2083,530	-1084,29
162	20/01/1988	0,1	78,00	24,6	M4	5,44	574,75	79,500	5,77	1,786	0,022	1444,260	-151,28



Tabela 5.8 – Resultado da aplicação do valor médio do parâmetro  $a$  na Microbacia 4 – erosão e erro percentual calculado

CH	DATA	IH60 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	Ns (mm)	LC (mm)	Krmed (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	amedM3 (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	EC (kg)	Erro
165	23/02/1988	1,3	22,00	12,2	M4	1,84	488,40	7,700	1,59	1,786	0,022	286,750	41,29
168	02/03/1988	2,5	26,70	20,6	M4	1,62	323,08	5,750	4,68	1,786	0,022	962,850	-198,02
169	09/03/1988	0,7	90,00	15,4	M4	5,99	191,40	46,500	3,43	1,786	0,022	895,600	-367,92
172	14/03/1988	12,8	42,00	13,8	M4	6,14	1967,82	3,850	21,31	1,786	0,022	9689,010	-392,37
174	19/03/1988	6,1	37,50	7,3	M4	1,24	575,60	26,200	0,04	1,786	0,022	2,200	99,62
177	24/03/1988	7,5	120,00	22,1	M4	8,78	2716,36	5,500	13,65	1,786	0,022	4783,440	-76,10
178	05/04/1988	0,1	108,00	22,1	M4	10,47	3299,76	13,515	10,67	1,786	0,022	3067,050	7,05
179	08/04/1988	5,3	108,00	16,4	M4	5,02	1340,66	20,300	7,31	1,786	0,022	2176,710	-62,36
183	19/04/1988	4,1	90,00	23,0	M4	8,64	3195,93	11,368	9,74	1,786	0,022	2422,870	24,19
184	20/04/1988	16,2	28,00	5,5	M4	1,61	556,52	11,565	0,04	1,786	0,022	2,250	99,60
187	06/05/1988	1,0	90,00	16,0	M4	6,66	657,62	10,400	7,87	1,786	0,022	2061,690	-213,51
190	13/07/1988	7,1	12,85	10,3	M4	0,10	1,87	4,000	0,42	1,786	0,022	52,340	-2699,53
193	12/01/1989	0,0	54,00	23,4	M4	0,00	0,00	4,520	9,25	1,786	0,022	2166,600	-1
197	01/03/1989	0,0	48,00	16,4	M4	6,98	1123,13	12,550	130,79	1,786	0,022	0,000	100,00
200	27/03/1989	15,8	32,00	6,1	M4	0,10	90,56	14,450	0,43	1,786	0,022	56,250	37,89
204	02/04/1989	18,4	19,09	8,8	M4	3,48	344,85	6,245	0,11	1,786	0,022	8,930	97,41
210	21/04/1989	3,2	66,00	10,8	M4	2,16	802,82	0,350	3,80	1,786	0,022	826,630	-2,97
216	11/05/1989	5,0	13,50	5,6	M4	0,34	201,08	1,900	0,46	1,786	0,022	84,480	57,99
226	06/07/1989	19,7	95,00	30,7	M4	21,84	3122,32	0,620	22,02	1,786	0,022	7311,020	-134,15
229	20/09/1989	0,0	66,00	39,4	M4	14,92	16635,78	9,600	16,37	1,786	0,022	4054,910	75,63
239	10/02/1990	26,0	42,00	9,1	M4	3,54	2507,40	0,330	5,16	1,786	0,022	1237,730	50,64
242	07/04/1990	0,0	84,00	15,2	M4	3,15	165,44	16,550	2,10	1,786	0,022	394,230	-138,29
245	30/04/1990	5,8	25,50	19,9	M4	6,75	539,35	0,025	8,41	1,786	0,022	1847,900	-242,62
247	28/05/1990	1,2	96,00	16,2	M4	4,96	757,50	6,430	5,43	1,786	0,022	1264,650	-66,95
253	19/10/1990	0,0	90,00	15,8	M4	11,92	894,62	27,600	1,00	1,786	0,022	200,410	77,60
254	22/01/1991	0,0	30,00	10,5	M4	0,43	252,00	15,080	0,04	1,786	0,022	2,840	98,87

Tabela 5,9 – Resultado da aplicação dos valores de Ns e Kr calculados com as relações desenvolvidas

CH	DATA	IH60 (mm)	Imax (mm/h)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	NsCalc (mm)	LC (mm)	KrCalc (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	a (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	EC (kg)	Erro (%)
35	03/04/1984	6,9	13,71	25,0	M4	0,84	5,48	10,1012	0,019	1,207	0,0084	0,077	98,59
36	04/04/1984	19,1	20,18	45,0	M4	5,41	30,24	4,8476	7,927	1,353	0,008	579,931	-1817,76
37	05/04/1984	38,5	17,50	16,9	M4	1,06	4,18	4,33172	1,644	1,377	0,0053	61,659	-1373,46
39	15/04/1984	3,9	18,33	9,0	M4	0,03	0,12	14,7356	0	1,138	0,0018	0,000	100,00
40	18/04/1984	4,7	22,40	20,5	M4	0,00	0,00	13,2224	0	1,157	0,0022	0,000	-1,00
45	26/04/1984	8,6	30,55	7,4	M4	0,01	0,12	8,46133	1,69	1,240	0,0042	67,336	-58351,39
46	19/05/1984	1,8	28,80	29,0	M4	0,01	0,18	20,0473	6,504	1,084	0,0010	72,307	-39542,00
47	20/05/1984	18,5	20,70	10,8	M4	0,03	0,93	4,91352	3,83	1,350	0,0007	30,870	-3232,25
50	24/05/1984	21,5	23,68	17,3	M4	0,08	0,14	4,64943	5,11	1,362	0,0065	325,450	-225906,94
58	04/02/1985	8,5	22,58	14,4	M4	0,88	19,20	8,5434	1,139	1,239	0,0042	39,380	-105,10
59	05/02/1985	13,7	41,60	34,8	M4	11,40	236,64	5,84231	20,14	1,314	0,0110	2793,380	-1080,43
70	21/02/1985	51,9	10,71	10,2	M4	0,30	0,33	4,32085	0,182	1,377	0,0072	4,410	-1251,35
106	05/06/1985	18,9	31,26	34,9	M4	3,50	630,24	4,86871	7,067	1,352	0,0101	813,500	-29,08
108	12/06/1985	25,4	28,42	11,6	M4	4,21	95,52	4,47325	5,836	1,370	0,0074	496,660	-419,95
114	06/02/1986	6,0	32,00	8,5	M4	1,03	131,81	11,2179	1,22	1,187	0,0054	59,518	54,85
117	13/02/1986	52,7	54,00	30,3	M4	3,47	516,92	4,32072	2,301	1,377	0,0106	247,960	52,03
121	03/03/1986	21,2	18,75	10,7	M4	0,40	8,49	4,66941	0,118	1,361	0,0070	2,0338	76,05
123	05/03/1986	17,4	52,28	13,4	M4	4,01	141,61	5,05651	5,344	1,344	0,0009	71,127	49,77
132	10/04/1986	21,9	43,20	27,2	M4	5,64	268,20	4,62456	10,86	1,363	0,0100	1295,140	-382,90
135	15/04/1986	10,7	22,90	8,0	M4	0,94	43,31	7,06266	1,51	1,276	0,0084	97,054	-124,08
136	21/04/1986	1,3	60,60	34,5	M4	15,81	1285,22	21,6686	15,13	1,071	0,0062	1249,650	2,77
137	22/04/1986	21,5	30,92	10,3	M4	3,45	144,80	4,64943	0,908	1,362	0,0009	13,629	90,59
141	16/07/1986	1,9	27,00	28,6	M4	0,01	0,14	19,7417	4,177	1,087	0,0157	635,260	-447392,25
142	20/07/1986	3,9	54,00	13,8	M4	0,08	0,78	14,7356	2,233	1,138	0,0093	181,018	-23107,37
155	02/05/1987	0,3	31,70	19,6	M4	1,07	154,65	25,43	3,335	1,045	0,0584	1896,150	-1126,10
159	29/06/1987	16,1	27,00	5,2	M4	0,30	11,94	5,27054	0,663	1,335	0,0121	59,576	-399,04
161	09/07/1987	0,9	48,00	26,4	M4	5,10	175,93	23,0852	3,963	1,061	0,0290	1025,960	-483,16
162	20/01/1988	0,1	78,00	24,6	M4	5,44	574,75	26,2749	11,92	1,040	0,0242	3713,410	-546,09

Tabela 5.9 – Resultado da aplicação dos valores de Ns e Kr calculados com as relações desenvolvidas

CH	DATA	IH60 (mm)	I <sub>max</sub> (mm/h)	Chuva (mm)	EXP	LO (mm)	EO (kg)	NsCalc (mm)	LC (mm)	KrCalc (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	a (kgm/N <sup>1,5</sup> ,s)	EC (kg)	Erro (%)
165	23/02/1988	1,3	22,00	12,2	M4	1,84	488,40	21,6686	0,02	1,071	0,0520	0,690	99,86
168	02/03/1988	2,5	26,70	20,6	M4	1,62	323,08	18,0287	2,22	1,102	0,0117	255,160	21,02
169	09/03/1988	0,7	90,00	15,4	M4	5,99	191,40	23,8363	4,833	1,056	0,0054	373,880	-95,34
172	14/03/1988	12,8	42,00	13,8	M4	6,14	1967,82	6,13637	18,12	1,304	0,0000	1702,310	13,49
174	19/03/1988	6,1	37,50	7,3	M4	1,24	575,60	11,0839	0,249	1,189	0,0440	73,370	87,25
177	24/03/1988	7,5	120,00	22,1	M4	8,78	2716,36	9,45907	12,45	1,219	0,0033	930,550	65,74
178	05/04/1988	0,1	108,00	22,1	M4	10,47	3299,76	26,2749	8,121	1,040	0,0157	1653,460	49,89
179	08/04/1988	5,3	108,00	16,4	M4	5,02	1340,66	12,2336	8,394	1,171	0,0032	472,570	64,75
183	19/04/1988	4,1	90,00	23,0	M4	8,64	3195,93	14,3348	8,736	1,143	0,0188	1848,340	42,17
184	20/04/1988	16,2	28,00	5,5	M4	1,61	556,52	5,25207	0,200	1,336	0,0280	33,270	94,02
187	06/05/1988	1,0	90,00	16,0	M4	6,66	657,62	22,7206	5,911	1,063	0,0035	246,380	62,53
190	13/07/1988	7,1	12,85	10,3	M4	0,10	1,87	9,8787	0,000	1,211	0,0575	0,000	100,00
193	12/01/1989	0,0	54,00	23,4	M4	0,00	0,00	26,71	2,943	1,037	0,0045	118,320	-1,00
197	01/03/1989	0,0	48,00	16,4	M4	6,98	1123,13	26,71	4,315	1,037	0,0050	253,910	77,39
200	27/03/1989	15,8	32,00	6,1	M4	0,10	90,56	5,32818	1,602	1,333	0,3150	4018,670	-4337,64
204	02/04/1989	18,4	19,09	8,8	M4	3,48	344,85	4,92528	0,195	1,350	0,0000	0,150	99,95
210	21/04/1989	3,2	66,00	10,8	M4	2,16	802,82	16,2693	0,758	1,120	0,0162	99,350	87,62
216	11/05/1989	5,0	13,50	5,6	M4	0,34	201,08	12,7135	0	1,164	0,0502	0,000	100,00
226	06/07/1989	19,7	95,00	30,7	M4	21,84	3122,32	4,789	18,82	1,356	0,0000	438,170	85,97
229	20/09/1989	0,0	66,00	39,4	M4	14,92	16635,78	26,71	11,04	1,037	0,0500	30,860	99,81
239	10/02/1990	26,0	42,00	9,1	M4	3,54	2507,40	4,45623	2,633	1,371	0,0042	114,890	95,42
242	07/04/1990	0,0	84,00	15,2	M4	3,15	165,44	26,71	1,259	1,037	0,0067	78,750	52,40
245	30/04/1990	5,8	25,50	19,9	M4	6,75	539,35	11,494	3,593	1,183	0,0054	181,100	66,42
247	28/05/1990	1,2	96,00	16,2	M4	4,96	757,50	22,0124	2,932	1,069	0,0114	319,020	57,88
253	19/10/1990	0,0	90,00	15,8	M4	11,92	894,62	26,71	1,029	1,037	0,0067	70,930	92,07
254	22/01/1991	0,0	30,00	10,5	M4	0,43	252,00	26,71	0	1,037	0,1495	0,000	100,00

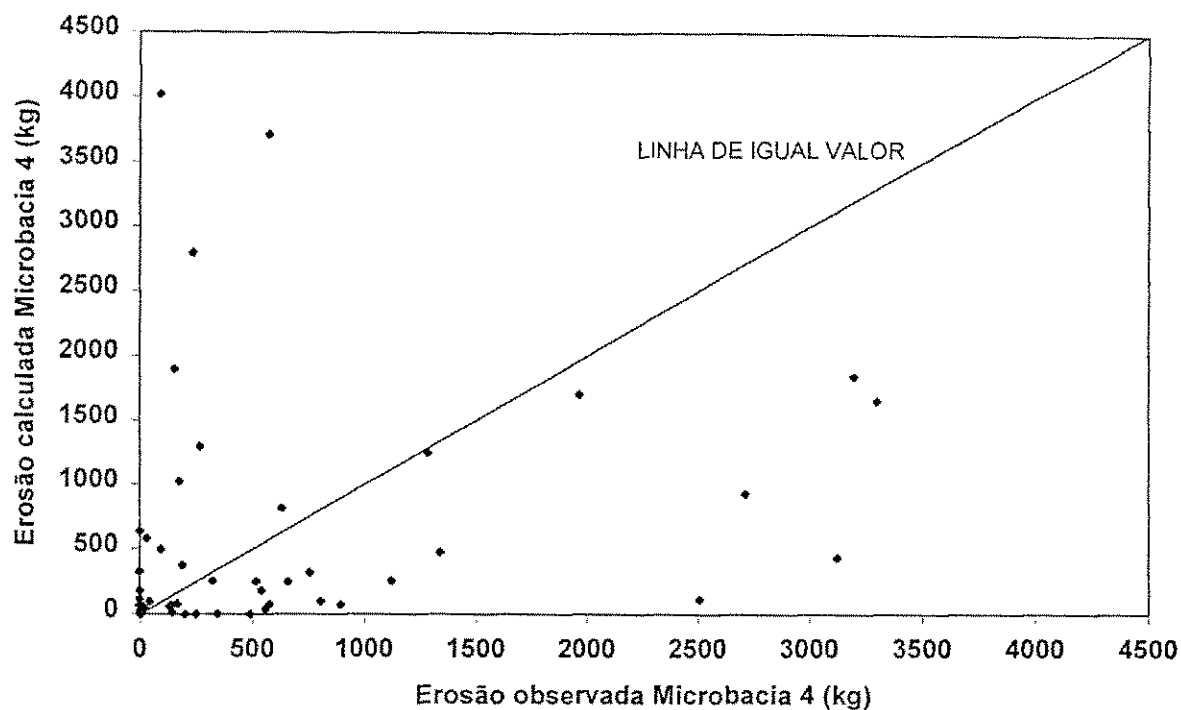


Figura 5.30 - Relação entre erosão calculada e erosão observada na microbacia 4 utilizando os valores de  $N_s$  e  $K_r$  obtidos das curvas geradas.

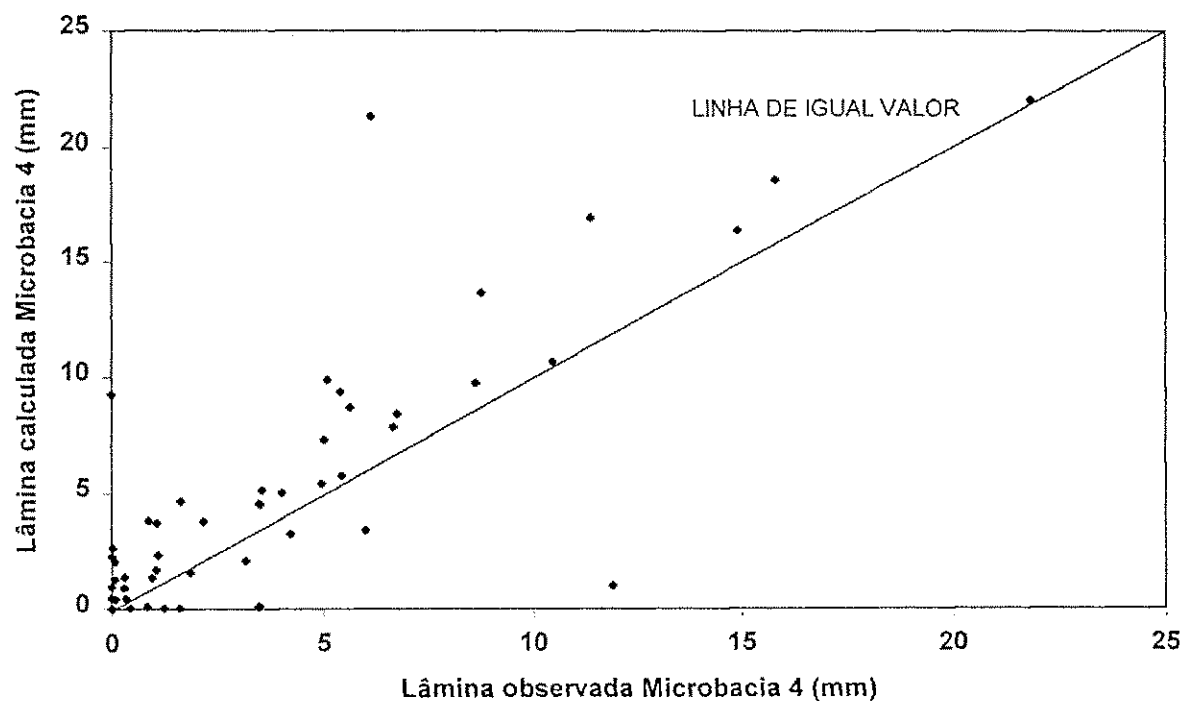


Figura 5.31 - Relação entre lâmina calculada e lâmina observada na microbacia 4 tomando como base os valores dos parâmetros  $N_s$ ,  $K_r$  e  $a$  da calibração da microbacia 3

