

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA E AVALIAÇÃO
COMPARATIVA DE TRÊS MODELOS EM PEQUENAS
SUB-BACIAS NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA PARAIBANA**

LAÉRCIO LEAL DOS SANTOS

Campina Grande
Data: FEVEREIRO / 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA E AVALIAÇÃO
COMPARATIVA DE TRÊS MODELOS EM PEQUENAS SUB-BACIAS
NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA PARAIBANA**

LAÉRCIO LEAL DOS SANTOS

CAMPINA GRANDE-PB
FEVEREIRO DE 2008

LAÉRCIO LEAL DOS SANTOS

**MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA E AVALIAÇÃO
COMPARATIVA DE TRÊS MODELOS EM PEQUENAS SUB-BACIAS
NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA PARAIBANA**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na área de Engenharia de Recursos Hídricos, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADORES: Prof. Phd. Vajapeyam S. Srinivasan, UAEC/CTRN/UFCEG
Prof. Dr. Ricardo Aragão, UFSE

**CAMPINA GRANDE-PB
FEVEREIRO DE 2008**



S237m

2008 Santos, Laércio Leal dos.

Modelagem hidrossedimentológica e avaliação comparativa de três modelos em pequenas sub-bacias na região semi-árida paraibana /Laércio Leal dos Santos. — Campina Grande: 2008.

236f. : il

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Dr. Vajepeyam S. Srinivasan.

1. Modelagem Hidrossedimentológica. 2. Discretização. 3. Efeito de Escala. I. Título.

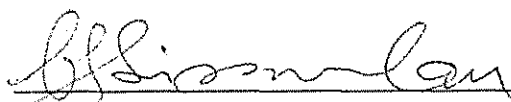
CDU 556.51(043)

**MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA E AVALIAÇÃO
COMPARATIVA DE TRÊS MODELOS EM PEQUENAS SUB-BACIAS
NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA PARAIBANA**

LAÉRCIO LEAL DOS SANTOS

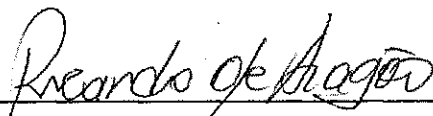
APROVADA EM 25/02/2008

PELA SEGUINTE COMISSÃO EXAMINADORA:



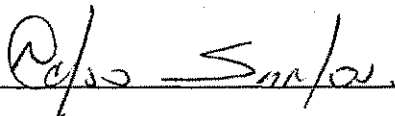
Prof. Phd. VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN

PRESIDENTE - ORIENTADOR



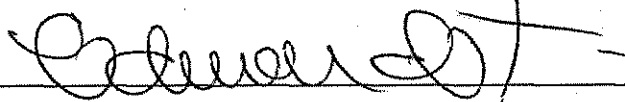
Prof. Dr. RICARDO ARAGÃO

CO-ORIENTADOR



Prof. Dr. CELSO AUGUSTO GUIMARÃES SANTOS

EXAMINADOR EXTERNO



Prof. Dr. EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO

EXAMINADOR INTERNO

CAMPINA GRANDE-PB

25 DE FEVEREIRO DE 2008

*" Eis que Deus é excelso em seu poder; quem ensina como ele?
Quem lhe prescreveu o seu caminho? Ou, quem lhe dirá: Tu cometeste maldade?
Lembra-te de engrandecer a sua obra, que os homens contemplam.
Todos os homens a vêem, e o homem a enxerga de longe. Eis que Deus é grande, e nós não o
compreendemos, e o número dos seus anos não se pode esquadriñar.
Porque faz miúdas as gotas das águas que, do seu vapor, derramam a chuva,
A qual as nuvens destilam e gotejam sobre o homem abundantemente.
Porventura pode alguém entender as extensões das nuvens, e os estalos da sua tenda? "*

(Jó, Capítulo 36 – Versículo 22 a 29)

DEDICATÓRIA

*A Deus pelo seu amor, bondade e fidelidade, aos meus pais, **Lourival Araújo dos Santos e Maria Natividade Leal dos Santos**, minha avó materna **Josefa Leal de Araújo** e meu avô paterno **Luiz Constantino dos Santos**, pelo apoio incondicional e pelo estímulo em todos os momentos desta caminhada.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido concretizar mais uma vitória em minha vida e pela proteção durante todos os momentos.

Aos meus pais, Lourival Araújo dos Santos e Maria Natividade Leal dos Santos, pelo estímulo ao estudo desde o início da minha vida. Por terem compreendido todos os momentos de dificuldades encontrados e me ajudarem a sobrepor problemas durante essa caminhada.

Ao meu único irmão Leandro Leal dos Santos, a sua esposa Eliane Barbosa Gomes dos Santos e a minha linda sobrinha Letícia, pelo companheirismo, incentivo e por compartilhar momentos de alegrias.

À minha namorada Ada Kesea Guedes Bezerra, pelo amor, carinho, dedicação e apoio durante esses dois anos de mestrado.

Aos meus amigos João Virgílio Philipe Lima, Whelson Oliveira de Brito, Rosenilton Maracajá e Paulo da Costa Medeiros, pela paciência, apoio, incentivo e por proporcionar momentos de alegria e diversão.

Aos alunos de iniciação científica Itamara Mary L. M. Taveira e Philipe Jarryer de Miranda Ribeiro.

Ao professor e Coorientador Ricardo Aragão pelo apoio e incentivo desde a época de iniciação científica, nos ajudando e nos aprimorando através de vários estudos realizados na área.

Ao professor e orientador Vajapeyam Srirangachar Srinivasan, por ter tido a oportunidade de usufruir do seu vasto conhecimento durante esses dois anos de mestrado, além dos anos de iniciação científica, e também, pela oportunidade de t-lo como meu professor.

Aos professores Carlos de Oliveira Galvão, Márcia Maria Rios Ribeiro, Eduardo Enéas de Figueiredo, Janiro da Costa Rego, Whilson Fadlo Curi, Rosires Fadlo Curi, e aos demais professores que me transmitiram seus conhecimentos no decorrer desses dois anos.

A todos os que fazem parte do Laboratório de Recursos Hídricos I e II que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho e também aos que fazem parte da coordenação de pós graduação em Engenharia Civil.

Aos professores avaliadores Vajapeyam S. Srinivasan, Ricardo Aragão, Eduardo Enéas de Figueiredo e Celso Augusto Guimarães Santos, pela contribuição para a melhoria deste trabalho.

Por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

RESUMO

Em uma região carente de água o conhecimento dos processos hidrossedimentológicos é fundamental para a permanência e sobrevivência do homem no campo. Nesse sentido, a previsão do escoamento superficial e da erosão do solo nas bacias em regiões semi-áridas torna-se indispensável nos processos de planejamento, aproveitamento e gestão dos recursos naturais. Modelos hidrológicos de base física, que possam considerar os efeitos das mudanças de uso do solo fornecem através da modelagem dos processos um excelente meio para esse fim. Neste trabalho, três modelos hidrossedimentológicos, distribuídos e de base física foram aplicados em duas sub-bacias da Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC) cujas áreas variam de 0,32 a 0,59 km²: o modelo KINEROS2 (*Kinematic Runoff and Erosion Model*), o modelo WESP (*Watershad Erosion Simulation Program*) e o modelo WEPP (*Water Erosion Prediction Project*). A aplicação dos modelos foi realizada para várias configurações de discretização das sub-bacias. Os resultados demonstram que os três modelos são bons para a previsão do escoamento superficial em todos os casos. Em relação à produção de sedimentos os modelos WESP e KINEROS fornecem boas estimativas de sedimentos em nível de eventos individuais e em nível anual. O modelo WEPP não tem precisão adequada para pequenos valores de produção de sedimentos. A saturação média nas unidades experimentais parece sofrer um efeito de escala. O parâmetro de erodibilidade devido ao impacto de chuva do modelo KINEROS2, o c_f , também apresentou algum efeito de escala. O mesmo efeito de escala no modelo WESP, foi verificado em relação ao parâmetro de erodibilidade do solo K_r .

Palavras chave: modelagem hidrossedimentológica, discretização, efeito de escala

ABSTRACT

In a region with scarcity of water, an understanding of the relevant hydro-sedimentological processes is essential for the planning process. The estimation of runoff and soil erosion in river basins in semi-arid regions becomes even more crucial. Physically based Models that consider the effects of changes in the use of land in the modeling of the processes serve very well this end. In this study, three distributed models were applied in two sub-basins of the Experimental Basin of "São João do Cariri (BESJC)" whose areas range of 0.32 to 0.59 km². The models used are: KINEROS2 (*Kinematic and Runoff Erosion Model*), WESP (*Watershad Erosion Simulation Program*) and WEPP (*Water Erosion Prediction Project*). The application of the models were performed for various forms of division of the sub-basins into plane and channel elements. The results show that all the three models are good for the prediction of the runoff. Regarding the production of the sediment, models WESP and KINEROS2 provide good estimates at the level of individual events and the annual level. The WEPP model did not show the precision required for the estimation of small amounts of sediment. The average saturation in the experimental units seems to be influenced by the effect of scale. The parameter of erodibility due to the impact of rain in KINEROS2 the model, c_f , also indicates some effect of scale. The same scale effect in the model WESP was also noticed with the parameter of soil erodibility k_r .

Key words: Hydro-sedimentological processes, Modeling, Experimental Basin

LISTA DE TABELAS DOS CAPÍTULOS

Tabela 4.1 – Comparação entre a taxa de infiltração calculada pelo modelo KINEROS2, WESP e WEPP	75
Tabela 5.1 – Análise estatística da razão entre a lâmina calculada e observada para os eventos de calibração do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 1	82
Tabela 5.2 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada para os eventos de calibração do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 1	84
Tabela 5.3 – Produção de sedimento anual na simulação – KINEROS2.....	86
Tabela 5.4 – Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão nas duas discretizações com classes de variação para a sub-bacia 1 – KINEROS2.....	87
Tabela 5.5 – Análise estatística da razão entre a lâmina calculada e observada para os eventos de calibração do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 2	88
Tabela 5.6 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada para os eventos de calibração do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 2	96
Tabela 5.7 – Produção de sedimento anual na simulação – KINEROS2	99
Tabela 5.8 – Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão nas quatro discretizações com classes de variação para a sub-bacia 2 – KINEROS2	100
Tabela 5.9 – Produção de sedimento anual na validação cruzada – KINEROS2	102
Tabela 5.10 – Análise estatística da razão entre a erosão observada e calculada na validação cruzada do parâmetro $c_{o\ méd}$ da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 do modelo KINEROS2	103
Tabela 5.11 – Produção de sedimento anual na validação cruzada	105
Tabela 5.12 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada na validação cruzada do parâmetro $c_{o\ méd}$ da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 do modelo KINEROS2	106
Tabela 5.13 – Análise estatística da razão entre a lâmina calculada e observada para os eventos de calibração do modelo WESP para a sub-bacia 1	108
Tabela 5.14 – Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão nas duas discretizações com classes de variação para a sub-bacia 1 – WESP	110
Tabela 5.15 – Erosão anual na simulação sub-bacia 1 – WESP	111
Tabela 5.16 – Análise estatística da razão entre a lâmina calculada e observada para os eventos de calibração do modelo WESP para a sub-bacia 2	112
Tabela 5.17 – Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão com classes de variação para a sub-bacia 2 – WESP	114

Tabela 5.19 – Erosão anual na validação sub-bacia 2 com os dados de K_r e α da sub-bacia 1 – WESP	115
Tabela 5.20 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada na validação cruzada dos parâmetros K_r e α da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 do modelo WESP	116
Tabela 5.21 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada na validação cruzada dos parâmetros K_r e α da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 do modelo WESP	117
Tabela 5.22 – Relação entre texturas de solo e CEC	121
Tabela 5.23 – Características do arquivo de solo (1 camada)	121
Tabela 5.24 – Características do arquivo de solo (2 camadas)	121
Tabela 5.25 – Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina com classes de variação para a sub-bacia 1 – WEPP	122
Tabela 5.26 - Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina com classes de variação para a sub-bacia 2 – WEPP	125
Tabela 5.27 – Valores médios obtidos para o modelo KINEROS2	127
Tabela 5.28 – Valores médios obtidos para o modelo WESP	128
Tabela 5.29 – Valores médios obtidos para o modelo WEPP	128

LISTA DE TABELAS DOS ANEXOS

Tabela A1 - Elementos da discretização da sub-bacia 1 com 87 elementos	163
Tabela A2 - Elementos da discretização da sub-bacia 1 com 157 elementos	165
Tabela A3 - Calibração dos parâmetros S_i e c_o modelo KINEROS2 para duas discretizações - Sub-bacia 1	168
Tabela A4 - Simulação do parâmetro c_o modelo KINEROS2 para duas discretizações - Sub-bacia 1	170
Tabela A5 - Elementos da discretização da sub-bacia 2 com 54 elementos	172
Tabela A6 - Elementos da discretização da sub-bacia 2 com 110 elementos	174
Tabela A7 - Elementos da discretização da sub-bacia 2 com 173 elementos	177
Tabela A8 - Elementos da discretização da sub-bacia 2 com 227 elementos	181
Tabela A9 - Calibração dos parâmetros S_i e c_o modelo KINEROS2 para discretização 1 e 2 da Sub-bacia 2	186
Tabela A10 - Calibração dos parâmetros S_i e c_o modelo KINEROS2 para discretização 3 e 4 da Sub-bacia 2	188
Tabela A11 - Simulação do parâmetro c_o modelo KINEROS2 para as discretizações 1 e 2 - Sub-bacia 2	190
Tabela A12 - Simulação do parâmetro c_o modelo KINEROS2 para as discretizações 3 e 4 - Sub-bacia 2	192
Tabela A13 - Validação cruzada do parâmetro médio c_o da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 para as quatro discretizações	194
Tabela A14 - Validação cruzada do parâmetro médio c_o da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 para as duas discretizações	196
Tabela A15 - Produção de sedimentos na simulação e validação cruzada sub-bacia 1 - KINEROS2	199
Tabela A16 - Produção de sedimentos na simulação e validação cruzada sub-bacia 2 - KINEROS2	202
Tabela A17 - Elementos da discretização da sub-bacia 1 com 20 elementos com declividades topográficas	205
Tabela A18 - Elementos da discretização da sub-bacia 1 com 20 elementos com declividades ajustadas	205

Tabela A19 - Calibração do parâmetro N_s para as duas discretizações no modelo WESP – Sub-bacia1	206
Tabela A20 – Simulação do parâmetro K_r e a para duas discretizações no modelo WESP - Sub-bacia 1	208
Tabela A21 – Calibração dos parâmetros N_s e a modelo WESP – Sub-bacia 2	210
Tabela A22 - Simulação do parâmetro K_r e a para a discretização 1 no modelo WESP - Sub-bacia 2	212
Tabela A23 - Validação cruzada do parâmetro médio K_r e a da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 – WESP	214
Tabela A24 - Produção de sedimento para discretização 2 da sub-bacia 1 com declividades normal e alterada – WESP	216
Tabela A25 - Validação cruzada do parâmetro médio K_r e a da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 – WESP	219
Tabela A26 - Produção de sedimentos na simulação e validação cruzada na sub-bacia 1 – WESP	221
Tabela A27 - Produção de sedimentos na simulação e validação cruzada na sub-bacia 2 – WESP	224
Tabela A28 - Calibração do parâmetro S_i e simulação de K_i para a discretização 1 da sub-bacia 1– Modelo WEPP	226
Tabela A29 - Calibração do parâmetro S_i e simulação de K_i para a discretização 2 da sub-bacia 1– Modelo WEPP	229
Tabela A30 – Produção de sedimento para discretização 2 da sub-bacia 1 com declividades normal e alterada – WEPP	232
Tabela A31 - Calibração do parâmetro S_i e simulação de K_i para a discretização 1 da sub-bacia 2– Modelo WEPP	235

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Variação do parâmetro CN com a escala da bacia hidrográfica	22
Figura 2.2 - Variação do coeficiente de rugosidade de Manning com a área da bacia hidrográfica	22
Figura 2.3 - Taxa de entrega de sedimentos versus área da bacia hidrográfica para várias partes do mundo	23
Figura 2.4 - Valores da produção de sedimentos em suspensão em função da área da bacia para várias partes do mundo.....	24
Figura 2.5 - Produção de sedimentos versus área da bacia hidrográfica	24
Figura 3.1 - Localização das mesoregiões e microrregiões do Estado da Paraíba	28
Figura 3.2 – Região do Cariri Paraibano, Bacias dos Rios Taperoá e Paraíba e localização da BESJC no Estado da Paraíba	29
Figura 3.3 – Limitações da BESJC e suas unidades experimentais	30
Figura 3.4 - Modelo digital do terreno da BESJC	31
Figura 3.5 – Pluviômetros e Pluviógrafos	31
Figura 3.6 – Estação climatológicas convencional e automática	32
Figura 3.7 – Precipitação mensal na área da bacia	32
Figura 3.8 – Temperaturas máxima, média e mínima de cada mês registradas na estação convencional	33
Figura 3.9 – Variação da umidade relativa do ar para o ano de 2004	33
Figura 3.10 - Evapotranspiração potencial tanque classe A e evapotranspiração potencial estimada através do método aerodinâmico, estação convencional ($K_c=1$)	33
Figura 3.11- Evapotranspiração potencial tanque classe A e evapotranspiração potencial estimada através do método aerodinâmico, estação automática ($K_c=1$)	34
Figura 3.12 – Parcelas experimentais de erosão e detalhes dos reservatórios	36
Figura 3.13 – Detalhe do funcionamento das Parcelas Experimentais	37
Figura 3.14 - Delimitação da micro-bacia 1 (MB1)	38
Figura 3.15 - Esquema de funcionamento da fossa de sedimentos no exutório da MB1	38
Figura 3.16 - Fossa de sedimentos instalada no exutório da MB1	39
Figura 3.17 - Delimitação das micro-bacias 2 e 3 (MB2 e MB3)	40
Figura 3.18 - Vertedor da SB1	41
Figura 3.19 - Vertedor da SB2	41
Figura 3.20 - Delimitação da SB1 e SB2	41
Figura 3.21 - Formação de bancos de areia sub-bacia 1 e 2 respectivamente	44

Figura 3.22 - Desmatamento na BESJC	45
Figura 4.1 - Arquivo do evento	71
Figura 4.2 – Curva da capacidade de infiltração para os modelos Kineros2, WESP e WEPP	75
Figura 5.1 – Discretização da sub-bacia 1 em duas diferentes configurações	78
Figura 5.2 – Discretização 1 da sub-bacia 1 em planos e canais com 87 elementos	79
Figura 5.3 – Discretização 2 da sub-bacia 1 em planos e canais com 157 elementos	80
Figura 5.4 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)	82
Figura 5.5 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)	82
Figura 5.6 – Correlação entre os valores de lâmina observada e lâmina calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)	83
Figura 5.7 – Correlação entre os valores de lâmina observada e lâmina calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)	83
Figura 5.8 – Correlação entre os valores de erosão observada e erosão calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)	85
Figura 5.9 – Correlação entre os valores de erosão observada e erosão calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)	85
Figura 5.10 – Correlação entre os valores de erosão observada e erosão calculada para a sub-bacia 1 na simulação (discretização 1) com os valores médios de parâmetros	85
Figura 5.11 – Correlação entre os valores de erosão observada e erosão calculada para a sub-bacia 1 na simulação (discretização 2) com os valores médios de parâmetros	85
Figura 5.12 – Produção de sedimentos nas duas discretizações através da simulação da sub-bacia 1 com S_i méd e c_o méd	86
Figura 5.13 – Simulação da sub-bacia 1 usando os valores médios de S_i e c_o	87
Figura 5.14 – Discretização da sub-bacia 2 em quatro diferentes configurações	89
Figura 5.15 – Discretização 1 da sub-bacia 2 em planos e canais com 54 elementos	90
Figura 5.16 – Discretização 2 da sub-bacia 2 em planos e canais com 110 elementos	91
Figura 5.17 – Discretização 3 da sub-bacia 2 em planos e canais com 173 elementos	92
Figura 5.18 – Discretização 4 da sub-bacia 2 em planos e canais com 227 elementos	93
Figura 5.19 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 1)	94
Figura 5.20 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 2)	94

Figura 5.21 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 3)	94
Figura 5.22 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 4)	94
Figura 5.23 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 1)	95
Figura 5.24 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 2)	95
Figura 5.25 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 3)	95
Figura 5.26 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 4)	95
Figura 5.27 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 2 pela calibração eventual (discretização 1)	96
Figura 5.28 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 2 pela calibração eventual (discretização 2)	96
Figura 5.29 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 2 pela calibração eventual (discretização 3)	97
Figura 5.30 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 2 pela calibração eventual (discretização 4)	97
Figura 5.31 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o valor médio de c_o (discretização 1)	97
Figura 5.32 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o valor médio de c_o (discretização 2)	97
Figura 5.33 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o valor médio de c_o (discretização 3)	98
Figura 5.34 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o valor médio de c_o (discretização 4)	98
Figura 5.35 – Produção de sedimentos para as quatro discretizações através da simulação da sub-bacia 2	98
Figura 5.36 – Produção anual de sedimentos através da simulação sub-bacia 1	99
Figura 5.37 – Correlação erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o $c_{o\ med}$ da sub-bacia 1 (discretização 1 da sub-bacia 2)	101

Figura 5.38 – Correlação erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o $c_{o\ med}$ da sub-bacia 1 (discretização 2 da sub-bacia 2)	101
Figura 5.39 – Correlação erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o $c_{o\ med}$ da sub-bacia 1 (discretização 3 da sub-bacia 2)	101
Figura 5.40 – Correlação erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o $c_{o\ med}$ da sub-bacia 1 (discretização 4 da sub-bacia 2)	101
Figura 5.41 – Produção de sedimentos nas quatro discretizações da sub-bacia 2 através da validação cruzada do parâmetro $c_{o\ med}$ da sub-bacia 1	102
Figura 5.42 – Produção anual de sedimentos através da validação cruzada do parâmetro $c_{o\ med}$ da sub-bacia 1	103
Figura 5.43 – Correlação erosão observada e erosão calculada validação cruzada de $c_{o\ med}$ da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 (discretização 1 da sub-bacia 1)	104
Figura 5.44 – Correlação erosão observada e erosão calculada validação cruzada de $c_{o\ med}$ da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 (discretização 2 da sub-bacia 1)	104
Figura 5.45 – Produção de sedimentos nas duas discretizações da sub-bacia 1 através da validação cruzada do parâmetro $c_{o\ med}$ da sub-bacia 2	104
Figura 5.46 – Produção anual de sedimentos através da validação cruzada do parâmetro $c_{o\ med}$ da sub-bacia 2	105
Figura 5.47 – Discretização 2 da sub-bacia 1 em planos e canais com 20 elementos	107
Figura 5.48 – Valor de N_s versus número da cheia para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)	108
Figura 5.49 – Valor de N_s versus número da cheia para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)	108
Figura 5.50 – Valor da correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)	109
Figura 5.51 – Valor da correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)	109
Figura 5.52 – Valor da correlação entre a erosão observada e calculada para a sub-bacia 1 pela simulação com os valores médios dos parâmetros K_r e a (discretização 1)	110
Figura 5.53 – Valor da correlação entre a erosão observada e calculada para a sub-bacia 1 pela simulação com os valores médios dos parâmetros K_r e a (discretização 2)	110
Figura 5.54 – Produção de sedimento simulado na sub-bacia 1 através dos valores médios dos parâmetros K_r e a para a sub-bacia 1	111
Figura 5.55 – Produção anual de sedimentos através da simulação dos parâmetros K_r e a para a sub-bacia 1	112
Figura 5.56 – Valor de N_s versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração	113

Figura 5.57 - Valor da correlação entre a lâmina observada e a lâmina calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 1)	113
Figura 5.58 – Correlação erosão observada e calculada validação cruzada dos parâmetros K_r e a da sub-bacia 1 na sub-bacia 2	115
Figura 5.59 – Correlação erosão observada e calculada validação cruzada dos parâmetros K_r e a da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 – discretização 1	117
Figura 5.60 – Correlação erosão observada e calculada validação cruzada dos parâmetros K_r e a da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 – discretização 2	117
Figura 5.61 – Discretização da sub-bacia 1 em 87 elementos para o modelo WEPP	118
Figura 5.62 – Discretização da sub-bacia 1 em 20 elementos para o modelo WEPP	118
Figura 5.63 – Plano 1 da discretização de 87 elementos para o modelo WEPP	118
Figura 5.64 - Editor de solo do modelo WEPP	119
Figura 5.65 - Valor da saturação inicial relativa do solo para cada cheia na sub-bacia 1 durante a calibração (discretização 1)	123
Figura 5.66 - Valor da saturação inicial relativa do solo para cada cheia na sub-bacia 1 durante a calibração (discretização 2)	123
Figura 5.67 - Valor da correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na simulação (discretização 1)	124
Figura 5.68 - Valor da correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na simulação (discretização 2)	124
Figura 5.69 – Discretização da sub-bacia 2 em 54 elementos para o modelo WEPP	125
Figura 5.70 - Valor da saturação inicial relativa do solo para cada cheia da sub-bacia 2 durante a calibração (discretização 1)	126
Figura 5.71 - Valor da correlação entre as lâminas observadas e calculadas para a sub-bacia 2 durante a calibração (discretização 1)	126
Figura 6.1 – Variação do parâmetro S_i calibrado do modelo KINEROS2 em relação às áreas das unidades analisadas	138
Figura 6.2 – Variação do parâmetro c_f calibrado do modelo KINEROS2 com as áreas das unidades analisadas	139
Figura 6.3 – Variação do parâmetro N_s calibrado do modelo WESP com as áreas das unidades analisadas	144
Figura 6.4 - Variação do parâmetro K_r calibrado do modelo WESP com as áreas das unidades analisadas	145

Figura 6.5 - Variação do parâmetro K_s calibrado do modelo WEPP com as áreas das unidades analisadas	150
Figura 6.6 - Variação do parâmetro S_i calibrado do modelo WEPP com as áreas das unidades analisadas	151

LISTA DE SÍMBOLOS

- A - Área de seção transversal do fluxo (L^2)
- a - Coeficiente na relação entre vazão e profundidade do fluxo ou entre vazão e área da seção transversal do canal
- a - Fator de erodibilidade do solo nos canais ($MLM^{-3/2}L^{-3/2}T^{-1}T^{-1}$)
- α - Coeficiente da equação de Smith e Parlange (1978)
- C_D - Coeficiente de arrasto
- c_f - Coeficiente na equação de erosão devido ao impacto das gotas de chuva
- c_g - Coeficiente da taxa de transferência na erosão/deposição hidráulica, ou intercâmbio (T^{-1})
- c_h - Coeficiente de amortecimento devido à lâmina d'água na equação de erosão por impacto das gotas de chuva
- C_m - Concentração de equilíbrio na capacidade de transporte de sedimentos (L^3L^{-3})
- c_o - Coeficiente relacionado à coesão do solo
- C_S - Concentração de sedimentos
- C_s - Concentração de sedimentos no fluxo (L^3L^{-3})
- C_v - Coeficiente de variação da condutividade hidráulica efetiva do solo
- C - Coeficiente de Chezy
- C_u - Indicador de empocamento em um intervalo de chuva
- C_p - Indicador para o fim de alagamento no elemento durante um intervalo de chuva (L)
- C_l - Parâmetro que considera o efeito da cobertura vegetal na erosão dos canais
- C_r - Fator que considera a cobertura existente no plano
- d - Tamanho característico dos sedimentos (L)
- d_{50} - Diâmetro médio dos sedimentos (L)
- D_i - Taxa de erosão de sedimentos nas áreas planas ($M T^{-1} L^{-2}$)

- D_r - Taxa de liberação de sedimentos nos sulcos ou canais ($M T^{-1} L^{-2}$)
- E - Erosão calculada (ML^{-2})
- e_h - Erosão devido ao arrasto pelo fluxo superficial (L^2T^{-1})
- e_o - Erosão observada (ML^{-2})
- e_s - Erosão devido ao impacto das gotas de chuva (L^2T^{-1})
- f_c - Taxa de infiltração (LT^{-1})
- f_i - Índice médio de infiltração ($L T^{-1}$)
- F - Profundidade cumulativa de infiltração (L)
- G - Valor efetivo do potencial de capilaridade (L)
- G - Carga de sedimentos ($M T^{-1} L^{-2}$)
- G - Aceleração da gravidade (LT^{-2})
- G_e - Parâmetro que considera o efeito da cobertura do solo para erosão
- H - Profundidade do fluxo (L)
- H - Volume de água armazenado por unidade da área (L)
- I - Infiltração acumulada (L)
- I_p - Intensidade de precipitação ($L T^{-1}$)
- i - Intensidade de precipitação (LT^{-1})
- K - Condutividade hidráulica do solo (LT^{-1})
- K_c - Coeficiente do tanque classe A
- K_f - Coeficiente de cultura
- K_i - Parâmetro de erodibilidade do solo pelo impacto das gotas de chuva (MTL^{-4})
- K_r - Parâmetro de erodibilidade do solo pelo fluxo superficial ($MLM^{-3/2}L^{-3/2}T^{-3}T^{-1}$)
- K_s - Condutividade hidráulica saturada efetiva (LT^{-1})
- K_e - Condutividade hidráulica saturada (LT^{-1})
- K_t - Coeficiente de transporte ($L^{0.5}T^2S^{-0.5}$)

- L - Comprimento do plano (L)
- L_c - Lâmina calculada (L)
- L_o - Lâmina observada (L)
- M - Expoente na relação entre vazão e profundidade do fluxo ou entre vazão e área da secção transversal do canal
- n - Coeficiente de rugosidade de Manning
- N_s - Parâmetro de sucção/umidade do solo (L)
- Q - Fluxo de entrada lateral por unidade de comprimento do canal ou excesso de precipitação nos planos (LT^{-1})
- Q - Vazão (L^3T^{-1})
- q_s - Entrada lateral de sedimentos no canal ($L^3T^{-1}L^{-1}$)
- R - Raio hidráulico (L)
- R - Taxa de entrada de água na superfície do solo durante a redistribuição de água (LT^{-1})
- R - Taxa de chuva média (LT^{-1})
- R - Altura da chuva acumulada (L)
- R_n - Número de Reynolds da partícula
- r_e - Excesso de precipitação (LT^{-1})
- S_f - Declividade da linha de energia
- S_f - Declividade de linha de atrito ($L L^{-1}$)
- S_i - Saturação inicial relativa do solo
- S_o - Declividade do plano ou do fundo do canal
- S_s - Densidade relativa do sedimento
- t_p - Tempo de empoçamento (T)
- T - Tempo (T)
- T_W - Largura de topo do fluxo (L)

- T_c - Capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento ($M L^{-1} T^{-1}$)
 U - Velocidade média do fluxo ($L T^{-1}$)
 v_s - Velocidade de queda das partículas ($L T^{-1}$)
 V - Altura do excesso de chuva acumulada (L)
 V_f - Velocidade de queda da partícula ($L T^{-1}$)
 W - Largura do plano (L)
 X - Distância na direção do fluxo (L)
 x - Representação da operação de multiplicação
 x - Comprimento de enosta (L)
 Z - Profundidade da frente de molhamento a partir da superfície (L)
 ϕ - Porosidade
 γ - Peso específico da água ($M L T^{-2} L^{-3}$)
 τ - Tensão de cisalhamento média ($M L T^{-2} L^{-3}$)
 ν - Viscosidade cinemática da água ($L^2 T^{-1}$)
 Ω - Potência unitária do fluxo ($L T^{-1}$)
 δ - Coeficiente para cálculo da tensão de cisalhamento crítica
 ϕ - Porosidade efetiva
 ψ - Potencial mátrico do solo (L)
 τ_c - Tensão de cisalhamento crítica ($M L T^{-2} L^{-3}$)
 τ_c - Tensão de cisalhamento crítica média ($M L T^{-2} L^{-3}$)
 ϵ_c - Coeficiente de deposição nos canais
 θ_i - Umidade inicial do solo
 ϵ_p - Coeficiente de deposição nos planos
 γ_s - Peso específico dos sedimentos ($M L T^{-2} L^{-3}$)

θ_s - Umidade de saturação do solo

θ_s - Umidade na saturação do solo

t_c - Correção da diferença entre o tempo instantâneo e tempo atual de empoçamento (T)

θ_d - Déficit de umidade na mistura de solo (LL^{-1})

Ψ - Potencial capilar médio (L)

η_e - Porosidade efetiva (LL^{-1})

θ_v - Conteúdo volumétrico inicial da água por unidade de área (LL^{-1})

τ - Tensão cisalhante atuando nas partículas de solo em decorrência do escoamento ($M L^{-2} T^{-1}$)

τ_c - Tensão cisalhante necessária para a ocorrência da liberação de partículas ($M L^{-2} T^{-1}$)

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE TABELAS DOS CAPÍTULOS	vi
LISTA DE TABELAS DOS ANEXOS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
1 – CAPÍTULO 1	1
1.0 – INTRODUÇÃO	1
2 – CAPÍTULO 2 - MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA, ESCOAMENTO SUPERFICIAL, EROÇÃO DO SOLO E EFEITO DE ESCALA.....	7
2.0 – escoamento Superficial e os Mecanismos de Geração.....	7
2.1 - Erosão e os Mecanismos de Geração.....	10
2.1.1 - Erosão nos planos.....	12
2.1.2 - Erosão nos canais.....	13
2.2 - Modelos hidrológicos.....	13
2.2.1 - Classificação dos Modelos.....	15
2.2.1.1 - Modelos de base física.....	16
2.3 – Efeito de Escala sobre os parâmetros dos modelos hidrológicos.....	19
2.3.1 - Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados ao Escoamento Superficial	21
2.3.2 - Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados à Produção de Sedimentos	23
2.4 - Considerações finais.....	25
3 – CAPÍTULO 3 - ÁREA DE ESTUDO BACIA EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DO CARIRI (BESJC).....	27
3.0 – Considerações Gerais.....	27
3.1 - Localização	28
3.2 – Características Físico-Climáticas da BESJC.....	31

3.2.1 – Clima.....	31
3.2.2 – Solos.....	34
3.2.3 – Vegetação.....	34
3.3 – As Unidades Experimentais da BESJC.....	35
3.3.1 – Parcelas de Erosão.....	35
3.3.2 – Micro-Bacias.....	37
3.3.3 – Sub-Bacias	40
3.4 – Coleta de Dados.....	42
3.5 – Dados utilizados.....	43
4 – CAPÍTULO 4 - MODELOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	46
4.0 – Considerações Gerais.....	46
4.1 - O MODELO WESP.....	46
4.1.1 - Modelo de Infiltração.....	46
4.1.2 - escoamento Superficial.....	48
4.1.2.1 - escoamento nos Planos e nos Canais.....	48
4.1.3 - Componente Erosão-Deposição.....	49
4.1.3.1 - Erosão nos planos.....	49
4.1.3.2 - Erosão nos Canais.....	51
4.1.4 - Parâmetros de Entrada do Modelo WESP.....	52
4.1.5 - Utilitário para cálculo do intervalo de tempo de simulação.....	54
4.1.6 - Seqüência Computacional.....	54
4.2 - MODELO KINEROS2.....	54
4.2.1 - Modelo de Infiltração.....	54
4.2.2 - Fluxo nos Planos.....	56
4.2.3 - Condições de Fronteira.....	57
4.2.4 - Recessão e Micro-topografia.....	58
4.2.5 - Fluxo nos Canais.....	58
4.2.6 - Modelagem da Erosão nos Planos e Canais.....	59
4.2.7 - Parâmetros de Entrada do Modelo KINEROS2.....	61
4.2.7.1 - Parâmetros Globais.....	61
4.2.7.2 - Parâmetros dos Planos.....	61
4.2.7.3 - Parâmetros dos Canais.....	62
4.3 - O MODELO WEPP.....	63

4.3.1 – Modelo de Infiltração.....	63
4.3.2 - Escoamento sobre os Planos.....	65
4.3.3 - Fluxo nos Canais.....	66
4.3.4 - Erosão nos Planos e Canais.....	67
4.3.5 – Características do modelo WEPP.....	69
4.3.6 – Parâmetros de Entrada do Modelo WEPP.....	71
4.4 – Parâmetros a serem calibrados.....	73
4.5 – Diferenças básicas entre os três modelos.....	74
5 – CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO DOS MODELOS.....	77
5.0 – Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo	77
5.1 – Modelo KINEROS2.....	77
5.1.1 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 1.....	77
5.1.2 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 2.....	87
5.2 – Modelo WESP.....	106
5.2.1 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo WESP para a sub-bacia 1.....	106
5.2.2 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo WESP para a sub-bacia 2.....	112
5.3 – Modelo WEPP.....	117
5.3.1 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo WEPP para a sub-bacia 1.....	117
5.3.2 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo WEPP para a sub-bacia 2.....	124
6 – CAPÍTULO 6 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	129
6.0 – Análise e Discussão dos Resultados para as Sub-Bacias.....	129
6.1 – Modelo KINEROS2	129
6.1.1 – Escoamento Superficial e Erosão do Solo para Sub-Bacia 1 e 2.....	129
6.1.2 – Efeito de Escala sobre os parâmetros do modelo KINEROS2	135
6.2 – Modelo WESP	138
6.2.1 – Escoamento Superficial e Erosão do Solo para Sub-Bacia 1 e 2.....	138
6.2.2 – Efeito de Escala sobre os parâmetros do modelo WESP.....	141
6.3 – Modelo WEPP	144

6.3.1 – Escoamento Superficial e Erosão do Solo para Sub-Bacia 1 e 2.....	144
6.3.2 – Efeito de Escala sobre os parâmetros do modelo WEPP.....	147
7 – CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	151
7.1- Conclusões.....	151
7.2- Recomendações.....	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXOS.....	163

CAPÍTULO 1

1.0 - INTRODUÇÃO

As ações antrópicas têm modificado o clima nas mais diversas regiões do mundo e muitas vezes as condições necessárias à manutenção da vida humana têm sido prejudicadas. A conscientização da importância dos recursos hídricos na qualidade de vida da população vem originando demandas crescentes de informações para a elaboração de projetos, principalmente em pequenas bacias hidrográficas. Os projetos nestas bacias têm atraído a atenção de pesquisadores e tomadores de decisão, visto que os dados coletados nestas regiões são valiosas fontes de informações que poderão ser utilizados em bacias maiores.

A água é recurso fundamental à vida, recurso indispensável na agricultura de base familiar, de média e larga escala e em quase todos os processos produtivos. Suprimentos de demanda de água é uma contínua preocupação da humanidade, devido ao crescente aumento populacional, as incertezas dos fatores climáticos e a crescente poluição hídrica. Segundo Paiva e Paiva (2003), os aspectos de quantidade de água necessitam estar cada vez mais interligados com a água que escoar, em termos de sedimentos, qualidade e quantidade. Nesse sentido, a apresentação de metodologias aplicáveis a áreas pequenas e os estudos regionais representam uma compilação importante aos tomadores de decisão.

A grande variabilidade da disponibilidade hídrica, tanto temporal como espacial, ressalta a necessidade de permanente quantificação de descargas líquidas visando à previsão de futuras vazões e das quantidades de sedimentos produzidas por um evento de chuva. Essa quantificação, apenas será possível, com a disponibilidade de dados hidrológicos confiáveis, e, a partir destes, poderão ser desenvolvidos projetos adequados de reservatórios, canais, diques, estações elevatórias, eclusas, vertedores e outras estruturas hidráulicas (MENDONÇA, 2003). Contudo, a utilização de dados confiáveis implica na utilização de mão-de-obra qualificada e recursos financeiros para instalação de equipamentos e coleta de dados, o que nem sempre é possível para grandes bacias, principalmente na região semi-árida do nordeste do Brasil.

Para contornar as dificuldades encontradas na obtenção de dados, tem sido incentivada a instalação de bacias experimentais e representativas de uma grande região (SRINIVASAN *et al.*, 2004). Assim, através de uma função de transferência, os resultados obtidos nas escalas menores poderão ser transpostos para as escalas maiores e não monitoradas. Tanto o conhecimento de culturas adequadas para uma determinada região como o conhecimento de meios de conservação são fundamentais para prevenir os processos erosivos e, posteriormente, o processo de desertificação.

É fato conhecido que, o constante aumento populacional e a necessidade de aumento da produção agrícola para alimentar a população são cada vez maiores. Com isso, grandes áreas são desmatadas para dar lugar a campos agrícolas ou até mesmo pasto para gado e outros animais. A retirada da cobertura vegetal, devido ao desmatamento, reflete-se na redução do volume de água infiltrada, e a conseqüente recarga dos aquíferos, o aumento do volume escoado e o conseqüente aumento na carga de sedimento levado para rios e reservatórios.

A retirada da vegetação pode provocar alterações também no regime de precipitação de uma região, pois ocorre uma redução do volume evaporado devido à diminuição da interceptação vegetal. Bruijnzeel (1996) apresenta alguns estudos que procuram associar evidências circunstanciais de redução de precipitação associados ao desmatamento. Porém, McCulloch e Robson (1993) afirmam que não existe nenhuma evidência de que a retirada ou aumento da vegetação afete a precipitação.

Na literatura, encontram-se diversos artigos sobre bacias experimentais, que mostram que o desmatamento produz o aumento do escoamento superficial em bacias rurais (LAL e RUSSEL, 1981). No entanto, para as bacias de médio e grande porte os efeitos ainda são pouco conhecidos (TUCCI e CLARK, 1997).

Na Ásia, Hsia e Koh (1983) analisaram os resultados de duas bacias experimentais, com a mesma declividade (~ 40%), sendo que uma bacia, de 8,39 hectares, permaneceu com condições naturais e a outra bacia, com, 5,86 hectares foi mantida desmatada. Eles constataram o aumento da vazão média após o desmatamento. A tendência de crescimento da vazão média, devido à diminuição da cobertura vegetal nas pequenas bacias, também é uma das conclusões dos estudos experimentais apresentados por Bosch e Hewlett (1882) e por Bruijnzeel (1990). O desmatamento aliado à agricultura irrigada são atividades que produzem grandes quantidades de sedimento. O U.S. *Soil Conservation Service* estima o limite de perda de solo em 11,2 t/ha/ano

para atividades agrícolas enquanto que as taxas de erosão natural ficam em torno de 0,224 e 2,42 t/ha/ano.

A erosão do solo constitui a principal causa do empobrecimento precoce das terras produtivas. As enxurradas, provenientes das águas que não foram retidas ou infiltradas no solo, transportam partículas de solo em suspensão e nutrientes necessários às plantas. Segundo Bertoni (1999), o Brasil perde anualmente pelo menos quinhentos milhões de toneladas de terra através da erosão, correspondendo à retirada de uma camada de 15 cm de espessura numa área de 2.800.000.000 m². Essa perda de solo influencia diretamente a produtividade das culturas agrícolas, podendo, mesmo em alguns casos, resultar na perda total da capacidade produtiva. A açudagem no Nordeste 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, e por isso, ficando sujeito aos efeitos erosivos da chuva (FIGUEIREDO, 1999).

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) a análise das respostas hidrológicas em bacias representativas e experimentais; e (b) 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.

Com esse objetivo, 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 hidrossedimentológicos.

O monitoramento contínuo do comportamento hidrossedimentológico 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.

Em uma região carente de água, o conhecimento dos processos hidrossedimentológicos é fundamental para a permanência e sobrevivência do homem no campo. Nesse sentido, a instalação de várias bacias experimentais e representativas, levaria a uma substancial massa de

dados, que após uma análise apurada, serviria para nortear o planejamento do uso dos recursos de solo e água. Neste fim, várias unidades foram implantadas (CADIÉ *et al.*, 1983 e CADIÉ, 1984), mas o declínio no aporte financeiro e a conseqüente redução de pessoal qualificado fez com que um grande percentual dos dados coletados nunca fosse processado e apresentado em nível de relatório final.

Das bacias representativas e experimentais implantadas no Nordeste, somente a de Sumé, instalada no semi-árido paraibano, operadas na época em conjunto com a Universidade Federal da Paraíba, Campus de Campina Grande, forneceram valiosas informações que serviram de base para vários estudos dentre eles, o uso de ferramentas computacionais para a previsão hidrossedimentológica, os modelos hidrológicos. Antes mesmo do fim das atividades em Sumé, foi instalada na cidade de São João do Cariri, a Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC) com o objetivo de continuar os estudos hidrossedimentológicos em regiões semi-áridas.

Modelos hidrossedimentológicos, que possam considerar os efeitos das mudanças de uso do solo, vêm sendo utilizados por pesquisadores em seus estudos. Os modelos de base física, principalmente aqueles que simulam os processos da erosão pela chuva, são ferramentas muito úteis para os tomadores de decisão e órgãos gestores, visto que, uma vez parametrizados, os modelos poderão ser utilizados para a previsão de escoamento superficial e a produção de sedimentos devido a um evento de precipitação, o que auxiliaria na gestão de corpos de água.

Neste fim, vários modelos têm sido desenvolvidos (SINGH, 1995; FIGUEIREDO, 1998), mas os modelos que se baseiam nos processos físicos, têm recebido uma maior atenção e preferência, devido ao fato que, na sua concepção, procura-se representar através de equações diferenciais os processos físicos, o mais próximo possível da realidade. Figueiredo e Srinivasan (1999) utilizaram o modelo NAVMO para avaliar os impactos causados pelo uso do solo e a influência dos açudes sobre o escoamento na bacia hidrográfica do açude de Sumé. Os diferentes tipos de uso de solo foram reproduzidos através de cenários.

Hrissanthou (2005) utilizou três modelos matemáticos na bacia de Kompsatos, no nordeste da Grécia, com uma área de 565 km², com o objetivo de quantificar a produção de sedimento devido à erosão, sem dados de sedimento observados. A bacia inteira foi dividida em 18 sub-bacias e foram utilizados 27 anos de dados de chuva mensais.

Aragão (2000) utilizou o modelo WESP na bacia experimental de Sumé (BES) com o objetivo de relacionar os parâmetros do modelo com as características físicas da região e também,

com as condições físicas do solo. Além disso, verificou a possibilidade de transferência dos parâmetros calibrados para outra bacia hidrologicamente semelhante.

Lopes (2003) utilizou o modelo WESP e KINEROS2 na bacia representativa de Sumé (BRS) para simular e comparar os processos erosivos, nas sub-bacias da bacia representativa com áreas de 10 a 140 km², e em parcelas e micro-bacias da bacia experimental de Sumé. Além disso, verificou o efeito de escala sobre os parâmetros do modelo na geração do escoamento superficial e erosão do solo.

Cruz (2004) aplicou o modelo WEPP para simular escoamentos superficial e produção de sedimentos em diferentes escalas de produção (parcelas de erosão de 100 m² e micro-bacias em torno de 5000 m²) na BESJC e na BES, avaliando a variabilidade dos parâmetros do modelo entre as unidades experimentais de Sumé e São João do Cariri, além de, analisar o efeito de escala sobre os processos de escoamento superficial e de erosão desde as parcelas de erosão até a BRS.

Tomando-se por base o acima exposto, o objetivo do presente trabalho é verificar o desempenho dos modelos KINEROS2 (SMITH *et al.*, 1995), WESP (LOPES, 1987) e WEPP (FLANAGAN e NEARING, 1995), na modelagem dos processos chuva, vazão e erosão na BESJC, instalada no semi-árido paraibano, em diferentes escalas de aplicação para analisar os efeitos de escala sobre os parâmetros dos modelos. Com isso, pretende-se:

- Analisar comparativamente a eficiência relativa dos modelos KINEROS2, WESP e WEPP na simulação dos processos hidrossedimentológicos no semi-árido paraibano, verificando a robustez dos respectivos modelos;
- Quantificar os processos do escoamento superficial e a conseqüente produção de sedimentos em duas sub-bacias da BESJC, cujas áreas variam entre 320000 a 590000 m² (32 a 59 ha);
- Avaliar os efeitos de escala com base nas variações dos parâmetros calibrados ou ajustados nas diversas unidades experimentais da BESJC. Para isso, serão utilizados os dados obtidos nas duas sub-bacias, juntamente com os dados obtidos no trabalho de Paiva (2008) referentes às parcelas de erosão de 100 m² e três micro-bacias, cujos tamanhos, variam entre 1600 e 16300 m² (0,16 a 1,63 ha).

Espera-se que os modelos hidrodinâmicos, distribuídos e eventuais, possam ser calibrados e testados, e que também, possam servir como uma ferramenta importante na avaliação hidrossedimentológica de pequenas bacias hidrográficas na região semi-árida do nordeste do Brasil e que possam ser usados pelos tomadores de decisão.

CAPÍTULO II

MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA, ESCOAMENTO SUPERFICIAL, EROSÃO DO SOLO E EFEITO DE ESCALA

Neste capítulo, serão apresentados aspectos importantes sobre a modelagem hidrossedimentológica em pequenas e médias bacias hidrográficas, bem como, aspectos gerais sobre os modelos hidrológicos enfatizando os modelos chuva-vazão e modelos de produção de sedimento. São apresentados, também, alguns estudos relativos aos efeitos de escala nos parâmetros de modelos hidrológicos.

2.0 – escoamento Superficial e os Mecanismos de Geração

O escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida. É um fenômeno físico resultado da interação da precipitação com a bacia hidrográfica. É o movimento da água sobre a superfície do solo. Quando a bacia é rural e possui cobertura vegetal, o escoamento sofre a interferência dessa cobertura e grande parte dela se infiltra. O escoamento em superfícies urbanas é regido pela interferência do homem através de superfícies impermeáveis e sistemas de esgotos pluviais (TUCCI, 2005). O planejamento e alocação dos recursos hídricos superficiais estão intimamente ligados ao escoamento superficial, tornando o conhecimento desse fenômeno imprescindível para a melhor utilização dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, principalmente onde os índices de precipitação são baixos.

As características das precipitações, como duração e intensidade, as características do solo, como textura, capacidade de infiltração, umidade e a cobertura vegetal, influenciam o escoamento superficial que basicamente é regido por leis físicas (conservação da massa, energia e quantidade de movimento) e representado quantitativamente pelas variáveis vazão, profundidade e velocidade. Quanto menor for a capacidade de infiltração, maior será a parcela da precipitação que irá escoar (ARAGÃO, 2000).

A infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo. É um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo da superfície e das quantidades de água e ar inicialmente presentes no interior do solo (TUCCI, 1993). De acordo com Rubin (1966) citado por Tucci (1987), Figueiredo (1998b) e Aragão (2000), 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 à 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.

À medida que a água infiltra no solo, as camadas superiores vão se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto há entrada de água, o perfil de umidade tende a saturação em toda a profundidade. Normalmente as precipitações naturais não são capazes de saturar todo o solo, saturando em geral apenas as camadas próximas a superfície, formando um perfil típico onde a umidade do solo decresce com a profundidade (LOPES, 2003).

Segundo Figueiredo (1998b) citado por Aragão (2000), poderá ocorrer dois tipos de mecanismos geradores de escoamento:

- a) Fluxo superficial devido ao excesso de precipitação sobre a infiltração desde a superfície até as camadas inferiores, também conhecidos como Hortoniano (HORTON, 1933);
- b) Fluxo superficial devido ao excesso de saturação onde a saturação do terreno ocorre devido ao aumento do nível da água no lençol subterrâneo.

No primeiro caso o escoamento acontece devido ao excesso de precipitação sobre a capacidade de 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.

Segundo Aragão (2000) 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.

Como já foi mencionado, o escoamento superficial é descrito por equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento. As suposições básicas adotadas no desenvolvimento das equações de movimento são as seguintes:

- O fluxo é gradualmente variado;
- A declividade do canal é pequena e o leito é fixo;
- O fluido é incompressível e possui viscosidade constante;
- A distribuição da pressão é hidrostática;
- A quantidade de movimento devido ao escoamento lateral é desprezível;
- 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**

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \text{Eq. (2.1)}$$

- Equação de Quantidade de Movimento**

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g(S_0 - S_f) - v \frac{q_1}{A} \quad \text{Eq. (2.2)}$$

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_1 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).

O processo de escoamento é gerado inicialmente nas vertentes ou planos, e logo após escoar sobre estes, a lâmina escoada chega aos riachos ou canais da bacia, que transposta todo o escoamento gerado até o exutório.

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

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad \text{Eq. (2.3)}$$

2.1 - Erosão e os Mecanismos de Geração

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 arrasto 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, sendo transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem para os rios ou para os locais de deposição (CARVALHO, 1994).

De acordo com Bordas, Lanna e Semmelmann (1988) entende-se por erosão o processo de deslocamento de seu local de origem das partículas sólidas da superfície do solo ou das paredes dos leitos dos córregos e rios, sob efeito do escoamento. Esse deslocamento ocorre quando as forças hidrodinâmicas exercidas pelo escoamento sobre uma partícula ultrapassam a resistência por ela oferecida. A resistência tem sua origem, principalmente, no peso da partícula e nas forças de coesão. A coesão constitui a força de resistência por excelência das partículas mais finas, enquanto o peso da partícula é a principal força resistente para as areias e o material mais graúdo. No primeiro caso, os sedimentos são qualificados de coesivos, no segundo caso de não-coesivos.

Segundo Simões (1998), a erosão é um conjunto de processos, segundo, os quais o material terroso ou rochoso é desgastado, desagregado e removido de algum lugar da superfície da terra, conseqüentemente, alterando-a localmente com diferentes taxas de mudanças. Em nível global e considerando-se grandes períodos de tempo geológico pode-se dizer que estas mudanças se operam lenta e gradativamente.

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 de terras agricultáveis e de terras úteis 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). 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 U.S. *Soil Conservation Service* estima o limite de perda de solo em 11,2 t/ha/ano para atividades agricultáveis enquanto as taxas de erosão geológica (erosão normal) ficam entre 0,224 e 2,42 t/ha/ano. Porém a construção de estradas e as atividades de urbanização podem produzir valores muito mais elevados respectivamente 338 e 226 t/ha/ano (TOY, 1982).

A busca cada vez mais intensa por novas áreas para produção de alimentos decorrentes das pressões demográficas e erosão excessiva tem conduzido a índices preocupantes de redução dos solos mais produtivos podendo atingir em torno de 7% por década (MURCK *et al.*, 1996).

Nos solos pobremente revestidos, a erosão acelerada é favorecida pelo escoamento concentrado ou enxurrada deixando marcas na superfície do terreno em face de anisotropias ou heterogeneidade pré-existente. O escoamento difuso pode tornar-se concentrado, aumentando o volume de água correndo através de canais e riachos. A água nestes canais tem energia suficiente para remover partículas maiores, formando sulcos paralelos e captando a drenagem imediatamente ao redor, dependendo de diferentes fatores de origem natural ou antrópica (EVANS, 1992; FACICANI, 1995; SIMÕES, 1998).