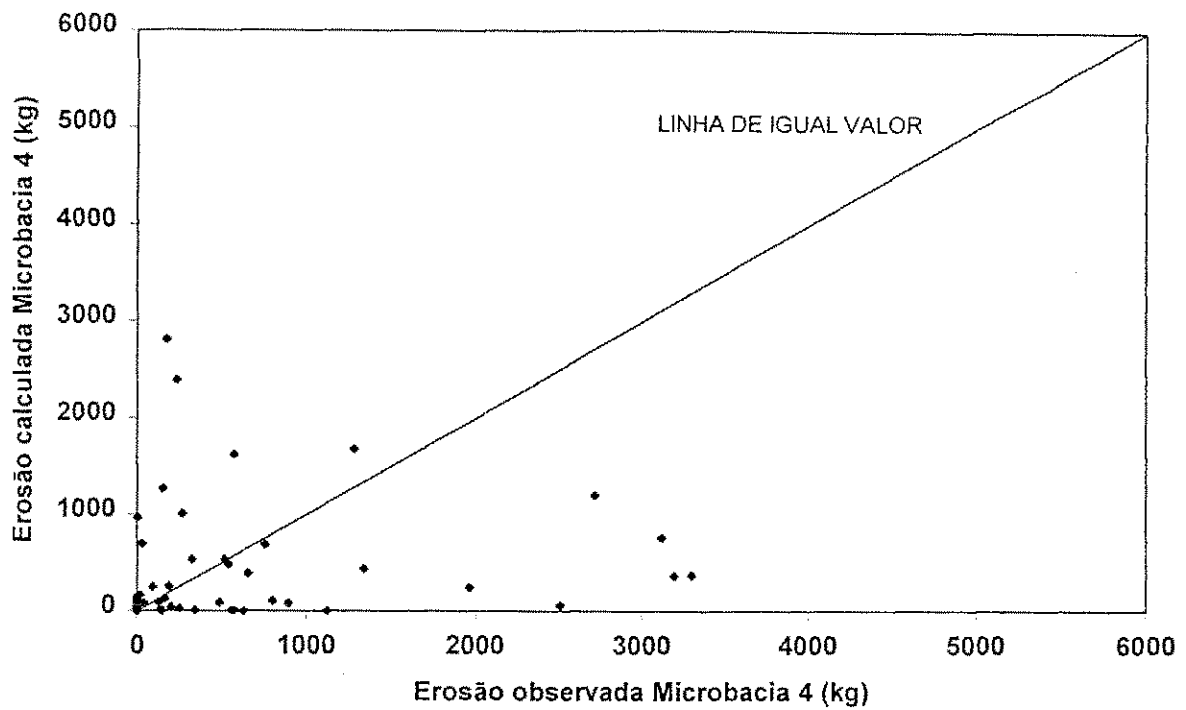


Figura 5.32 - Relação entre erosão calculada e observada na microbasia 4 tomando como base os valores dos parâmetros  $N_s$ ,  $K_r$  e  $a$  da calibração da microbasia 3

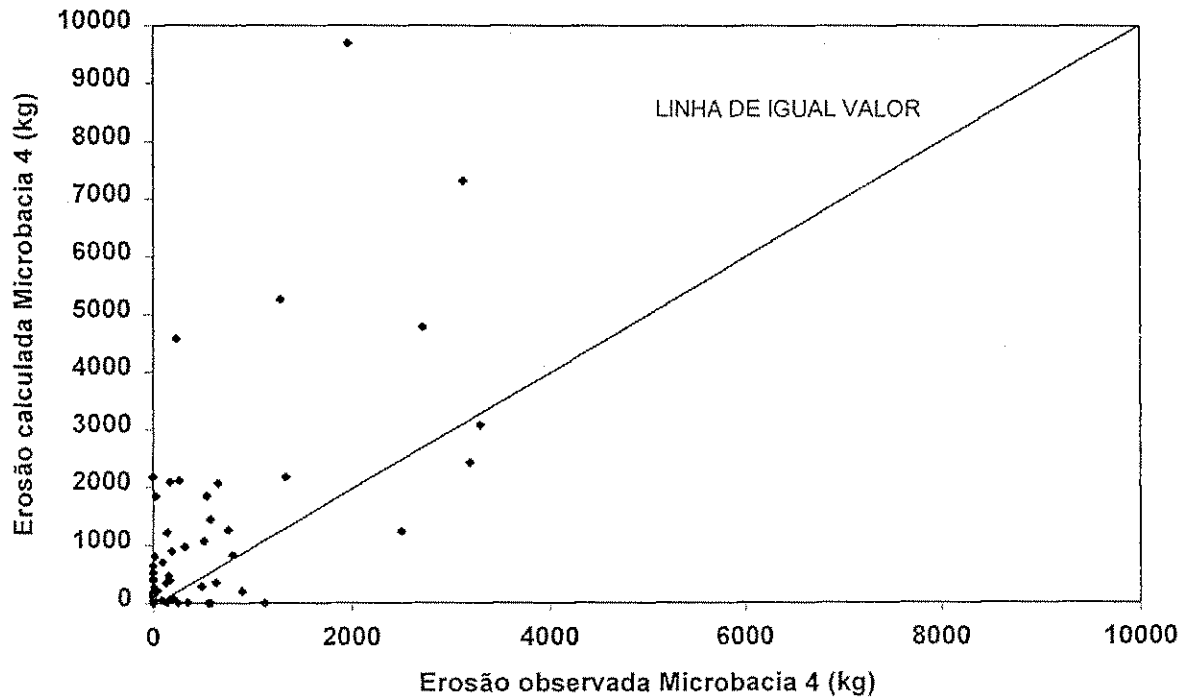


Figura 5.33 - Relação entre erosão calculada e observada na microbasia 4 tomando como base os valores dos parâmetros  $N_s$ ,  $K_r$  e  $a$  médio obtidos da calibração da microbasia 3

## CAPÍTULO 6

### 6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

#### 6.1 Considerações gerais

Dados de escoamento e erosão das parcelas 1 e 4, utilizados para determinação do parâmetro  $K_r$  nos planos das microbacias, foram analisados de forma quantitativa e qualitativa. Foram observadas algumas mudanças de comportamento na produção de escoamento e de erosão nas parcelas ao longo do tempo. Estas mudanças serão discutidos no item a seguir.

A relação entre os parâmetros do modelo WESP e a umidade do solo foi testada utilizando diversos índices, relacionados basicamente com a precipitação antecedente. Um dos objetivos da procura por uma relação entre os parâmetros do modelo WESP e os índices era estimar o valor dos parâmetros principais do modelo a partir de uma informação de fácil obtenção, disponível antes do evento. Não foi possível estabelecer neste estudo uma relação definitiva que possa fornecer os valores dos parâmetros principais do modelo WESP. Entretanto, a partir dos estudos de Pereira (1997) e do presente estudo, em que uma relação entre o parâmetro  $N_s$  e um índice de umidade foi proposto, é possível se obter valores dos parâmetros principais do modelo. Deve salientar que as relações propostas precisam ser melhoradas e aperfeiçoadas com dados adicionais não somente da região de Sumé, mas também de outras regiões semelhantes.

Os outros resultados obtidos com a aplicação do WESP para as parcelas 1 e 4 e microbacias 3 e 4, da Bacia Experimental de Sumé, serão discutidos a seguir.

#### 6.2 Produção de escoamento e Sedimento nas parcelas

Na tentativa de modelar os processos de escoamento superficial e erosão o maior conjunto de dados coletados na Bacia Experimental de Sumé foi utilizado neste trabalho. Isto

possibilitou uma melhor análise do comportamento da produção de escoamento e erosão ao longo do tempo. Os dados obtidos com as parcelas 1 e 4 mostraram que houve uma pequena mudança nas relações de produção de escoamento e erosão no período 1988-1991 em comparação com o período anterior.

Para o período 1982-1987 a relação entre a lâmina escoada em cada uma das duas parcelas, 1 e 4, mostrou uma distribuição quase homogênea em torno da linha de igual valor (Figura 5.5). Analisando-se somente este período leva-se a crer que a lâmina escoada foi praticamente a mesma nas duas parcelas. Para o período subsequente (1988-1991) muitos eventos apresentaram um escoamento maior na parcela 1 (Figura 5.6), se comparado com a parcela 4. A Figura 5.9 mostra a comparação dos escoamentos no período total. O comportamento dos dados existentes neste gráfico reforça a tendência de maior lâmina na parcela 1. Visto que a principal diferença entre a parcela 1 e 4 é a declividade este fator irá contribuir, de forma diferenciada, nos processos de escoamento superficial e produção de sedimento que ocorrem nas duas parcelas.

De um modo geral, a declividade maior da parcela 4 determinaria uma maior velocidade de escoamento, com menor facilidade para infiltração. Por outro lado, uma menor declividade na parcela 1 contribuiria para uma maior infiltração e por conseqüência uma menor lâmina escoada. Entretanto, a grande quantidade de finos existentes na superfície da parcela 1, no primeiro período, poderia ter preenchido os poros existentes, dificultando a infiltração e favorecendo um maior escoamento superficial. Por outro lado, a textura mais grossa na superfície da parcela 4 fez com que houvesse uma infiltração maior do que era esperado. Ou seja, dado os fatores acima citados, mesmo com declividades diferentes a lâmina escoada foi praticamente igual para as duas parcelas. No segundo período, o aumento gradual da rugosidade da superfície, devido a retirada dos finos, fez com que houvesse uma maior resistência ao fluxo, aumentando a infiltração e limitando cada vez mais o valor da lâmina escoada.

Procurou-se analisar o comportamento de produção de escoamento e de sedimentos, em dois períodos distintos de coleta, quando o principal fator a influenciar no processo era a declividade. Foi observado que a ação desta componente foi reduzida devido a outros fatores como a presença de finos na superfície, o aumento da rugosidade da superfície, entre outros.

Com relação a erosão, os dados coletados no período 1982 a 1987 mostraram uma tendência de maior erosão na parcela 4 (Figura 5.7). Por outro lado os dados referentes ao

período 1988 a 1991 parecem indicar uma erosão média igual nas duas parcelas (Figura 5.8). Quando todos os dados de erosão foram reunidos no mesmo gráfico, a tendência de maior erosão na parcela 4 (Figura 5.10) é perceptível.

A maior componente da força de gravidade além de facilitar a desagregação do solo pelo impacto de gotas, promove uma maior erosão pela maior tensão de cisalhamento. A eliminação dos finos da superfície pela maior capacidade de erosão na parcela 4, facilitou o processo de infiltração que resultou na diminuição do escoamento. A redução do escoamento e a ausência dos finos na superfície explica a diminuição da quantidade de sedimentos erodidos ao longo do tempo. No período em que a concentração de finos era considerável, na superfície da parcela 4, a erosão de sedimentos foi também maior.

De acordo com Galvão o diâmetro mediano para a parcela 1 é igual a 0.43 mm e o diâmetro mediano para a parcela 4 é igual a 0.73 mm. A distribuição granulométrica utilizada para a determinação destes valores foi proveniente de amostras retiradas no período 1982 a 1988. Utilizando amostras retiradas no período 1989-1991, Pereira (1997) encontrou para a parcela 1 o diâmetro mediano igual a 0.50 mm e para parcela 4 o diâmetro igual a 0.60 mm. Enquanto o tamanho mediano de sedimentos da parcela 1 parece ter sofrido um aumento, no caso da parcela 4 o tamanho médio parece ter diminuído. Como o comportamento do escoamento e da erosão não refletem a possibilidade de diminuição do tamanho dos sedimentos da superfície, a diferença encontrada é atribuída ao processo de amostragem do solo. Enquanto as primeiras amostras vieram da superfície, parece que a grande parte das amostras de Pereira (1997) vieram das camadas inferiores, em que a porcentagem dos finos seriam maiores.

## 6.3 Aplicação do Modelo WESP

### 6.3.1 Parcelas

O conjunto de valores dos parâmetros, obtidos a partir da calibração, definiu a faixa de variação dos parâmetros mais sensíveis do modelo. O parâmetro  $N_s$  variou, para a parcela 1, entre 0,0 e 81,0 mm. Para a parcela 4 a variação de  $N_s$  esteve entre 0,0 e 88,35. Com relação a erosão, o parâmetro  $K_r$  variou, para a parcela 1, entre 0,0 e 9,9 kg.m/N<sup>1.5</sup>.s e, para a parcela 4, entre 0,0 e 9,9 kg.m/N<sup>1.5</sup>.s. A faixa de variação dos valores de  $K_r$  foi bem mais estreita do que aquela descrita para os valores de  $N_s$ .



A variação dos valores de  $N_s$ , evidenciada nas Tabelas 5.5 pode ser atribuída aos seguintes fatores:

- mudança nas condições de umidade que ocorrem de evento para evento: o parâmetro  $N_s$  é bastante sensível às condições de umidade do solo e aos valores do potencial mátrico (Equação 4.3a e b). Este parâmetro atinge valores altos para solos secos e valores baixos para solos saturados. A rápida recuperação da capacidade de infiltração do solo de Sumé, associado ao fato de que os eventos não são contínuos, faz com que a umidade do solo e o potencial de sucção na frente de molhamento variem de evento para evento, que reflete na variação de  $N_s$ ;
- selagem ou redução da capacidade de infiltração da superfície do terreno, influenciando na formação do escoamento (Foster, 1982; Shultz, 1985): a selagem consiste numa camada de solo fino que cobre a superfície “fechando” os poros e impedindo que a água de chuva atinja as camadas mais internas, através de infiltração. Nesta condição a camada superficial rapidamente satura, propiciando o rápido escoamento superficial. Como consequência o modelo responde com baixos valores de  $N_s$ . A existência desta camada na região da Bacia Experimental de Sumé foi evidenciada através dos estudos de Montenegro (1990);
- características dos extratos que compõem o solo (Molinier et al., 1989 e Montenegro, 1990): os horizontes que compõem o solo da Bacia Experimental de Sumé possuem características diferentes entre si sendo, portanto, não homogêneo. O primeiro tem textura franco-areno-argilosa e porosidade que pode facilitar a infiltração. O segundo possui uma textura franco-argilo-arenosa e porosidade relativamente menor que induz a distribuição horizontal da água que infiltra. O modelo de infiltração considera o solo como sendo homogêneo o que contradiz o encontrado na prática induzindo variações no valor do parâmetro.
- caminhos preferenciais existentes nas camadas do solo da Bacia Experimental de Sumé (Molinier et al., 1989; Montenegro, 1990): o modelo de Green e Ampt considera uma frente de molhamento homogênea. O aparecimento de caminhos preferenciais, formado por fendas no solo, raízes e pequenas rochas, faz com que a água atinja as camadas mais internas de maneira heterogênea. Assim como no

caso anterior, este comportamento é contrário às hipóteses do modelo, e portanto resulta na variabilidade do parâmetro  $N_s$ . Além dos caminhos preferenciais, Montenegro (1990) cita possíveis circulações laterais no topo do horizonte vértico do solo de Sumé.

- a inexistência de uma rotina de atualização contínua da umidade do solo durante os intervalos entre os eventos: como o modelo não contempla a referida rotina se faz necessária a calibração deste parâmetro para cada evento, o que resulta numa variação grande do parâmetro entre as condições extremas do solo, seco ou saturado.

A variação notável dos valores de  $N_s$  entre as duas parcelas, para um mesmo evento mostra a heterogeneidade nas características do solo das parcelas, mesmo estando estes experimentos instalados nas proximidades um do outro.

### 6.3.1.1 Índices de umidade e os parâmetros para as parcelas

Conforme a Equação 4.3b, observa-se que o  $N_s$  está relacionado com o déficit da umidade no solo. Como foi descrito nos capítulos anteriores, foram testadas a natureza da variação entre este parâmetro e alguns índices de condição de umidade no dia do evento. Estes índices possuem uma relação direta com a precipitação que ocorreu nos dias anteriores a um dado evento. Os gráficos resultantes da análise entre o  $N_s$  e os índices mostraram uma grande dispersão, não permitindo uma indicação de uma tendência (Figuras 5.12 a 5.15). Gomes et al. (1987) verificaram que havia uma relação entre o índice de umidade de Kohler (Equação 5.1) e a lâmina escoada quando o coeficiente redutor  $K$  era igual a 0,95. Como a lâmina escoada está diretamente relacionado com o  $N_s$ , era de esperar uma relação entre o referido parâmetro e o índice de umidade  $IH$ .

A dispersão encontrada entre  $K_r$  e os índices utilizados foi bastante elevada. Pereira (1997) teve o mesmo problema quando empregou dois dos índices utilizados no presente trabalho. Era esperado encontrar uma tendência mais clara com o maior conjunto de dados utilizado neste trabalho. No entanto, este fato não foi constatado. Segundo Srinivasan e Galvão (1994) os parâmetros  $N_s$  e  $K_r$  guardam uma certa relação com as condições de umidade do solo antecedente ao evento. Assim, como obteve-se uma relação entre  $N_s$  e  $IH$  era esperado encontrar uma relação semelhante entre  $K_r$  e  $IH60$

Sabe-se que maiores valores de  $K$  representam uma maior parcela da umidade do solo que será passada para o próximo dia. Para as condições climáticas da região da Bacia Experimental de Sumé não seria condizente a utilização de um valor tão alto para o fator  $K$ . O valor do fator redutor ( $K$ ) mais adequado para a bacia experimental seria aquele que reflita a rápida recuperação da capacidade do solo de infiltrar. Por esse motivo, a melhor relação entre  $N_s$  e  $IH$  foi encontrada para valores de  $K$  abaixo de 0,95 (no caso 0,6) (Figura 5.20). A escolha foi efetuada, tomando-se como base a análise de tendência dos gráficos obtidos com valores de  $K$  que variaram de 0,5 a 0,9. Posteriormente, foi calculado o coeficiente de determinação para cada caso (relação  $N_s$  x  $IH$ ) chegando-se a conclusão que o valor  $K$ , que produziria bons resultados, estaria em torno de 0,6.

O coeficiente de determinação para a relação mostrada na Figura 5.20 foi igual a 0,249. Mesmo assim, a relação mostrada na Figura 5.20, juntamente com a relação entre  $N_s$  da parcela 4 e  $K_r$  da parcela 4, desenvolvida por Pereira (1997), representam um avanço na determinação dos valores dos parâmetros principais para os planos, sem a necessidade de calibração. A partir de um dado básico que é a precipitação pode-se obter o valor de  $N_s$  e de  $K_r$ , que serão as estimativas possíveis de serem feitas quando não há dados disponíveis.