Como na maioria das vezes os solos estão desprovidos da sua cobertura vegetal natural, o impacto das gotas de chuva torna-se o processo que mais contribui para erosão, após a ação do homem.

Por isso, 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 sobre a superfície do solo). Segundo Aragão (2000), a erosão pela água é a que afeta, com maior intensidade e frequência, o semi-árido nordestino.

De acordo com Simons e Senturk (1992), 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.

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.

Segundo Aragão (2000), 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/km². 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/km²/ano.

Da mesma forma que o escoamento superficial, a erosão se inicia sobre as vertentes ou planos da bacia e, posteriormente, os sedimentos são transportados pelo escoamento superficial até chegar aos canais. Estes, por sua vez, transportam a água e os sedimentos ao longo da bacia até chegar ao exutório. Parte dos sedimentos que foram removidos das vertentes é depositada ainda nas vertentes e ao longo dos canais e parte será transportada para as partes mais baixas da bacia quando os canais que os conduzem forem erodidos pela força do escoamento ao longo da bacia. Logo temos dois tipos de erosão: (a) erosão nas vertentes ou planos e (b) erosão nos canais.

2.1.1 - Erosão nos planos

Segundo Foster (1982), os processos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos ocorrem basicamente nas áreas planas. Além disso, a erosão em áreas planas é composta de três estágios básicos: 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-á 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.

Na condição em que a chuva ocorre sobre um solo desmatado, as gotas de chuva atingem o solo diretamente, permitindo que ocorra ou não a desagregação das partículas. Essas poderão ser transportadas, após a desagregação pelas gotas, até uma curta distância (FOSTER, 1982; SCHULTZ *et al.*, 1985). As gotas de chuva ao caírem atingem uma velocidade, cujo valor está associado a uma energia cinética onde será dissipada após atingir o solo.

De acordo com Leprun (1981) 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.

2.1.2 - 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, partes do material que foi erodido nos planos são transportadas 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. Um fator que contribui e muito para o alargamento das ravinas é o aumento da umidade do talude devido a infiltração da água da chuva. Este aumento levará a diminuição da resistência do solo podendo levar ao deslizamento dos taludes dos canais (ARAGÃO, 2000).

2.2- Modelos hidrológicos

Tucci (1998) definiu um modelo hidrológico como uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e prever as conseqüências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados.

De acordo com Cadier *et al.* (1987), modelo hidrológico 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. Não foge a definição da palavra modelo, porém, requer uma análise mais aprofundada sobre o tema hidrológico. A modelagem hidrológica requer um conhecimento aprofundado sobre o ciclo hidrológico, e conseqüentemente, sobre todos os processos físicos que ocorrem durante uma chuva, ou seja, a própria chuva ou precipitação, a interceptação, a evapotranspiração, a infiltração e o escoamento superficial. Todos esses processos são representados através de métodos matemáticos.

A modelagem hidrológica permite verificar a consistência das informações disponíveis (dados observados), que são em geral muito curtas, obtidas a partir das observações hidrológicas nas bacias hidrográficas, e com base nesses dados, os modelos hidrológicos podem ser calibrados, permitindo, por exemplo, a geração de séries sintéticas e a utilização dos modelos como ferramenta de obtenção de dados em bacias não monitoradas.

Para que um modelo seja utilizado adequadamente, faz-se necessário à compreensão da estrutura do modelo e suas limitações. Além desses fatos, deve-se ressaltar que muitos modelos necessitam de calibração para que reproduza o mais próximo possível o fenômeno a ser modelado, uma vez que, devido aos métodos matemáticos utilizados para cada modelo, surge uma série de parâmetros relacionados a estes métodos, que representam as características e os processos físicos da bacia. Pode-se dizer que existem três grupos de parâmetros:

a) Parâmetros que são obtidos através de ensaios em uma área experimental, em laboratórios ou de acordo com as características geométricas dos elementos;

b) Parâmetros que são obtidos através da literatura, com base em trabalhos efetuados na bacia em estudo ou em áreas semelhantes;

c) Parâmetros que precisam de calibração.

Os parâmetros obtidos através de ensaios em uma área experimental ou em laboratórios representam características do solo, por exemplo: densidade, porosidade, capacidade de infiltração, potencial mátrico do solo, granulometria. De uma maneira mais ampla, podemos citar que estes parâmetros também representam a cobertura vegetal, a declividade, a presença de reservatórios e de rochas.

Quando não é possível efetuar experimentos para obtenção dos valores dos parâmetros, quer seja pela falta de equipamentos ou por técnicos capacitados, costuma-se utilizar os

valores advindos da literatura, através de trabalhos já realizados na bacia, ou em bacias hidrologicamente semelhantes.

Entretanto, os valores dos parâmetros que constam da literatura são valores de referência e nem sempre podem ser tomados como os mais indicados para uma dada região. Um exemplo disto seriam os valores dos parâmetros relacionados ao solo (condutividade hidráulica, porosidade, umidade na saturação) visto que para uma pequena área poderão ser encontradas diferentes manchas de solo com diferentes características do ponto de vista hidrológico. No caso da saturação, a sua distribuição acontece de forma não uniforme sobre uma bacia como também muda de evento para evento. Dessa forma, procura-se calibrar esses parâmetros para obter um valor mais consistente para a bacia analisada.

2.2.1 - Classificação dos Modelos

De acordo com Tucci (1998) os modelos podem ser assim classificados:

- a) **Concentrado ou Distribuído:** um modelo é dito concentrado quando não leva em consideração a variabilidade espacial da bacia. Já o modelo é considerado distribuído quando suas variáveis e parâmetros dependem do espaço e/ou tempo;
- b) **Estocástico ou Determinístico:** quando a chance de ocorrência das variáveis for levada em consideração, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos. Ou seja, quando para uma mesma entrada, o modelo produz uma mesma saída (com condições iniciais iguais) o modelo é classificado como determinístico (TUCCI, 1987);
- c) **Conceitual ou Empírico:** os modelos são ditos conceituais quando levam em consideração os conceitos físicos relacionados aos processos hidrológicos. Já os modelos empíricos são aqueles que utilizam funções que não tenham relação com os processos físicos envolvidos e são baseados em análises estatísticas, como métodos de correlação e análise de regressão.

Os modelos conceituais podem ser subclassificados em semiconceituais e físicos. Os semiconceituais estão relacionados às características do processo, embora mantenham um razoável empirismo nos parâmetros das equações envolvidas, enquanto que os modelos físicos utilizam as principais equações diferenciais do sistema físico, para representar os processos e os seus parâmetros são aqueles que mais se aproximam da física do sistema. Dessa forma, as mudanças das características das bacias podem alterar os valores dos

parâmetros, os quais podem ser avaliados através de medidas de campo. Portanto, modelos desse tipo, possuem uma característica muito importante, a de poderem ser aplicados em bacias hidrográficas que não possuem dados observados.

Os modelos empíricos utilizam funções matemáticas ou advindas de ajustes estatísticos visando à melhor representação da saída com base na entrada. As principais dificuldades encontradas no uso desses modelos têm sido o empirismo dos parâmetros e as incertezas quanto aos prognósticos da faixa de ajuste.

Os modelos distribuídos permitem analisar, com melhor embasamento, modificações naturais ou antrópicas nas bacias hidrográficas, o que é praticamente inviável com os modelos concentrados, devido ao excesso de empirismo e da característica concentrada da sua formulação.

Mesmo utilizando conjuntamente os modelos distribuídos, modelos digitais de terreno e o geoprocessamento, a boa representatividade espacial e temporal do comportamento das diferentes partes da bacia não garante que os resultados encontrados possam ser estendidos para outras escalas de bacias hidrográficas. Ao fenômeno de variação dos valores dos parâmetros com a escala da bacia é dado o nome de efeito de escala, ou seja, as condições nas quais os processos ocorrem na escala de tempo e de espaço são diferentes. Portanto, o conhecimento de um determinado processo numa escala de tempo e espaço, não implica necessariamente o entendimento desse processo em outras escalas (TUCCI, 1998), sendo este efeito discutido mais adiante.

2.2.1.1 - Modelos de base física

O processo de erosão é bastante complexo de ser modelado e depende de três fatores básicos: topografia, natureza do fluxo, e 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. Além destes fatos, a modelagem do processo erosivo é dependente da resposta do modelo hidrológico, o que aumenta e muito o grau de complexidade do processo erosivo.

Figueiredo (1998b) cita as vantagens dos modelos de erosão de base física sobre os outros existentes (empíricos e semiconceituais) 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

observadas, aplicabilidade onde existem variações na topografia, uso de solo, cobertura vegetal e clima, consideração de áreas mais complexas, e 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 necessária a coleta de informação em vários locais da bacia. Para contornar este problema, costuma-se coletar os dados imprescindíveis ao uso do modelo e estimar algumas outras variáveis (parâmetros), de acordo com trabalhos disponíveis na literatura. Para as variáveis características dos processos, que não tiveram seus valores coletados ou estimados deve-se efetuar a calibração 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). No passado, a impossibilidade de representar o comportamento dos processos como eles ocorriam na prática, como também a limitação em termos computacionais de calcular, em três dimensões, a variabilidade do sistema eram alguns dos fatores que limitavam o desenvolvimento dos modelos distribuídos de base física. Porém, com o advento de novas tecnologias computacionais, as limitações computacionais são quase inexistentes, logo, esses modelos se tornaram cada vez mais utilizados.

Desde a criação dos primeiros modelos de base física (SINGH, 1995), 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 (FOSTER, 1982; BEVEN e O'CONNEL, 1982; ABBOTT *et al.*, 1986 a, b; BEVEN, 1989; GALVÃO, 1990; FIGUEIREDO, 1998): restrição na aplicação deste modelo relacionadas com o problema de escala, calibração, validação e incertezas inerentes aos valores dos parâmetros e da saída fornecida; além de que, a necessidade de calibração dos parâmetros, e as suposições utilizadas para resolver o sistema de equações geram alguns erros difíceis de serem eliminados.

Mesmo com as desvantagens acima citadas os estudos sobre os modelos de base física têm crescido (SOUSA *et al.*, 2007). Isto acontece devido aos mesmos poderem fornecer, através das suas respostas, um melhor entendimento dos processos hidrossedimentológicos e por poderem representar com uma maior proximidade o desenvolvimento do ciclo hidrossedimentológico. 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 à 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. A seguir, serão citados, alguns modelos de base física, dentre eles, os modelos **WESP**, **WEPP**, **KINEROS2**, utilizados na presente pesquisa:

- **O Modelo CSU** - 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 Modelo KINEROS** (*Kinematic Runoff Erosion Model*) foi proposto por Woolhiser *et al.*, (1990) que incorporaram ao modelo hidrológico de Rovey *et al.*, (1977) componentes de erosão, transporte e deposição. O KINEROS é um modelo de eventos, distribuído, não linear, onde a bacia é representada por planos retangulares, canais e elementos de armazenamento. O modelo utiliza a equação da continuidade de sedimentos (BENNETT, 1974) e calcula o desprendimento das partículas pelo impacto das gotas de chuva através da equação de Meyer e Wischmeier (1969). Neste, a infiltração é modelada através da equação de Smith-Parlange (SMITH *et al.*, 1995). O modelo **KINEROS2** é uma versão melhorada do modelo KINEROS, e traz como um dos diferenciais a redistribuição da umidade do solo durante a chuva e a capacidade de comportar mais de um pluviógrafo (SMITH *et al.*, 1995).
- **O Modelo WESP** (*Watershed Erosion Simulation Program*) foi proposto por Lopes (1987) e utiliza a componente hidráulica do modelo KINEROS e as técnicas de modelagem desenvolvidas no âmbito do projeto WEPP. Neste modelo, a bacia também é discretizada através de um sistema de planos de escoamento que descarregam em canais de drenagem. É um modelo distribuído, que simula eventos de chuva, e foi elaborado para ser aplicado à 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 e 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.

- **O Modelo WEPP** (*Water Erosion Prediction Project*) (FLANAGAN e NEARING, 1995) é um modelo desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) para ser aplicado à grandes bacias. Esse modelo é conceitual, e considera a física do solo, a ciência das plantas e a 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, também, é representada por planos e canais.
- **O Modelo SHE** (*Système Hydrologique Européen*) foi desenvolvido por um consórcio europeu de institutos de hidrologia (BATHURST, 1986a; BATHURST *et al.*, 1995) e consiste de um modelo distribuído, de base física e cujas 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 em nível pessoal.

2.3– Efeito de Escala sobre os parâmetros dos modelos hidrológicos

A necessidade de investigar os efeitos dos impactos antrópicos sobre produção de água e de sedimento, como também de informações sobre os processos hidrológicos e a dificuldade em obtenção de recursos para a coleta dos mesmos têm estimulado o uso cada vez mais de modelos distribuídos de base física. Porém, limitações dos referidos modelos (item 2.2.1.1) restringem seu uso em larga escala.

Um fato a ser considerado, é que as pesquisas citadas na literatura dizem respeito a áreas experimentais de pequena à média dimensão (micro à meso-bacias), onde se pode assumir uma certa homogeneidade. Além disso, os dados provenientes destas bacias são

coletados de forma pontual e, geralmente, são utilizados como representativos das mesmas. Entretanto, o aumento da escala leva a uma maior heterogeneidade, e processos antes desconsiderados, passam a ser predominante.

Visto que a deficiência de dados é maior nas grandes bacias, se faz necessária uma metodologia de transferência de informações das pequenas bacias para as grandes. Entretanto, um entrave para este processo é o efeito que a variação de escala oferece sobre os valores dos parâmetros (FIGUEIREDO, 1998; LOPES, 2003). Apesar de várias tentativas terem sido efetuadas no sentido de melhor caracterizar este efeito, muito ainda falta fazer. Há uma evidência que mesmo em pequenas escalas pode haver significativa variabilidade espacial nas propriedades do solo. A falta de dados adequados para a caracterização do efeito do tempo e espaço sobre os valores dos parâmetros e a incerteza na determinação de parâmetros realistas, ainda continua sendo um entrave. Portanto, torna-se evidente a necessidade de investigar funções de transferências que considerem o efeito de escala.

O problema de escala reside no fato de se escolher os parâmetros que basicamente represente os fenômenos físicos que ocorrem na região. Porém, cada área analisada possui características próprias e se apresentam de acordo com a sua heterogeneidade. Em pequenas escalas, a heterogeneidade é pequena, porém, o contrário acontece nas grandes escalas, devendo ser analisadas cuidadosamente. Para pequenas condições de homogeneidade, os valores dos parâmetros podem ser facilmente encontrados, por exemplo: a condutividade hidráulica, dados de vegetação e dados sobre o solo, representando processos de certeza (TUCCI e CLARK, 1997).

Várias abordagens podem ser consideradas para aplicação das escalas no uso de um modelo. Dooge (1986) considerou em seus estudos uma melhor apropriação do espaço e do tempo sugerindo quatro importantes escalas: (a) a escala de experimentos em pequenas áreas (10 m^2), (b) a escala para micro-bacias (100 m^2), (c) a escala de sub-bacias (10^3 m^2), (d) e escala da bacia hidrográfica (10^4 m^2).

O estudo de processos em diferentes escalas pode ser feito através de uma abordagem estocástica ou de uma forma determinística. A abordagem estocástica é mais direta e envolve o uso de funções de distribuição de probabilidades. Já a abordagem determinística é mais complexa, no entanto, possui uma maior capacidade de capturar as variabilidades da bacia hidrográfica. O ideal seria que os processos físicos pudessem ser observados na mesma escala que ocorrem e daí derivar diretamente a melhor relação que descreveria o fenômeno físico.

Porém, isso nem sempre é possível para qualquer escala da bacia hidrográfica (PIMENTEL DA SILVA e EWEN, 2000).

Pesquisas sobre efeitos de escala podem ser feitas da escala de uma parcela para escalas maiores, ou no sentido inverso, da escala maior para a escala menor. Neste caso, tem-se a desagregação da informação, o que significa a partir da informação conhecida para um determinado nível, identificar os fatores relacionados às escalas inferiores que podem ter levado àqueles valores no nível mais alto. Já no sentido inverso, de uma escala menor para uma maior, tem-se a agregação da informação, ou seja, a combinação de informações e teorias que ocorrem no nível mais baixo para a determinação do processo associado no nível mais alto da escala (PIMENTEL DA SILVA, 2000).

Analisando uma pequena área de captação de chuva, como uma parcela de erosão, por exemplo, através de um modelo hidrológico distribuído, obtêm-se parâmetros médios para a calibração do modelo. Aumentando-se a área em estudo para uma micro-bacia, os valores médios obtidos na calibração podem ser o mesmo ou um valor diferente do anterior. Se for igual ou próximo podemos dizer que não houve efeito de escala no parâmetro analisado, o que seria ideal, uma vez que, não havendo o efeito escalonar sobre os parâmetros, o valor médio obtido poderá ser estendido para regiões maiores. Caso o valor obtido tenha uma diferença significativa, podemos dizer que o parâmetro analisado sofreu um efeito de escala. Esse efeito pode ser devido às características físico-climáticas da área em análise. Logo, deve-se analisar a magnitude da variação do valor do parâmetro para verificar a tendência de aumento para uma área maior.

2.3.1 Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados ao Escoamento Superficial

Alguns estudos realizados demonstraram que a escala da bacia hidrográfica realmente afeta os parâmetros relativos aos processos hidrológicos. Dentre eles, tem-se o estudo de Simanton *et al.* (1996) que encontraram uma relação entre o parâmetro CN do método Curva Número do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos e a área da bacia, utilizando três diferentes métodos em 18 bacias no Estado do Arizona, Estados Unidos. Simanton *et al.*, (1996), chegaram à conclusão que o parâmetro CN diminui com o aumento da área da bacia (Figura 2.1). A principal razão atribuída a esse comportamento foi a variabilidade espacial da

precipitação e as perdas por infiltração nos canais arenosos presentes nas grandes bacias hidrográficas.

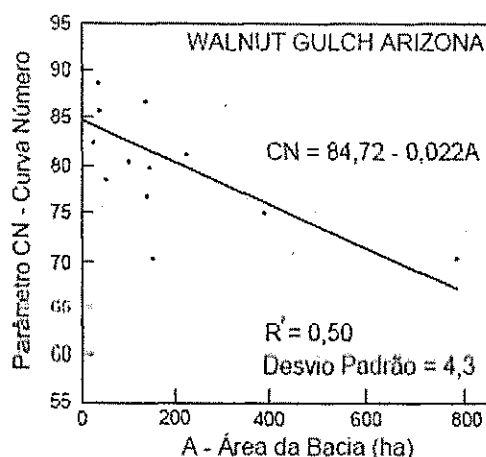


Figura 2.1 - Variação do parâmetro CN com a escala da bacia hidrográfica (SIMANTON *et al.*, 1996).

Figueiredo (1998) utilizou o modelo SHETRAN (BATHURST e PURNAMA, 1991) com dados da Bacia Representativa de Sumé, para a simulação do escoamento superficial nesta bacia, e verificou que o coeficiente de Manning varia com a escala da bacia (Figura 2.2). O aumento do coeficiente de Manning com a escala da bacia pode ser justificado pelo aumento natural da rugosidade da superfície, seja pela presença de vegetação ou até mesmo pelo próprio relevo.

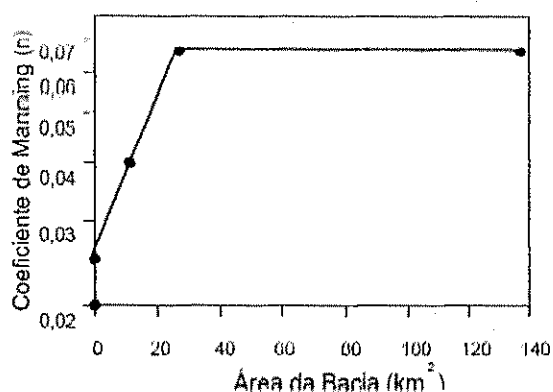


Figura 2.2 - Variação do coeficiente de rugosidade de Manning com a área da bacia hidrográfica (FIGUEIREDO, 1998).

Lacerda Júnior (2002) utilizou dados da Bacia Representativa de Sumé e da Bacia Experimental de Sumé para analisar o efeito de escala sobre alguns parâmetros do modelo NAVMO (KLEEBERG *et al.*, 1989). Como resultado, foi visto que o parâmetro relacionado ao escoamento superficial (ALFA), e o parâmetro CN, do Método Curva Número, sofrem

efeito de escala, diminuindo com o aumento da área da bacia hidrográfica. Já, o coeficiente de rugosidade de Manning aumentou com a área da bacia.

2.3.2 - Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados à Produção de Sedimentos

Sabe-se que somente uma fração do total de sedimentos erodidos em uma bacia hidrográfica alcança a foz da bacia. A essa fração denomina-se de produção de sedimentos (*Sediment yield*). A razão entre a produção de sedimentos de uma bacia e o total erodido chama-se taxa de entrega de sedimentos (*sediment delivery ratio*). Wade e Heady (1978), citado por Walling (1983), relataram valores da taxa de entrega de sedimentos entre 0,1% a 37,8%.

A magnitude da taxa de entrega de sedimentos de uma bacia será influenciada por vários fatores geomorfológicos e ambientais, incluindo a natureza, extensão e localização das fontes de sedimentos, o relevo, a hidrografia, as condições dos canais, a vegetação e uso e tipo de solo. Walling (1983) sintetizou, em um gráfico (Figuras 2.3 e 2.4), os valores de taxa de entrega e produção de sedimentos em suspensão para várias bacias em diferentes continentes.

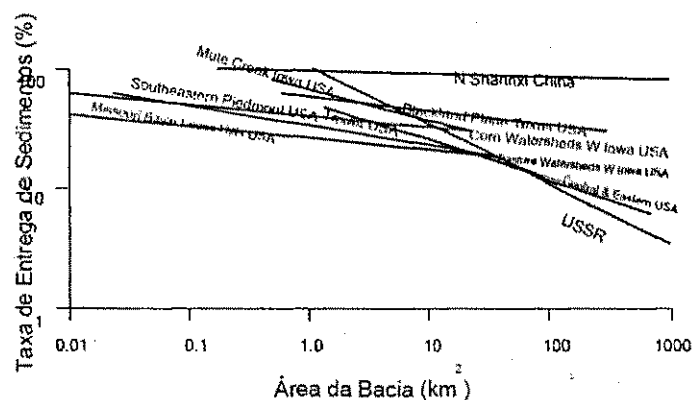


Figura 2.3 - Taxa de entrega de sedimentos versus área da bacia hidrográfica para várias partes do mundo (WALLING, 1983).

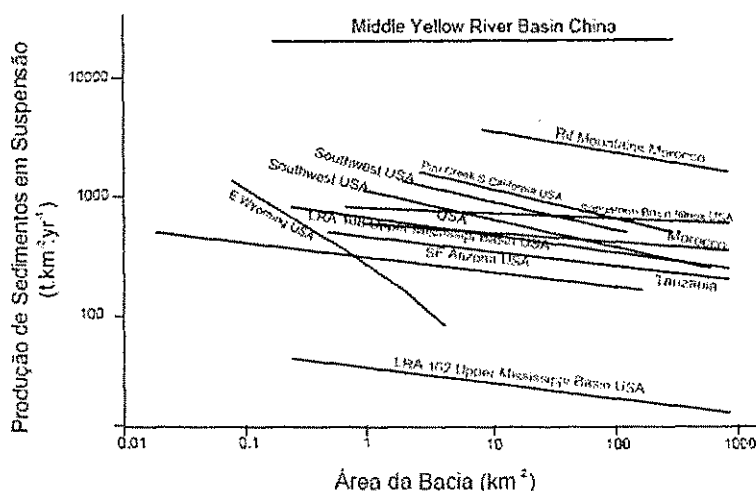


Figura 2.4 - Valores da produção de sedimentos em suspensão em função da área da bacia para várias partes do mundo (WALLING, 1983).

Figueiredo (1998) analisou o efeito de escala sobre a produção total anual de sedimentos, utilizando dados de parcelas e micro-bacias da Bacia Experimental de Sumé, e de sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé. Foi encontrado que a produção de sedimentos diminui com o aumento da área da bacia hidrográfica (Figura 2.5).

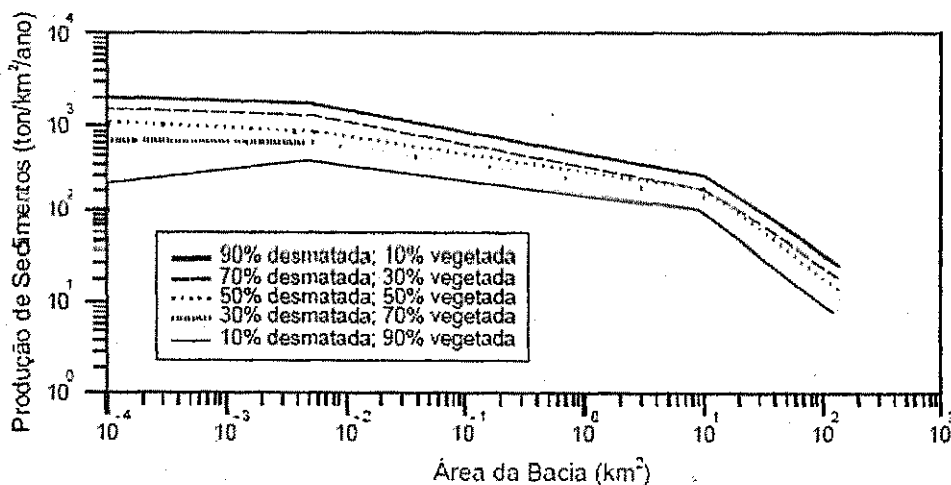


Figura 2.5 - Produção de sedimentos versus área da bacia hidrográfica (FIGUEIREDO, 1998).

Lopes (2003) analisou os valores do parâmetro relacionado à erosão por impacto das gotas de chuva do modelo KINEROS2 (c_f). Percebeu que este parâmetro aumenta com o crescimento da área da bacia. O estudo de Lopes é baseado nos dados obtidos em nove parcelas e quatro micro-bacias da Bacia Experimental de Sumé (BES) e Bacia Representativa de Sumé (BRS).

Cruz (2004), analisando a variação do valor do parâmetro relacionado ao escoamento superficial e à erosão, através do modelo WEPP, em relação à área da bacia ou área simulada,

verificou que o parâmetro da condutividade efetiva do solo (K_e), parâmetro de erosão em vertentes ou planos (K_i) e o parâmetro de erosão em canais (K_r) sofrem o efeito de escala.

Ainda, segundo Cruz (2004), nas simulações da produção de sedimentos nas sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé, os parâmetros K_e , K_i e K_r assumiram valores ainda maiores do que nas escalas menores.

2.4 - Considerações finais

Os modelos hidrossedimentológicos têm sido desenvolvidos a partir da necessidade de entender melhor o comportamento dos fenômenos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, facilitando dessa forma, uma análise quantitativa e qualitativa dos processos do ciclo hidrológico, tais como, precipitação, evaporação, interceptação, infiltração, produção de sedimentos, escoamento superficial e subterrâneo.

Dessa forma, pode-se utilizar um modelo hidrossedimentológico para avaliar o comportamento de uma bacia hidrográfica, como, por exemplo, prever as conseqüências de modificações extremas no uso do solo; as vazões decorrentes de determinadas chuvas intensas; o efeito da construção de açudes; o impacto da urbanização de uma bacia; etc.

Um dos mais importantes fatores que deve ser seguido para a escolha de um ou de outro modelo hidrossedimentológico, seria, a familiaridade do modelador com o modelo utilizado, pois o melhor modelo, dentre aqueles tecnicamente aplicáveis a um problema, costuma ser aquele que o usuário tem maior sensibilidade sobre o seu uso, ou seja, maior sensibilidade sobre a variação dos parâmetros e o seu efeito nos processos simulados.

Além disso, deve-se ter sempre em mente a possibilidade dos parâmetros do modelo hidrossedimentológico sofrerem efeito de escala, ou seja, seus parâmetros assumirem valores diferentes para diferentes escalas da bacia, devido às heterogeneidades e não-linearidades dos processos hidrológicos que aumentam com a escala da bacia.

Os modelos hidrossedimentológicos de base física, principalmente aqueles do tipo chuva, vazão e erosão, são ferramentas muito úteis para os tomadores de decisão e órgãos gestores, visto que, uma vez parametrizados, poderão ser utilizados para a previsão de escoamento superficial e a produção de sedimentos, devido a um evento de precipitação, em bacias não monitoradas, mas que estejam localizadas na mesma região de onde os dados utilizados para a parametrização foram obtidos. Isto auxiliaria na gestão de corpos de água

através do conhecimento do aporte de água e sedimentos que chegam a estes mananciais. Os parâmetros destes modelos variam com o tempo, com a escala da bacia e, conseqüentemente, com a forma da representação (discretização) da bacia para o modelo.

Em regiões semi-áridas, a quantificação do escoamento superficial e produção de sedimentos, são de extrema importância, uma vez que, a vegetação predominante da região é a caatinga, que não possui grande proteção ao impacto das gotas de chuva sobre o solo, e também, devido ao grande desmatamento da região. Além do mais, todo o escoamento e sedimento produzido são carregados para os rios e reservatórios, produzindo o assoreamento e perda da capacidade de acumulação de água, prejudicando o abastecimento das comunidades. A utilização dos modelos hidrossedimentológicos em pequenas bacias, são imprescindíveis para a quantificação desses fenômenos físicos, podendo os seus resultados serem extrapolados para áreas não monitoradas e hidrológicamente semelhantes, permitindo a estimativa de toda a produção, tanto do escoamento como da erosão do solo em toda a região.

CAPÍTULO III

ÁREA DE ESTUDO

BACIA EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DO CARIRI (BESJC)

3.0 – Considerações Gerais

As freqüentes secas na região Nordeste e a necessidade de informações sobre os processos do ciclo hidrológicos que permitissem o melhor manejo dos escassos recursos hídricos coletados durante o período chuvoso foi o motivo que levou os órgãos governamentais a treinar pessoal e montar campanhas de medição de dados hidrológicos em várias partes da região. Além disso, técnicas de cultivo que permitissem o melhor aproveitamento da água disponível e favorecessem uma conservação do solo também foram verificadas. De posse destes dados, metodologias de armazenamento de água de chuva em grande escala, como é o caso da açudagem poderia ser incentivada e melhor dimensionada. Para tanto, a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) em conjunto com o instituto francês ORSTOM e algumas das principais universidades federais do Nordeste desenvolveram metodologias de medição e literatura propícia para tal. Estas metodologias foram empregadas através de um programa de instalação de bacias representativas em vários Estados do Nordeste.

No Estado da Paraíba, os estudos sobre o processo de escoamento superficial foram realizados na região do cariri paraibano através da instalação da Bacia Representativa de Sumé (BRS), em 1970, pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (CADIER e FREITAS, 1982). Essa bacia foi escolhida por representar uma grande área do Nordeste do Brasil, onde o solo, o relevo, a vegetação e o clima são semelhantes.

Contudo, como visto no Capítulo 2, a coleta de dados em grandes bacias nem sempre é possível devido à falta de pessoal treinado em número suficiente e também de recursos suficientes para manter a continuidade na coleta dos dados. Como alternativa, foram instaladas bacias experimentais no interior das bacias representativas. Sendo assim, essas bacias experimentais foram aparelhadas com equipamentos de coleta de dados

hidroclimatológicos e sedimentológicos para servir como base nos estudos sobre os referidos processos no Estado e na região. A Bacia Experimental de Sumé (BES) foi instalada em 1982 e possuía várias unidades experimentais, como parcelas e micro-bacias. A coleta de dados na BES aconteceu até antes do encerramento de suas atividades em 1997 (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003).

No ano de 1985, através de um convênio firmado entre a UFPB (Campus II, Campina Grande) e a agência alemã GTZ, foi instalada na cidade de São João do Cariri, a bacia experimental de São João do Cariri (BESJC). Inicialmente, foram instalados equipamentos para coleta de dados climatológicos (estação climatológica) e dois vertedores em tributários do curso de água principal da bacia, o riacho Namorados. Posteriormente, com o fim dos trabalhos na BES, duas parcelas de erosão foram instaladas no ano 2000, com a finalidade de continuar os estudos sobre os processos hidrossedimentológicos na região do cariri paraibano.

3.1 - Localização

A BESJC está localizada próximo da cidade de São João do Cariri (7°25' latitude sul, 36°30' longitude oeste), a 206 km da capital do Estado, João Pessoa (PB), apresenta elevações que variam entre 400 a 600 m acima do nível do mar e ocupa uma área de aproximadamente 13,48 km². O município é localizado na zona fisiográficas do planalto da Borborema, fazendo parte da mesorregião da Borborema e à microrregião do Cariri Oriental ou antigo Cariris Velhos (Figuras 3.1 e 3.2), apresentando características de semi-aridez mais acentuada que o sertão por estar situada, segundo Silva (1993), na diagonal seca existente na superfície da Borborema, linha de fluxo e refluxo das massas de ar que atuam no Nordeste (CHAVES *et al.*, 2004).

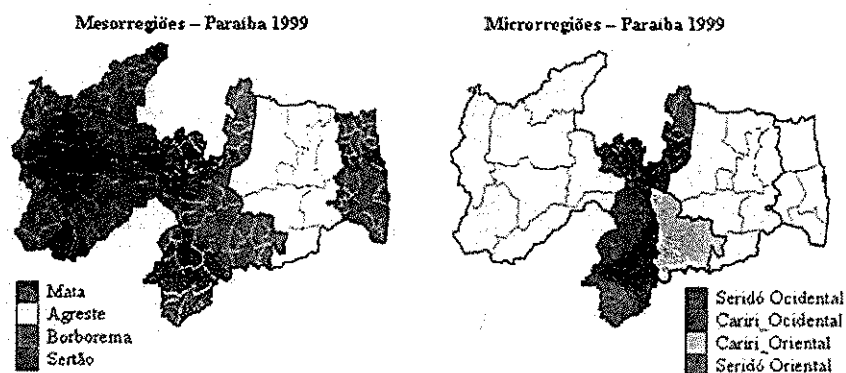


Figura 3.1 - Localização das mesorregiões e microrregiões do Estado da Paraíba (CHAVES *et al.*, 2004)

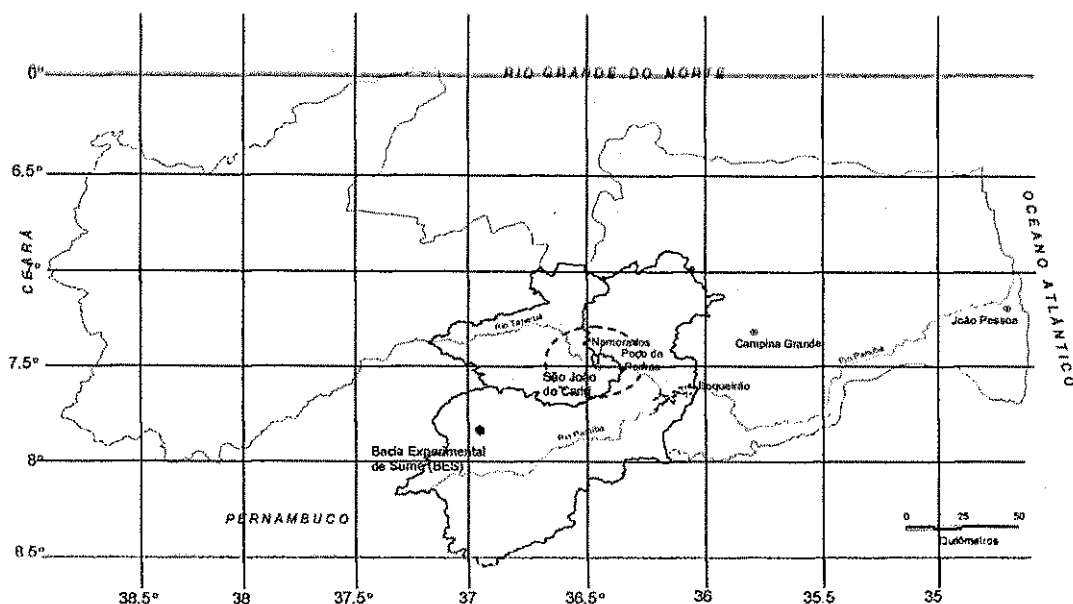


Figura 3.2 – Região do Cariri Paraibano, Bacias dos Rios Taperoá e Paraíba e localização da BESJC no Estado da Paraíba (SRINIVASAN *et al.*, 2004).

Da área total da BESJC ($13,48 \text{ km}^2$), $3,3 \text{ km}^2$ estão sob controle da UFPB/UFCG, sendo o restante, $10,2 \text{ km}^2$, controlados por diferentes proprietários (CHAVES *et al.*, 2004). A Figura 3.3 mostra os limites da área sob controle da UFPB/UFCG e a Figura 3.4 apresenta o modelo digital da BESJC onde se pode observar o relevo e a rede de drenagem (ARAGÃO, 2006).

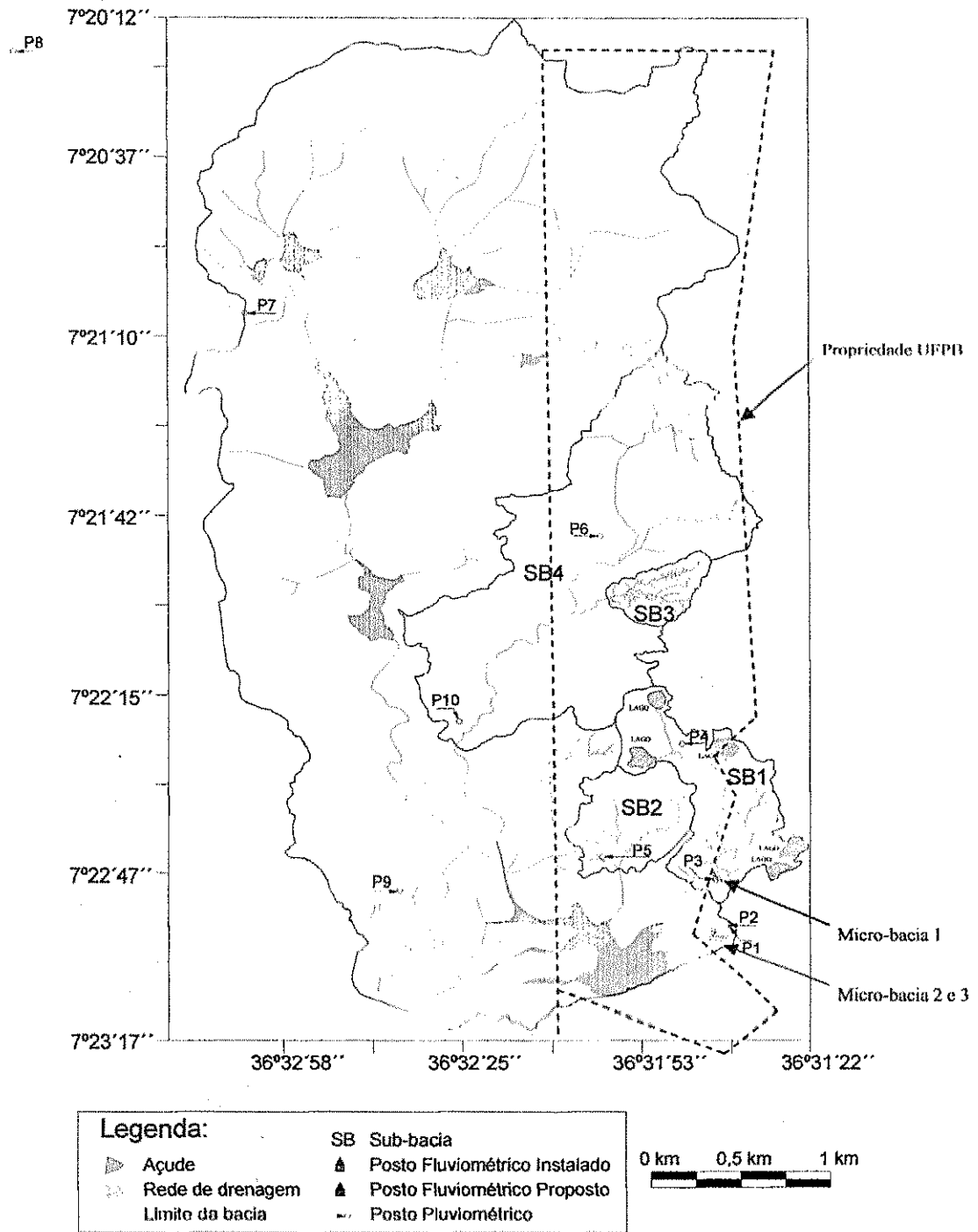


Figura 3.3 – Limitações da BESJC e suas unidades experimentais (ARAGÃO, 2006)

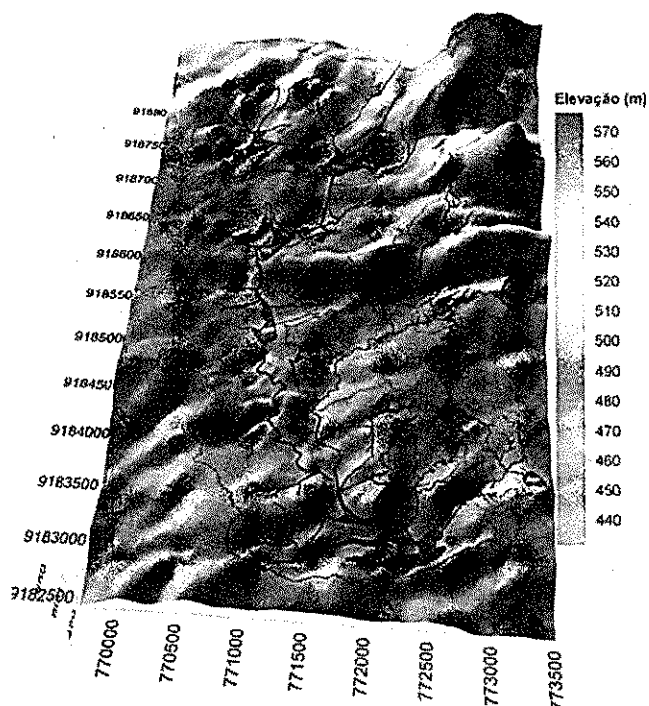


Figura 3.4 - Modelo digital do terreno da BESJC (ARAGÃO, 2006)

3.2 – Características Físico-Climáticas da BESJC

3.2.1 – Clima

A área onde a BESJC está inserida possui características físico-climáticas semelhantes a outras áreas do Nordeste semi-árido, sendo considerada representativa desta região (NOUVELOT, 1974). As variáveis climáticas foram registradas através de pluviômetros, pluviógrafos (Figuras 3.5, *a* e *b*) e de duas estações climatológicas, sendo uma convencional, instalada em 1983, e outra, automática, instalada em 2001 (Figuras 3.6, *c* e *d*).

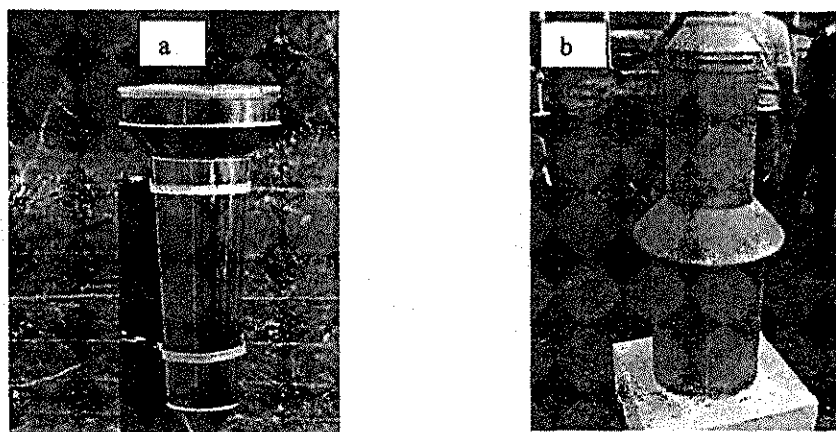


Figura 3.5 – Pluviômetros e Pluviógrafos

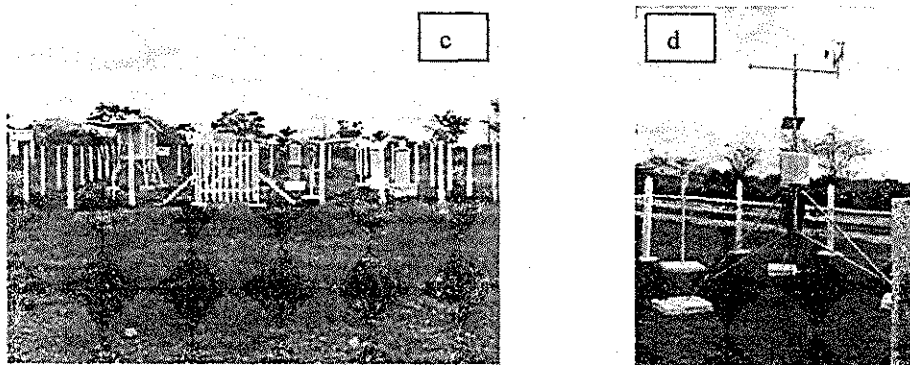


Figura 3.6 – Estação climatológicas convencional e automática

A precipitação média anual da região da BESJC fica em torno de 500 mm. A precipitação média mensal varia de 40 a 100 mm, mínima e máxima (Figura 3.7). Na mesma figura também se observam às irregularidades nos índices pluviométricos, existindo concentração de chuvas no chamado quadrimestre chuvoso (janeiro a abril).

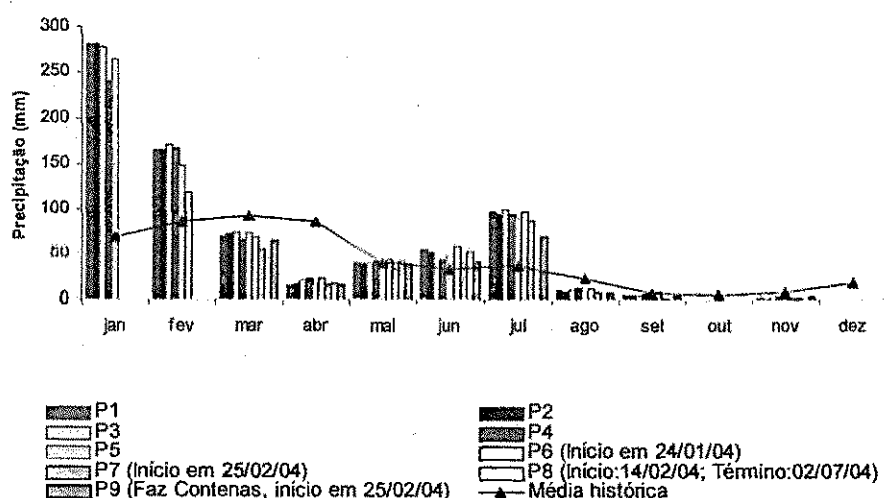


Figura 3.7 – Precipitação mensal na área da bacia (SRINIVASAN *et al.*, 2004).

A temperatura média anual é de 25 °C (Figura 3.8). A umidade relativa média anual é igual a 70,6% (Figura 3.9), de forma que o mês de menor temperatura (junho) marca o período de maior umidade. Com relação a evapotranspiração, as curvas mostradas nas Figuras 3.10 e 3.11 foram obtidas utilizando um coeficiente do tanque classe A, $K_t = 0,8$, e um coeficiente de cultura, $K_c = 1$ (SRINIVASAN *et al.* 2004), para a estação convencional e automática. A insolação solar média é em torno de 7,7 horas por dia. A evaporação média no tanque classe A é de 5,5 mm/dia. A evaporação máxima foi observada no mês de novembro (9,0 mm/dia) e a mínima no mês de junho (2,4 mm/dia).

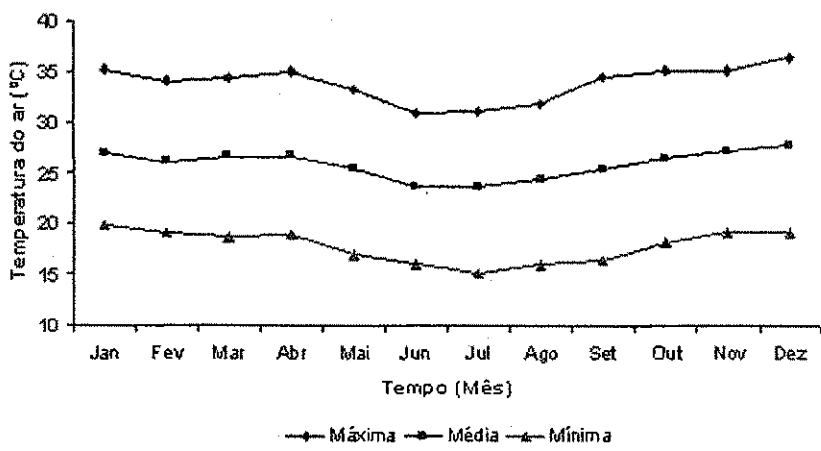


Figura 3.8 – Temperaturas máxima, média e mínima de cada mês registradas na estação convencional (SRINIVASAN *et al.*, 2004).

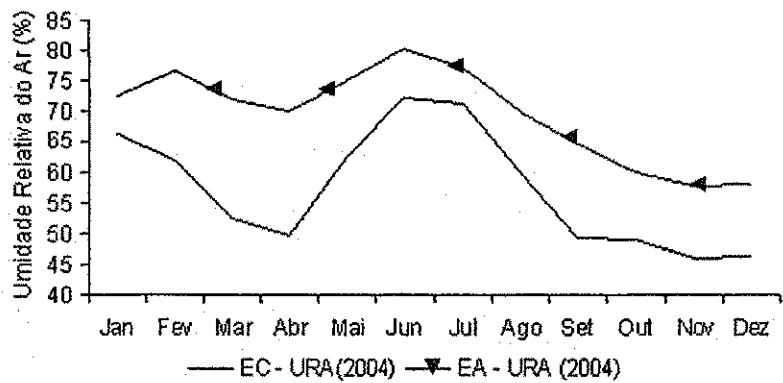


Figura 3.9 – Variação da umidade relativa do ar para o ano de 2004. EC – Estação convencional; EA – Estação automática. (SRINIVASAN *et al.*, 2004).

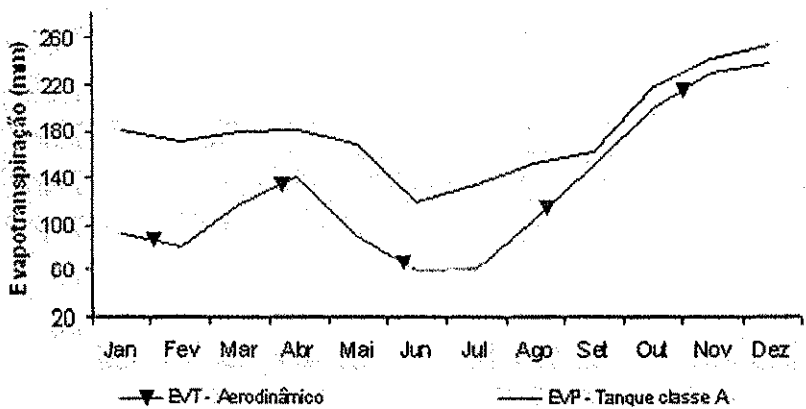


Figura 3.10 - Evapotranspiração potencial tanque classe A e evapotranspiração potencial estimada através do método aerodinâmico, estação convencional ($K_c=1$) (SRINIVASAN *et al.*, 2004)

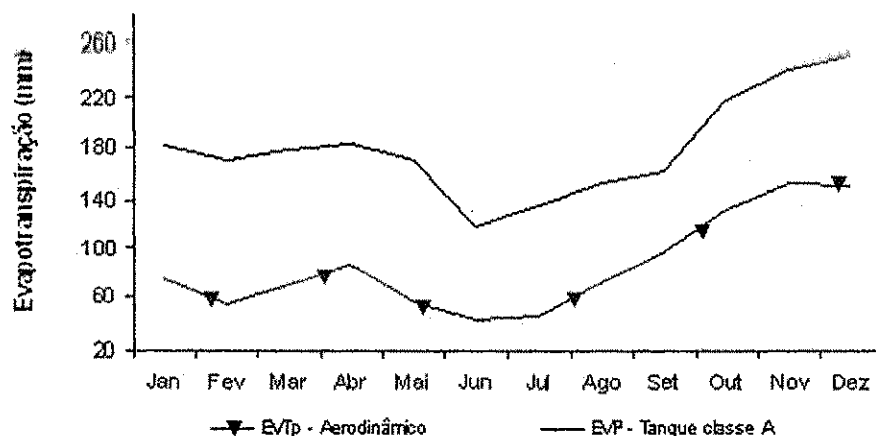


Figura 3.11- Evapotranspiração potencial tanque classe A e evapotranspiração potencial estimada através do método aerodinâmico, estação automática ($K_c=1$) (SRINIVASAN *et al.*, 2004)

3.2.2 – Solos

De acordo com Chaves *et al.*, (2004), o solo na área da bacia é raso e o subsolo é derivado do embasamento cristalino. Dentre as manchas de solos encontradas na área da bacia poderão ser citados as seguintes: Luvisolo Crômico Vértico - TC (Bruno Não-Cálcico Vértico), o Vertissolo Cromado Órtico - VC (Vertisol) e o Neossolo Lítico - RL (Solo Litólico), ocorrendo em 55,6%, 22,4% e 7,9% da área, respectivamente. Ocupando áreas menores ainda ocorrem os Cambissolo Háplico - CX (Cambisol), Neossolo Flúvico - RU (Solo Aluvial), Planossolo Háplico - SX (Planosol Solódico) e Afloramentos de rocha associados a Neossolo Lítico.

3.2.3 - Vegetação

Foram identificadas na BESJC a vegetação do tipo caatinga, a algaroba e as áreas de cultivo (culturas anuais e campos de palma). De acordo com Chaves *et al.*, (2004), a vegetação foi dividida em grupos e classes de acordo com o porte de cada espécie. O grupo foi identificado pelo porte predominante da população vegetal (arbóreo, sub-arbóreo, arbustivo e sub-arbustivo); a classe foi descrita pela combinação de até três portes predominantes, representados por números; as sub-classes de vegetação pelo grau de cobertura, representadas por letras (muito densa, densa, aberta, rala e muito rala) e as unidades de mapeamento identificadas por um índice numérico.