A influência das camadas que compõem os horizontes do solo sobre o valor de  $K_r$  testada através dos valores de  $IH$  para um, dois e três dias anteriores ao evento com redutor de 0,60, não pode ser caracterizada. A dispersão na Figura 5.24 e a ausência de uma forte correlação entre  $K_r$  e  $N_s$ , evidencia dois problemas inerentes. O primeiro é a dificuldade prática em obter estimativas precisas de erosão, pois uma pequena variação na concentração medida em amostras, transforma-se numa grande diferença no valor da erosão calculada, devido à multiplicação pelo volume total escoado. O segundo fator é que a umidade do solo é apenas um dos agentes que afetam significativamente o escoamento e a erodibilidade do solo. Existem outros fatores (intensidade da chuva, declividade do terreno, tipo de solo, tratamento do solo, tipo de cultura, as camadas que compõem o solo, etc.) que afetam a erodibilidade do solo. Enquanto o grau de influência de outros fatores não puderem ser quantificados, a umidade do solo ou o parâmetro  $N_s$  pode ser considerado como o fator principal que afeta o valor de  $K_r$ . Não foi possível estabelecer uma relação quantitativa mas sim uma relação qualitativa entre  $K_r$  e o índice  $IH$  calculado para dois dias antes do evento. De alguma maneira, a defasagem na associação do  $IH$  com  $K_r$  indica a influência da estratificação do solo.

### 6.3.2 Microbacias

O resultado da calibração dos parâmetros  $N_s$  e  $a$ , para a microbacia 3, encontra-se listado na Tabela 5.6. Assim como no caso das parcelas pode-se notar uma grande variação no valor de  $N_s$ , de evento a evento. As microbacias são formadas de vários elementos com características que diferem entre si. Sendo assim, o valor de  $N_s$  representa os efeitos globais do processo de infiltração que ocorre em todos os elementos e seu valor vai variar de acordo com o evento de precipitação e das condições de umidade do solo da bacia antes do início.

Não foi possível calibrar o valor de  $N_s$  para alguns dos eventos selecionados para a microbacia 3. Sabe-se que a precisão da modelagem de erosão depende do resultado do modelo hidrológico. Não podendo ajustar a lâmina escoada o ajuste de erosão ficará comprometido. Desta forma, é natural que haja maiores dificuldades na obtenção dos parâmetros de erosão do que os parâmetros de escoamento superficial.

O valor do parâmetro de erosão em canais também apresentou bastante variação, que esteve entre 0.00001 e 0.35451. Se comparado aos valores de  $K_r$  da parcela, a faixa de variação foi bem mais estreita. Devido ao fato da erosão pelo fluxo concentrado acontecer nas condições de saturação do perímetro molhado do canal, o valor do parâmetro  $a$  não deveria variar muito ou mesmo deveria possuir um valor representativo. Como no modelo não existe uma rotina que limite a quantidade de sedimentos que o fluxo pode transportar haverá em todos os eventos erosão nos planos, erosão nos canais e deposição de sedimento nos planos e nos canais. Observou-se que para as parcelas ocorre uma variação do parâmetro  $K_r$  de evento a evento. Este fato também ocorre nos planos das microbacias, visto que é nos planos que o processo de erosão ocorre de forma mais acentuada. Como para a microbacia o valor de  $K_r$  foi previamente fixado, qualquer efeito da variação no valor de  $K_r$  será refletida no valor de " $a$ ". Neste caso o parâmetro " $a$ " está servindo para ajustar o valor final da produção de sedimento resultante dos processos erosivos nos planos e nos canais e não apenas para representar a erodibilidade do solo nos canais. Isto explica sua variabilidade de evento para evento.

Mesmo o parâmetro de infiltração tendo sido bem calibrado, foram observados vários eventos onde não foi possível a calibração do parâmetro de erosão. Após uma análise, estes eventos foram identificados como sendo aqueles em que a intensidade máxima da chuva foi bastante elevada (acima de 20 mm/h) e a precipitação no dia anterior foi próximo a zero. Este quadro caracteriza um solo seco ou quase seco. Nessas condições a chuva de grande intensidade rapidamente satura uma fina camada superficial não necessitando saturar as

camadas mais profundas e resulta num escoamento alto. Para esta situação o modelo tende a gerar um grande valor de sedimento erodido, que na realidade não ocorre nos planos. Esta variação é compensada através do valor do parâmetro “ $a$ ”, que deve ser reduzido muito para fazer com que o modelo consiga reproduzir o valor observado. Na maioria das vezes nestes casos o parâmetro atingiu o valor mínimo sem que seja atingido o valor de erosão observado.

A aplicação do valor médio de “ $a$ ”, como sendo representativo para todos os eventos, não produziu bons resultados, pois na maioria dos eventos o valor de erosão calculada esteve bem acima do valor observado. Isto leva a crer que o valor médio não se mostra representativo para ser empregado no modelo (Figura 5.11), devido a influência dos outros fatores discutidos anteriormente.

### 6.3.2.1 Os parâmetros para microbacias

O gráfico resultante da relação entre os valores do parâmetro  $N_s$  e o índice  $IH60$  apresentou uma grande dispersão (Figura 5.26) não tendo sido vista a mesma tendência de decaimento encontrada para a parcela 4. Nota-se a existência de vários valores de  $N_s$  para um dado valor de  $IH60$ . Esta variabilidade pode ser atribuída ao fato de  $N_s$  representar o efeito global dos processos de infiltração que acontecem nas microbacias e, desta forma, fatores como características do substrato, declividade, topografia etc., poderão influenciar no valor calibrado deste parâmetro. Este efeito contribui de forma negativa para uma melhor caracterização da relação entre o índice de umidade e o  $N_s$  da microbacia. Uma outra influência seriam as considerações sobre o modelo de Green e Ampt (1911) que também poderá influenciar nesta relação (Risse et al., 1994), pois são simplificadas e divergem dos processos observados na área da bacia experimental (Molinier, 1988, Molinier et al., 1989; Montenegro, 1990).

Quando os valores do parâmetro de erosão pelo fluxo concentrado “ $a$ ” foram relacionados ao índice  $IH60$  não foi observada uma tendência clara (Figura 5.27). Então uma outra tentativa relacionando “ $a$ ” com o índice  $IH60$  para um, dois e três dias anteriores ao evento foi feita. Este processo, também, não mostrou nenhuma tendência clara. É bem provável que os processos que interferem numa tendência clara entre o parâmetro  $K_r$  e o índice  $IH$  sejam os mesmos para o caso do parâmetro “ $a$ ”. A constituição das camadas de solo na área da bacia experimental exerce uma grande influência nos processos de infiltração, escoamento superficial e erosão. Os parâmetros principais do modelo estão intimamente

ligados a estes processos e refletem as suas variações, ou seja, qualquer fenômeno que influencia estes processos influenciará os parâmetros também.

Como tinha sido encontrada uma interdependência entre  $K_r$  e  $N_s$ , decidiu-se verificar se existia uma relação entre  $a$  e  $N_s$  (Figura 5.27). Observa-se nesta figura que, para valores pequenos de  $N_s$  (solo próximo da saturação), o valor de  $a$  é alto, o que significou uma tendência de maior erosão nos canais. O valor deste parâmetro tende a diminuir até  $N_s$  igual a 32 mm, voltando a crescer a partir deste valor. O gráfico resultante é bastante curioso merecendo uma investigação mais detalhada deste fenômeno. Muito provavelmente, este comportamento está associado com o efeito diferencial da produção de sedimentos nos planos e nos canais. Isto é, quando os planos produzem muitos sedimentos pela erosão, o valor de “ $a$ ” diminui e quando a produção no plano é muito pequena, esta erosão ocorre nos canais o que eleva o valor do parâmetro “ $a$ ”.

Para valores pequenos de  $N_s$  (solo úmido) nota-se um grande aglomerado de valores de  $a$  próximos a zero (Figura 5.28). Visto que o valor de  $K_r$  tinha sido previamente fixado, esta nuvem de pontos próximos a zero leva a crer que houve uma grande erosão nos planos e que este material retirado foi transportados para os canais. Como havia uma grande disponibilidade de material erodido, o valor de “ $a$ ” foi forçado a cair para que a erosão a ser calculada estivesse próxima ao observado. Quando o valor de  $N_s$  é alto, representando um solo seco, a erosão nos planos atingiu baixos valores e, para compensar, o modelo tende a erodir os canais, o que pode ser traduzido em valores altos para o parâmetro  $a$ .

Os pontos mais à direita do gráfico da Figura 5.28 possuem em comum o fato de estarem relacionados a eventos de grande intensidade, valores totais de precipitação acima de 20 mm, e índice de umidade próximo de zero, indicando um solo bastante seco. Para estas condições o modelo gera uma pequena erosão. Para atingir o valor de erosão observada, aumenta-se o valor de “ $a$ ”. Daí a relação deste parâmetro com chuvas de grande intensidade. Uma relação quantitativa entre  $a$  e  $N_s$  foi testada, mas o coeficiente de determinação das relações obtidas foram muito baixos e foram rejeitados, nesta fase do estudo.

## 6.4 Avaliação do programa computacional

De acordo com as Equações 4.1, 4.3a e 4.3b, para o solo próximo da saturação, o valor de  $N_s$  é mínimo. Valores altos de  $N_s$  refletem um solo seco. Observa-se nas Tabelas 3 e 4 do Anexo I que, para a maioria dos eventos com valores altos de precipitação, no dia do

evento e no dia anterior ao evento, o valor de  $IH$  esteve próximo de 60 mm. Era de esperar que nestes eventos o escoamento fôsse bem elevado, mas não foi o que os dados mostraram.

Este comportamento leva a crer que para os eventos com as características acima citadas o modelo gera uma lâmina bem abaixo do valor observado. Uma maneira de fazer com que a lâmina calculada iguale à lâmina observada é diminuir o valor de  $N_s$ , fazendo com que a capacidade de infiltrar seja reduzida e o excesso de precipitação possa escoar com uma maior lâmina. Nestes casos,  $N_s$  atinge valores próximos de zero sem que a função objetivo (LC igual a LO) seja atingida. Por consequência, a calibração dos parâmetros, neste evento, fica impossibilitada.

O comportamento acima citado apresenta-se como uma das limitações do modelo de Green e Ampt, fato este comentado por Risse et al. (1994). Os autores citam que a referida equação tendeu a superestimar o valor do escoamento superficial para pequenos eventos e subestimar o valor do escoamento para grandes eventos de precipitação. Sendo assim, essas variações não poderão ser corrigidas através da calibração dos parâmetros. Entende-se por grandes eventos, aqueles que possuem uma longa duração.

De acordo com Risse et al. (1994), as justificativas para este comportamento foram as seguinte: Para os pequenos eventos uma pequena parte da parcela ou dos planos da bacia contribuem para o escoamento superficial. Uma vez que o modelo assume que toda a parcela contribui para o escoamento superficial, ele tentara superestimar o escoamento para estes eventos. Os grandes eventos possuem longa duração e neste intervalo encontram-se períodos de baixa intensidade. Para o cálculo do excesso de precipitação a chuva é particionada (ver item 4.2.2.1) em pequenos intervalos. Embora as intensidades destes intervalos de precipitação se adequem às características do evento original, o processo de desagregação e a ocorrência dos períodos de baixa intensidade podem contribuir para um aumento da infiltração e consequentemente uma subestimação do escoamento nesses eventos.

Outro fator a ser levado em consideração é que, caso a precipitação inclua períodos relativamente longo e de baixa intensidade, a frente de molhamento tenderá a redistribuir e este comportamento não é compatível com as suposições que deram origem ao modelo de Green e Ampt. Novamente, o modelo tenderá a superestimar o escoamento superficial, não levando em conta o efeito da redistribuição da umidade do solo

Em outras palavras, quando o modelo trabalha com um pequeno evento, ele gera um valor de lâmina bem maior do que aquele observado. Como a lâmina observada, associada a

este evento é de pequenas proporções, é necessário fazer com que ocorra uma maior infiltração para que a lâmina calculada seja reduzida. Isto é conseguido aumentando-se o valor de  $N_s$ . Este procedimento muitas vezes leva ao valor máximo de  $N_s$  sem que seja atingida a lâmina observada. Quando o modelo trabalha com um grande evento ele tentará gerar um pequeno valor de lâmina escoada. Como o evento observado está associado a um grande valor de lâmina deve-se reduzir o efeito da infiltração para que ocorra uma lâmina maior. Isto é feito através da diminuição do valor de  $N_s$ . Para alguns eventos o valor de  $N_s$  atinge o mínimo sem que a lâmina calculada iguale a lâmina observada. Estas situações deverão ser levadas em consideração na análise de variação do parâmetro  $N_s$ , visto que uma das características pluviométricas da região do Cariri é a chuva de curta duração e de grande intensidade (Cadier et al., 1983; Leprun, 1981; Figueiredo, 1998).

Mesmo com o exaustivo trabalho de análise de consistência dos dados a forma de coleta também seria um fator a influenciar na qualidade dos mesmo e, por conseqüência, nos valores dos parâmetros em discussão. Como foi evidenciado, o processo de coleta de dados de erosão está sujeito a muitas falhas, pois o valor final baseia-se na concentração de sedimentos presentes nas amostras coletadas. Por sua vez, estes valores são multiplicados pelo volume presente na fossa de sedimentos. Caso a amostra tenha sido retirada de um local com grande concentração de sedimento, o valor final não será condizente com a realidade. No que diz respeito a coleta dos dados de lâmina escoada, mesmo sendo o processo mais simplificado, não estaria isento de erros tanto na coleta, quanto na estimativa.

## 6.5 Transposição dos Parâmetro e Validação do Modelo

A validação do modelo WESP foi efetuada através da aplicação dos parâmetros calibrados na microbacia 3 à microbacia 4. As relações entre a lâmina calculada e a lâmina observada bem como entre a erosão calculada e a erosão observada, para cada evento e diferentes métodos de aplicação poderão ser vistas através dos gráficos das Figuras 5.29 a 5.33 e nas Tabelas 5.7 e 5.9.

Os valores de  $N_s$  e  $K_r$ , resultantes das relações de regressão, fizeram com que o modelo calculasse valores de lâmina próximos do que foi observado, e valores de erosão menores do que o observado (Figura 5.29 e 5.30). Nota-se na Figura 5.29 que a maioria dos pontos estão em torno da linha de igual valor, o que indica uma boa representatividade dos dados utilizados para a obtenção da relação que fornece o valor de  $N_s$ . A mesma afirmativa não pode ser feita para os valores de erosão (Figura 5.30). Observando-se os resultados



fornecidos pelas equações de regressão (Tabela 5.9) pode-se notar que ocorreram vários eventos onde o valor de  $N_r$ , calculado ficou acima do valor calibrado resultando numa lâmina menor. Na mesma tabela vê-se que  $K_r$  esteve sempre abaixo do valor médio adotado para as microbacias ( $1.786 \text{ kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$ ). Os processos erosivos são dependentes de uma série de fatores, inclusive do próprio escoamento superficial. Este fator, associado com os menores valores de  $K_r$  e aos valores pré-fixados de  $a$  traduz-se em uma menor produção de sedimentos o que pode ser constatado na Figura 5.30 e na Tabela 5.9.

Quando os parâmetros calibrados na microbacia 3 foram empregados diretamente na microbacia 4, o modelo simulou a lâmina escoada acima da linha de igual valor, mas com uma clara tendência de igualdade entre observado e calculado, notável pelo maior número dos pontos muito próximos a linha de igual valor (Figura 5.31). No que diz respeito à produção de sedimentos (Figura 5.32) o gráfico relativo mostra uma grande dispersão com uma fraca tendência de previsão de uma menor erosão em relação à observada. Isto indica que a simples transferência dos valores dos parâmetros de erosão não garante excelentes resultados e a definição dos parâmetros de erosão deve ser feita com dados regionais e confiáveis.

Como pode ser visto, a transferência dos valores dos parâmetros, obtidos evento a evento, apesar de não gerar valores muito próximos aos observados no que diz respeito à produção de sedimentos, os valores correspondem às expectativas dada a variabilidade inerente no processo de erosão. O emprego do valor médio do parâmetro " $a$ " juntamente com a fixação de um valor único para o parâmetro  $K_r$  fez com que a erosão calculada pelo modelo fosse, na maioria dos eventos, bem maior do que aquela observada (Figura 5.33). Este comportamento, contrário ao que foi encontrado com parâmetros eventuais, se justifica pelo fato de que foi empregado um valor alto dos dois parâmetros ( $K_r$  igual a  $1,786 \text{ kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$  e " $a$ " igual a  $0,0215 \text{ kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$ ) através do valor médio o que leva a uma maior produção de sedimentos, na maioria dos eventos que têm valores menores destes parâmetros.

Observa-se nas Tabelas 5.7 e 5.8 que o erro percentual entre o valor de erosão calculado e o observado foi alto. A Tabela 5.9 mostra valores mais baixos para o erro percentual o que pode ser interpretado como uma boa estimativa dos parâmetro a partir das relações obtidas.

Nas três maneiras utilizadas para transpor os parâmetros o que pode ser observado é que o modelo simula bem a produção de lâmina e subestima ou superestima o valor da produção de sedimentos. As dificuldades enfrentadas na modelagem dos processos de erosão

e produção de sedimentos são amplamente tratadas na literatura. Apenas os espaços contínuos e investigações em dados de campo podem contribuir para obter bons resultados.

## 7 CONCLUSÕES

Com base na aplicação do modelo WESP para os dados de escoamento e erosão coletados nas instalações da Bacia Experimental de Sumé entre 1982 e 1991 pode se concluir que:

- 1) Houve uma mudança perceptível nos processos de erosão e escoamento superficial entre os dois períodos 1982 a 1987 e 1988 a 1991, nas parcelas 1 e 4. O escoamento superficial gerado que, em média, era igual nas duas parcelas no primeiro período, aumentou na parcela 1 em relação à 4 no segundo período. A erosão que era maior na parcela 4 no primeiro período diminuiu significativamente no segundo, sendo em vários eventos, superada pela erosão na parcela 1. A diminuição do escoamento e erosão na parcela 4 no segundo período é atribuído ao efeito de aumento da infiltração e esgotamento de finos na superfície;
- 2) Os parâmetros principais dos modelos, calibrados neste estudo, variaram numa larga faixa entre os eventos de precipitação não sendo evidente um valor predominante de cada um destes parâmetros. A variação nas características do solo na superfície e subsuperfície, a grande variação da umidade do solo na superfície e nas camadas inferiores e os efeitos residuais dos eventos anteriores são considerados como os fatores principais causadores desta variação.
- 3) O fator de redução, usado no cálculo do índice de umidade de Kohler, que melhor representa as características dos processos na Bacia Experimental, é próximo a 0,6 do que 0,95 evidenciado nas análises qualitativas iniciais, principalmente no que diz respeito à recuperação da capacidade de infiltração.
- 4) Em termos de estimativa dos parâmetros a partir das condições físicas do solo, foi encontrada uma relação entre o parâmetro da sucção e armazenamento da umidade do solo  $N_s$ , e o índice de umidade de Kohler IH60. Apesar de não ter verificado um coeficiente de correlação significativamente alto entre os dois, a tendência é inconfundível e portanto a relação indicada na Figura 5.20, pode ser utilizada como a melhor estimativa inicial do parâmetro  $N_s$ .