Segundo Chaves *et al.*, (2004), a maior parte das terras da BESJC, 74,9%, o que corresponde a 1009,65 ha, é ocupada pela vegetação nativa que é utilizada, tradicionalmente, como área de pastoreio e reserva de lenha e madeira. As áreas com algaroba, plantada em bosque e em algumas áreas de ocorrência por invasão no leito dos riachos, cobrem 212 ha, o que corresponde a 15,4% da área da BESJC. As áreas de cultivo, representadas em grande parte por plantio de palma forrageira, abrangem uma área de 3,41% do total ou 45,9 ha. As bacias hidráulicas dos açudes e lagoas ocupam 87,6 ha. Observa-se que devido aos longos períodos de escassez hídrica, uma área muito pequena da bacia é utilizada para agricultura, que é, geralmente, agricultura para sobrevivência. Por outro lado, a pecuária é bastante praticada, sendo predominante a criação de caprinos, bovinos, suínos e galináceos. Para a criação de caprinos e bovinos, a vegetação nativa, bem como as vagens de algaroba tornam-se parte da dieta alimentar dos animais e este fato contribui, sobremaneira, para a redução da cobertura vegetal. Um outro agravante é que, mesmo escassa, a vegetação nativa é freqüentemente retirada para ser utilizada nos fornos de panificadoras e de olarias, criando com isso, grandes clareiras, fazendo com que, em pouco tempo, a cobertura de solo seja erodida atingindo o cristalino.

3.3 – As Unidades Experimentais da BESJC

A BESJC possui atualmente duas parcelas de erosão (P1 e P2), três micro-bacias (MB1 à MB3) e quatro sub-bacias (SB1 à SB4). Nesse trabalho, utilizaremos os dados de escoamento superficial e produção de sedimentos das parcelas de erosão, das micro-bacias e de duas sub-bacias, a SB1 e SB2. As características de cada unidade experimental serão mostradas a seguir.

3.3.1 – Parcelas de Erosão

A implantação das duas parcelas de erosão (P1 e P2) (Figura 3.12, *a* e *d*) na BESJC teve como objetivo principal permitir a continuidade da coleta de dados do escoamento superficial e erosão do solo, gerados pelas chuvas naturais na região do cariri paraibano. A construção das parcelas teve início em julho de 1998 com a introdução de uma pesquisa sobre os processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas no semi-árido paraibano instaladas a partir de um convênio firmado, no ano de 1985, entre a UFPB (Campus II, Campina Grande) e a agência alemã GTZ.

Cada parcela foi construída obedecendo a normas pré-estabelecidas WICHMEIER (1960) para serem utilizadas como fonte de comparação com outras parcelas similares e com os dados advindos da BES. Cada parcela possui área de 100 m^2 ($4,5 \times 22,2 \text{ m}$) e declividades iguais a 3,4 % (P1) e 3,6 % (P2).

Como nas bacias hidrográficas, as parcelas possuem um exutório, onde foram adaptados tanques de fibrocimento que permitem quantificar o escoamento e a erosão produzidos (Figura 3.12, *b, c, d e e*). As parcelas são mantidas desmatadas e todas as vezes que se fizerem necessárias a aração será realizada. A partir de março de 1999, logo após o término das obras de construção das parcelas experimentais, foram observadas as primeiras chuvas que produziram escoamento. A Figura 3.13 ilustra os equipamentos utilizados para a coleta de água e sedimentos existentes em cada parcela.

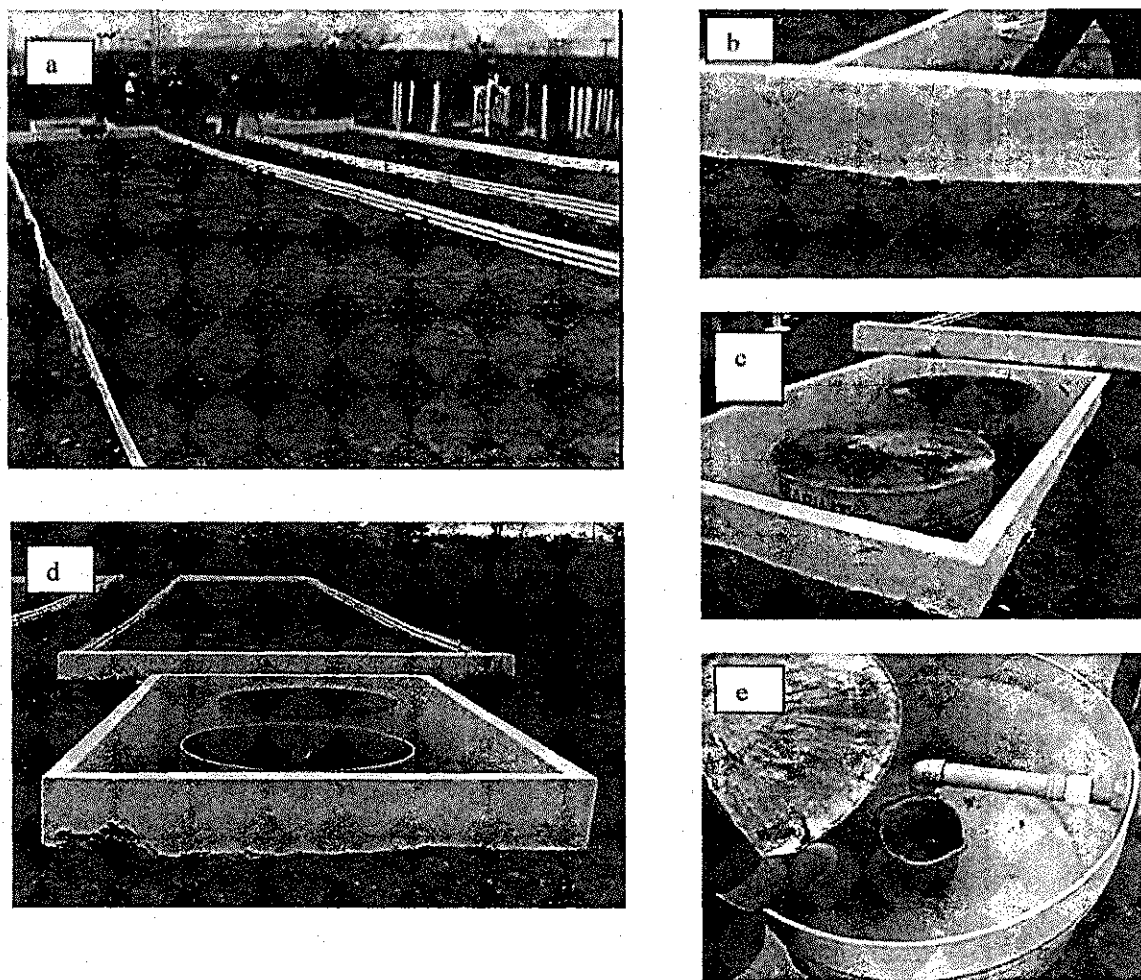


Figura 3.12 - Parcelas experimentais de erosão e detalhes dos reservatórios

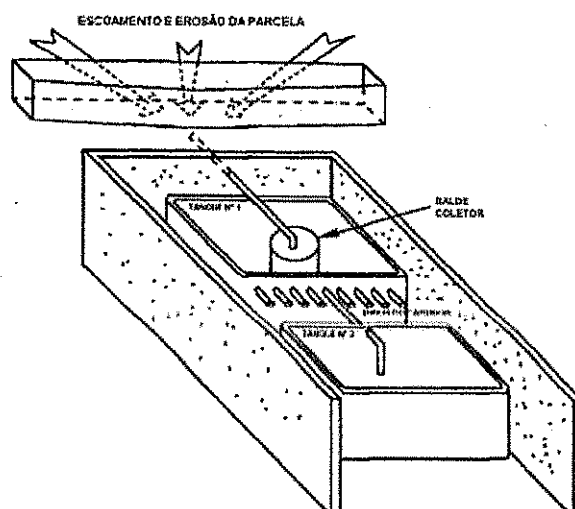


Figura 3.13 - Detalhe do funcionamento das Parcelas Experimentais

A Figura 3.12b apresenta o orifício (tubo) que interliga a parcela de erosão aos tanques de coleta de água e sedimento. A Figura 3.12c apresenta os tanques coletores, que são duas caixas d'água de 1000 litros, interligadas, confeccionadas em fibrocimento, armazenando a água e os sedimentos gerados a partir das precipitações sobre as parcelas. Quando a primeira esgota a sua capacidade de armazenamento, a segunda começa a coletar água. A Figura 3.12c apresenta um pequeno balde que serve para quantificar a água e o sedimento dentro dos reservatórios através de amostragem.

3.3.2 – Micro-Bacias

Após as instalações das parcelas de erosão (P1 e P2) em julho de 1998, foi instalada a primeira micro-bacia, a MB1, no ano de 2000. No ano seguinte, em 2001, com a necessidade de conhecer os processos hidrossedimentológicos em bacias aninhadas e também o efeito da escala da bacia sobre os processos analisados, foram instaladas as micro-bacias 2 e 3 (MB2 e MB3).

- **Micro-Bacia 1**

A MB1 foi instalada em junho de 2000 (Figura 3.14), possui área de 0,18 ha, declividade média em torno de 7,5 % e possui cobertura vegetal preservada.

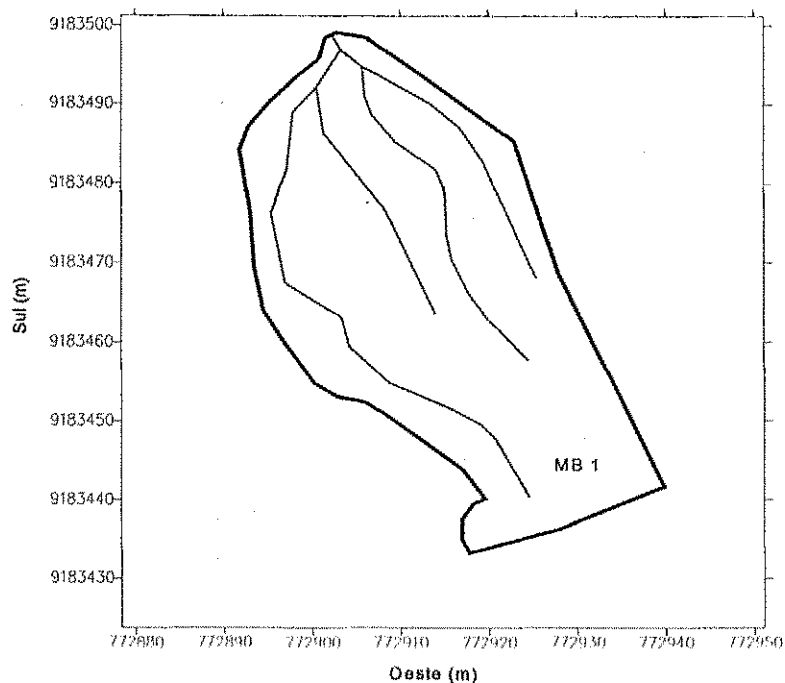


Figura 3.14 - Delimitação da micro-bacia 1 (MB1).

No exutório da MB1, foi adaptado uma fossa de sedimentos em fibra de vidro, pré-dimensionada para coletar cheias em área de até 1 ha, com intensidade de precipitação de 150 mm/h e inclinação de até 9,0%. (Figura 3.15).

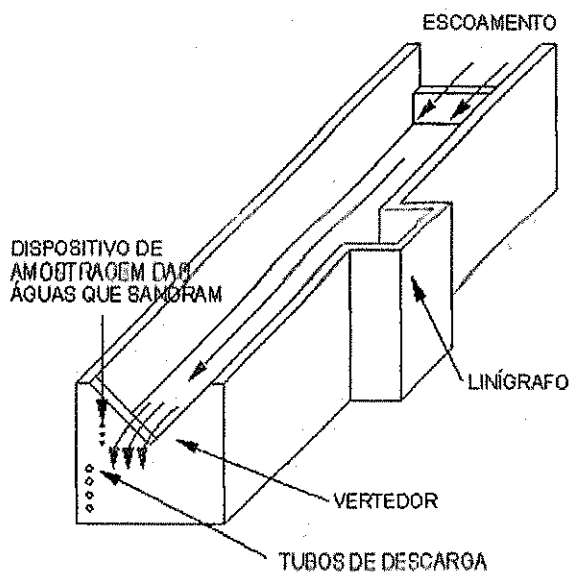


Figura 3.15 - Esquema de funcionamento da fossa de sedimentos no exutório da MB1.

Foi instalado na lateral da fossa um linígrafo para registrar a variação do nível de água no seu interior da fossa e também o volume que passa pelo vertedor da mesma. Com base nesta informação, obtém-se o volume escoado e, posteriormente, a lâmina (Figura 3.16).

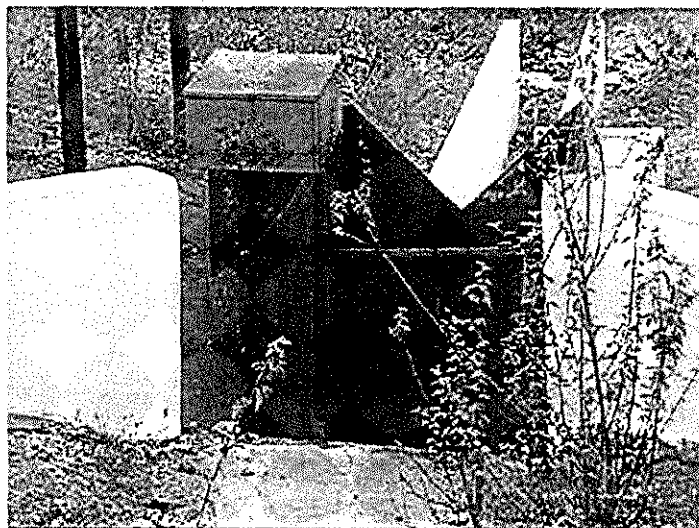


Figura 3.16 - Fossa de sedimentos instalada no exutório da MB1.

- **Micro-Bacia 2 e 3**

Em julho de 2001, foram instaladas as micro-bacias 2 (MB2) e 3 (MB3) com áreas de 0,16 e 1,63 ha, respectivamente, e com declividades médias de 9,75 e 6,75%, respectivamente. A MB2 está inserida na MB3 (Figura 3.17), podendo-se, dessa forma, permitir a avaliação do efeito de escala. As duas micro-bacias também possuem a fossa de sedimentos e linígrafos, idênticos a MB1, porém, construídas em alvenaria.

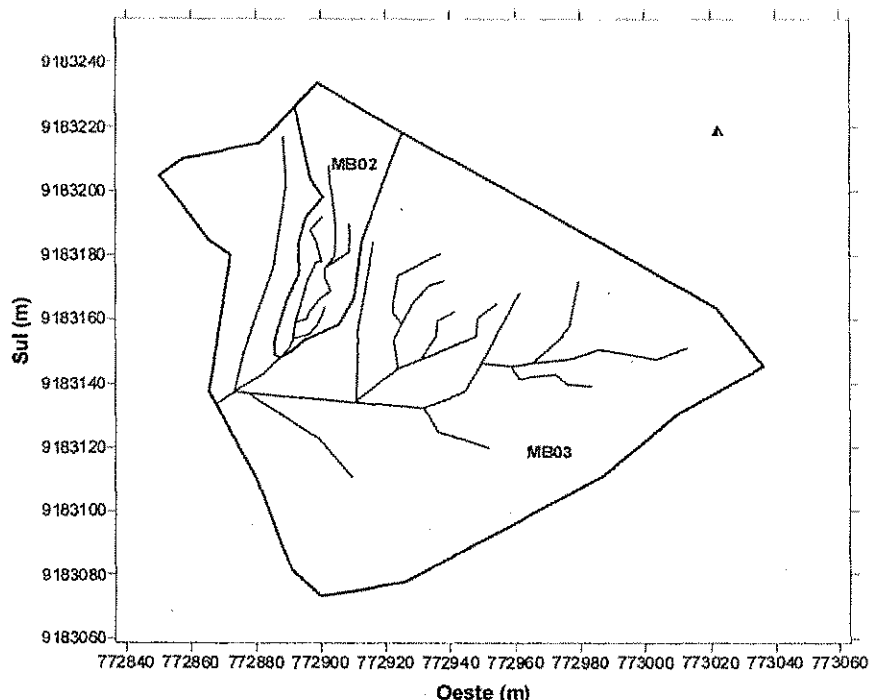


Figura 3.17 - Delimitação das micro-bacias 2 e 3 (MB2 e MB3).

3.3.3 – Sub-Bacias

Na implantação da BESJC, dois vertedores foram instalados em tributários do riacho principal (riacho Namorados) cuja finalidade é a de fornecer o registro histórico do volume de água transferido para o açude dos Namorados, que recebe água do riacho dos Namorados e de seus tributários. Posteriormente, em 2004, mais dois vertedores foram instalados (SB3 e SB4), o que aumentou em muito a massa de dados para análise do efeito de escala visto que SB3 (0,13 km²) está inserida na SB4 (2 km²). Neste trabalho, utilizaremos os dados de duas sub-bacias com área variando entre 0,32 a 0,59 km². Em seguida a descrição de cada unidade.

- **Sub-bacia 1**

Os trabalhos na sub-bacia 1 (SB1) foram iniciados em 1987, antes do inverno, com a instalação de linígrafos, régua de máxima e régua linimétrica. Para o registro das cheias de tributários do riacho principal, o riacho dos Namorados, foi instalado um vertedor triangular de soleira espessa (Figura 3.18) em uma seção do riacho, cuja área de contribuição é 0,59 km² (área da SB1). Nesta bacia, o processo de erosão através de ravinas, e até mesmo de voçorocas, está em expansão, o que pôde ser observado através de várias visitas a área da SB1. Também foi constatado que o canal principal vem se alargando ao longo de todo o seu percurso chegando a 2,5 m ou mais, nas partes mais baixas da bacia e em alguns pontos críticos, e a uma profundidade muitas vezes superior a 1 m (ARAGÃO, 2006).

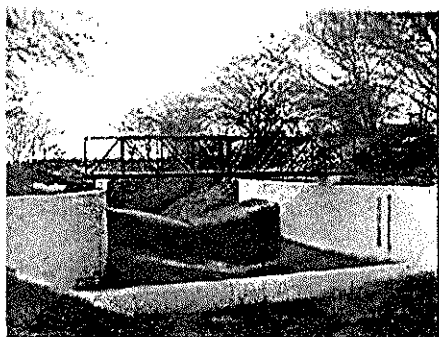


Figura 3.18 - Vertedor da SB1.

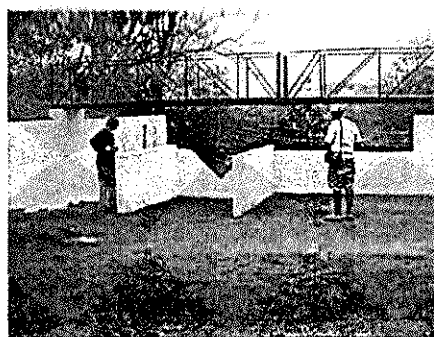


Figura 3.19 - Vertedor da SB2.

• Sub-bacia 2

Concomitante com a instalação do vertedor da SB1, em 1987 se iniciaram os trabalhos na sub-bacia 2 (SB2), sendo construído para tanto, um vertedor composto de soleira delgada (triangular + retangular) cuja área de contribuição é 0,32 km² (Figura 3.19).

A SB2 possui uma vegetação nativa relativamente conservada, e em relação a SB1, para uma dada precipitação, observasse o efeito protetor da vegetação para o solo que diminui, de maneira significativa, a produção de sedimentos. A Figura 3.20 apresenta a delimitação das sub-bacias citadas com as curvas de nível.

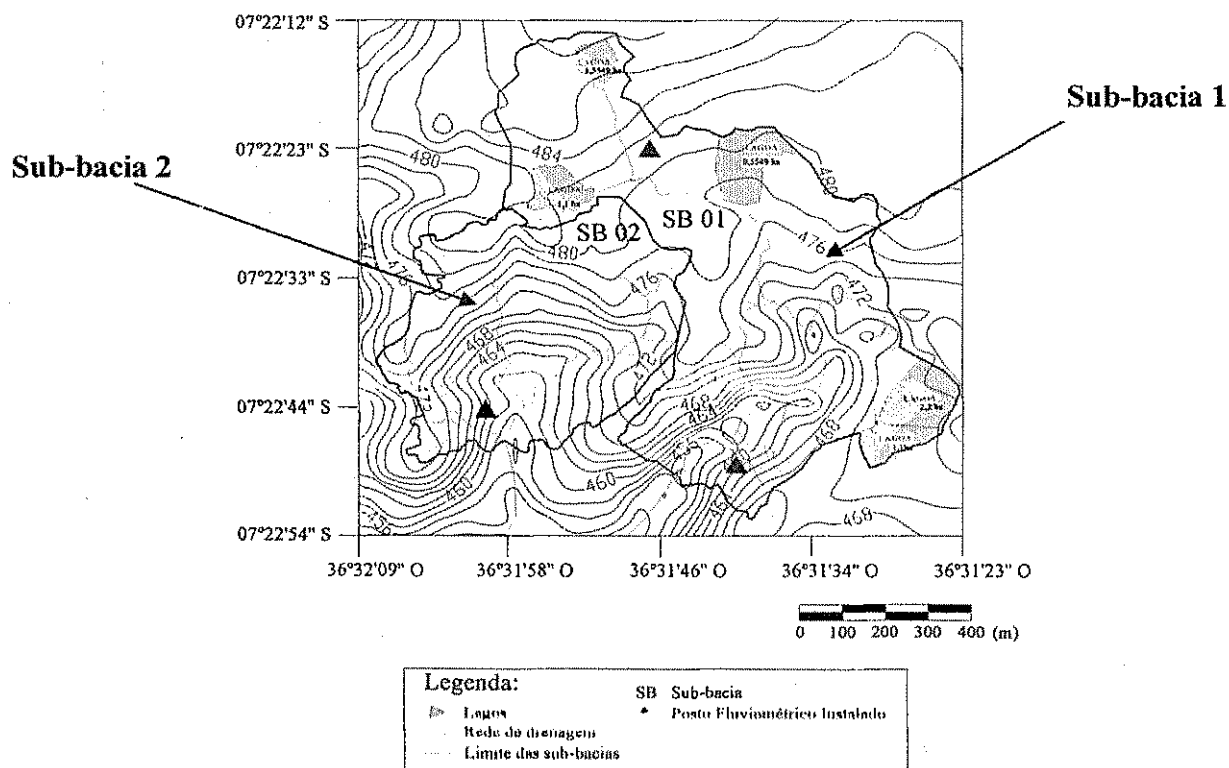


Figura 3.20 - Delimitação da SB1 e SB2

3.4 – Coleta de Dados

Como já foi mencionado, em cada exutório das micro-bacias existe uma fossa de sedimentos e linígrafo para o cálculo dos sedimentos e das lâminas que passam em seu interior.

As fossas são pré-calibradas 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 avaliação da produção total de sedimentos produzidos na 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 micro-bacias. A concentração 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 drenam uma pequena parte da mistura de água-sedimento que passava pelo vertedor, acumulando-a em dois recipientes coletores, dos 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 já consideradas como a concentração média do volume vertido durante o evento de chuva. 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 3.15, já apresentada, apresenta a fossa de sedimentos, bem como a localização dos amostradores e do linígrafo.

Nas sub-bacias o processo é semelhante, porém os valores de escoamento são registrados através da régua linimétrica e automaticamente através de um sistema de infravermelho que verifica a altura da lâmina que passa na calha do vertedor, porém é necessário fazer a relação entre a altura medida pelo equipamento e a crista do vertedor para identificar a lâmina que passa sobre o mesmo.

Quanto aos sedimentos, o montante de sedimentos que acumulam na calha do vertedor é verificado através de um recipiente de 380 L. Para tanto, este recipiente é preenchido com os sedimentos que estão depositados a montante do vertedor e verifica-se o número de vezes que foi necessário encher o recipiente para que a calha a montante fique vazia. Dessa forma, o volume de sedimentos é calculado. Para o cálculo da concentração de sedimentos, retira-se uma amostra de 1 litro do sedimento depositado na calha e, após secagem em estufa, obtém-se

o peso seco. Através de análises matemáticas é retirado o valor da produção de sedimento em 1 km² e com uma regra de 3 simples, calcula-se o valor da produção de sedimentos em toda a sub-bacia.

Diferentemente das micro-bacias, os sedimentos em suspensão que passam pelo vertedor não podem ser contabilizados. Com isso, parte da produção de sedimentos, os mais finos em sua maioria deixam de ser contabilizados.

Podemos observar que, existe uma maior precisão na contagem dos sedimentos produzidos nas parcelas e micro-bacias, uma vez que até mesmo os sedimentos finos em suspensão são registrados, porém, nas sub-bacias, todos os finos e até mesmo sedimentos médios, passam pelo vertedor e não são registrados na contagem final da produção de sedimentos. Logo, os valores de sedimentos observados são subestimados do valor real produzido.

3.5 – Dados utilizados

Os dados utilizados no trabalho foram obtidos através do financiamento dos seguintes projetos:

- IBESA - Implantação de Bacias Hidrográficas no Semi-Árido (SRINIVASAN et al., 2004);
- BEER - Bacias Experimentais e Representativas do Nordeste (Projeto FINEP/UFCG em andamento).

Através da coleta de dados na BESJC, foi formado um banco de dados composto de informações referentes à lâmina escoada e produção de sedimento em todas as unidades experimentais mencionadas. Esses dados são considerados dados observados em campo através de coleta e de amostragem.

O banco de dados é formado por eventos de chuva que ocorreram em 1987 até 2006, com a seguinte distribuição:

- 179 eventos de chuva para as parcelas 1 e 2;
- 160 eventos de chuva para a micro-bacia 1;
- 116 eventos de chuva para as micro-bacias 2 e 3;
- 98 eventos de chuva para a sub-bacia 1;
- 91 eventos de chuva para a sub-bacia 2.

4 OBSERVAÇÕES

Nas visitas de campo, foram constatadas algumas importantes observações que podem influenciar o processo de transporte, produção e escoamento sobre a bacia.

Nas sub-bacias, observa-se o acúmulo de areia nas sinuosidades do leito do riacho de drenagem principal e também próximo aos vertedores. Segundo Aragão (2006), esse material é produto da erosão que ocorreu em algum local da bacia mais que ficou depositado nesses locais uma vez que o fluxo no riacho começa a diminuir. Logo, esse material que estava em suspensão e que acabou sedimentando, ficará disponível para ser transportado facilmente por qualquer outro evento (Figura 3.21).

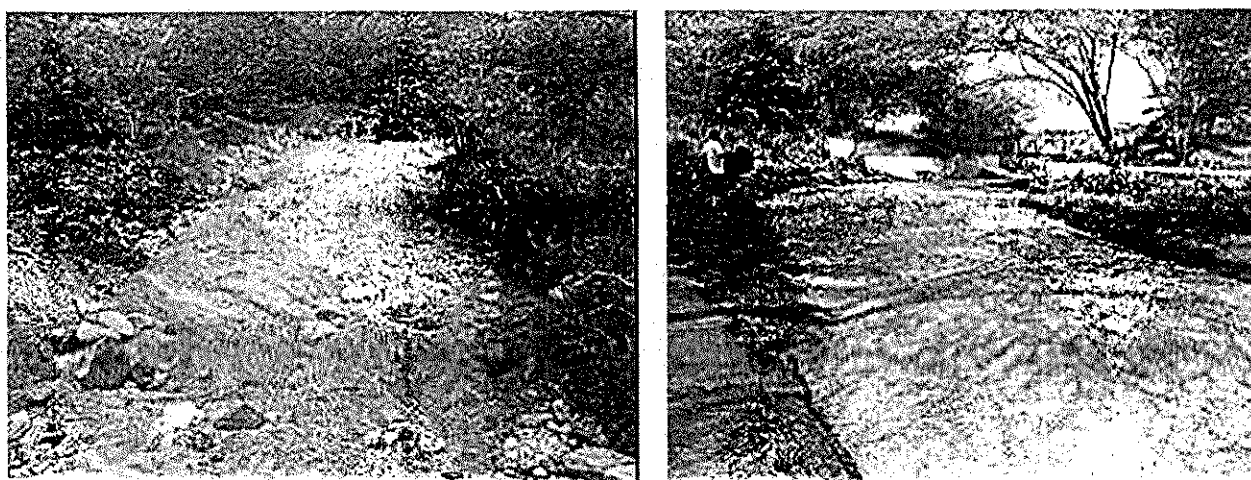


Figura 3.21 - Formação de bancos de areia sub-bacia 1 e 2, respectivamente.