- 5) A inter-relação entre o parâmetro de erodibilidade do solo  $K_r$  e o  $N_s$  sugerida por Pereira (1997) foi verificada no presente trabalho o que leva a concluir que ambos os parâmetros são bastante afetados pela variação da umidade nas camadas superiores do solo. Entretanto, o grau de correlação encontrado entre  $K_r$  e  $N_s$  foi menor do que entre  $N_s$  e  $IH60$ . Portanto, existem outros fatores importantes que contribuem para a variabilidade do parâmetro  $K_r$  que devem ser investigados;
- 6) O parâmetro de erosão para canais “ $a$ ” que era esperado ser o menos variável entre todos os parâmetros, também variou bastante entre os eventos e até apresentou um comportamento singular de diminuir com o índice de umidade até um certo ponto e aumentar de novo, conforme indicado na Figura 5.28. Esta tendência deve ser verificada com mais dados e outras investigações. A variabilidade do parâmetro “ $a$ ” parece refletir mais as variações do parâmetro  $K_r$  de erosão nos planos do que uma variação real deste parâmetro.
- 7) A simulação dos processos de escoamento e erosão na microbacia, utilizando-se os parâmetros obtidos pela calibração na microbacia 3, por três métodos diferentes, mostra que o modelo WESP pode ser utilizado para obter-se as estimativas eventuais do escoamento e erosão em bacias com características semelhantes às microbacias de Sumé.
- 8) Dada a grande variação dos parâmetros observados entre os eventos na Bacia Experimental de Sumé, se faz necessária uma investigação de longo prazo para se avaliar a estacionaridade dos parâmetros e confirmar as relações observadas nas Figuras 5.20 e 5.22.

## 8 RECOMENDAÇÕES

Com base nas investigações realizadas neste trabalho utilizando-se os dados gerados na Bacia Experimental de Sumé e no contexto da aplicação do modelo WESP são feitas as seguintes recomendações:

- 1) Investigar os fatores que contribuem para a variação dos parâmetros de erosão  $K_r$  e, conseqüentemente, o parâmetro "a" da erosão nos canais;
- 2) Aprofundar as investigações sobre a existência de uma relação entre os parâmetros de erosão e índices que reflitam as condições físicas do solo na Bacia Experimental;
- 3) Investigar a variabilidade dos parâmetros  $N_s$  e  $K_r$  ao longo do tempo, por longo prazo, para verificar as características de estacionaridade;
- 4) Verificar os valores característicos dos parâmetros do modelo com dados de outras bacias que tenham condições físico-climáticas semelhantes a da Bacia Experimental de Sumé;

## 9.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E. and Rasmussen, J. (1986a). An introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen, "SHE", 1: History and Philosophy of a Physically-Based, Distributed Modeling System. *J. Hydro.*, 87: 45-59.
- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E. and Rasmussen, J. (1986b). An Introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen, "SHE", 2: Structure of a Physically-Based, Distributed Modeling System. *J.Hydrol.*, 87: 61-77.
- Ackers, P. & White, W. R. (1 973) Sediment transport: new approach and analysis. *Journal of the Hydraulics Division. ASCE*, 99(HY 11): 1211-1220-2060.
- Agricultural Research Service (1983) Agricultural Research Service Program Plan, USDA, ARS, 32p.
- Albuquerque, J. do P. T. de. (1970) Inventário hidrogeológico do Nordeste; folha 15 Jaguaribe-SE. Recife, SUDENE. 187 p. Série Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 32.
- Alonso, C. V.; DeCoursey, D. G. (1983) Small watershed model, Proc. of the Natural Resources Modeling Symposium, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Pingree Park, CO, pp. 40-46.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (1975) Sedimentation engineering. New York, Vanoni, V. A. editor, 745 p.
- Audry, P. ; Cadier, E. & Leprw-4 J. C. Molinier, M. (1987) Projeto: "Dinâmica da água e das matérias em um ecossistema representativo do Nordeste Brasileiro. Condições de extrapolação espacial na escala regional". Recife, ATP-PIREN, ORSTOM, 78 p.
- Bathurst, J.C. and O'Connell, P.E. (1992). Future of Distributed Modeling: The Système Hydrologique Européen. *Hydrological Processes*, V.6: 265-277. John Wiley & Sons, Ltd.

- Bathurst, J.C. and O'Connell, P.E. (1992). Future of Distributed Modeling: The Système Hydrologique Européen. *Hydrological Processes*, V.6: 265-277. John Wiley & Sons, Ltd.
- Bathurst, J.C. (1986a). Physically-Based Distributed Modelling of an Upland Catchment Using the Système Hydrologique Européen. *J. Hydrol.*, 87: 79-102.
- Bathurst, J.C., Wicks, J.M., and O'Connell, P.E. (1995). The SHE/SHESED Basin Scale Water Flow and Sediment Transport Modelling System. In: V.P.Singh (editor). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- Beasley, D. B.; Huggins, L. F.; Monke, E. J. (1980) ANSWERS: a model for watershed planning. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.*, 23(4): 938-944.
- Bennett, J. P. (1974) Concepts of mathematical modeling of sediment yield. *Water Resources Research*, 10(3): 485-492.
- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (1985) *Conservação do solo*. Piracicaba, Livroceres, 368p.
- Beven, K. (1989). Changing Ideas in Hydrology - The Case of Physically Based Models. *J. Hydrol.*, 105: 157-172.
- Beven, K. and O'Connell, P.E. (1982). On the Role of Physically-Based Distributed Modelling in Hydrology. Institute of Hydrology, Report 81, Wallingford.
- Borah, D. K.; Alonso, C. V.; Prasad, S. N. (1981) Stream channel stability, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Miss., Appendix I.
- Cadier, E. & Freitas, B. J. (1982) *Bacia Representativa de Sumé; primeira estimativa dos recursos de água*. Recife, SUDENE. 195p.
- Cadier, E.; Freitas, B. J. de & Leprun J. C. (1983) *Bacia Experimental de Sumé-PB; Instalação e primeiros resultados*. In: *Anais V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos*, Blumenau, ABRH. Vol. 1, p. 69-90.
- Cadier, E.; Lanna, A. E.; Menezes, M. & Catipello, M. S. (1987). *Avaliação dos estudos referentes aos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste Brasileiro*. *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Salvador, ABRH. Vol. 2, p. 225-239.

- Carvalho, N. O. (1994) Hidrossedimentologia prática, Rio de Janeiro, CPRM, 372p.
- Chow, V. T. (1959) Open-channel hydraulics. Tokyo, McGraw-Hill / Kogakusha, 680p.  
Apud Galvão (1990).
- Chu, S. T. (1978) Infiltration during an unsteady rain. *Water Resources Research*, 14(3):461-466.
- Clarke, R. T. (1973) *Mathematical models in hydrology*, Rome, FAO, 282p.
- Cook, H. L. (1936). The nature and controlling variables of the water erosion process. *Soil Science Society American Proc.* 1: 487-494.
- Croley, T. E., H. (1982) Unsteady Overland Sedimentation. *Journal of hydrology*, 56:325-346.  
Apud Lopes (1987).
- Crawford, N. H.; Donigian, A. S. Jr. (1973) Pesticide transport and runoff model for agricultural lands. Report No. EPA 660/274-013, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Curtis, D. C. (1976) A deterministic urban storm water and discharge model. In: *Proc. Of National Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics, and Sediment Control*. University of Kentucky. Lexington, KY. P. 151-162. Apud Foster (1982).
- Davis, S. S. (1978) Deposition on non uniform sediment by overland flow on concave slopes. West Lafayette, Purdue University, 137p. M. Sc. Thesis. Apud Lopes (1987).
- Doherty, F. R.; Araújo Filho, P. F. e Cadier, E. (1994); Modelização hidrológica das pequenas bacias do Nordeste brasileiro, SUDENE, DPG, PRN, HME, (hidrologia, 33), Recife, 198p.
- Dooge, J. C. I. (1973) *Linear theory of hydrologic systems*, Technical Bulletin n. 1948, ARS, US Department of Agriculture.
- Dunne, T. (1978). *Field Studies of Hillslope Flow Processes*. In: *Hillslope Hydrology*, edited by M.J. Kirkby, pp. 227-293. John Wiley, New York.



- Einstein, H. A. (1968) Deposition of suspended particles in a gravel bed. *Journal of the Hydraulics, Proc. ASCE*, 94(HY5):1197-1205. Apud Lopes (1987).
- Ellison, W. D. (1947) Soil erosion studies. *Agricultural Engineering*, Vol. 28. Apud Foster (1982).
- Engelund, F. & Hansen, E. (1967) A monograph on sediment transport in alluvial streams. *Teknisk Vorlag, Copenhagen*, 62p. Apud Lopes (1995).
- Figueiredo, E. E. e Srinivasan, V. S. (1999) A avaliação dos impactos do uso do solo e da influência dos açudes sobre o escoamento para o açude de Sumé – PB, In: *Anais XIII Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos*. Belo Horizonte, ABRH, Anais em CDROM.
- Figueiredo, E. E. (1998a) Estimativa de parâmetros físicos do solo da bacia representativa de Sumé com base na textura, In: *Anais IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Campina Grande, Paraíba, ABRH, Anais em CDROM.
- Figueiredo, E. E. (1998b) Scale effects and land use change impacts in sediment yield modelling in a semi-arid region of Brazil, Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, UK.
- Fleming, G. & Al Kadhimi, A. (1982) Sediment modeling and data sources: a compromise in assessment. In: Walling, D. E. *Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield*. Exeter, IAHS, p. 251-259. IAHS publication 137.
- Foster, G. R. (1982) Modeling the erosion process. In: Haan, C. T. ; Johnson, H. P. & Brakensiek, D. L., Ed. *Hydrologic modeling of small watersheds*, St. Joseph, American Society Agricultural Engineers, p. 297-380.
- Fotius, G. (1983) Bacia Experimental de Sumé; estratificação e composição da vegetação. In: Cadier, E.; Freitas, B. J. de & Leprun J. C. *Bacia Experimental de Sumé; instalação e primeiros resultados*. Recife, SUDENE, p. 46-53.
- Frere, M. H., Onstad, C. A. e Holtan, H. N. (1975) ACTMO, na agricultural chemical transport model. ARS – H –3, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

- Góes, C. C. F. 1993. A Influência das características da chuva e da cobertura vegetal sobre o escoamento e a erosão do solo. Campina Grande. 109p. Dissertação de Mestrado.
- Gomes, H. P., Srinivasan, V. S.; Cadier, E. & Galvão, C. de O (1987a) Um estudo experimental do escoamento superficial e erosão na região semi-árida paraibana. In: Anais VII Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos. Salvador, ABRH, vol. 3, p. 322-337.
- Green, W. H. & Ampt, G. A (1911) Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. Journal Agr. Sci., 4(1) : 1-24. Apud Mein & Larson (1973).
- Holeman, J. N. (1968). The sediment yield of major rivers of the world, Water resources research 4(4); 737-747. Apud Foster (1982).
- Horton, R.E. (1933). The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle. Trans. Am. Geophys. Union, 14: 446-460.
- Hutchinson, D. E.; Pritchard. H. W., and others. 1976. Resources Conservation glossary. In: Journal of soil and water conservation 31(4) p. 63. Apud Foster (1982).
- Kibler, D. F. & Woolhise, D. A (1970) The kinematics cascade as a hydrologic model. Fort Collins, Colorado State University, 27p. Hydrology Papers 39.
- Kilinc, M. & Richardson, E. V. (1973) Mechanics of soil erosion from overland flow generated by simulated rainfall. Hydrology Paper 63, Colorado State University, Fort Collins, CO., 54p. Apud Lopes (1995).
- Knisel, W.G. (1980). CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. Cons. Res. Report, 26, USDA.
- Ibiza, D. (1983). Um modèle Simplifié de Calcul des Écoulements Mensuels par Bilan Hidrique; Application: Variation de Quelques Paramètres Hydrologiques d'après L'aspect des Bassins. Cahiers ORSTOM, sér. Hydrologie, (1):3-22.
- Lal, R. (1988) Effects of slope length, slope gradient, tillage methods and cropping systems on runoff and soil erosion on a tropical alfisol: preliminary results, In: Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium), Porto Alegre, IAHS. P. 307-314. IAHS Publ. N° 174.

- Lal, R. (1988) Effects of slope length, slope gradient, tillage methods and cropping systems on runoff and soil erosion on a tropical alfisol: preliminary results, In: Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium), Porto Alegre, IAHS. P. 307-314. IAHS Publ. N° 174.
- Lal, R. (1990). Soil Erosion in the Tropics - Principles and Management. McGraw-Hill, Inc, London.
- Lal, R. (1993). Soil Erosion and Conservation in West Africa. In: David Pimentel (editor). World Soil Erosion and Conservation. Cambridge University Press.
- Lal, R. (editor) (1994). Soil Erosion - Research Methods. Soil and Water Conservation Society, St. Lucie Press, United States.
- Lal, R. (1994). Soil Erosion by Wind and Water: Problems and Prospects. In: Lal, R. (editor). Soil Erosion - Research Methods. Soil and Water Conservation Society, St. Lucie Press, United States.
- Lal, R. and Elliot, W. (1994). Erodibility and Erosivity. In: Lal, R. (editor) (1994) - Soil Erosion - Research Methods. Soil and Water Conservation Society, St. Lucie Press, United States.
- Lane, L. J. & Shirley, E. D. (1985) Erosion and sediment yield equations: solutions for overland flow. West Lafayette, 22p. Apud Lopes (1987).
- Lane, L. J. & Woolhiser, D. A. (1977) Simplifications of Watershed geometry affecting simulation of surface runoff, Journal of Hydrology, Elsevier Scientific Pub., 35(1977):173-190.
- Lanna, A E. & Schwarzbach, M. (1989) MODHAC - modelo hidrológico auto calibrável. Porto Alegre, IPH/UFRS. Apud Galvão (1990).
- Leprun, J. C. (1981) A erosão, a conservação e manejo do solo no Nordeste Brasileiro; balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa. Recife, SUDENE/ORSTOM, 107 p.
- Leprun, J. C. (1983) Relatório do fim do convênio de conservação e manejo de solo no Nordeste Brasileiro (1982-1983). Recife, SUDENE/ORSTOM, 290 p.

- Li, R. M. (1979) Water and sediment routing from watersheds, In: H. W. Shen (editor), Modeling of Rivers. Wiley-Interscience, New York, pp. 9-1-9-88.
- Liong, S. Y.; Selvalingam, S. & Brady, D. K. (1989) Roughness values. For overland flow in sub-catchments. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 115(2) : 203-214. Apud Galvão (1990).
- Lopes, V. L. (1995) CHDM: Catchment Hydrology Distributed Model. In: Proceedings of the ASCE Watershed Management Symposium, ASCE, San Antonio, Texas, pp.144-154.
- Lopes, V. L.; Nearing, M. A.; Foster, G. R.; Finker, S. C. and Gilley J. E.. (1989) The water Erosion Prediction Project: Model Overview. In: Proc. ASCE National Water Conference Irrigation and Drain. And Water resources planning and Mgmt. Divs. Newark, DE. p.503-510.
- Lopes, V. L. (1987a) A numerical model of watershed erosion and sediment yield. Tucson, 148 p. PhD. Dissertation, University of Arizona.
- Lopes, V. L. & Lane, L. J. (1987b) Um modelo computacional de simulação hidrológica. In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Salvador, ABRH, Vol. 2, p. 481-494.
- Lopes V. L. (1980) Um estudo da erosão e da produção de sedimentos pelas chuvas. Campina Grande, 70 p. Dissertação de Mestrado.
- Lopes, V. L.; Srinivasan, V. L. (1981) Erosão superficial e produção de sedimentos pelas chuvas: o estado de conhecimento e perspectivas. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Fortaleza-CE.
- Lopes, J. E. G. ; Braga Jr., B. P. F. & Conejo, J. G. L. (1981) SMAP, a simplified hydrologic model. International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling, Mississippi. State University.
- MacCuen, R- H. (1989). Hydrologic analysis and design, New Jersey, Chapter 15. Apud Santos (1994).

- Mehta, A. J. (1983) Characterization tests for cohesive sediments. In: Shen, H. W. *Frontiers in hydraulic Engineering*, Cambridge, Mass., ASCEMT, p. 79-84. Apud Lopes (1987).
- Mein, R. G. & Larson, C. L. (1973). Modeling infiltration during a steady rain. *Water resources Research*. 9(2):384-394.
- Meyer L. D. and Wischmeyer. (1969) Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *TRANSACTIONS of the ASAE* 12(6):754-758, 762. Apud Foster (1982).
- Mihara, Y. (1951) Raindrops and soil erosion, *B. Nat. Inst. Agric. Science, Series A*. 1.
- Molinier, M.; Audry, P. & Leprun, J. C. (1989) Modelagem do escoamento superficial e da infiltração de um solo bruno do Nordeste semi-árido. In: *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Foz do Iguaçu, ABRH Vol. 1, p. 432-443.
- Molinier, M.; Audry, P.; Desconnets, J. C. & Leprun, J. C. (1988) Projeto: "Dinâmica da água e das matérias em um ecossistema representativo do Nordeste brasileiro. Condições de extrapolação espacial na escala regional" Relatório de andamento dos trabalhos. Recife, ATP-PIREN, ORSTOM, 15p.
- Molinier, M; Galvão, C. de O. & Gomes, H. P. (1987) Determinação do escoamento de uma bacia hidrográfica através das técnicas de simulação de chuva. In: *Anais VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos*, Salvador, ABRH, Vol. 2, p. 530-544.
- Montenegro, J. P. B. (1990) Caracterização hidrológica da infiltração e do escoamento superficial em uma micro-parcela sem vegetação do Cariri. João Pessoa, Dissertação de Mestrado, 140p.
- Montenegro, J. P. B. & Silans, A. M. B. P. (1991) IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Rio de Janeiro - Anais Vol. 1 p. 233-243.
- Morris, E. M.. (1981) Models of surface water flow. *Tropical Agricultural Hydrology*. Edited by R.Lal and E. W. Russel. p. 421-43 1.
- Musgrave, G.W. (1947). The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion: A First Approximation. *J. Soil and Water Cons.*, 2(3):133-138.

- Negev, M. (1967) A sediment model on a digital computer. Technical report 76. Stanford University. Stanford, CA. 109 p. Apud Foster (1982).
- Nouvelot, J. F. (1974). Planificação da Implantação de Bacias Representativas: Aplicação à Área da SUDENE. SUDENE, Recife. (in Portuguese).
- O'Connell, P.E.; Todini, E. (1996) Modeling of rainfall, flow and mass transport in hydrological systems: an overview, *Journal of Hydrology*, 175, p3-16.
- Onstad, C. A. & Foster, G. R. (1975) Erosion modeling on a watershed. *Trans. of the ASAE* 18(2):288-292. Apud Foster (1982).
- Philip, J. R. (1954) An Infiltration equation with physical significance, *Soil Science* 77:153-157.
- Pereira J. A. (1997) Modelagem do escoamento superficial e da erosão em microbacias na bacia experimental de Sumé - PB, Campina Grande. 165p. Dissertação de Mestrado.
- Powell, M. J. D. (1964) An efficient method for finding the minimum of several variables without calculating derivatives, *Computer Journal*, v. 7, 155-162pp.
- Raudikivi, A. J. (1976) *Loose boundary hydraulics*. 2. Ed. Oxford, Pergamon Press, 397p. Apud Galvão, (1990).
- Rawls, W.J. and Brakensiek, D.L. (1989). Estimation of Soil Water Retention and Hydraulic Properties. In: H.J.Morel-Seytoux (editor). *Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling Theory and Practice*, 275-300, Kluwer Academic Publisher.
- Reis, J. G. (1988) *Desertificação no Nordeste*, SUDENE/DPG/PRN, Recife, 40p.
- Rijn, L. C. V. (1984) Sediment transport, part 11: Suspended load transport. *J. Hydraulic. Eng.*, ASCE, 110(11), 1613 -1641.
- Refsgaard, J.C. and Storm, B. (1996). *Construction, Calibration and Validation of Hydrological Models*. In: M.B.Abbott and J.C.Refsgaard (editors). *Distributed Hydrological Modelling*. Kluwer Academic Publishers. London. pp 41-54.

- Risse, L. M.; Nearing, M. A. & Savabi, M. R. (1994) Determining the Green-Ampt effective hydraulic conductivity from rainfall-runoff data for the WEPP model, In: Transactions of the ASAE, ASAE, v. 37(2), p 411-418.
- Rose, C. W. (1960) Soil Detachment caused by rainfall, Soil Science, Baltimore, 89 (1): 28-36, January.
- Rovey, E. W.; Woolhiser, D. A. & Smith, R. E. (1977) A distributed kinematic model of upland watersheds. Fort Collins, Colorado State University, 52p. Hydrologic Papers 93.
- Rubin, J. (1966). Theory of Rainfall Uptake by Soils Initially Drier than their Field Capacity and its Implications. Water Res. Res., 2(4): pp. 739-749.
- Skaggs, R. W. e Khaleel, R. Infiltration, In: Haan, C. T. ; Johnson, H. P. & Brakensiek, D. L., Ed. Hydrologic modeling of small watersheds, St. Joseph, American Society Agricultural Engineers, p. 121-166.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., Rosemberger, J.S. and Papendick, R.I. (1986). Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 50, 1031-1036.
- Santos, C. A. G.; Suzuki, K;. Watanabe, M.; Srinivasan, V. S. (1998a) Método para determinação do parâmetro de tensão umidade do solo para modelagem da vazão e erosão
- Santos, C. A. G.; Suzuki, K;. Watanabe, M.; Srinivasan, V. S. (1998b) Otimização dos parâmetros de erosão do modelo WESP através de um algoritmo genético, In: Anais IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Campina Grande, Paraíba, ABRH, Anais em CDROM.
- Santos, C.A.G. (1997). Application of Runoff-Erosion Model for a Semiarid Area in Brazil. Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, Ehime University, Japan.
- Santos, C. A. G.; Suzuki, K;. Watanabe, M.; Azuma, M., Srinivasan, V. S. (1996) Study on slope erosion by simulated rainfall, In: Memoirs of the Faculty of Eng., Ehime University, Japan.

- Santos, C. A. G.; Srinivasan, V. S.; Suzuki K. & Watanabe M. (1995) Otimização dos parâmetros de um modelo hidrodinâmico de erosão pelo método de POWELL. In: Anais XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Recife, ABRH, Vol. 4, p. 167-172.
- Santos, C. A. G.. (1994). Runoff-erosion process modeling and determination of model parameters. Ehime, 103p. Dissertation, Ehime University.
- Schultz, J. P.; Jarrett, A.R.; Hoover, J. R. (1985) Detachment and Splash of a Cohesive Soil by Rainfall, American Society of Agriculture Engineering.
- Simons, D. B. & Sentürk, F. (1992) Sediment transport technology. Fort Collins, Water Resources Publications, 807p.
- Simons, D. B.; Li, R. M.; Stevens, M. A. (1975) Development of models for predicting water and sediment routing and yield from storms on small watersheds. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 130p.
- Singh, V.P. (editor) (1995). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publication, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- Singh, V.P. (1995). Watershed Modelling. In: V.P. Singh (editor). Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publication, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- Singh, V. P. (1989) Hydrologic Systems- Volume II: Watershed Modeling, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, United States.
- Siqueira, L. (1964) Aspectos hidrogeológicos do Cariri paraibano. SUDENE, Boletim de Recursos Naturais, Recife, 2(1/4):11-44.
- Skaggs, R. W.; Khaleel, R. (1982). Infiltration. In: Haan, C.T., Johnson, H.P., and Brakensiek, D.L. (editors). Hydrologic Modeling of Small Watersheds, ASAE, pp. 297-380.
- Smith, R. E. (1977) Field test of a distributed watershed erosion/sedimentation model. In: Soil erosion: Prediction and control. Special publication 21. Conservation society of American. Ankeny, IA, p. 201-209. Apud Foster (1982).



- Smith, R. E. (1976) Simulating erosion dynamics with a deterministic distributed watershed model. Proc. of the 3th Fed. Inter-Agency Sedimentation Conference, Denver, CO, 1.163-1.173.
- Smith, R. E. & Woolhiser, D. A.. (1981) A kinematic model for surface mine sediment yield. Trans. of Am. Soc. Agr. Eng., 24 (6): 1508-1514. Apud Lopes 1987.
- Sorooshian, S., and Gupta, V.K. (1995). Model Calibration. In: V.P.Singh (editor). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- Srinivasan. V. S. & Galvão, C. de O. (1994) Previsão do escoamento superficial e da erosão do solo através do modelo hidrodinâmico WESP. In: Anais II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza, ABRH, Vol 1. p. 231-240.
- Srinivasan, V. S. & Galvão, C. O. (1995) Evaluation of runoff and erosion loss in microbasins utilizing the hydrodynamic model WESP. Advances in Engineering Software. Elsevier Applied Science. Vol. 22 n2. P. 79-85. .
- Srinivasan, V. S.; Gomes, H. P.; Leprun, J. C. & Silva, I. G. (1988) Erosion studies in Sumé, a semi-arid region in northeast of Brazil. In: Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium), Porto Alegre, IAHS. P. 307-314. IAHS Publ. N' 174.
- Srinivasan, V. S.; Galvão, C. O.. (1990) Bacia Experimental de Sumé; resenha dos dados coletados – 1982/1988, Campina Grande, UFPB/CNPq/SUDENE/ORSTOM.
- Storm, B., and Refsgaard, J.C. (1996). Distributed Physically Based Modelling of the Entire Land Phase of the Hydrological Cycle. In: M.B. Abbott and J.C. Refsgaard (editors). Distributed Hydrological Modelling, Kluwer Academic Publishers, London, pp. 55-69.
- Streeter, V. L. & Wyle, E. B.. (1982) Mecânica dos fluidos. 7º ed. São Paulo, McGrawHill, 585p.
- SUDENE (1985). Recursos Naturais do Nordeste; Investigação e Potencial (Sumário das Atividades), 4a. Edição, Recife, Brazil.

- Trimble, S. W.. (1975). Denudation studies: Can we assume stream steady state? *Science*, 188: p. 1207-1208.
- Tucci, C. E. M. (1998) Modelos hidrológicos, Ed. Universidade /UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 668p.
- Tucci, C. E. M. e Clarke, R. T. (1997) Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* , v. 2, N. 1, p135-152
- Tucci, C. E. M. (1993) *Hidrologia: ciência e aplicação/ organizado por Carlos E. M. Tucci. Porto Alegre: Ed.da UFRS:ABRH: EDUSP. p. 374 - 388.*
- Tucci, C. E. M. (1987) Modelos determinísticos. In: *Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos, Nobel/ABRH, p. 211-324.*
- Vanoni, V.A. (1975). *Sedimentation Engineering. ASCE-Manuals and Reports on Engineering Practice No. 54. New York.*
- Vasconcelos Sobrinho, J. (1978) Identificação de processos de desertificação no Polígono das Secas do Nordeste brasileiro, SUDENE, Recife, 26p.
- Vasconcelos Sobrinho, J. (1978) Metodologia para identificação de processos de desertificação. Manual de indicadores, SUDENE, Recife, 20p.
- Wischmeier, W. H. (1976). Use and misuse of the Universal Soil-Loss Equation. *Journal of soil and water conservation* 31(1): 5-9. Apud Foster (1982).
- Wischmeier, W.H., Smith, D. D. (1978) Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning Agr. Handbook No. 537, U.S. Dept. Agr. Washington, D. C., 58pp.
- Wischmeier, W.H., Smith, D. D. (1960). A Universal Soil-Loss Estimating Equation to Guide Conserv. Farm Planning. *Trans. of the 7th Cong. Int. Soil Sci. Soc.*, 1:418-425.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. (1958). Rainfall Energy and its Relationship to Soil Loss. *Trans. AGU* 39, 285-291.

## **ANEXO I**

CH - cheia ou número do evento;  
IH60 - Índice de umidade para K igual a 0,6  
IH601 - índice de umidade IH60 para o dia anterior ao evento;  
IH602 - índice de umidade IH60 para dois dias anteriores ao evento;  
IH603 - índice de umidade IH60 para três dias anteriores ao evento;  
IH95 - índice de umidade para K igual a 0,95;  
Imáx - intensidade máxima do evento;  
Duração - duração total do evento em minutos;  
5diasa - total precipitado nos cinco dias anteriores ao evento;  
Chant - total precipitado no dia anterior ao evento;  
Chuva - total precipitado no dia do evento;  
EXP - tipo do experimento (parcela ou microbacia)  
Lâmina - lâmina escoada ;  
Peso - peso total da quantidade de sedimento produzida,

Tabela 1 - Relação de todos os eventos para as parcelas 1 e 4

CH	Data	Chuva (mm)	EXP	Lâmina (mm)	PESO (kg)	EXP	Lâmina (mm)	Peso (kg)
1	31/03/1982	16,7	P1	0,100	0,034	P4	0,090	0,031
2	15/04/1982	40,6	P1	8,110	5,770	P4	7,760	9,040
3	23/04/1982	43,7	P1	0,420	0,170	P4	0,930	1,270
4	23/04/1982	43,7	P1	14,400	5,740	P4	13,332	20,444
5	24/04/1982	5,3	P1	0,260	0,025	P4	0,110	0,006
6	01/05/1982	11,4	P1	0,120	0,010	P4	0,170	0,110
7	02/05/1982	70,2	P1	22,400	1,640	P4	30,670	14,062
8	05/05/1982	5,3	P1	0,130	0,160	P4	1,390	4,850
12	12/05/1982	6,9	P1	0,100	0,026	P4	0,170	0,130
13	03/02/1983	14,2	P1	0,040	0,039	P4	0,470	0,120
14	05/02/1983	14,2	P1	0,030	0,001	P4	0,040	0,001
15	06/02/1983	10,2	P1	0,120	0,011	P4	0,090	0,002
16	07/02/1983	44,5	P1	17,870	8,290	P4	12,225	7,393
17	12/02/1983	5,7	P1	0,280	0,089	P4	1,390	1,340
18	17/02/1983	9,3	P1	0,170	0,024	P4	0,910	0,150
19	19/02/1983	8,2	P1	1,210	1,170	P4	1,340	0,720
20	23/03/1983	16,8	P1	0,065	0,033	P4	0,160	0,040
21	27/03/1983	8,6	P1	0,245	0,339	P4	1,050	0,879
22	06/04/1983	26,1	P1	6,260	5,720	P4	8,010	19,612
25	07/02/1984	18,9	P1	6,430	6,670	P4	8,050	19,920
26	14/02/1984	7,7	P1	1,180	0,810	P4	0,260	0,340
27	29/02/1984	26,4	P1	10,940	14,900	P4	11,242	49,082
30	11/03/1984	32,0	P1	21,484	30,180	P4	15,499	46,298
31	22/03/1984	19,4	P1	3,480	9,969	P4	4,410	22,500
32	23/03/1984	9,7	P1	2,660	2,100	P4	2,090	7,170
33	26/03/1984	7,6	P1	1,910	3,320	P4	3,620	47,470
34	02/04/1984	9,7	P1	0,020	0,004	P4	0,030	0,009
35	03/04/1984	25,0	P1	5,190	1,807	P4	5,500	23,590
36	04/04/1984	45,0	P1	22,630	6,519	P4	21,312	35,023
37	05/04/1984	16,9	P1	7,840	2,512	P4	8,220	12,850
38	14/04/1984	4,9	P1	0,110	0,028	P4	1,370	2,616
39	15/04/1984	9,0	P1	2,791	2,584	P4	5,362	6,588
40	18/04/1984	20,5	P1	0,080	0,042	P4	11,402	19,745
41	19/04/1984	12,4	P1	4,880	13,460	P4	8,210	21,060
42	20/04/1984	82,2	P1	56,790	128,428	P4	54,245	245,204
44	23/04/1984	12,3	P1	5,510	-0,010	P4	7,540	24,580
45	26/04/1984	7,4	P1	1,730	6,220	P4	3,530	9,350
46	19/05/1984	29,0	P1	3,100	6,520	P4	5,910	17,090
47	20/05/1984	10,8	P1	6,050	19,780	P4	6,230	45,841
48	21/05/1984	5,1	P1	0,270	1,072	P4	0,100	0,017
49	23/05/1984	27,2	P1	12,577	30,300	P4	15,710	143,356
50	24/05/1984	17,3	P1	7,840	15,359	P4	7,900	32,980
51	25/05/1984	14,5	P1	7,330	6,320	P4	4,430	6,947
52	17/07/1984	0,4	P1	3,640	9,200	P4	5,010	31,630
53	25/08/1984	27,6	P1	5,745	11,340	P4	8,156	30,550
54	30/08/1984	29,5	P1	8,258	13,334	P4	12,089	-0,010
55	25/01/1985	30,9	P1	7,740	7,340	P4	6,160	11,220
56	27/01/1985	7,1	P1	2,160	2,440	P4	0,160	0,090
57	03/02/1985	13,6	P1	4,860	7,470	P4	2,860	8,561
58	04/02/1985	14,4	P1	6,830	9,420	P4	7,210	18,203
59	05/02/1985	34,8	P1	20,700	43,344	P4	20,907	119,796
60	10/02/1985	94,3	P1	52,500	37,309	P4	60,878	95,436
61	11/02/1985	40,5	P1	16,000	6,320	P4	10,818	111,929

Tabela I – (continuação)

CH	Data	Chuva (mm)	EXP	Lâmina (mm)	PESO (kg)	EXP	Lâmina (mm)	Peso (kg)
62	12/02/1985	8,9	P1	2,410	0,170	P4	1,020	4,910
63	13/02/1985	30,2	P1	15,100	29,620	P4	14,126	62,309
64	14/02/1985	5,4	P1	2,000	0,046	P4	0,010	0,002
66	17/02/1985	40,3	P1	26,000	94,028	P4	18,839	141,000
67	18/02/1985	48,4	P1	34,873	86,580	P4	42,602	37,979
68	19/02/1985	45,4	P1	39,300	60,480	P4	27,392	155,656
69	20/02/1985	30,2	P1	28,200	28,430	P4	22,298	60,138
70	21/02/1985	10,2	P1	4,460	11,900	P4	1,660	15,960
71	27/02/1985	32,8	P1	8,820	23,734	P4	11,200	51,832
72	02/03/1985	9,7	P1	1,120	1,810	P4	3,670	13,170
74	04/03/1985	21,6	P1	12,300	13,250	P4	9,190	40,025
75	18/03/1985	19,8	P1	1,540	1,770	P4	2,430	4,680
76	19/03/1985	23,5	P1	12,500	63,090	P4	12,454	44,928
78	24/03/1985	16,8	P1	2,460	0,081	P4	1,610	0,436
79	25/03/1985	3,4	P1	0,060	0,009	P4	0,030	0,002
80	26/03/1985	165,4	P1	51,385	315,000	P4	88,650	605,898
82	29/03/1985	8,1	P1	1,560	4,850	P4	1,080	2,730
83	30/03/1985	20,2	P1	8,051	27,760	P4	10,894	19,561
84	31/03/1985	15,1	P1	7,910	18,270	P4	9,184	18,218
87	03/04/1985	5,8	P1	4,060	6,000	P4	3,580	2,550
88	04/04/1985	17,5	P1	8,140	6,401	P4	4,470	1,660
89	05/04/1985	4,5	P1	2,180	1,657	P4	2,470	0,974
90	06/04/1985	14,5	P1	6,310	2,978	P4	1,126	0,048
91	07/04/1985	5,9	P1	4,490	10,620	P4	3,240	0,122
92	08/04/1985	30,4	P1	7,847	10,689	P4	21,710	4,800
93	10/04/1985	16,1	P1	7,770	0,820	P4	2,780	0,082
94	11/04/1985	18,7	P1	7,790	0,319	P4	8,100	0,780
95	12/04/1985	45,7	P1	18,240	2,983	P4	33,022	37,570
96	14/04/1985	31,4	P1	12,800	14,415	P4	13,644	27,753
98	22/04/1985	27,9	P1	3,560	4,919	P4	4,950	0,590
99	24/04/1985	23,1	P1	7,860	8,570	P4	10,079	15,140
100	26/04/1985	69,2	P1	29,701	28,560	P4	49,900	18,893
101	27/04/1985	3,0	P1	1,520	3,160	P4	1,480	0,320
102	29/04/1985	22,0	P1	7,900	19,361	P4	10,282	1,651
103	03/05/1985	4,2	P1	1,060	3,210	P4	2,350	1,250
104	04/05/1985	4,8	P1	1,290	3,790	P4	2,690	5,957
106	05/06/1985	34,9	P1	3,890	1,870	P4	7,830	14,451
107	11/06/1985	40,7	P1	11,704	19,037	P4	15,955	155,906
108	12/06/1985	11,6	P1	7,780	11,180	P4	5,050	11,415
109	13/07/1985	14,2	P1	0,770	1,825	P4	2,520	3,230
110	07/12/1985	26,5	P1	3,672	53,810	P4	7,181	2,700
111	14/12/1985	46,4	P1	17,091	40,480	P4	20,450	36,798
113	05/02/1986	8,4	P1	0,770	2,204	P4	1,280	0,940
114	06/02/1986	8,5	P1	1,730	2,005	P4	2,630	1,949
115	07/02/1986	6,6	P1	0,270	0,205	P4	0,170	0,123
116	12/02/1986	86,6	P1	18,650	90,508	P4	52,100	74,025
117	13/02/1986	30,3	P1	7,750	4,232	P4	4,990	1,946
118	26/02/1986	33,1	P1	7,780	3,917	P4	10,577	5,048
119	28/02/1986	37,8	P1	7,990	4,722	P4	11,620	6,310
120	02/03/1986	17,5	P1	4,200	1,182	P4	1,070	0,930
121	03/03/1986	10,7	P1	1,270	0,781	P4	0,500	0,289
122	04/03/1986	9,8	P1	7,740	3,834	P4	6,140	2,813
123	05/03/1986	13,4	P1	6,310	1,560	P4	6,680	1,505