Esses verdadeiros depósitos de areia podem mascarar o resultado de erosão de acordo com a precipitação, visto que esses bancos de areia podem funcionar como sorvedouros dos sedimentos que vem dos planos ou podem funcionar como carga adicional de sedimentos para a produção total (ARAGÃO, 2006).

O processo de desmatamento na área da bacia é intensificado a cada ano que passa (Figura 3.22). Como parte da bacia pertence a proprietários privados, muitos deles desmatam suas terras com o intuito de vender madeira para panificadoras, olarias, e até mesmo, em épocas juninas para fogueiras de São João. Outros utilizam a madeira para fazer estacas na delimitação de seus terrenos. Com isto, a atividade antrópica se intensifica, a caracterização de cada unidade experimental, seja uma micro-bacia ou sub-bacia sofre modificação e os resultados referentes aos processos de erosão e escoamento superficial são modificados.

Devido ao fato de que uma grande área desta bacia não possui cobertura vegetal, a produção de sedimento é considerável para um dado evento de precipitação. A Figura 3.22 apresenta imagens do desmatamento nas sub-bacias, onde se verifica que, após um evento de precipitação os arbustos foram carregados através do escoamento para o vertedor da sub-bacia.

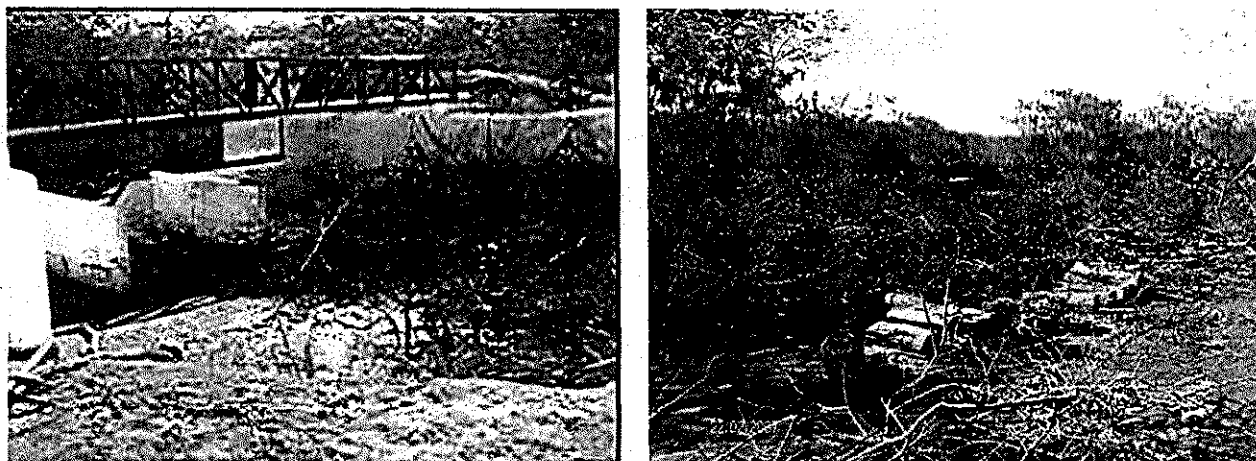


Figura 3.22 - Desmatamento na BESJC

CAPITULO IV

MODELOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS UTILIZADOS NA PESQUISA

4.0 – Considerações Gerais

Os modelos utilizados nesta pesquisa (WESP - *Waterched Erosion Simulation Program* – LOPES (1987); KINEROS2 - *Kinematic Runoff and Erosion Model* - WOOLHISER *et al.*, (1990) e WEPP - *Water Erosion Prediction Project*- FLANAGAN e NEARING (1995)) foram comentados, inicialmente, no Capítulo 2. Estes modelos são do tipo hidrossedimentológicos, distribuídos, de base física e orientados a evento, que simulam os processos de infiltração, escoamento superficial e erosão do solo. A bacia é representada nos modelos como uma cascata de planos e de canais. Neste capítulo, os modelos serão descritos em sua forma analítica e, também, serão apresentados às equações utilizadas para os cálculos de infiltração de água no solo e erosão. Inicialmente, tem-se a descrição do modelo WESP, em seguida o modelo KINEROS2, e por fim, a descrição do modelo WEPP. Serão discutidos seus detalhes, como também, os dados necessários para as suas utilizações.

4.1 - O MODELO WESP

4.1.1 - Modelo de Infiltração

O modelo de infiltração utilizado no WESP é o método de Green e Ampt (1911) o qual utiliza parâmetros físicos do solo que poderão ser determinados através de experimentos efetuados no campo ou através de características do solo. Esta equação baseia-se em uma série de experiências de laboratório em colunas de solo, mas a equação tem uma base teórica e é de uso geral. Uma vantagem da equação de Green-Ampt em relação às soluções numéricas da equação de Richards é que não há nenhum problema de estabilidade em sua solução, sendo muito mais fácil aplicá-la do que a solução numérica da equação de Richards (NEARING *et al.*, 1995). A equação original foi derivada a partir da equação de Darcy através das seguintes hipóteses:

- A superfície do solo é coberta por uma lâmina de água cuja altura é desprezível;

- o Existe uma frente de molhamento distinta e definível;
- o A frente de molhamento pode ser vista como um plano que separa uma zona uniformemente molhada ou úmida de uma zona com umidade inicial θ_i ;
- o 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 varie com o tempo durante a infiltração);
- o 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, assume a seguinte forma:

$$f_c = K_s \left[1 + \frac{N_s}{I} \right] \quad \text{Eq. (4.18)}$$

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

O acúmulo de infiltração pode ainda ser expresso como:

$$I = (\theta_s - \theta_i)Z \quad \text{Eq. (4.19)}$$

onde θ_s é a umidade do solo na saturação (m^3/m^3), θ_i é a umidade inicial do solo (m^3/m^3) e Z é a profundidade da frente de molhamento a partir da superfície (m).

O potencial de capilaridade N_s pode ser calculado como:

$$N_s = (1 - S_e)\phi_e G \quad \text{Eq. (4.20a)}$$

$$N_s = (\theta_s - \theta_i)G \quad \text{Eq. (4.20b)}$$

onde S_e é a saturação efetiva relativa e varia entre 0 e 1 e é dada por θ_i/θ_s , ϕ_e é a porosidade efetiva e varia entre 0 e 1, G é valor efetivo do potencial de capilaridade na frente de molhamento (m) dado pela Equação 4.2.

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:

$$t_p = t_{n-1} + \frac{\frac{K_s N_s}{i - K_s} - P(t_{n-1}) + R(t_{n-1})}{i} \quad \text{Eq. (4.21)}$$

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 excesso de precipitação acumulado (mm) e t_{n-1} é o tempo no início do intervalo considerado (h), e as outras variáveis são as mesmas já descritas.

4.1.2 - 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.

4.1.2.1 - Escoamento nos Planos e nos Canais

As equações básicas para o cálculo do escoamento superficial nos planos e canais no modelo WESP são as mesmas utilizadas no modelo KINEROS2, visto que o desenvolvimento do componente hidráulico do modelo WESP foi baseado no mesmo componente no modelo KINEROS2.

4.1.3 - Componente Erosão-Deposição

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 (Eq. 4.10).

4.1.3.1 - Erosão nos planos

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

A água que flui sobre a superfície do solo, exerce uma força sobre as partículas que tendem a colocá-las em movimento. Para os sedimentos de diâmetros relativamente grandes, a força de resistência é devida ao peso das partículas. Para os sedimentos finos (argilas 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., 1977 e FOSTER, 1982).

$$e_n = K_r \tau^{1.5} \quad \text{Eq. (4.22)}$$

onde K_r 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" (N/m^2).

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

$$e_s = K_r i r_e \quad \text{Eq. (4.23)}$$

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

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

$$d = \varepsilon_p v_s C_s \quad \text{Eq. (4.24)}$$

onde ε_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, (m/s), $C_s(x,t)$ é a concentração de sedimentos em transporte (kg/m^3).

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

$$v_s = F_o \sqrt{gd \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \quad \text{Eq. (4.25)}$$

onde

$$F_o = \frac{\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{gd^3 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}}}{\sqrt{\frac{36\nu^2}{gd^3 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}}} \quad \text{Eq. (4.26)}$$

em que γ_s é o peso específico dos sedimentos (N/m^3), γ é o peso específico de água (N/m^3), ν é a viscosidade cinemática da água (m^2/s), d é o tamanho representativo do sedimento (m) e g é a aceleração da gravidade (m/s^2).

As condições iniciais e de fronteira são as seguintes:

$$C_s(0,t) = \frac{K_i i(t) r_e(t)}{\varepsilon_p v_s + r_e(t)}, \text{ para } t \geq t_p \quad \text{Eq. (4.27)}$$

$$C_s(x,t) = \frac{K_i i(t_p) r_e(t_p)}{\varepsilon_p v_s + r_e(t_p)}, \text{ para } x \geq 0 \quad \text{Eq. (4.28)}$$

onde t_p é o tempo de empocamento (s).

4.1.3.2 - 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 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):

$$e_h = a(\tau - \tau_c)^{1.5}, \text{ para } \tau \geq \tau_c \quad \text{Eq. (4.29)}$$

$$e_h = 0, \text{ para } \tau \leq \tau_c \quad \text{Eq. (4.30)}$$

A tensão de cisalhamento média é obtida pela relação:

$$\tau = \gamma R S_f \quad \text{Eq. (4.31)}$$

A tensão de cisalhamento crítica é calibrada pela expressão:

$$\tau_c = \delta(\gamma_s - \gamma)d \quad \text{Eq. (4.32)}$$

onde R 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 (N/m^2), τ_c é a tensão de cisalhamento crítica média para o tamanho representativo das partículas (N/m^2), δ 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:

$$d = \varepsilon_c T_W v_s C_s \quad \text{Eq. (4.33)}$$

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

4.1.4 - Parâmetros de Entrada do Modelo WESP

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 (m²).

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/s²);
- **Gamwat**: peso específico da água (N/m³);
- **Gamsed**: peso específico dos sedimentos (N/m³);
- **Power**: o expoente n da equação da velocidade de fluxo.

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

- **Xlenght**: comprimento do elemento na direção do escoamento (m)
- **Width**: largura do elemento (m). Quando este parâmetro é igual à zero, o elemento identificado como um canal.
- **Slope**: declividade do elemento;
- **Alpha**: razão entre a raiz quadrada da declividade e o número de Manning.

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

- **Ntop** - número do elemento que contribui imediatamente a montante 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 conterá 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);
- **Ki**: parâmetro de erodibilidade pelo impacto das gotas de chuva (kg.s/m^4);
- **Kr**: parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial nos planos ($\text{kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$).

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

- **Ntop**: número do elemento que contribui imediatamente a montante 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 a montante no topo do canal atual;
- **Nchn2**: número do segundo canal a montante no topo do canal atual;
- **Zl e Zr** - declividade das paredes do canal;
- **Bottom**: largura de fundo do canal (m).

Caso o elemento seja um canal, a terceira linha do grupo conterá 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;
- **a**: parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial em canais ($\text{kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$).

4.1.5 - 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. Esse programa em ambiente MSDOS, 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.

4.1.6 - Seqüência Computacional

A seqüência computacional nos dois modelos é organizada de tal modo que o fluxo de entrada 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 hidrográfica. A ordem na qual os elementos aparecem na linha de fluxo define a seqüência computacional (Lopes, 1987; Woolhiser *et al.*, 1990).

4.2 - MODELO KINEROS2

4.2.1 - Modelo de Infiltração

No modelo KINEROS2 é uma versão modificada do modelo KINEROS (WOOLHISER *et al.*, 1990), o modelo de infiltração permite uma redistribuição de água no solo, incluindo a recuperação da capacidade de infiltração durante os intervalos entre as chuvas, determinando as taxas de infiltração durante e após esse intervalo sem chuva. O cálculo da taxa de infiltração f_c (m/s) é feito pela seguinte equação (SMITH e PARLANGE, 1978):

$$f_c = K_s \left[1 + \frac{\alpha}{e^{\alpha I/B} - 1} \right] \quad \text{Eq. (4.1)}$$

onde, a taxa de infiltração f_c é função da lâmina acumulada de infiltração I e de alguns parâmetros básicos que descrevem as propriedades de infiltração no solo: condutividade

hidráulica saturada efetiva K_s (m/s), $B = (G + h)(\theta_s - \theta_i)$, combinando os efeitos do potencial efetivo de capilaridade, G , profundidade do fluxo, h (m), e da capacidade de armazenamento de água do solo, $\Delta\theta = (\theta_s - \theta_i)$, onde θ_s é a umidade de saturação do solo (m^3/m^3), α representa o tipo de solo; α se aproxima de 0 para uma areia, e neste caso, a Eq. (4.1) aproxima-se à equação de Green-Ampt; α se aproxima de 1 para um solo franco bem uniforme, neste caso a Eq. (4.1) representa a equação de infiltração de Smith-Parlange (SMITH e PARLANGE, 1978).

A maioria dos tipos de solo é mais bem representada por um valor de α igual a 0,85, sendo este o valor adotado no modelo (SMITH *et al.*, 1993). O valor do potencial efetivo de capilaridade G (m), é dado pela seguinte expressão:

$$G = \int_{\infty}^{\psi} \frac{K(\psi)}{K_s} d\psi \quad \text{Eq. (4.2)}$$

onde Ψ é o potencial mátrico do solo (m).

Há também um parâmetro opcional (C_v), que descreve a variação aleatória espacial da condutividade hidráulica saturada do solo, assim como um parâmetro que representa a porcentagem de rochas, *ROCK*. Existe também uma variável que depende do evento de precipitação, a saturação relativa inicial do solo S_i (m^3/m^3), cujo valor é dado por θ_i / ϕ , onde θ_i é o índice de umidade inicial do solo.

O modelo de infiltração também leva em consideração a recuperação da capacidade de infiltração do solo, a qual ocorre em períodos em que não há precipitação, ou em períodos em que a precipitação não produz escoamento, geralmente quando a intensidade de precipitação é inferior à permeabilidade do solo. A equação utilizada no modelo para o cálculo da variação da umidade do solo nestes períodos é:

$$\frac{d\theta_o}{dt} = \frac{\Delta\theta_{io}}{I} \left[r - K_i - \left(K(\theta_o) + \frac{\beta p K_s \Delta\theta_{io} G(\theta_i, \theta_o)}{I} \right) \right] \quad \text{Eq. (4.3a)}$$

onde $\Delta\theta_{io} = \theta_o - \theta_i$ é a diferença de umidade do solo acima e abaixo da frente de molhamento, I é a lâmina de infiltração acumulada (m), r é a taxa de entrada de água na superfície do solo durante a redistribuição de água no solo, a qual pode ser menor do que a

permeabilidade K_s , negativa (devido à evaporação) ou zero, $\beta = \frac{1}{Z(\theta_s - \theta_r)} \int_0^r (\theta - \theta_r) dz = 0,85$

é um fator de forma, Z é a profundidade da frente de molhamento, p é um fator efetivo de profundidade ($p = 2$ para $r = 0$); $p = 1,5$ para $0 < r < K_s$; $p = 3$ para $r < 0$), $G(\theta_r, \theta_s)$ é o valor efetivo do potencial de capilaridade na frente de redistribuição de água (m); K_r é o coeficiente de erodibilidade devido ao impacto das gotas de chuva no solo.

Nestes períodos, onde a umidade do solo está abaixo da umidade de saturação, a equação utilizada para calcular a condutividade hidráulica do solo é (BROOKS e COREY, 1964):

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{3+2/\lambda} \quad \text{Eq. (4.3b)}$$

onde θ é a umidade do solo no período de redistribuição de água, K_s é a permeabilidade efetiva do solo (m/s), θ_r é a umidade residual do solo, θ_s é a umidade do solo na saturação, λ é o parâmetro de distribuição do tamanho dos poros (parâmetro de Brooks e Corey).

Maiores detalhes sobre o modelo de redistribuição de água no solo, utilizado no modelo KINEROS2, podem ser obtidos em Smith *et al.* (1993) e Corradini *et al.* (1994).

4.2.2 - Fluxo nos Planos

Visto em uma escala pequena, o fluxo nos planos é um processo tridimensional extremamente complexo. Numa escala maior, entretanto, pode ser visto como um processo unidimensional onde se pode aplicar a seguinte equação:

$$Q = ah^m \quad \text{Eq. (4.4)}$$

onde Q é a descarga por unidade de largura (m^2/s) e h é o volume de água armazenado por unidade da área (m). Os parâmetros a e m são dados por: $a = S^{1/2}/n$ e $m = 5/3$, onde S é a declividade e n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

A Eq. (4.4) é utilizada juntamente com a equação da continuidade:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x,t) \quad \text{Eq. (4.5)}$$

onde t é o tempo (s), x é a distância ao longo do sentido da declividade e $q(x,t)$ é o excesso de precipitação (m/s).

Para o modelamento do fluxo nos planos, a Eq. (4.4) é substituída na Eq. (4.5), onde se obtém:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + amh^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = q(x,t) \quad \text{Eq. (4.6)}$$

As equações de onda cinemática, que são simplificações das equações de Saint- Venant, não preservam todas as suas propriedades, tais como as utilizadas em modelos difusos, os quais consideram os efeitos de jusante sobre o escoamento proveniente de montante, e como nos modelos hidrodinâmicos, onde se consideram as equações de Saint- Venant em sua forma geral, ou seja, incluindo os termos que representam a gravidade, o atrito, a pressão e a inércia do fluxo (WOOLHISER *et al.*, 1990).

As equações de onda cinemática são resolvidas no modelo usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos, em relação à distância e ao tempo.

4.2.3 - Condições de Fronteira

A profundidade de fluxo na fronteira à montante dos elementos deve ser especificada para solucionar a Eq. (4.6). Se essa fronteira fizer parte do divisor de águas da bacia, a condição de fronteira será:

$$h(0, t) = 0 \quad \text{Eq. (4.7a)}$$

Se um plano estiver contribuindo a montante para outro plano, a condição de fronteira será:

$$h(0, t) = \left[\frac{a_u h_u(L, t)^m W_u}{aW} \right]^{\frac{1}{m}} \quad \text{Eq. (4.7b)}$$

onde $h_u(L,t)$ é a profundidade na fronteira inferior do plano contribuinte no tempo t , L é o comprimento, W_u é a largura do plano contribuinte, a_u é o parâmetro declividade/rugosidade do plano contribuinte, m_u é um expoente referente ao plano contribuinte, a , m e W são referentes ao plano a jusante.

4.2.4 - Recessão e Microtopografia

A microtopografia do relevo pode ter grande importância na forma do hidrograma (WOOLHISER *et al.*, 1996). O efeito é mais pronunciado durante a recessão, quando a parte do solo coberta pelo fluxo de água determina a oportunidade para a perda de água pela infiltração. O modelo trata este relevo supondo que na sua geometria existe uma elevação máxima, e que a área coberta por água varia linearmente com a diferença entre este valor e o nível de água. A geometria da microtopografia é determinada especificando dois parâmetros que representam o espaçamento médio (parâmetro *spacing*, m) entre os picos e o valor médio (parâmetro *relief*, mm) desses picos nessa microtopografia.

4.2.5 - Fluxo nos Canais

A equação da continuidade para um canal com entrada lateral de fluxo é:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x,t) \quad \text{Eq. (4.8)}$$

onde A é a área da seção transversal (m^2), Q é a vazão no canal (m^3/s) e $q(x,t)$ é o fluxo lateral por unidade de comprimento do canal (m^2/s).

A relação entre a vazão no canal e a área de sua seção transversal é dada por:

$$Q = aR^{m-1}A \quad \text{Eq. (4.9)}$$

onde R é o raio hidráulico (m), $a = S^{1/2}/n$ e $m = 5/3$, onde S é a declividade e n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

As equações cinemáticas de fluxo para os canais são resolvidas por uma técnica implícita definida em quatro pontos similar àquela para o fluxo nos planos, com a diferença

que a incógnita agora é a área A e não a profundidade do fluxo h , e que as mudanças geométricas devido à variação da profundidade devem ser consideradas.

4.2.6 - Modelagem da Erosão nos Planos e Canais

A equação geral que descreve a dinâmica dos sedimentos dentro do fluxo é a equação de balanço de massa, similar àquela para o fluxo de água (BENNETT, 1974):

$$\frac{\partial(AC_s)}{\partial t} + \frac{\partial(QC_s)}{\partial x} - e(x,t) = q_s(x,t) \quad \text{Eq. (4.10)}$$

onde C_s é a concentração de sedimento no fluxo (m^3/m^3), Q é a vazão hidráulica (m^3/s), A é área da seção transversal do plano ou canal (m^2), e é a taxa de erosão do solo (m^2/s), e q_s é taxa de entrada lateral de sedimento no fluxo nos canais ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$).

Nos planos, a erosão é modelada como sendo composta por dois componentes principais: a erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva no solo, e pela erosão (ou deposição) hidráulica, resultado da interação entre a força de cisalhamento do fluxo e a tendência das partículas de solo no fluxo se depositarem sob efeito da força da gravidade. A erosão resultante é o somatório da taxa da erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva e_s e da erosão hidráulica e_h :

$$e = e_s + e_h \quad \text{Eq. (4.11)}$$

A erosão por impacto das gotas de chuva é estimada pela seguinte expressão (MEYER e WISCHMEIER, 1969):

$$e_s = c_f e^{-c_h h i} i^2 \quad \text{Eq. (4.12)}$$

onde i é a intensidade da precipitação (m/s), c_f é um coeficiente a ser determinado experimentalmente ou por calibração, que está relacionado às propriedades do solo e da superfície, $e^{-c_h h i}$ é um fator que representa a redução na erosão por impacto das gotas de chuva devido ao aumento da lâmina d'água. O parâmetro c_h representa a efetividade do amortecimento da superfície da água, fixado no modelo como sendo igual a 656.

A erosão hidráulica (e_h) é estimada como sendo linearmente dependente da diferença entre a capacidade de transporte do fluxo (concentração de equilíbrio) e a concentração real de sedimento, e é dada pela equação:

$$e_h = c_g (C_m - C_s) A \quad \text{Eq. (4.13)}$$

onde C_m é a concentração de equilíbrio na capacidade de transporte, $C_s = C_s(x,t)$ é a concentração real de sedimentos no fluxo, e c_g é um coeficiente da taxa de transferência de sedimentos (s^{-1}), e é calculado por:

$$c_g = c_0 \frac{v_s}{h} \text{ se } C_s \leq C_m \text{ (erosão) ou } C_g = \frac{v_s}{h} \text{ se } C_s > C_m \text{ (deposição)} \quad \text{Eq. (4.14)}$$

onde c_0 é um coeficiente que reflete à coesão do solo e v_s é a velocidade de queda da partícula (m/s).

O modelo utiliza a fórmula de capacidade de transporte de Engelund e Hansen (ENGELUND e HANSEN, 1967), com a inclusão de um limite crítico do valor da potência unitária do fluxo $\Omega = uS$ (*Unit Stream Power*) igual a 0,004 m/s, onde u é a velocidade do fluxo (m/s) e S é a declividade, para estender a sua aplicabilidade a fluxos rasos. A equação para o cálculo da concentração de sedimentos na capacidade de transporte é a equação de Engelund e Hansen (1967) a seguir:

$$C_m = \frac{0,05}{d(S_s - 1)^2} \sqrt{\frac{Sh}{g}} (\Omega - 0,004) \quad \text{Eq. (4.15)}$$

onde g é a aceleração da gravidade (m/s^2), S_s é a densidade relativa do sedimento, igual a 2,65, d é o diâmetro do sedimento (m), h é a profundidade do fluxo (m), e as outras variáveis já foram definidas anteriormente.

A velocidade de queda da partícula é calculada pela seguinte equação:

$$v_s^2 = \frac{4}{3} \frac{g(S_s - 1)d}{C_D} \quad \text{Eq. (4.16)}$$

onde C_D é o coeficiente de arrasto da partícula, que é uma função do número de Reynolds, e é calculado pela seguinte expressão:

$$C_D = \frac{24}{R_n} + \frac{3}{\sqrt{R_n}} + 0,34 \quad \text{Eq. (4.17)}$$

onde R_n é o número de Reynolds, calculado como $R_n = v_s d / \nu$, onde ν é a viscosidade cinemática da água. A velocidade de queda da partícula é encontrada resolvendo simultaneamente as equações (4.16) e (4.17).

A simulação do transporte de sedimentos para os canais é realizada de maneira semelhante à simulação do transporte de sedimentos nos planos. A principal diferença nas equações é que a erosão por impacto das gotas de chuva é desprezada, e o termo q_s torna-se importante na representação da entrada de fluxo lateral.

4.2.7 - Parâmetros de Entrada do Modelo KINEROS2

4.2.7.1 - Parâmetros Globais

- **Units:** sistema de unidades utilizado para todos os parâmetros (métrico ou inglês);
- **Len:** comprimento característico, cujo valor é dado pelo comprimento do maior canal ou da maior cascata de planos.
- **Temperature:** temperatura em graus Celsius ou Fahrenheit
- **Diameters:** diâmetros representativos das partículas do solo, em milímetros ou polegadas. Limite máximo de cinco classes;
- **Densities:** valores das massas específicas dos diâmetros das classes acima determinadas.

4.2.7.2 - Parâmetros dos Planos

- **Identifier:** número de identificação do plano;
- **Upstream:** número de identificação do plano a montante (se houver);
- **Length:** comprimento (metros ou pés);
- **Width:** largura (metros ou pés);

- **Slope:** declividade;
- **Manning:** coeficiente de rugosidade de Manning;
- **Chezy:** coeficiente de Chezy;
- **Relief:** altura média do relevo da microtopografia (milímetros ou polegadas)
- **Spacing:** distância média do relevo da microtopografia (metros ou pés)
- **Interception:** interceptação vegetal (milímetros ou polegadas)
- **Canopy Cover:** fração da superfície ocupada por vegetação
- **Saturation:** saturação inicial relativa do solo, razão entre a umidade inicial e porosidade do solo;
- **C_v:** coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada efetiva;
- **K:** condutividade hidráulica saturada efetiva (mm/h ou polegadas/h);
- **G:** valor efetivo do potencial de capilaridade dado pela Equação 4.2 (mm ou polegadas);
- **Distribution (λ):** índice de distribuição do tamanho dos poros (índice de Brooks e Corey);
- **Porosity:** porosidade do solo;
- **Rock:** fração volumétrica de rochas. Se a permeabilidade é estimada com base na textura do solo, ela deve ser multiplicada por "1 Rock", para considerar esse volume de rochas;
- **Splash (*c*):** parâmetro da Equação 4.12, a qual representa a erosão causada pelo impacto das gotas de chuva;
- **Cohesion (*c_o*):** coeficiente de coesão do solo, Equação 4.14;
- **Fractions:** fração de cada classe de diâmetros representativos do solo.