Tabela 1 – (continuação)

CH	Data	Chuva (mm)	EXP	Lâmina (mm)	PESO (kg)	EXP	Lâmina (mm)	Peso (kg)
193	12/01/1989	23,4	P1	4,506	6,764	P4	3,522	1,928
194	13/01/1989	5,1	P1	0,572	0,344	P4	0,235	0,167
195	19/01/1989	14,4	P1	7,787	8,513	P4	5,816	6,148
196	15/02/1989	4,4	P1	0,297	0,281	P4	0,055	0,013
197	01/03/1989	16,4	P1	8,102	17,105	P4	7,969	17,518
198	22/03/1989	30,6	P1	17,203	42,217	P4	15,821	73,074
199	25/03/1989	34,6	P1	18,250	46,044	P4	16,798	41,486
200	27/03/1989	6,1	P1	0,944	1,262	P4	0,165	0,060
201	28/03/1989	92,8	P1	58,255	73,241	P4	48,532	230,225
202	29/03/1989	9,2	P1	3,379	0,404	P4	5,444	14,038
203	01/04/1989	14,9	P1	1,220	0,247	P4	3,982	2,490
204	02/04/1989	8,8	P1	3,167	0,413	P4	0,929	2,001
205	05/04/1989	6,7	P1	0,712	0,088	P4	0,102	0,068
206	06/04/1989	6,4	P1	0,699	0,077	P4	3,522	3,640
207	07/04/1989	25,4	P1	8,427	121,528	P4	7,924	1,919
208	08/04/1989	27,0	P1	16,323	19,003	P4	12,211	24,556
209	16/04/1989	39,8	P1	24,506	26,103	P4	23,088	41,384
211	23/04/1989	7,6	P1	1,034	1,422	P4	3,117	2,694
212	27/04/1989	27,1	P1	7,989	15,636	P4	7,969	9,752
213	03/05/1989	3,8	P1	0,100	0,023	P4	0,150	0,166
214	04/05/1989	6,8	P1	0,684	0,344	P4	0,410	0,179
215	09/05/1989	13,1	P1	4,097	8,935	P4	2,430	1,841
216	11/05/1989	5,6	P1	0,336	0,971	P4	0,235	0,507
217	12/05/1989	11,2	P1	1,258	1,583	P4	2,603	3,701
218	11/06/1989	22,7	P1	9,507	12,702	P4	9,535	7,573
220	13/06/1989	7,6	P1	2,608	0,596	P4	12,403	7,843
223	03/07/1989	5,4	P1	0,572	0,241	P4	0,816	0,117
224	04/07/1989	9,4	P1	2,858	2,097	P4	3,967	2,346
226	06/07/1989	30,7	P1	19,902	61,366	P4	14,835	36,480
227	07/07/1989	30,2	P1	14,915	11,568	P4	12,785	12,478
229	20/09/1989	39,4	P1	14,702	27,972	P4	10,581	16,607
230	07/12/1989	27,6	P1	7,963	27,692	P4	7,782	4,515
231	08/12/1989	19,0	P1	7,853	10,727	P4	7,747	7,672
232	16/12/1989	32,3	P1	17,330	12,218	P4	14,946	19,614
233	22/12/1989	9,6	P1	1,898	3,898	P4	1,039	0,717
234	23/12/1989	16,0	P1	6,387	2,305	P4	3,795	0,195
235	24/12/1989	80,4	P1	48,235	43,425	P4	37,707	230,615
236	27/12/1989	4,0	P1	0,170	0,133	P4	0,150	0,062
238	09/02/1990	35,8	P1	16,334	22,816	P4	14,356	21,654
239	10/02/1990	9,1	P1	3,287	16,787	P4	1,967	6,053
240	25/02/1990	11,3	P1	2,729	27,913	P4	1,336	0,564
241	26/02/1990	11,6	P1	4,988	3,507	P4	3,390	0,821
242	07/04/1990	15,2	P1	3,230	9,956	P4	4,457	7,196
244	28/04/1990	4,5	P1	0,095	0,074	P4	0,035	0,008
245	30/04/1990	19,9	P1	7,896	11,515	P4	7,739	3,882
248	02/06/1990	4,3	P1	0,100	0,012	P4	0,040	0,002
250	06/07/1990	4,1	P1	0,075	0,010	P4	0,030	0,003
251	13/07/1990	5,3	P1	0,090	0,014	P4	0,190	0,082
252	24/08/1990	10,4	P1	0,110	0,233	P4	0,349	0,152
254	22/01/1991	10,5	P1	0,168	0,205	P4	0,112	2,818
263	18/05/1991	12,2	P1	0,025	0,023	P4	1,369	4,506
264	19/05/1991	12,3	P1	4,983	4,679	P4	5,368	3,094

Tabela 2 - Relação de todos os eventos para as microbacia 3 e 4

CH	Data			Chuva	EXP	LO	EO	EXP	LO	EO
				(mm)		(mm)	(kg)		(mm)	(kg)
1	31	3	1982	16,7	M3	0,018	0,120	M4	0,048	0,763
2	15	4	1982	40,6	M3	1,090	11,076	M4	1,080	14,016
3	23	4	1982	43,7	M3	0,020	0,728	M4	0,040	0,763
4	23	4	1982	43,7	M3	6,640	155,480	M4	4,440	114,240
5	24	4	1982	5,3	M3	0,007	0,042	M4	0,008	0,120
7	2	5	1982	70,2	M3	12,900	59,280	M4	9,920	42,144
8	5	5	1982	5,3	M3	0,109	2,371	M4	0,069	1,872
11	10	5	1982	2,8	M3	0,002	0,012	M4	0,006	0,061
12	12	5	1982	6,9	M3	0,175	4,170	M4	0,075	1,574
13	3	2	1983	14,2	M3	0,007	0,036	M4	0,006	0,014
14	5	2	1983	14,2	M3	0,005	0,005	M4	0,003	0,005
16	7	2	1983	44,5	M3	0,480	1,799	M4	0,330	1,008
17	12	2	1983	5,7	M3	0,002	0,021	M4	0,003	0,038
19	19	2	1983	8,2	M3	0,004	0,042	M4	0,006	0,038
20	23	3	1983	16,8	M3	0,008	0,062	M4	0,013	0,088
21	27	3	1983	8,6	M3	0,107	0,747	M4	0,010	0,077
22	6	4	1983	26,1	M3	1,518	14,336	M4	0,131	0,979
25	7	2	1984	18,9	M3	3,359	269,680	M4	0,183	4,694
26	14	2	1984	7,7	M3	0,477	22,360	M4	0,005	0,067
29	10	3	1984	17,8	M3	0,144	0,161	M4	0,009	0,058
34	2	4	1984	9,7	M3	0,010	0,078	M4	0,002	0,029
35	3	4	1984	25,0	M3	3,223	191,216	M4	0,836	5,481
36	4	4	1984	45,0	M3	9,324	704,080	M4	5,408	30,240
37	5	4	1984	16,9	M3	3,711	129,780	M4	1,062	4,185
39	15	4	1984	9,0	M3	2,222	44,309	M4	0,025	0,115
41	19	4	1984	12,4	M3	3,774	141,954	M4	1,576	8,640
45	26	4	1984	7,4	M3	0,936	32,760	M4	0,014	0,115
46	19	5	1984	29,0	M3	2,220	22,360	M4	0,010	0,182
47	20	5	1984	10,8	M3	2,550	28,600	M4	0,025	0,926
49	23	5	1984	27,2	M3	5,100	46,800	M4	0,080	5,760
50	24	5	1984	17,3	M3	2,026	117,240	M4	0,079	0,144
51	25	5	1984	14,5	M3	0,225	0,156	M4	0,012	0,014
52	17	7	1984	24,0	M3	0,160	5,518	M4	0,071	0,985
53	25	8	1984	27,6	M3	0,160	1,279	M4	0,090	0,763
54	30	8	1984	29,5	M3	1,859	28,600	M4	0,428	2,059
55	25	1	1985	30,9	M3	0,195	12,480	M4	0,021	272,430
56	27	1	1985	7,1	M3	0,710	15,080	M4	0,010	0,211
58	4	2	1985	14,4	M3	3,786	195,624	M4	0,876	19,200
59	5	2	1985	34,8	M3	16,800	407,897	M4	11,400	236,640
61	11	2	1985	40,5	M3	9,220	260,000	M4	5,344	27,696
63	13	2	1985	30,2	M3	10,651	193,440	M4	6,963	52,800
64	14	2	1985	5,4	M3	9,220	259,792	M4	5,346	27,696
66	17	2	1985	40,3	M3	8,967	222,560	M4	4,026	16,944
67	18	2	1985	48,4	M3	32,529	537,637	M4	23,913	84,757
68	19	2	1985	45,4	M3	13,909	347,934	M4	10,526	68,405
69	20	2	1985	30,2	M3	9,760	103,126	M4	8,600	8,640
70	21	2	1985	10,2	M3	0,928	20,830	M4	0,297	0,326
71	27	2	1985	32,8	M3	12,739	151,632	M4	6,088	85,395
72	2	3	1985	9,7	M3	0,350	16,120	M4	0,004	0,096
73	3	3	1985	10,2	M3	0,924	4,014	M4	0,010	0,058
74	4	3	1985	21,6	M3	6,004	58,830	M4	1,540	56,683
75	18	3	1985	19,8	M3	0,010	0,463	M4	0,010	0,168
76	19	3	1985	23,5	M3	7,132	301,998	M4	1,990	139,680



Tabela 2 – (continuação)

CH	Data			Chuva	EXP	LO	EO	EXP	LO	EO
				(mm)		(mm)	(kg)		(mm)	(kg)
81	27	3	1985	2,6	M3	0,014	0,130	M4	0,005	0,010
82	29	3	1985	8,1	M3	0,052	98,280	M4	0,050	68,640
83	30	3	1985	20,2	M3	7,144	835,536	M4	12,088	1277,634
85	1	4	1985	21,6	M3	11,828	367,245	M4	10,900	1140,000
87	3	4	1985	5,8	M3	2,805	119,784	M4	2,140	257,040
88	4	4	1985	17,5	M3	3,711	85,732	M4	4,426	128,027
89	5	4	1985	4,5	M3	0,728	157,535	M4	1,451	141,978
90	6	4	1985	14,5	M3	5,337	442,320	M4	2,858	182,277
91	7	4	1985	5,9	M3	2,070	108,460	M4	2,260	228,480
92	8	4	1985	30,4	M3	12,220	624,122	M4	13,044	1000,966
93	10	4	1985	16,1	M3	6,795	115,432	M4	3,180	66,859
94	11	4	1985	18,7	M3	5,520	9,660	M4	8,520	212,652
95	12	4	1985	45,7	M3	29,689	2340,743	M4	38,526	1461,052
96	14	4	1985	31,4	M3	23,113	890,642	M4	22,688	1547,082
97	15	4	1985	2,6	M3	0,648	19,722	M4	0,220	239,842
98	22	4	1985	27,9	M3	5,137	94,324	M4	0,370	72,324
99	24	4	1985	23,1	M3	13,320	441,809	M4	11,900	1669,315
101	27	4	1985	3,0	M3	0,737	121,495	M4	1,240	894,240
102	29	4	1985	22,0	M3	13,500	2748,200	M4	11,000	1822,108
103	3	5	1985	4,2	M3	1,106	190,945	M4	0,161	116,640
104	4	5	1985	4,8	M3	2,667	622,148	M4	1,440	412,800
105	8	5	1985	5,1	M3	0,869	65,338	M4	0,000	0,000
106	5	6	1985	34,9	M3	4,600	606,320	M4	3,500	630,240
107	11	6	1985	40,7	M3	21,716	2279,144	M4	9,788	1105,283
108	12	6	1985	11,6	M3	3,240	284,097	M4	4,210	95,520
113	5	2	1986	8,4	M3	0,088	12,030	M4	0,026	8,728
114	6	2	1986	8,5	M3	1,680	109,375	M4	1,032	131,809
115	7	2	1986	6,6	M3	0,087	29,764	M4	0,009	0,322
117	13	2	1986	30,3	M3	4,580	684,678	M4	3,470	516,915
118	26	2	1986	33,1	M3	1,060	144,972	M4	5,313	137,144
119	28	2	1986	37,8	M3	7,840	573,288	M4	9,710	436,483
120	2	3	1986	17,5	M3	0,310	33,114	M4	0,200	2,348
121	3	3	1986	10,7	M3	1,140	68,822	M4	0,400	8,491
122	4	3	1986	9,8	M3	2,491	160,677	M4	5,575	162,244
123	5	3	1986	13,4	M3	4,970	218,351	M4	4,010	141,609
124	8	3	1986	33,2	M3	17,448	581,239	M4	17,619	540,819
131	8	4	1986	4,7	M3	0,029	5,553	M4	0,005	0,211
132	9	4	1986	27,2	M3	8,597	1288,841	M4	5,638	268,199
133	13	4	1986	8,6	M3	0,180	133,812	M4	0,027	1,239
134	14	4	1986	8,0	M3	0,410	26,489	M4	0,083	2,458
135	15	4	1986	8,0	M3	1,350	65,448	M4	0,940	43,312
136	21	4	1986	34,5	M3	18,346	3121,695	M4	15,810	1285,222
137	22	4	1986	10,3	M3	4,220	342,943	M4	3,450	144,803
139	6	5	1986	19,3	M3	0,184	15,202	M4	0,003	0,060
140	12	6	1986	14,6	M3	0,008	0,079	M4	0,009	0,288
141	16	7	1986	28,6	M3	0,465	21,816	M4	0,014	0,142
142	20	7	1986	13,8	M3	1,250	65,282	M4	0,080	0,780
143	24	11	1986	25,1	M3	0,043	0,421	M4	0,053	0,686
144	7	2	1987	11,5	M3	0,191	4,090	M4	0,116	3,203
146	12	2	1987	9,4	M3	0,063	19,190	M4	0,017	11,783
150	10	3	1987	16,2	M3	0,318	21,544	M4	0,069	9,312
152	15	3	1987	27,2	M3	12,965	633,817	M4	8,188	252,953
153	28	3	1987	63,6	M3	27,650	4800,676	M4	19,161	2989,455

Tabela 2 – (continuação)

CH	Data			Chuva	EXP	LO	EO	EXP	LO	EO
				(mm)		(mm)	(kg)		(mm)	(kg)
155	2	5	1987	19,6	M3	2,313	1214,520	M4	1,073	154,648
158	28	6	1987	24,9	M3	1,210	544,586	M4	0,234	18,057
159	29	6	1987	5,2	M3	1,371	168,182	M4	0,303	11,938
161	9	7	1987	26,4	M3	9,794	2823,699	M4	5,102	175,931
162	20	1	1988	24,6	M3	5,712	2061,864	M4	5,436	574,755
165	23	2	1988	12,2	M3	1,577	568,492	M4	1,843	488,404
167	25	2	1988	16,9	M3	6,454	1000,781	M4	5,038	853,521
168	2	3	1988	20,6	M3	4,638	571,508	M4	1,622	323,081
169	9	3	1988	15,4	M3	3,391	448,007	M4	5,994	191,400
171	12	3	1988	4,7	M3	0,121	4,377	M4	0,025	10,698
172	14	3	1988	13,8	M3	5,669	1875,530	M4	6,140	1967,820
174	19	3	1988	7,3	M3	1,689	580,074	M4	1,239	575,604
177	24	3	1988	22,1	M3	13,521	4019,039	M4	8,775	2716,364
178	5	4	1988	22,1	M3	10,600	3615,401	M4	10,468	3299,756
179	8	4	1988	16,4	M3	7,231	1286,654	M4	5,017	1340,662
183	19	4	1988	23,0	M3	9,633	3504,551	M4	8,642	3195,927
184	20	4	1988	5,5	M3	1,810	441,747	M4	1,609	556,524
185	22	4	1988	29,4	M3	12,981	2693,998	M4	12,138	1730,712
186	30	4	1988	14,8	M3	5,361	887,392	M4	5,405	631,805
187	6	5	1988	16,0	M3	7,821	910,363	M4	6,662	657,622
188	23	6	1988	34,3	M3	14,357	3278,873	M4	13,660	2666,562
190	13	7	1988	10,3	M3	0,449	65,434	M4	0,099	1,870
191	16	7	1988	5,7	M3	0,222	96,256	M4	0,087	31,746
194	13	1	1989	5,1	M3	0,005	0,142	M4	0,092	1,692
196	15	2	1989	4,4	M3	0,007	0,477	M4	0,008	1,180
197	1	3	1989	16,4	M3	6,751	941,854	M4	6,978	1123,134
198	22	3	1989	30,6	M3	20,603	2699,883	M4	18,532	2820,217
199	25	3	1989	34,6	M3	14,852	3891,241	M4	15,547	3762,793
200	27	3	1989	6,1	M3	0,438	546,810	M4	0,095	90,559
204	2	4	1989	8,8	M3	5,385	559,906	M4	3,482	344,849
205	5	4	1989	6,7	M3	0,318	29,506	M4	0,142	29,525
206	6	4	1989	6,4	M3	3,316	215,099	M4	1,581	314,657
207	7	4	1989	25,4	M3	10,438	714,906	M4	6,274	591,280
208	8	4	1989	27,0	M3	22,317	2251,472	M4	16,463	2844,948
209	16	4	1989	39,8	M3	27,970	4397,258	M4	26,725	5706,674
210	21	4	1989	10,8	M3	3,751	696,909	M4	2,159	802,821
211	23	4	1989	7,6	M3	4,730	571,748	M4	2,943	358,085
212	27	4	1989	27,1	M3	16,759	3095,746	M4	9,361	2337,052
214	4	5	1989	6,8	M3	0,373	152,589	M4	0,029	29,749
215	9	5	1989	13,1	M3	4,785	1210,139	M4	5,773	808,910
216	11	5	1989	5,6	M3	0,576	191,692	M4	0,337	201,085
217	12	5	1989	11,2	M3	2,960	308,888	M4	1,856	288,199
223	3	7	1989	5,4	M3	0,070	0,444	M4	0,014	12,756
224	4	7	1989	9,4	M3	3,473	467,068	M4	3,105	371,918
225	5	7	1989	24,9	M3	16,185	1031,776	M4	13,688	1561,379
226	6	7	1989	30,7	M3	21,775	3659,086	M4	21,841	3122,324
228	8	7	1989	12,5	M3	5,265	436,053	M4	5,592	445,609
230	7	12	1989	27,6	M3	8,256	751,417	M4	8,966	1292,712
232	16	12	1989	32,3	M3	17,750	1586,398	M4	20,790	2029,689
236	27	12	1989	4,0	M3	0,589	128,001	M4	0,274	25,741
237	8	2	1990	12,4	M3	0,128	1,901	M4	0,205	175,454
239	10	2	1990	9,1	M3	5,095	422,803	M4	3,538	2507,399
242	7	4	1990	15,2	M3	2,093	133,923	M4	3,146	165,439