4.2.7.3 - Parâmetros dos Canais

- **Upstream:** número de identificação do elemento (plano ou canal) à montante;
- **Lateral:** número de identificação dos planos que contribuem lateralmente para o canal;
- **Length:** comprimento (metros ou pés);
- **Width:** largura da base (metros ou pés);
- **Slope:** declividade;
- **Manning:** coeficiente de Manning;

- **Chezy**: coeficiente de Chezy;
- **SS1, SS2**: declividades laterais;
- **Saturation**: saturação inicial relativa do solo, razão entre a umidade inicial e porosidade do solo;
- **C_v**: coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada efetiva;
- **K_s**: condutividade hidráulica saturada efetiva (mm/h ou polegadas/h);
- **G**: valor efetivo do potencial de capilaridade dado pela Equação 4.2 (mm ou polegadas);
- **Distribution (λ)**: índice de distribuição do tamanho dos poros (índice de Brooks e Corey);
- **Porosity**: porosidade do solo;
- **Rock**: fração volumétrica de rochas. Se a permeabilidade é estimada com base na textura do solo, ela deve ser multiplicada por “1- Rock”, para considerar esse volume de rochas;
- **Cohesion (c_o)**: coeficiente de coesão do solo, Equação 4.14;
- **Fractions**: fração de cada classe de diâmetros representativos do solo.

4.3 - O MODELO WEPP

4.3.1 – Modelo de Infiltração

Da mesma forma que o modelo WESP o modelo WEPP utiliza o modelo de infiltração de Green-Ampt (1911). A equação abaixo é a equação de Green Ampt (1911), com a modificação proposta por Mein e Larson (1973) para modelar a infiltração durante uma chuva permanente, com a introdução do parâmetro de correção da diferença entre o tempo instantâneo e o tempo atual de empoçamento além do déficit de umidade na mistura de solo assume a seguinte forma:

$$f_c = K_e t_c + \Psi \theta_d \ln \left[1 + \frac{f_c}{\Psi \theta_d} \right] \quad \text{Eq. (4.34)}$$

onde f_c é a taxa de infiltração (m/s), K_e é a condutividade hidráulica saturada (mm/h), t_c é a correção da diferença entre o tempo instantâneo e o tempo atual de empoçamento, θ_d é o déficit de umidade na mistura de solo (m^{-1}) e ψ' é o potencial capilar médio (m).

Desta forma, o índice médio de infiltração, f_i ($m.s^{-1}$), para um intervalo é calculado como

$$f_i = \frac{F_i - F_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad \text{Eq. (4.35)}$$

onde o subscrito i e $i-1$ refere a intervalos correntes e prévios de tempo, respectivamente, F no modelo WEPP, é a profundidade cumulativa de infiltração (m), e t é o tempo (s).

A infiltração cumulativa é calculada usando o modelo de Mein e Larson (1973), e o de Green-Ampt Mein-Larson (GAML), como apresentado por Chu (1978) para o caso de intensidade de chuva incidente em um determinado ponto de alagamento.

De acordo com Williams *et al.*, (1984), o Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos realizou extensos trabalhos para desenvolver relações empíricas para a obtenção de parâmetros para a equação de Green-Ampt. Uma das vantagens da equação de Green-Ampt é sua aplicabilidade em diferentes condições iniciais e perfil do solo (CHU, 1978).

A equação de Green-Ampt foi desenvolvida considerando que, desde o início do processo de infiltração, a superfície do solo se encontra saturada e que existe uma carga hidráulica sobre a superfície do solo. Esta situação, entretanto, não corresponde às condições de infiltração que ocorrem sob condições de precipitação, pois deveria haver antes a saturação da camada próxima à superfície e o empoçamento de água sobre a superfície do solo.

Chu (1978) calculou um indicador, C_u (m), pelo qual determina se esse ponto de empoçamento ocorre dentro de um intervalo dado de intensidade de chuva, não tendo ocorrido em nenhum ponto do elemento, no começo do intervalo, o empoçamento. Se C_u é positivo, o empoçamento ocorre dentro do intervalo. Neste caso, o tempo para o empoçamento dentro do intervalo é calculado e a partir daí começa o escoamento superficial. Se for negativo, não há excesso da precipitação gerada no intervalo. O indicador é dado por:

$$C_u = R_i - V_i - \left[\frac{K_e \psi \theta_d}{r_{i-1} - K_e} \right] \quad \text{Eq. (4.36)}$$

onde R é a altura da chuva acumulada (m), V é a altura do excesso de chuva acumulada (m), K_e é a condutividade hidráulica efetiva saturada (m/s), ψ é o potencial capilar médio (m), θ_d é o déficit de umidade na mistura de solo (m/m), e r é a taxa de chuva média (m/s). O déficit de umidade na mistura de solo é calculado como:

$$\theta_d = \eta_e - \theta_v \quad \text{Eq. (4.37)}$$

onde η_e é a porosidade efetiva (m/m) e θ_v é o conteúdo volumétrico inicial da água por unidade de área (m³/m³). A altura de excesso de chuva acumulado é calculada por:

$$V_i = R_i - F_i \quad \text{Eq. (4.38)}$$

O indicador para o fim de alagamento no elemento durante um intervalo, admitindo que a superfície estava alagada no início do intervalo, é dado por:

$$C_p = R_i - F_i - V_i \quad \text{Eq. (4.39)}$$

onde C_p (m) é positivo para o caso de alagamento contínuo, e negativo para alagamento cessado no intervalo. Quando o excesso da chuva termina dentro do citado intervalo, a infiltração acumulada é calculada como:

$$F_i = R_i - V_{i-1} \quad \text{Eq. (4.40)}$$

4.3.2 - Escoamento sobre os Planos

Visto em uma escala muito pequena, o fluxo nos planos é um processo tridimensional extremamente complexo. Numa escala maior, entretanto, pode ser visto como um processo unidimensional onde se pode aplicar a seguinte equação:

$$q = \alpha h^m \quad \text{Eq. (4.41)}$$

onde q é a descarga por unidade de largura (m^2/s) e h é o volume de água armazenado por unidade da área (m). Os parâmetros α e m são dados por: α que é igual a $C(S_0)^{0.5}$ onde C é o coeficiente de Chezy ($\text{m}^{0.5}/\text{s}$) e S_0 é a declividade e m é igual a 1,5.

A Eq. (4.41) é utilizada juntamente com a equação da continuidade:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = v \quad \text{Eq. (4.42)}$$

onde t é o tempo (s), x é a distância ao longo do sentido da declividade, e v é o excesso de precipitação (m/s).

Para o modelamento do fluxo nos planos, a Eq. (4.41) é substituída na Eq. (4.42), onde se obtém:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha m h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = v \quad \text{Eq. (4.43)}$$

4.3.3 - Fluxo nos Canais

A equação da continuidade para um canal com entrada lateral de fluxo é:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = Q \quad \text{Eq. (4.44)}$$

onde A é a área da seção transversal (m^2), q é a vazão no canal (m^3/s), e o Q é o fluxo lateral por unidade de comprimento do canal (m^2/s).

A relação entre a vazão no canal e a área de sua seção transversal é dada por:

$$Q = \alpha R^{m-1} A \quad \text{Eq. (4.45)}$$

onde R é o raio hidráulico (m), α é $C(S_0)^{0.5}$ sendo S_0 é a declividade e C é o coeficiente de Chezy e m é igual a 1,5.

As equações cinemáticas de fluxo para os canais são resolvidas por uma técnica implícita definida em quatro pontos similar àquela para o fluxo nos planos, com a diferença

que a incógnita agora é a área A e não a profundidade do fluxo h , e que as mudanças geométricas devido à variação da profundidade devem ser consideradas.

4.3.4 - Erosão nos Planos e Canais

Na modelagem para predição da erosão pelo programa WEPP, é utilizada a equação da continuidade para quantificação do transporte de sedimentos numa área, considerando-se condições de regime permanente, ou seja:

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_r \quad \text{Eq. (4.46)}$$

onde G é a carga de sedimentos, $M T^{-1} L^{-2}$, x é o comprimento da encosta, L , D_i é a taxa de erosão de sedimentos nas áreas planas (entre sulcos) $M T^{-1} L^{-2}$, D_r é a taxa de liberação de sedimentos nos sulcos ou canais, $M T^{-1} L^{-2}$.

A liberação de sedimentos nos canais é considerada independente de x e é sempre positiva. A erosão nos planos é positiva para desprendimento e negativa para deposição de sedimentos.

A taxa de liberação de sedimentos em áreas nos planos (D_i), usada nesse programa, pode ser calculada pela equação 4.47, proposta por Flanagan e Nearing (1995).

$$D_i = C_i K_i S_f I_p^2 G_e \quad \text{Eq. (4.47)}$$

onde C_i é o parâmetro que considera o efeito da cobertura vegetal na erosão dos canais, adimensional, K_i é o parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo nos planos, MTL^{-4} , I_p é a intensidade de precipitação, $L T^{-1}$, G_e é o parâmetro que considera o efeito da cobertura do solo contra a erosão e S_f é a declividade de linha de atrito $L L^{-1}$, calculado em função da declividade da superfície e propriedades do fluxo.

A taxa de liberação de sedimentos em sulcos ou pequenos canais (D_r) é calculado para os casos em que a tensão cisalhante do escoamento exceder a tensão cisalhante crítica do solo e quando a carga de sedimentos for menor que a capacidade de transporte do escoamento. O valor de D_r pode ser obtido utilizando-se a equação apresentada por Tiscareno Lopez et al. (1994):

$$D_r = C_r K_r (\tau - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c} \right) \quad \text{Eq. (4.48)}$$

onde C_r é um fator que considera a cobertura existente no plano, adimensional, K_r é o parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo nos canais, $T L^{-1}$, τ é tensão cisalhante atuando nas partículas de solo em decorrência do escoamento, $M L^{-2} T^{-1}$, τ_c é a tensão cisalhante necessária para a ocorrência da liberação de partículas, $M L^{-2} T^{-1}$ calculado internamente pelo programa em função da granulometria e T_c é capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento, $M L^{-1} T^{-1}$.

A velocidade de queda (V_f) da partícula é calculada através da relação seguinte:

$$V_f = \frac{D_r Q}{\beta(T_c - G)} \quad \text{Eq. (4.49)}$$

A capacidade de transporte de sedimento assim como a carga de sedimento é calculada numa base de largura do elemento plano. A carga de sedimento é convertida a uma base de largura de campo quando os cálculos são completados. A capacidade de transporte, T_c , em função do fluxo da tensão de cisalhamento é calculada usando uma equação simplificada de transporte da forma:

$$T_c = K_r \tau_c^{3/2} \quad \text{Eq. (4.50)}$$

onde τ_c é a tensão de cisalhamento do solo (Pa), K_r é um coeficiente de transporte ($m^{0.5} s^2 kg^{-0.5}$) e a capacidade de transporte é calculada pela equação modificada de Yalin.

A equação de Yalin para sedimento não uniforme foi descrita por Foster (1982). Essas equações foram modificadas em dois meios, com o objetivo de melhorar a representação entre as diferenças na capacidade de transporte com as características de tamanho de partícula do solo. Estas modificações são baseadas em prova extensa do modelo WEPP para um alcance grande de tipos diferentes de solo e dados medidos de erosão de campo.

Para a aplicação da equação de Yalin, como descrito por Foster (1982), a capacidade de transporte de sedimento para cada uma das classes de tamanho de partícula do solo é somada para obter a capacidade total de transporte de sedimento. Usando este método, existe uma diferença pequena nas características calculadas de sedimento, que foram limitadas na

densidade e para diâmetro dos agregados. Em outras palavras, dois solos com sedimento vastamente diferente calculam suas distribuições, mas com praticamente o mesmo tamanho e densidade de agregado, teriam diferença pequena na capacidade total de transporte de sedimento. A modificação incluída no WEPP usa uma média ponderada da capacidade de transporte de sedimento para cada classe de tamanho de partícula, onde esta é função da fração de massa de sedimento dentro de cada classe.

4.3.5 – Características do modelo WEPP

O WEPP é um pacote de programas computacionais de simulação dos processos de erosão, desenvolvido através de um programa interinstitucional envolvendo diversas instituições norte-americanas: como: USDA e USDI, órgãos governamentais envolvidos na conservação de água e solo. Este pacote teve como objetivo desenvolver uma tecnologia para o planejamento ambiental e a conservação da água e do solo, a fim de permitir a predição dos impactos resultantes de práticas de manejo das terras para produção agrícola, pastagens e áreas florestais na erosão superficial.

O conjunto de programas computacionais do WEPP é de simulação seqüencial, ou seja, cada processo acontece em sua ordem, onde o fim de um processo dará início a outro processo, o qual prediz a perda de solo (ou a deposição) devido ao escoamento superficial em encostas, a perda de solo ou a deposição de sedimentos devido ao escoamento concentrado em sulcos ou pequenos canais, bem como a deposição de sedimentos em reservatórios.

Além do componente de erosão, o WEPP também inclui um componente climático, o qual usa um gerador de informações climáticas diárias; um componente hidrológico (que é baseado nas equações de Green-Ampt modificada por Mein & Larson para o processo de infiltração e soluções das equações de ondas cinemáticas); um componente de balanço hídrico diário; um componente de crescimento de planta e decomposição de resíduos; e um componente de irrigação.

O modelo WEPP calcula as distribuições espacial e temporal da perda de solo e sua deposição, além de fornecer estimativas explícitas de quando e onde, numa determinada bacia hidrográfica ou encosta, está ocorrendo erosão, de forma a possibilitar a adoção de medidas de conservação para controlar a perda de solo e a produção de sedimentos.

Para aplicação do WEPP é necessário o uso de dados climáticos diários, os quais não estão facilmente disponíveis e, em função disto, o modelo utiliza o programa CLIGEN

(gerador climático estocástico) para gerar os dados climáticos necessários. Para executar o programa CLIGEN, é necessário conhecer 14 parâmetros que descrevem as condições climáticas locais, incluindo: desvio padrão, média e desvio da distribuição em relação à normalidade da quantidade de precipitação mensal por evento, a probabilidade mensal de ocorrência de dias com chuva após dias com chuva e ocorrência de dias sem chuva após dias com chuva, média e desvio padrão das temperaturas máxima e mínima mensal, média e desvio padrão da radiação solar mensal, média mensal da intensidade de precipitação máxima em 30 minutos, média mensal da temperatura do ponto de orvalho e a distribuição estatística do tempo decorrido do início do evento ao pico de intensidade máxima.

Um dos objetivos do WEPP foi desenvolver novas tecnologias de predição da erosão hídrica para conservação da água e do solo. O modelo WEPP divide a erosão do solo em erosão nos riachos/rios. A erosão entre riacho/rios envolve desprendimento e transporte do solo pelo impacto da gota da chuva e pelo escoamento de uma lâmina rasa sobre o solo. O processo de erosão no sulco descreve o desprendimento, transporte e deposição nos canais. O desprendimento nos sulcos ocorre somente quando a tensão provocada pelo escoamento excede a resistência interna do solo e a carga de sedimentos é menor do que a capacidade de transporte. Se a carga de sedimentos excede a capacidade de transporte, ocorre a deposição da do excedente (BJORNEBERG *et al.*, 1999).

Existe uma versão do WEPP (Hillslope) que é semelhante ao modelo ANSWERS e subdivide a área da erosão em pequenas células, nas quais os parâmetros hidrológicos e erosivos, como tipo de solo, superfície do solo, cobertura do solo e manejo do solo, dentre outros, são considerados uniformes.

O WEPP pode ser utilizado em países tropicais como o Brasil desde que exista uma estação climatológica com todos os dados de entrada para a formação do arquivo de chuva.

Em sendo semi-determinístico, o modelo requer apenas a calibração de alguns parâmetros, tais como os de erodibilidade. Essa calibração, por sua vez, poderia ser realizada rapidamente, com o emprego de simuladores de chuva (CHAVES, 1996).

O WEPPSIE (*WEPP Surface Impoundment Element*) é a ferramenta do modelo, na qual se encontram várias situações de terrenos (sulcos). Para determinar o impacto do escoamento no sedimento transportado, o usuário necessita saber:

1. Ponto máximo do fluxo e do volume;
2. Ponto máximo da concentração de sedimento e o total de sedimento produzido;
3. O tempo de encher o sulco com sedimento.

Para o programa incorporar estes requisitos em seu código, o WEPPSIE inclui cinco seções: uma interface amigável, entrada diária, simulação hidráulica, simulação de sedimentação e produção diária.

4.3.6 – Parâmetros de Entrada do Modelo WEPP

Os parâmetros do modelo WEPP são introduzidos nos arquivos de chuva e também na tela de calibração do modelo. Após a criação de todos os arquivos dos eventos da região, deverão ser inseridos os valores médios dos dados climatológicos em cada arquivo. Esse procedimento se faz necessário por ainda não haver a estação climatológica da região em estudo. Com a estação criada, os dados climatológicos médios seriam inseridos automaticamente dentro do arquivo. Como foi selecionada uma estação padrão, esses dados deverão ser trocados pelos dados que correspondem às características climáticas reais da região. Esses valores médios serviram como base para que as equações estatísticas do modelo forneçam bons resultados.

O interior do arquivo de parâmetro segue como o ilustrado na Figura 4.1 com os valores da BESJC.

```

4.30
2 0 0
Station: DES MOINES WB AP IA CLIGEN VERSION 4.3
Latitude Longitude Elevation (m) Obs. Years Beginning year Years simulated
7.25 36.30 500 1 1 1
Observed monthly ave max temperature (C)
33.0 33.3 33.0 32.1 31.3 29.5 29.3 29.6 31.4 32.8 32.5 33.6
Observed monthly ave min temperature (C)
21.6 21.5 21.6 21.3 20.6 19.3 18.5 18.1 20.0 20.3 21.5 21.4
Observed monthly ave solar radiation (Langleys/day)
251.9 217.0 233.4 219.6 232.8 171.4 203.6 249.1 256.7 262.2 275.2 254.1
Observed monthly ave precipitation (mm)
53.9 45.5 74.8 56.3 41.3 27.6 28.2 22.3 8.1 5.4 7.8 19.5
da mo year prop dur tp ip tmax tmin rad w-vl w-dir tdew
(mm) (h) (C) (C) (l/d) (m/s)(Deg) (C)
11 3 87 32.0 3.30 0.08 7.42 27.0 22.0 439.4 1.4 312. 25.0

```

Figura 4.1 - Arquivo do evento.

A primeira linha, onde se encontra o número "4.30", refere-se à versão do editor de clima que está sendo utilizado.

A segunda linha exibe três números em seqüência, "2", "0" e "0", o primeiro número corresponde ao modo de simulação do arquivo, o "2" indica que será simulado como evento isolado (Single storm). O segundo número corresponde ao *breakpoint data*, e zero significa que nenhum ponto de parada nos dados foi utilizado. O terceiro número significa *wind*

information/ET equation, e o valor de zero significa que foi utilizado a equação de evapotranspiração de Penman.

Da terceira à quinta linha apresenta-se o nome da estação climatológica, a posição da estação climatológica em uso, com as referidas latitude, longitude, elevação ou cota, anos de observação, ano de início para cálculo e anos que se deseja simular.

A sexta e sétima linha "Observed monthly ave max temperature (C)" indica a média mensal das temperaturas máximas da região em estudo. Quanto maior for o banco de dados para o cálculo dessas médias, mais preciso serão os cálculos com as equações de base estatística.

A oitava e nona linha com "Observed monthly ave min temperature (C)" indica a média mensal das temperaturas mínimas da região em estudo.

A décima e décima primeira linha com "Observed monthly ave solar radiation (Langleys/day)" indica a média mensal da insolação da região em estudo.

A décima segunda e décima terceira linha com "Observed monthly ave precipitation (mm)" indica a média mensal da precipitação da região em estudo.

As três últimas linhas com "da mo year prep dur tp ip tmax tmin rad w-vl w-dir tdew" refere-se nessa mesma ordem a dia, mês, ano, precipitação total do evento, duração do evento, tp e ip são parâmetros do WEPP para o tempo de empoçamento e intensidade do evento, os quais são calculados automaticamente quando inserido os valores no editor de eventos, temperatura máxima do dia do evento, temperatura mínima do dia do evento, radiação média do dia do evento, velocidade do vento, direção do vento e ponto de orvalho do dia do evento.

Nessa seqüência, a radiação média do dia foi trocada pela radiação média do mês do evento por não existir dados disponíveis no momento.

A direção e velocidade do vento, o ponto de orvalho e as demais características foram inseridos de acordo com os valores obtidos na BESJC.

Deve-se utilizar um editor de texto simples para realizar as modificações necessárias manualmente. Ao término dessa etapa, todos os arquivos serão salvos e dá-se início ao processo de simulação.

O modelo possui um editor de solos, onde se entra com os valores de saturação inicial que deve ser calibrado evento a evento, o parâmetro K_i (kg.s/m^4) que representa a erosão pelo fluxo superficial, o parâmetro K_r (s/m) que representa a erosão pelo fluxo em canais ou em sulcos, a tensão de cisalhamento τ (Pa) e a condutividade hidráulica saturada K_s (mm/h).

4.4 – Parâmetros a serem calibrados

Os parâmetros listados anteriormente para cada modelo podem ser agrupados nas seguintes categorias:

a) Parâmetros que são obtidos através de ensaios na área experimental ou de acordo com as características geométricas dos elementos:

(1) **Para o modelo WESP:** Área da bacia (m^2), Comprimento do elemento na direção do escoamento (m), Largura do elemento (m) - Quando este parâmetro é igual à zero, o elemento é identificado como um canal, Declividade, Relação entre declividade e o número de Manning (ALPHA é igual a $S_f^{1/2}/n$), Identificador do elemento a montante, Tamanho característico do sedimento (0.000500 m), Condutividade hidráulica saturada (0.000001111111 m/s), Elemento contribuindo a esquerda, Elemento contribuindo a direita.

(2) **Para o modelo KINEROS2:** Comprimento característico, Diâmetro, Elemento a jusante ou a montante, Comprimento, Largura, Declividade, Fração da superfície ocupada por vegetação, Coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada efetiva, Valor efetivo do potencial de capilaridade G dado pela Equação 4.2 (mm ou polegadas), Porosidade, Distribuição.

(3) **Para o modelo WEPP:** Média mensal de temperatura máxima, Média mensal de temperatura mínima, Média mensal de radiação solar, Média mensal de precipitação, Velocidade do vento, ponto de orvalho.

b) Parâmetros que foram obtidos através da literatura, com base em trabalhos efetuados na bacia em estudo ou em áreas semelhantes:

(1) **Para o modelo WESP:** Viscosidade (0.0000008040), Gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$), Peso específico da água (9764.80 N/m^3), Peso específico do sedimento (25874.60 N/m^3), Expoente n da equação da velocidade de fluxo (1,66667), Índice do padrão de chuva - utilizado na rotina de leitura do arquivo de chuva (1), Fator de peso espacial nas equações numéricas (0,50), Fator de peso temporal nas equações numéricas (0,60), Parâmetro para a tensão de

cisalhamento crítica (0,0470). Esses parâmetros foram obtidos através dos trabalhos de Lopes (2003) e Aragão (2000).

(2) Para o modelo KINEROS2: n de Manning (0,02 para planos e 0,03 para canais), C de Chezy (0,50), Relevo (2,0 mm), Espaçamento (0,3 m).

(3) Para o modelo WEPP: profundidade do solo, percentual de argila, areia e rocha. Esses valores forma arbitrados de forma a se obter a melhor estimativa nos resultados da produção de sedimento.

c) Parâmetros que precisam de calibração:

(1) Para o modelo WESP: K_s , N_s , K_i , K_r .

(2) para o modelo KINEROS2: c_f , c_o , K_s , S_i , G .

(3) Para o modelo WEPP: S_i , K_i , K_r , Tensão, K_s .

4.5 – Diferenças básicas entre os três modelos

Os modelos WESP e WEPP utilizam a mesma equação de Green e Ampt (1911) como base para calcular a capacidade de infiltração do solo, mas com o uso de outras características do solo e divisão em camadas, resulta em diferenças significativas. Já o modelo KINEROS2 utiliza a equação de Smith e Parlange (1978) que é uma equação mais geral e para solos altamente arenosos, reduz para a equação de Grenn Ampt. A diferença no cálculo da taxa de infiltração entre os modelos pode ser vista na Tabela 4.1 e na Figura 4.1 abaixo, onde é calculada a taxa de infiltração para uma dada intensidade de infiltração (Cruz, 2004).

Observa-se através da Tabela 4.1 e da Figura 4.1 que o modelo WESP produz uma maior taxa de infiltração que os demais modelos, isso devido à parametrização dos modelos que são diferentes. Apesar de o WESP utilizar o mesmo modelo de infiltração do WEPP os resultados do WESP são sempre maiores que do WEPP.

Os conceitos básicos de geração do escoamento e erosão entre os modelos são semelhantes. O modelo WESP foi concebido essencialmente para pequenas bacias e tem o aspecto de não usar o conceito da capacidade de transporte, ou seja, tudo o que é produzido, também é transportado.

Tabela 4.1 - Comparação entre a taxa de infiltração calculada pelo modelo KINEROS2, WESP e WEPP.

I (mm)	f_c (Kineros) (mm/h)	f_c (WESP) (mm/h)	f_i (WEPP) (mm/h)
5	38,4	39,9	39,3
10	20,3	21,7	20,8
15	14,2	15,6	14,9
20	11,2	12,6	12,0
25	9,4	10,8	9,7
30	8,2	9,6	8,8
35	7,4	8,7	8,2
40	6,7	8,1	7,3
45	6,2	7,5	6,8
50	5,9	7,1	6,6
55	5,5	6,8	6,3
60	5,3	6,5	5,8

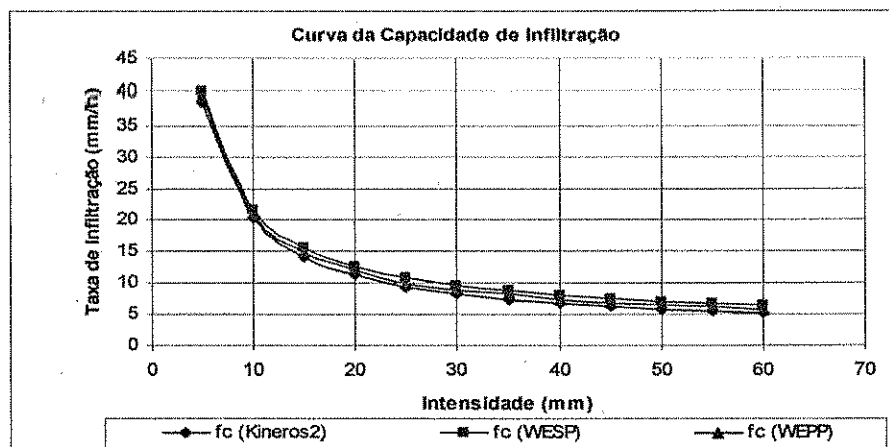


Figura 4.2 – Curva da capacidade de infiltração para os modelos Kineros2, WESP e WEPP (CRUZ, 2004)

Diferentemente do WESP, o modelo KINEROS2 associa o transporte de sedimentos com a capacidade de transporte do fluxo, ou seja, é algo mais realista, porém em certas condições onde esta capacidade não é um fator limitante, ou seja, onde não há possibilidade de deposição de sedimentos, os dois modelos produzem resultados próximos. O modelo KINEROS2 usa um coeficiente de transferência vinculado a coesão do solo que determina a deposição ou erosão em canais.