Tabela 2 – (continuação)

CH	Data			Chuva	EXP	LO	EO	EXP	LO	EO
				(mm)		(mm)	(kg)		(mm)	(kg)
244	28	4	1990	4,5	M3	0,085	0,653	M4	0,064	1,233
245	30	4	1990	19,9	M3	8,281	584,962	M4	6,749	539,351
246	18	5	1990	18,3	M3	8,561	286,919	M4	10,090	-0,480
247	28	5	1990	16,2	M3	5,178	812,857	M4	4,955	757,495
250	6	7	1990	4,1	M3	0,009	0,085	M4	0,017	0,388
251	13	7	1990	5,3	M3	0,003	0,023	M4	0,013	0,135
252	24	8	1990	10,4	M3	0,018	8,950	M4	0,093	0,830
253	19	10	1990	15,8	M3	10,160	1452,749	M4	11,919	894,618
254	22	1	1991	10,5	M3	0,425	177,754	M4	0,425	252,000
263	18	5	1991	12,2	M3	0,563	60,173	M4	0,576	1,426
264	19	5	1991	12,3	M3	4,060	251,798	M4	3,973	118,952

Tabela 3 - Relação dos eventos utilizados para as parcelas 1 e 4

CH	DATA	IH60 (mm)	IH601 (mm)	IH602 (mm)	IH603 (mm)	IH95 (mm)	Imáx (mm/h)	Duração (min)	5dias (mm)	Chant (mm)	Chuva (mm)	EXP	Lâmina (mm)	Peso (kg)	EXP	lâmina (mm)	Peso (kg)
2	15/04/1982	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	4,40	37	0,0	0,0	40,6	P1	8,110	5,770	P4	7,760	9,040
4	23/04/1982	1,2	2,0	2,2	3,6	35,1	94,50	108	2,2	0,0	43,7	P1	14,400	5,740	P4	13,332	20,444
16	07/02/1983	13,7	12,6	6,8	9,9	49,1	24,00	455	40,3	10,0	44,5	P1	17,870	8,290	P4	12,225	7,393
19	19/02/1983	3,6	6,1	0,8	1,4	64,2	87,00	154	8,4	0,0	8,2	P1	1,210	1,170	P4	1,340	0,720
22	06/04/1983	0,1	0,1	0,2	0,4	26,6	42,80	125	0,0	0,0	26,1	P1	6,260	5,720	P4	8,010	19,612
35	03/04/1984	6,9	1,7	0,6	1,0	58,5	13,71	579	2,1	9,0	25,0	P1	5,190	1,807	P4	5,500	23,590
36	04/04/1984	19,1	6,9	1,7	0,6	79,3	20,18	1010	10,8	25,2	45,0	P1	22,630	6,519	P4	21,312	35,023
37	05/04/1984	38,5	19,1	6,9	1,7	118,1	17,50	241	77,4	45,0	16,9	P1	7,840	2,512	P4	8,220	12,850
39	15/04/1984	3,9	1,7	2,8	3,0	90,6	18,33	908	8,8	4,9	9,0	P1	2,791	2,584	P4	5,362	6,588
41	19/04/1984	15,1	4,7	4,7	7,8	103,5	62,25	206	36,6	20,5	12,4	P1	4,880	13,460	P4	8,210	21,060
42	20/04/1984	16,5	15,1	4,7	4,7	110,1	120,00	360	44,1	12,4	82,2	P1	56,790	128,428	P4	54,245	245,204
45	26/04/1984	8,6	13,0	21,6	23,8	156,6	30,55	248	18,0	1,4	7,4	P1	1,730	6,220	P4	3,530	9,350
46	19/05/1984	1,8	0,5	0,8	1,4	59,1	28,80	568	2,5	2,5	29,0	P1	3,100	6,520	P4	5,910	17,090
47	20/05/1984	18,5	1,8	0,5	0,8	83,7	20,70	271	29,6	29,0	10,8	P1	6,050	19,780	P4	6,230	45,841
49	23/05/1984	8,6	13,6	17,6	18,5	86,3	59,40	368	46,2	0,6	27,2	P1	12,577	30,300	P4	15,710	143,356
50	24/05/1984	21,5	8,6	13,6	17,6	107,2	23,68	303	69,0	27,2	17,3	P1	7,840	15,359	P4	7,900	32,980
51	25/05/1984	23,3	21,5	8,6	13,6	118,8	13,50	308	58,7	17,2	14,5	P1	7,330	6,320	P4	4,430	6,947
52	17/07/1984	0,9	1,1	1,0	1,0	23,3	29,10	748	3,8	0,4	24,0	P1	3,640	9,200	P4	5,010	31,630
53	25/08/1984	3,5	5,8	9,2	11,0	28,3	54,54	622	25,1	0,0	27,6	P1	5,745	11,340	P4	8,156	30,550
55	25/01/1985	1,4	1,9	0,0	0,0	5	28,28	300	3,1	0,5	30,9	P1	7,740	7,340	P4	6,160	11,220
57	03/02/1985	0,5	0,9	1,5	2,5	28,5	31,26	234	0,0	0,0	13,6	P1	4,860	7,470	P4	2,860	8,561
58	04/02/1985	8,5	0,5	0,9	1,5	40	22,58	165	14,4	13,5	14,4	P1	6,830	9,420	P4	7,210	18,203
59	05/02/1985	13,7	13,7	8,5	0,5	51,7	41,60	273	28,0	14,3	34,8	P1	20,700	43,344	P4	20,907	119,796
60	10/02/1985	4,0	6,7	11,1	17,5	67,9	102,00	771	37,1	0,0	94,3	P1	52,500	37,309	P4	60,878	95,436
61	11/02/1985	59,0	4,0	6,7	11,1	154,1	21,78	631	94,5	94,2	40,5	P1	16,000	6,320	P4	10,818	111,929
62	12/02/1985	59,7	59,0	4,0	6,7	184,8	5,45	346	134,3	40,4	8,9	P1	2,410	0,170	P4	1,020	4,910
63	13/02/1985	41,2	59,7	59,0	4,0	184	43,29	594	142,6	8,9	30,2	P1	15,100	29,620	P4	14,126	62,309
66	17/02/1985	13,6	17,6	28,9	42,8	184,2	30,60	349	51,0	5,0	40,3	P1	26,000	94,028	P4	18,839	141,000
68	19/02/1985	48,4	32,3	13,6	17,6	248,6	31,57	953	100,6	48,4	45,4	P1	39,300	60,480	P4	27,392	155,656
69	20/02/1985	56,3	48,4	32,3	13,6	279,3	37,13	331	143,1	45,4	30,2	P1	28,200	28,430	P4	22,298	60,138
70	21/02/1985	51,9	56,3	48,4	32,3	294,1	10,71	455	175,6	30,2	10,2	P1	4,460	11,900	P4	1,660	15,960
71	27/02/1985	2,9	4,8	8,0	13,4	223,7	31,67	167	9,8	0,0	32,8	P1	8,820	23,734	P4	11,200	51,832
72	02/03/1985	7,7	12,9	21,4	2,9	219,9	24,00	75	30,2	0,0	9,7	P1	1,120	1,810	P4	3,670	13,170

Tabela 3 – (continuação)

CH	DATA	IH60 (mm)	IH601 (mm)	IH602 (mm)	IH603 (mm)	IH95 (mm)	Imáx (mm/h)	Duração (min)	Sdiasa (mm)	Chant (mm)	Chuva (mm)	EXP	Lâmina (mm)	Peso (kg)	EXP (kg)	lâmina (mm)	Peso (kg)
74	04/03/1985	12,4	10,4	7,7	12,9	216,9	23,20	449	19,4	10,2	21,6	P1	12,300	13,250	P4	9,190	40,025
75	18/03/1985	0,2	0,3	0,5	0,1	117,8	36,00	318	0,8	0,0	19,8	P1	1,540	1,770	P4	2,430	4,680
76	19/03/1985	12,0	0,2	0,3	0,5	130,7	91,50	860	21,6	19,8	23,5	P1	12,500	63,090	P4	12,454	44,928
78	24/03/1985	24,4	7,2	7,8	13,1	153,3	8,11	965	58,8	33,5	16,8	P1	2,460	0,081	P4	1,610	0,436
106	05/06/1985	18,9	0,0	0,1	0,1	46,8	31,26	466	1,6	1,4	34,9	P1	3,890	1,870	P4	7,830	14,451
108	12/06/1985	25,4	1,7	2,8	4,6	95,7	28,42	484	38,8	40,6	11,6	P1	7,780	11,180	P4	5,050	11,415
110	07/12/1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	86,40	190	0,0	0,0	26,5	P1	3,672	53,810	P4	7,181	2,700
111	14/12/1985	3,0	1,2	2,1	3,4	22,2	61,00	261	3,6	3,8	46,4	P1	17,091	40,480	P4	20,450	36,798
114	06/02/1986	6,0	1,5	2,0	3,4	27,2	32,00	389	11,8	8,4	8,5	P1	1,730	2,005	P4	2,630	1,949
116	12/02/1986	1,2	2,0	3,3	5,5	31,4	82,00	252	14,0	0,0	86,6	P1	18,650	90,508	P4	52,100	74,025
117	13/02/1986	52,7	1,2	2,0	3,3	102,1	54,00	689	94,4	86,6	30,3	P1	7,750	4,232	P4	4,990	1,946
118	26/02/1986	0,1	0,1	0,2	0,3	73,1	117,00	448	0,0	0,0	33,1	P1	7,780	3,917	P4	10,577	5,048
119	28/02/1986	12,0	19,9	0,1	0,2	95,8	126,00	674	32,2	0,0	37,8	P1	7,990	4,722	P4	11,620	6,310
120	02/03/1986	17,9	29,9	12,0	19,9	120,6	38,00	719	69,4	0,0	17,5	P1	4,200	1,182	P4	1,070	0,930
122	04/03/1986	19,2	21,2	17,9	29,9	134,8	210,00	25	65,2	10,7	9,8	P1	7,740	3,834	P4	6,140	2,813
123	05/03/1986	17,4	19,2	21,2	17,9	137,4	52,28	139	75,8	9,8	13,4	P1	6,310	1,560	P4	6,680	1,505
124	08/03/1986	8,0	11,1	18,5	17,4	131,4	144,00	94	35,4	2,2	33,2	P1	13,580	5,197	P4	18,160	8,185
125	13/03/1986	9,5	5,3	8,9	14,8	137,3	126,00	932	42,8	10,5	53,5	P1	12,020	4,156	P4	22,240	11,111
130	07/04/1986	0,5	0,8	1,4	2,3	136,4	81,00	818	1,3	0,0	52,6	P1	8,980	7,537	P4	14,290	9,671
132	09/04/1986	21,9	31,9	0,5	0,8	192	43,20	222	55,8	4,7	27,2	P1	8,940	4,894	P4	12,710	6,989
135	15/04/1986	10,7	9,0	6,4	10,6	164,8	22,90	417	16,8	8,8	8,0	P1	3,580	1,450	P4	2,560	1,046
136	21/04/1986	1,3	1,6	2,6	4,4	128,3	60,60	325	1,5	0,6	34,5	P1	17,930	16,221	P4	14,790	20,347
137	22/04/1986	21,5	1,3	1,6	2,6	154,7	30,92	83	34,3	34,5	10,3	P1	4,620	2,109	P4	3,150	1,953
139	06/05/1986	3,1	5,1	7,2	12,0	125,4	30,00	880	1,0	0,0	19,3	P1	1,270	0,305	P4	3,290	0,563
143	24/11/1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	102,00	659	0,5	0,0	25,1	P1	1,009	1,682	P4	4,343	0,664
144	07/02/1987	3,7	6,2	0,0	0,0	12,7	96,00	49	9,6	0,0	11,5	P1	2,588	2,368	P4	2,841	2,437
146	12/02/1987	5,6	9,3	14,2	23,6	14,6	25,20	144	45,0	0,0	9,4	P1	1,751	3,473	P4	1,344	2,923
149	03/03/1987	6,2	0,0	0,0	0,0	31,3	63,00	785	8,4	10,3	40,2	P1	17,071	14,448	P4	18,143	30,178
150	10/03/1987	1,3	2,2	3,6	6,0	68	84,00	562	0,0	0,0	16,2	P1	1,341	0,792	P4	1,300	2,283
152	15/03/1987	4,1	6,9	8,0	8,3	61,4	99,00	250	25,2	0,0	27,2	P1	13,617	3,883	P4	11,843	5,576
153	28/03/1987	0,4	0,6	1,0	1,6	51,5	152,00	923	2,2	0,0	63,6	P1	25,727	38,696	P4	14,777	72,115
155	02/05/1987	0,3	0,5	0,9	1,5	28,7	31,70	250	0,0	0,0	19,6	P1	4,500	10,825	P4	6,429	15,833
158	28/06/1987	1,9	0,3	0,5	0,8	13,3	33,00	669	6,6	2,8	24,9	P1	5,077	6,145	P4	5,974	114,318
159	29/06/1987	16,1	1,9	0,3	0,5	36,3	27,00	382	27,6	24,9	5,2	P1	1,269	1,319	P4	1,203	1,294

Tabela 3 – (continuação)

CH	DATA	IH60 (mm)	IH601 (mm)	IH602 (mm)	IH603 (mm)	IH95 (mm)	Imáx (mm/h)	Duração (min)	Sdiasa (mm)	Chant (mm)	Chuva (mm)	EXP	Lâmina (mm)	Peso (kg)	EXP	lâmina (mm)	Peso (kg)
162	20/01/1988	0,1	0,2	0,3	0,6	4,9	78,00	155	0,0	0,0	24,6	P1	7,694	16,422	P4	5,695	15,201
163	14/02/1988	0,0	0,0	0,0	0,1	9,5	95,00	160	0,0	0,0	71,3	P1	44,829	69,049	P4	41,805	73,507
164	15/02/1988	42,8	0,0	0,0	0,0	76,8	159,00	108	72,0	71,3	32,1	P1	18,019	7,354	P4	19,854	31,380
165	23/02/1988	1,3	2,1	3,5	5,9	72,7	22,00	158	0,0	0,0	12,2	P1	2,158	8,916	P4	1,482	3,004
166	24/02/1988	8,1	1,3	2,1	3,5	80,7	96,00	441	11,8	12,2	51,7	P1	34,641	42,361	P4	16,476	29,286
167	25/02/1988	35,9	35,9	8,1	1,3	125,8	21,00	230	61,2	51,7	16,9	P1	7,719	6,086	P4	5,137	5,383
169	09/03/1988	0,7	1,1	1,8	3,1	87,8	90,00	400	0,0	0,0	15,4	P1	3,984	4,508	P4	5,345	2,220
170	11/03/1988	5,8	9,6	0,7		93,2	288,00	167	16,4	0,0	45,6	P1	33,006	38,349	P4	29,870	43,885
172	14/03/1988	12,8	21,3	30,8	5,8	123,8	42,00	111	64,8	0,0	13,8	P1	7,092	27,232	P4	6,249	30,288
173	15/03/1988	16,0	12,8	21,3	30,8	130,2	115,20	94	62,0	13,8	31,3	P1	21,841	36,384	P4	21,676	42,985
175	21/03/1988	4,8	8,1	6,1	10,2	125,3	114,00	289	36,8	0,0	24,2	P1	12,868	38,598	P4	11,825	32,326
177	24/03/1988	7,5	10,5	17,4	4,8	130,1	120,00	535	33,3	2,2	22,1	P1	13,129	23,748	P4	11,933	43,002
178	05/04/1988	0,1	0,1	0,2	0,3	82,2	108,00	113	0,0	0,0	22,1	P1	8,820	44,046	P4	8,292	35,678
179	08/04/1988	5,3	8,0	13,3	0,1	90,2	108,00	608	22,0	0,0	16,4	P1	7,939	14,627	P4	7,012	25,147
181	13/04/1988	3,8	2,8	4,7	7,8	85,9	144,00	202	21,8	3,6	29,8	P1	18,596	43,657	P4	13,871	42,141
183	19/04/1988	4,1	6,4	8,3	11,5	95,3	90,00	91	11,7	0,3	23,0	P1	12,868	33,542	P4	8,740	28,892
184	20/04/1988	16,2	4,1	6,4	8,3	112,4	28,00	58	34,3	23,0	5,5	P1	1,464	1,354	P4	1,266	1,269
185	22/04/1988	8,5	13,0	16,2	4,1	107,5	42,00	934	30,9	1,3	29,4	P1	13,782	21,686	P4	10,625	19,871
186	30/04/1988	3,1	1,4	2,4	3,5	96,6	80,00	35	4,3	3,6	14,8	P1	20,062	22,623	P4	7,959	1,348
187	06/05/1988	1,0	1,7	2,8	4,7	83	90,00	218	1,4	0,0	16,0	P1	8,042	16,242	P4	8,136	18,995
188	23/06/1988	0,1	0,1	0,2	0,4	12	105,00	478	1,6	0,0	34,3	P1	15,603	30,730	P4	16,756	39,045
189	09/07/1988	0,0	0,1	0,1	0,2	24	144,00	452	0,0	0,0	55,1	P1	29,390	33,701	P4	24,339	52,178
193	12/01/1989	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	54,00	357	0,0	0,0	23,4	P1	4,506	6,764	P4	3,522	1,928
195	19/01/1989	0,9	1,5	2,5	4,1	21,1	54,00	197	0,0	0,0	14,4	P1	7,787	8,513	P4	5,816	6,148
197	01/03/1989	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	48,00	164	0,0	0,0	16,4	P1	8,102	17,105	P4	7,969	17,518
198	22/03/1989	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	114,00	133	0,0	0,0	30,6	P1	17,203	42,217	P4	15,821	73,074
199	25/03/1989	9,3	15,6	18,4	0,0	40,1	118,80	857	37,0	0,0	34,6	P1	18,250	46,044	P4	16,798	41,486
201	28/03/1989	13,2	15,8	26,4	9,3	69,8	114,00	808	43,6	6,0	92,8	P1	58,255	73,241	P4	48,532	230,225
203	01/04/1989	15,7	26,2	43,7	63,6	140,3	18,86	309	102,4	9,2	14,9	P1	1,220	0,247	P4	3,982	2,490
204	02/04/1989	18,4	15,7	26,2	43,7	147,5	19,09	115	108,0	14,9	8,8	P1	3,167	0,413	P4	0,929	2,001
208	08/04/1989	20,3	8,4	7,5	5,9	150,5	36,00	523	36,4	25,4	27,0	P1	16,323	19,003	P4	12,211	24,556
209	16/04/1989	1,9	3,1	3,3	5,4	123,8	96,00	135	5,8	0,0	39,8	P1	24,506	26,103	P4	23,088	41,384
211	23/04/1989	5,1	8,4	3,2	5,4	124	22,67	391	9,4	0,0	7,6	P1	1,034	1,422	P4	3,117	2,694
212	27/04/1989	1,6	2,7	4,6	7,6	107,2	132,00	442	15,6	0,0	27,1	P1	7,989	15,636	P4	7,969	9,752

Tabela 4 - Eventos utilizados para as microbacias 3 e 4

CH	DATA	IH60 (mm)	IH95 (mm)	Imáx (mm/h)	Duração (min)	5Dias (mm)	Chant (mm)	Chuva (mm)	EXP	Lâmina (mm)	Peso (kg)	EXP	Lâmina (mm)	Peso (kg)
2	15/04/1982	0	9,3	4,40	37	0,0	0,0	40,6	M3	1,090	11,076	M4	1,080	14,016
4	23/04/1982	1,2	35,1	94,50	108	2,2	0,0	43,7	M3	6,640	155,480	M4	4,440	114,240
16	07/02/1983	13,7	49,1	24,00	455	40,3	10,0	44,5	M3	0,480	1,799	M4	0,330	1,008
22	06/04/1983	0,1	4,9	42,80	125	0,0	0,0	26,1	M3	1,518	14,336	M4	0,131	0,979
35	03/04/1984	6,9	18,1	13,71	579	2,1	9,0	25,0	M3	3,223	191,216	M4	0,836	5,481
36	04/04/1984	19,1	36,6	20,18	1010	10,8	25,2	45,0	M3	9,324	704,080	M4	5,408	30,240
37	05/04/1984	38,5	69,4	17,50	241	77,4	45,0	16,9	M3	3,711	129,780	M4	1,062	4,185
39	15/04/1984	3,9	24,1	18,33	908	8,8	4,9	9,0	M3	2,222	44,309	M4	0,025	0,115
40	18/04/1984	4,7	88,4	22,40	257	16,0	0,0	20,5	M3	4,950	126,337	M4	-1,000	-1,000
41	19/04/1984	15,1	37	62,25	206	36,6	20,5	12,4	M3	3,774	141,954	M4	1,576	8,640
45	26/04/1984	8,6	57,7	30,55	248	18,0	1,4	7,4	M3	0,936	32,760	M4	0,014	0,115
46	19/05/1984	1,8	6,5	28,80	568	2,5	2,5	29,0	M3	2,220	22,360	M4	0,010	0,182
47	20/05/1984	18,5	30,2	20,70	271	29,6	29,0	10,8	M3	2,550	28,600	M4	0,025	0,926
49	23/05/1984	8,6	29,4	59,40	368	46,2	0,6	27,2	M3	5,100	46,800	M4	0,080	5,760
50	24/05/1984	21,5	48,2	23,68	303	69,0	27,2	17,3	M3	2,026	117,240	M4	0,079	0,144
56	27/01/1985	12,5	33,7	1,50	550	32,8	0,0	7,1	M3	0,710	15,080	M4	0,010	0,211
58	04/02/1985	8,5	20,5	22,58	165	14,4	13,5	14,4	M3	3,786	195,624	M4	0,876	19,200
59	05/02/1985	13,7	29,6	41,60	273	28,0	14,3	34,8	M3	16,800	407,897	M4	11,400	236,640
60	10/02/1985	4	29,3	102,00	771	37,1	0,0	94,3	M3	54,636	1195,730	M4	55,400	448,775
61	11/02/1985	59	105	21,78	631	94,5	94,2	40,5	M3	9,220	260,000	M4	5,344	27,696
63	13/02/1985	41,2	112,7	43,29	594	142,6	8,9	30,2	M3	10,651	193,440	M4	6,963	52,800
64	14/02/1985	42,8	203,5	4,32	510	165,0	30,2	5,4	M3	9,220	259,792	M4	5,346	27,696
66	17/02/1985	13,6	184,2	30,60	349	51,0	5,0	40,3	M3	8,967	222,560	M4	4,026	16,944
68	19/02/1985	48,4	129,8	31,57	953	100,6	48,4	45,4	M3	13,909	347,934	M4	10,526	68,405
69	20/02/1985	56,3	148,9	37,13	331	143,1	45,4	30,2	M3	9,760	103,126	M4	8,600	8,640
70	21/02/1985	51,9	152,3	10,71	455	175,6	30,2	10,2	M3	0,928	20,830	M4	0,297	0,326
71	27/02/1985	2,9	61,3	31,67	167	9,8	0,0	32,8	M3	12,739	151,632	M4	6,088	85,395
73	03/03/1985	10,4	218,1	18,35	361	6,0	0,0	10,2	M3	0,924	4,014	M4	0,010	0,058
74	04/03/1985	12,4	57,4	23,20	449	19,4	10,2	21,6	M3	6,004	58,830	M4	1,540	56,683
76	19/03/1985	12	24,3	91,50	860	21,6	19,8	23,5	M3	7,132	301,998	M4	1,990	139,680
77	23/03/1985	7,2	130	15,75	897	25,0	3,0	33,5	M3	0,901	-0,520	M4	0,130	-0,480

Tabela 4 – (continuação)

Nº	DATA	IH60	IH95	Imáx	Duração	5Dias	Chant	Chuva	EXP	Lâmina	Peso	EXP	Lâmina	Peso
		(mm)	(mm)	(mm/h)	(min)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(kg)		(mm)	(kg)
6	05/06/1985	18,9	90,9	31,26	466	1,6	1,4	34,9	M3	4,600	606,320	M4	3,500	630,240
7	11/06/1985	1,7	60	76,50	250	0,0	2,0	40,7	M3	21,716	2279,144	M4	9,788	1105,283
8	12/06/1985	25,4	46,4	28,42	484	38,8	40,6	11,6	M3	3,240	284,097	M4	4,210	95,520
4	06/02/1986	6	13,5	32,00	389	11,8	8,4	8,5	M3	1,680	109,375	M4	1,032	131,809
6	12/02/1986	1,2	11,2	82,00	252	14,0	0,0	86,6	M3	44,875	3409,529	M4	53,775	3440,694
7	13/02/1986	52,7	83,1	54,00	689	94,4	86,6	30,3	M3	4,580	684,678	M4	3,470	516,915
8	26/02/1986	0,1	73,1	117,00	448	0,0	0,0	33,1	M3	1,060	144,972	M4	5,313	137,144
9	28/02/1986	12,0	95,8	126,00	674	32,2	0,0	37,8	M3	7,840	573,288	M4	9,710	436,483
1	03/03/1986	21,2	131,2	18,75	322	87,4	0,0	10,7	M3	1,140	68,822	M4	0,400	8,491
2	04/03/1986	19,2	59,1	210,00	25	65,2	10,7	9,8	M3	2,491	160,677	M4	5,575	162,244
3	05/03/1986	17,4	58,6	52,28	139	75,8	9,8	13,4	M3	4,970	218,351	M4	4,010	141,609
4	08/03/1986	8	46,1	144,00	94	35,4	2,2	33,2	M3	17,448	581,239	M4	17,619	540,819
6	21/03/1986	3,7	131,1	90,00	568	10,0	5,0	130,8	M3	94,236	6500,528	M4	76,557	1334,416
2	10/04/1986	21,9	55,2	43,20	222	192,0	4,7	27,2	M3	8,597	1288,841	M4	5,638	268,199
5	15/04/1986	10,7	44,9	22,90	417	16,8	8,8	8,0	M3	1,350	65,448	M4	0,940	43,312
6	21/04/1986	1,3	20,8	60,60	325	1,5	0,6	34,5	M3	18,346	3121,695	M4	15,810	1285,222
7	22/04/1986	21,5	47	30,92	83	34,3	34,5	10,3	M3	4,220	342,943	M4	3,450	144,803
1	16/07/1986	1,9	16,7	27,00	1072	15,0	3,0	28,6	M3	0,465	21,816	M4	0,014	0,142
2	20/07/1986	3,9	36,9	54,00	288	20,0	5,0	13,8	M3	1,250	65,282	M4	0,080	0,780
1	12/03/1987	8,3	62,9	31,50	67	17,2	0,0	5,0	M3	0,413	-0,520	M4	0,053	4,438
2	15/03/1987	4,1	21,8	99,00	250	25,2	0,0	27,2	M3	12,965	633,817	M4	8,188	252,953
3	28/03/1987	0,4	8,7	152,00	923	2,2	0,0	63,6	M3	27,650	4800,676	M4	19,161	2989,455
5	02/05/1987	0,3	3,1	31,70	250	0,0	0,0	19,6	M3	2,313	1214,520	M4	1,073	154,648
8	28/06/1987	1,9	4,2	33,00	669	6,6	2,8	24,9	M3	1,210	544,586	M4	0,234	18,057
9	29/06/1987	16,1	24,8	27,00	382	27,6	24,9	5,2	M3	1,371	168,182	M4	0,303	11,938
1	09/07/1987	0,9	30,6	48,00	272	8,0	3,0	26,4	M3	9,794	2823,699	M4	5,102	175,931
2	20/01/1988	0,1	2	78,00	155	0,0	0,0	24,6	M3	5,712	2061,864	M4	5,436	574,755
5	23/02/1988	1,3	25,7	22,00	158	0,0	0,0	12,2	M3	1,577	568,492	M4	1,843	488,404
7	25/02/1988	35,9	71,3	21,00	230	61,2	51,7	16,9	M3	6,454	1000,781	M4	5,038	853,521
8	02/03/1988	2,5	104,9	26,00	323	20,0	3,0	20,6	M3	4,638	571,508	M4	1,622	323,081
9	09/03/1988	0,7	17,4	90,00	400	0,0	0,0	15,4	M3	3,391	448,007	M4	5,994	191,400



Tabela 4 – (continuação)

CH	DATA	IH60	IH95	Imáx	Duração	5Dias	Chant	Chuva	EXP	Lâmina	Peso	EXP	Lâmina	Peso
		(mm)	(mm)	(mm/h)	(min)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(kg)		(mm)	(kg)
172	14/03/1988	12,8	45,9	42,00	111	64,8	0,0	13,8	M3	5,669	1875,530	M4	6,140	1967,820
174	19/03/1988	6,1	131,5	34,50	75	10,0	6,0	7,3	M3	1,689	580,074	M4	1,239	575,604
177	24/03/1988	7,5	38,8	120,00	535	33,3	2,2	22,1	M3	13,521	4019,039	M4	8,775	2716,364
178	05/04/1988	0,1	8,7	108,00	113	0,0	0,0	22,1	M3	10,600	3615,401	M4	10,468	3299,756
179	08/04/1988	5,3	19,6	108,00	608	22,0	0,0	16,4	M3	7,231	1286,654	M4	5,017	1340,662
183	19/04/1988	4,1	25,5	90,00	91	11,7	0,3	23,0	M3	9,633	3504,551	M4	8,642	3195,927
184	20/04/1988	16,2	41,3	28,00	58	34,3	23,0	5,5	M3	1,810	441,747	M4	1,609	556,524
185	22/04/1988	8,5	34,8	42,00	934	30,9	1,3	29,4	M3	12,981	2693,998	M4	12,138	1730,712
186	30/04/1988	3,1	21,9	80,00	35	4,3	3,6	14,8	M3	5,361	887,392	M4	5,405	631,805
187	06/05/1988	1	14,6	90,00	218	1,4	0,0	16,0	M3	7,821	910,363	M4	6,662	657,622
188	23/06/1988	0,1	1	105,00	478	1,6	0,0	34,3	M3	14,357	3278,873	M4	13,660	2666,562
190	13/07/1988	7,1	64,4	144,00	452	21,0	6,0	10,3	M3	0,449	65,434	M4	0,099	1,870
193	12/01/1989	0	0	54,00	357	0,0	0,0	23,4	M3	9,154	746,217	M4	-1,000	-1,000
197	01/03/1989	0	0,6	48,00	164	0,0	0,0	16,4	M3	6,751	941,854	M4	6,978	1123,134
198	22/03/1989	0	0,6	114,00	133	0,0	0,0	30,6	M3	20,603	2699,883	M4	18,532	2820,217
199	25/03/1989	9,3	24,6	118,80	857	37,0	0,0	34,6	M3	14,852	3891,241	M4	15,547	3762,793
200	27/03/1989	15,8	67,4	32,00	196	10,0	0,0	6,1	M3	0,438	546,810	M4	0,095	90,559
202	29/03/1989	63,6	154,5	44,00	13	10,0	0,0	9,2	M3	6,894	-0,520	M4	5,495	1046,043
203	01/04/1989	15,7	75,8	18,86	309	102,4	9,2	14,9	M3	4,105	-0,520	M4	4,134	919,854
204	02/04/1989	18,4	77,1	19,09	115	108,0	14,9	8,8	M3	5,385	559,906	M4	3,482	344,849
206	06/04/1989	7,5	133,7	14,00	284	15,0	2,0	6,4	M3	3,316	215,099	M4	1,581	314,657
207	07/04/1989	8,4	133	6,00	450	11,2	6,4	25,4	M3	10,438	714,906	M4	6,274	591,280
208	08/04/1989	20,3	62,7	36,00	523	36,4	25,4	27,0	M3	22,317	2251,472	M4	16,463	2844,948
209	16/04/1989	1,9	28,2	96,00	135	5,8	0,0	39,8	M3	27,970	4397,258	M4	26,725	5706,674
210	21/04/1989	3,2	126,6	66,00	137	12,0	5,0	10,8	M3	3,751	696,909	M4	2,159	802,821
211	23/04/1989	5,1	29,6	22,67	391	9,4	0,0	7,6	M3	4,730	571,748	M4	2,943	358,085
212	27/04/1989	1,6	19,4	132,00	442	15,6	0,0	27,1	M3	16,759	3095,746	M4	9,361	2337,052
215	09/05/1989	0,8	11,2	63,00	301	6,6	0,0	13,1	M3	4,785	1210,139	M4	5,773	808,910
216	11/05/1989	5	85,1	13,50	264	5,0	2,0	5,6	M3	0,576	191,692	M4	0,337	201,085
217	12/05/1989	6,4	19,7	36,00	255	16,5	0,0	11,2	M3	2,960	308,888	M4	1,856	288,199
218	11/06/1989	0	1,3	120,00	330	0,0	0,0	22,7	M3	11,947	-1,0	M4	9,194	378,188

Tabela 4 – (continuação)

CH	DATA	IH60	IH95	Imáx	Duração	5Diasa	Chant	Chuva	EXP	Lâmina	Peso	EXP	Lâmina	Peso
		(mm)	(mm)	(mm/h)	(min)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(kg)		(mm)	(kg)
221	18/06/1989	2,7	64,9	5,33	558	3,0	0,0	2,9	M3	0,253	144,574	M4	-1,000	-1,000
225	05/07/1989	7,9	46,8	126,00	346	6,0	0,0	24,9	M3	16,185	1031,776	M4	13,688	1561,379
226	06/07/1989	19,7	34,5	95,00	375	41,0	24,9	30,7	M3	21,775	3659,086	M4	21,841	3122,324
228	08/07/1989	36,3	117,8	28,66	465	5,0	0,0	12,5	M3	5,265	436,053	M4	5,592	445,609
229	20/09/1989	0	0,2	66,00	190	0,0	0,0	39,4	M3	16,140	528,779	M4	14,917	16635,783
239	10/02/1990	26	39,8	42,00	146	47,1	35,8	9,1	M3	5,095	422,803	M4	3,538	2507,399
242	07/04/1990	0	0	84,00	335	0,0	0,0	15,2	M3	2,093	133,923	M4	3,146	165,439
245	30/04/1990	5,8	17,4	25,50	957	21,5	4,5	19,9	M3	8,281	584,962	M4	6,749	539,351
246	18/05/1990	0	20,7	120,00	88	5,0	1,0	18,3	M3	8,561	286,919	M4	10,090	-1,000
247	28/05/1990	1,2	25,9	96	432	9,0	3,0	16,2	M3	5,178	812,857	M4	4,955	757,495
253	19/10/1990	0	3	90	76	10,0	4,0	15,8	M3	10,160	1452,749	M4	11,919	894,618
254	22/01/1991	0	0,7	30	124	8,0	8,0	10,5	M3	0,425	177,754	M4	0,425	252,000

CH - cheia ou número do evento;

IH60 - Índice de umidade para K igual a 0,6

IH95 - índice de umidade para K igual a 0,95;

Imáx - intensidade máxima do evento;

Duração - duração total do evento em minutos;

Peso - peso total da quantidade de sedimento produzida,

5diasa - total precipitado nos cinco dias anteriores ao evento;

Chant - total precipitado no dia anterior ao evento;

Chuva - total precipitado no dia do evento;

EXP - tipo do experimento (parcela ou microbacia)

Lâmina - lâmina escoada ;