Por serem distribuídos, a representação da bacia para os três modelos é realizada através de uma cascata de planos e canais, que apesar de ser o mesmo para os modelos, os resultados podem ser bem diferentes devido à parametrização dos modelos.

Nos planos, o modelo KINEROS2 e o modelo WEPP utilizam os conceitos de Foster (1982) onde a erosão está relacionada com uma diferença entre o cisalhamento gerado pelo fluxo e a tensão crítica. Já no modelo WESP, a erosão está relacionada diretamente com a tensão de cisalhamento do fluxo superficial sobre a tensão crítica.

O KINEROS2 ajusta a umidade do solo nos intervalos entre as chuvas, porém, com o modelo WESP isso não é feito, ou seja, é necessário trabalhar com eventos de chuvas separadamente. Sempre entre uma chuva e outra, a capacidade de infiltração do solo se recupera, mas a recuperação da capacidade de infiltração não é verificada no modelo. No caso do WESP, quando o intervalo de tempo entre duas chuvas for menor que 30 minutos os dois eventos se tornam em apenas um só evento, e no caso que o intervalo for maior que 30 minutos, os eventos são separados. Essa separação entre eventos deve ser realizada pelo modelador.

O WEPP possui duas versões em seu pacote, a versão Hillslope e a versão Watershed. A versão Hillslope, utilizada essencialmente para trabalhar com áreas planas, fornece bons resultados, tanto para escoamento como para produção de sedimentos. Na versão Watershed, que é utilizada para uma cascata de planos e canais, fornece bons resultados para escoamento, porém para produção de sedimento, os resultados não são tão bons. O WEPP foi concebido para trabalhar com grandes bancos de dados, com vários anos de resultados catalogados. Dessa forma o modelo fornece estimativas anuais de escoamento e produção de sedimento.

Essas são algumas diferenças fundamentais entre os modelos, e, portanto, os resultados obtidos devem ser avaliados considerando essas diferenças estruturais.

CAPITULO V

APLICAÇÃO DOS MODELOS

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos adotados e os resultados obtidos com a aplicação dos modelos KINEROS2, WESP e WEPP, para simular os processos hidrossedimentológicos em duas sub-bacias da BESJC.

Será apresentado a metodologia utilizada para calibração dos parâmetros dos modelos, a simulação com esses parâmetros na mesma área de estudo e uma tentativa de validação cruzada dos parâmetros da sub-bacia 1 e 2.

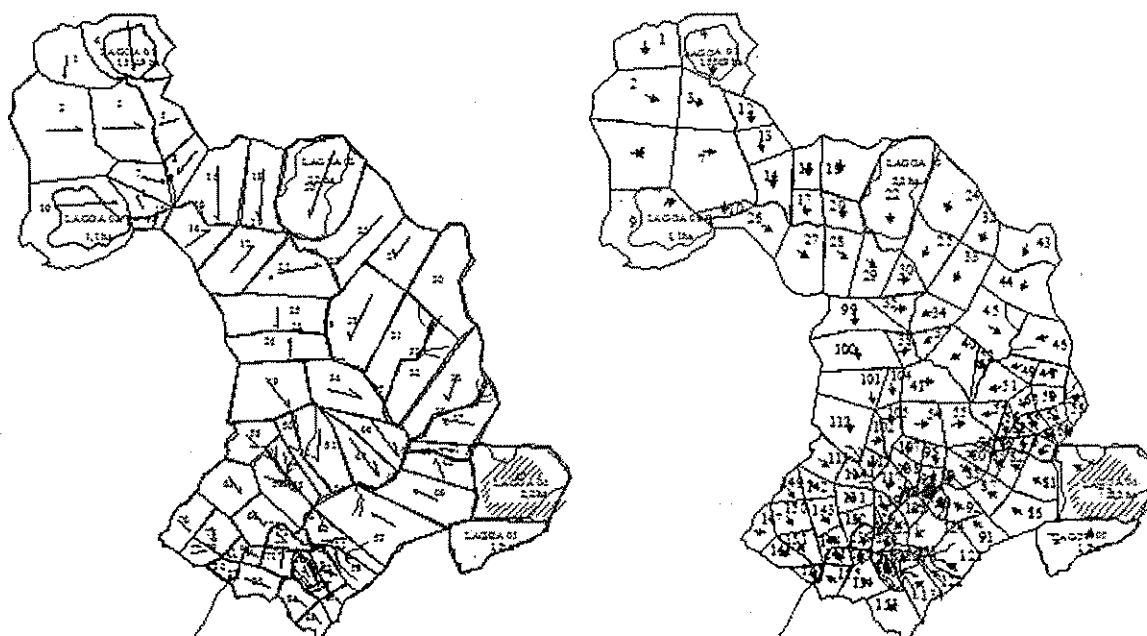
Para analisar a existência do efeito de escala, foram utilizados os dados obtidos do trabalho de Paiva (2008) que obteve a parametrização da parcela 1 e 2 e das micro-bacias 1,2 e 3 da BESJC.

5.0 – Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo

5.1 – Modelo KINEROS2

5.1.1- Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 1

Inicialmente, a sub-bacia 1 (0,59km²) foi discretizada em duas diferentes configurações: Discretização 1 (87 elementos -- 62 planos e 25 canais) e a Discretização 2 (157 elementos -- 115 planos e 42 canais). A Figura 5.1 apresenta as discretizações e as Figuras 5.2 e 5.3 apresentam as esquematizações das discretizações apresentadas na figura 5. Essas mesmas discretizações foram utilizadas com todos os três modelos. As Tabelas A1 e A2, em Anexo, apresentam as características de cada elemento das discretizações. As larguras dos canais foram inseridas de acordo com a percepção obtida durante as visitas ao campo, e essas larguras variaram entre 0,10 a 2,00 m.



a) Discretização 1 – 87 elementos

b) Discretização 2 – 157 elementos

Figura 5.1 – Discretização da sub-bacia 1 em duas diferentes configurações

Inicialmente, os arquivos de parâmetros referentes a cada discretização da sub-bacia 1 tiveram de ser montados e, para tanto, as características fisiográficas, pedológicas e de cobertura vegetal tiveram de ser levantadas, o que foi feito durante as visitas periódicas a BESJC. Foram utilizados 98 eventos, dos quais, apenas 22 eventos possuíam dados de erosão observados.

A temperatura da água foi considerada igual a 25°C, que é a temperatura média encontrada na BESJC. A densidade relativa dos grãos foi considerada igual a 2,65 o que corresponde a densidade específica do grão de quartzo. Os parâmetros relacionados à microtopografia do solo (*relief* e *spacing*) foram assumidos como sendo igual a 2,0 mm e 0,3 m para as duas sub-bacias.

A partir das visitas em campo e de trabalhos anteriores (ARAGÃO, 2006) o coeficiente de rugosidade de Manning, n , foi fixado em 0,02 para planos e 0,03 para canais. Vale salientar que este é um parâmetro que influencia mais a forma do hidrograma simulado do que o volume escoado, e como neste estudo, procurou-se simular as lâminas totais escoadas, os valores de n estão adequados para as condições das sub-bacias, e, portanto, não foi considerada necessária a sua verificação.

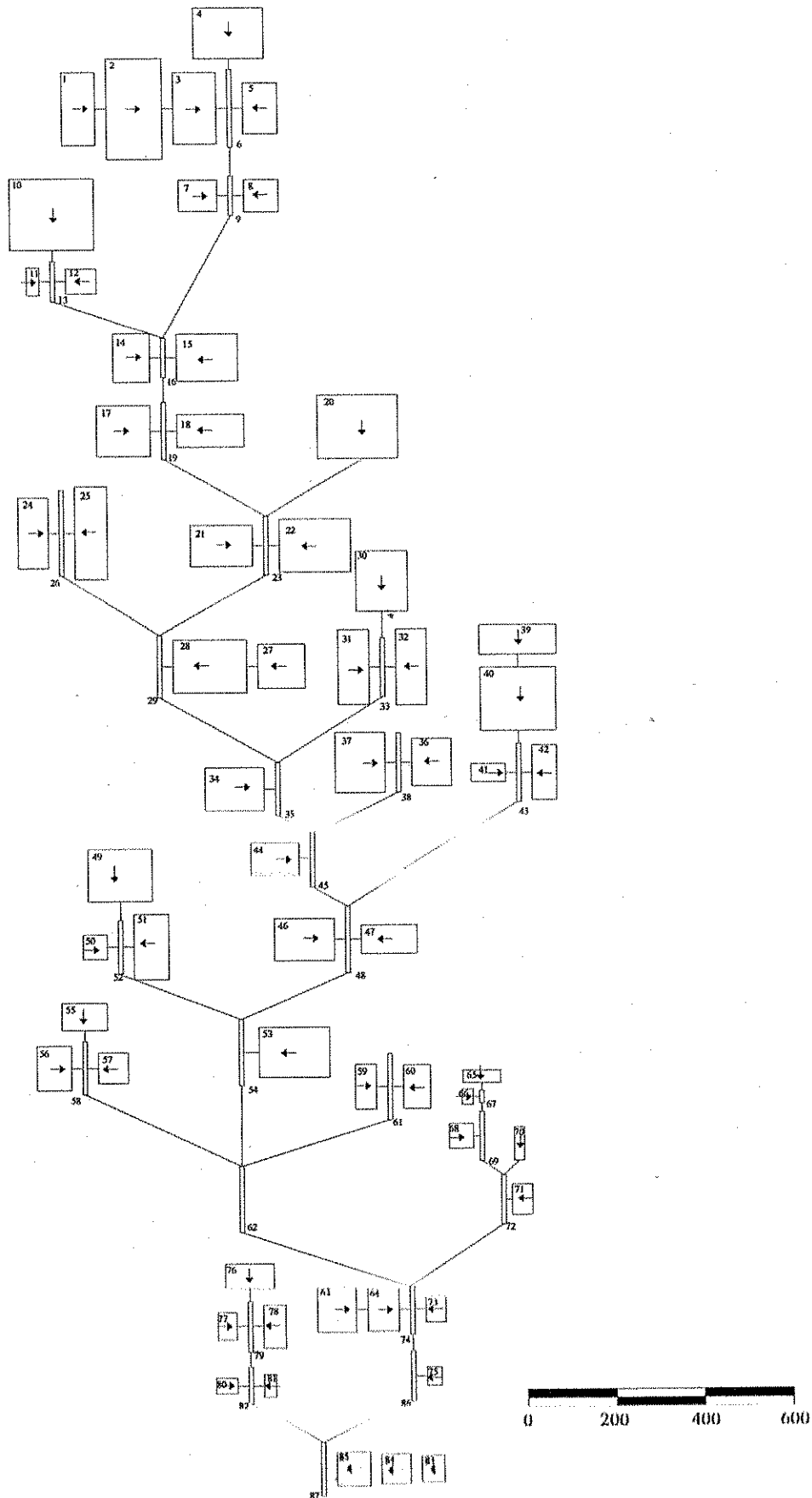


Figura 5.2 – Discretização 1 da sub-bacia 1 em planos e canais com 87 elementos

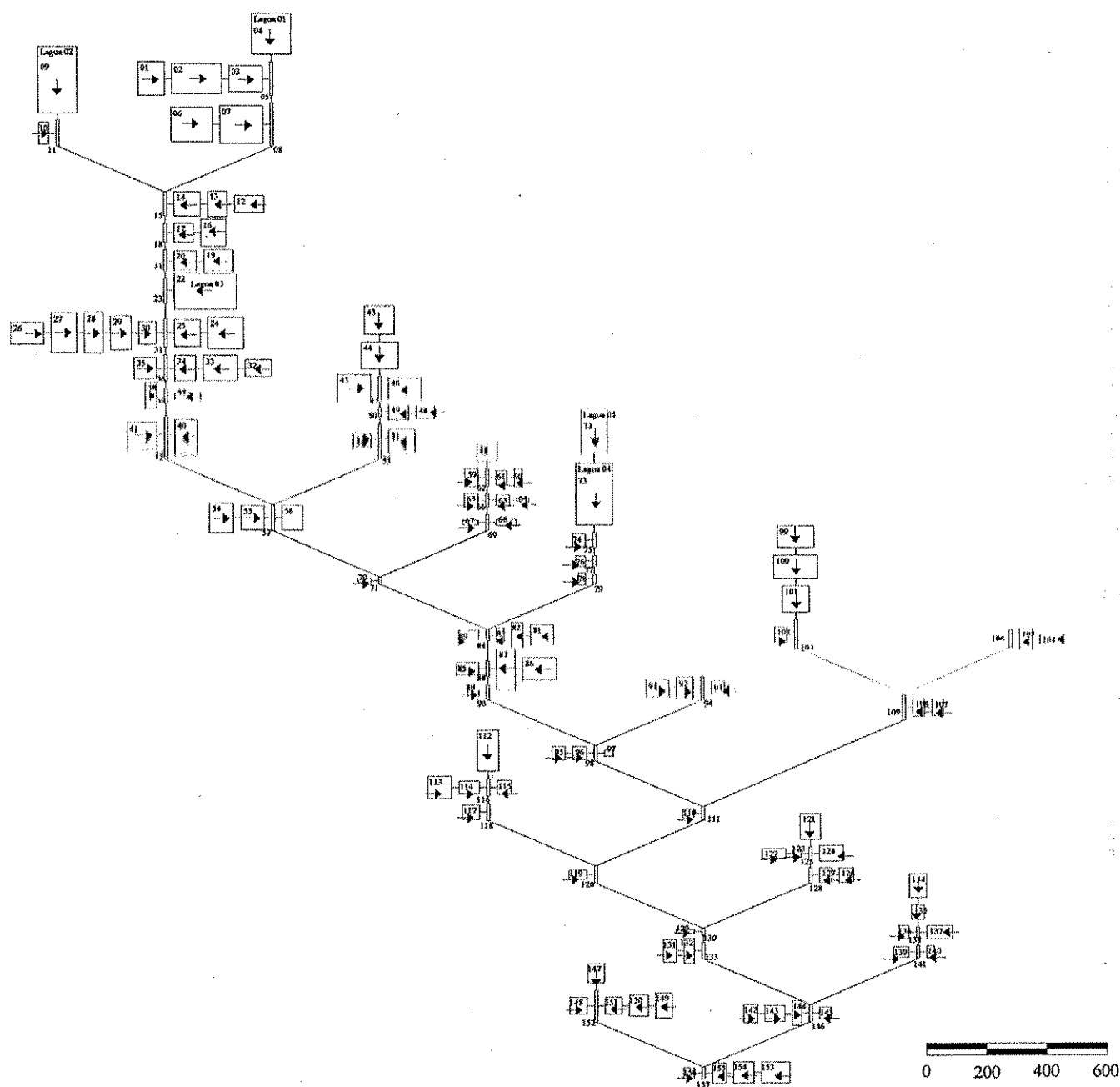


Figura 5.3 – Discretização 2 da sub-bacia 1 em planos e canais com 157 elementos

A partir de várias amostras de solo coletadas, foi possível determinar a composição granulométrica (ARAGÃO, 2006) e a textura do solo foi identificada como do tipo franco arenoso argiloso. O diâmetro médio (d_{50}) utilizado nesse trabalho conforme as amostras foram de 0,50 mm. De acordo com estes dados e baseado no trabalho de Rawls *et al.* (1982), os parâmetros G , K_s , ϕ foram atribuídos, inicialmente, com os seguintes valores: $K_s = 3,65$ mm/h; $G = 263$ mm e $\phi = 0,398$. Segundo Rawls *et al.* (1982) o valor máximo para a saturação inicial, S_i , para este tipo de solo poderia ser igual a 0,83 e o valor mínimo 0,17, porém

procurou-se testar os limites máximos e mínimos de S_i através da calibração, existindo casos onde estes limites foram ultrapassados.

Os valores recomendados por Rawls et al. (1982) são apenas indicações baseadas no tipo do solo e não necessariamente correspondem às características do solo da BESJC. Uma vez que os valores de K_s e G influenciam bastante a resposta do modelo, foi efetuada uma análise de sensibilidade para determinar os limites práticos destes parâmetros e, por consequência, os valores mais adequados para a região da BESJC. Para tanto foram utilizados os dados de escoamento superficial das parcelas de erosão de 100 m² (P1 e P2) do trabalho de Paiva (2008) onde inicialmente, os valores de $K_s = 3,65$ mm/h e $G = 263$ mm foram admitidos e a saturação inicial relativa do solo, S_i , cujo valor é dado por θ_i/ϕ , onde θ_i é a umidade inicial relativa do solo e ϕ é a porosidade do solo. O parâmetro S_i foi calibrado evento a evento pelo método da tentativa e erro, procurando igualar o valor simulado de lâmina ao valor observado. Posteriormente, utilizando o valor médio de S_i , o valor de K_s foi ajustado evento a evento. Este procedimento foi repetido para outros valores de G próximo ao valor admitido, para em fim, obter as melhores estimativas dos parâmetros de K_s e G que foram fixados em $K_s = 4$ mm/h e $G = 330$ mm que são bem próximos aos valores encontrados por Lopes (2003) na bacia experimental de Sumé.

Os valores dos parâmetros G e K_s foram obtidos como explicado acima e mantidos nas duas discretizações e o escoamento superficial pôde ser ajustado ao valor observado através do parâmetro de saturação inicial.

O parâmetro de saturação S_i foi calibrado evento a evento pelo método de tentativa e erro, procurando igualar o valor calculado de lâmina ao valor observado, para as duas discretizações da sub-bacia 1. Foi considerado um evento calibrado, quando a relação entre o valor calculado e o valor observado, não ultrapassasse a metade ou duas vezes o valor observado, ou seja, a faixa de variação é 0,5 ou 2,0 vezes o valor observado. Essa faixa de variação foi levada em consideração em todas as unidades analisadas.

Foram utilizados 98 eventos para calibração do escoamento superficial da sub-bacia 1 e apenas 22 desses eventos possuem dados de produção de sedimentos observados. Foi possível calibrar o escoamento superficial em 66 eventos. A Tabela 5.1 apresenta as estatísticas da razão (L_c / L_o) na calibração.

Tabela 5.1 – Análise estatística da razão entre a lâmina calculada e observada para os eventos de calibração do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 1.

Estatística Lâmina	<i>Lc/Lo</i>	
	Discretização 1	Discretização 2
Média	1,009	1,004
Mediana	0,999	1,000
Desvio padrão	0,113	0,140
Mínimo	0,746	0,285
Máximo	1,483	1,473
Total	66	66

As Figuras 5.4 e 5.5, a seguir, apresentam os valores do parâmetro S_i para a calibração da sub-bacia 1 para as duas discretizações. A Tabela A3 em Anexo apresenta o valor de saturação para as duas discretizações.

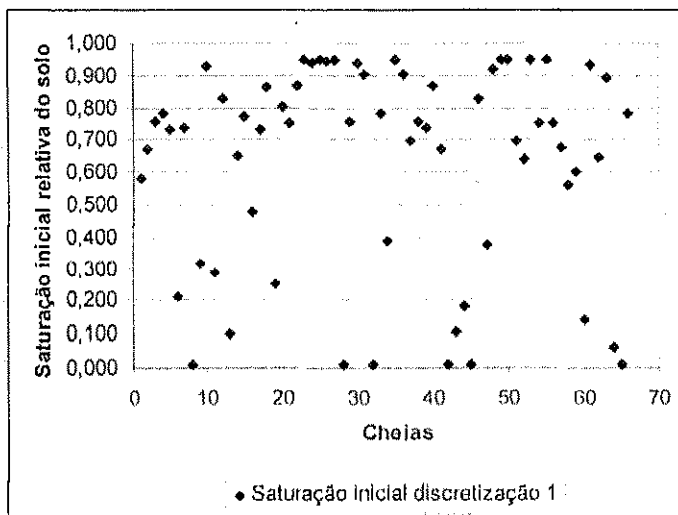


Figura 5.4 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)

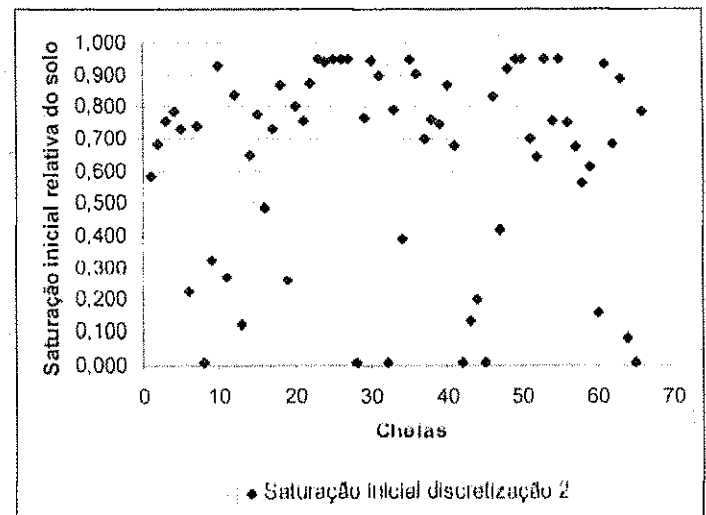


Figura 5.5 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)

As Figuras 5.6 e 5.7, a seguir, apresentam a correlação entre os valores da lâmina calculada e os valores da lâmina observada.

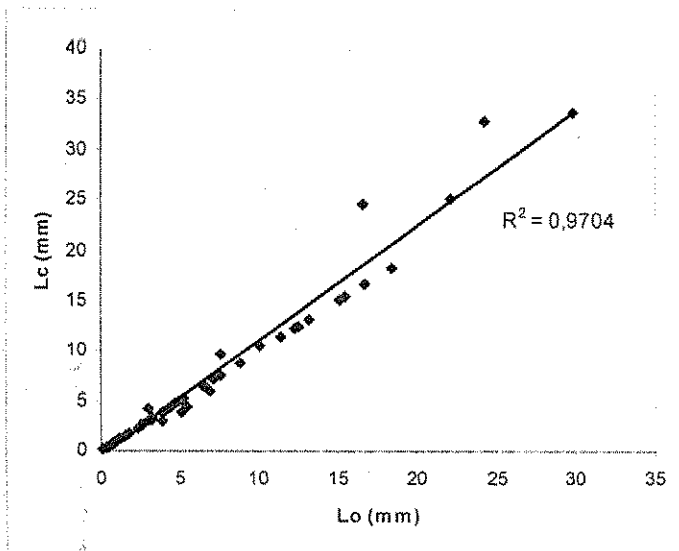


Figura 5.6 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)

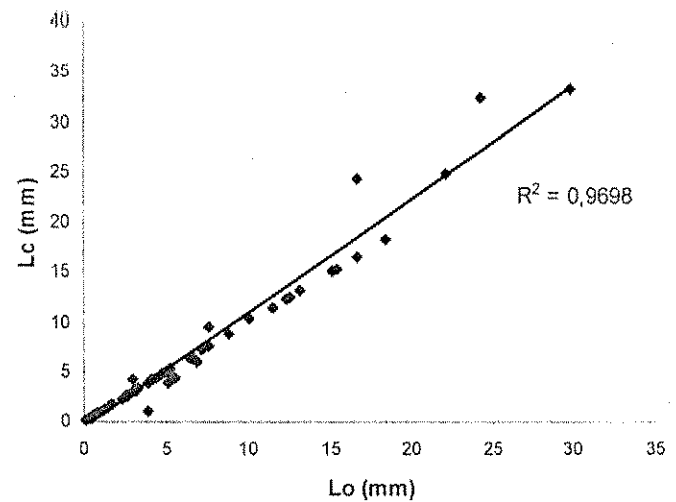


Figura 5.7 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)

Para a calibração dos parâmetros de erosão c_f e c_o para os planos e para canais, foi realizado a calibração utilizando para este fim, apenas os eventos com dados de produção de sedimentos observados, ou seja 22 eventos, para as duas discretizações (87 elementos e 157 elementos).

Segundo Leprun (1981), as chuvas na região do semi-árido nordestino são de curta duração, mas medianamente intensa, o que é fato comum para outras regiões semi-áridas (LOPES e CANFIELD, 2004). Sendo assim, o agente desagregador seria o impacto de gotas de chuvas já que o escoamento superficial nas vertentes é muito raso e não possui energia suficiente para desagregar grandes cargas de material, servindo somente para o transporte do material desagregado pela chuva. Lopes (2003) mostrou que a erosão causada pelo fluxo superficial tinha um efeito secundário, se comparado ao efeito da erosão por impacto. Isto foi refletido nos valores dos parâmetros calibrados por ele, nas micro-bacias de Sumé, sendo o parâmetro c_o fixado em 0,01 e o c_f calibrado evento a evento. Contudo, Aragão *et al.* (2006), após análise de sensibilidade destes parâmetros para a sub-bacia 1, mostrou que quando a escala cresce, a influência do parâmetro c_o , ou erosão pelo fluxo superficial, aumenta e o parâmetro de impacto da chuva c_f passa a ser menos sensível. No trabalho de Aragão *et al.* (2006) c_f variou de 1 até 1×10^6 sem exercer influência significativa no cálculo de sedimento produzido pelo modelo. Sendo assim, o valor de c_f foi fixado em 1,0 e o valor de c_o calibrado.

Deve-se lembrar que o parâmetro c_o representa uma propriedade física do solo e, portanto, não deve ser alvo de calibração. Entretanto, como esta propriedade varia muito

dentro da bacia, a calibração deste parâmetro utilizando dados de erosão é o melhor caminho para estimar seu valor. Como os sedimentos transportados pelo fluxo para os canais seriam praticamente livres de material coesivo, o valor deste parâmetro seria bem menor em canais do que nos planos. Desta forma, procurou-se determinar o valor de c_o (planos) e de c_o (canais) que levasse o modelo a calcular um valor de produção de sedimento o mais próximo dos valores observados.

O parâmetro c_o foi calibrado evento para evento, e 16 eventos de um total de 22, nos quais a produção de sedimentos tinha sido medida. Foi possível obter resultados dentro da faixa de variação estabelecida para as duas discretizações. A Tabela 5.2 apresenta a estatística da razão (E_c / E_o) para a erosão na calibração.

Tabela 5.2 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada para os eventos de calibração do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 1.

Estatística Erosão	E_c/E_o	
	Discretização 1	Discretização 2
Média	1,021	1,028
Mediana	1,003	1,004
Desvio padrão	0,096	0,108
Mínimo	0,910	0,924
Máximo	1,362	1,417
Total	16	16

Após a calibração do parâmetro c_o , o valor médio deste parâmetro de erosão calibrado nos 16 eventos, para a discretização 1, é de 0,00001445, e para a discretização 2 é de 0,00005009.

Como já foi mencionado, o agente desagregador das partículas do solo seria o impacto de gotas de chuvas que logicamente tem mais influencia nos planos das sub-bacias do que nos canais. Dessa forma, com o valor de c_o méd já estabelecido através da calibração, foi necessário atribuir um valor de c_o para planos e canais, cujos valores fornecessem melhores estimativas na produção de sedimento. Para isso, várias calibrações foram realizadas atribuindo-se pesos ao valor de c_o méd. Esses pesos eram escolhidos aleatoriamente, porém, nos planos os valores utilizados sempre maior que nos canais. A escolha do valor mais adequado seria o que fornecesse o maior número de eventos calibrados. Os valores encontrados são: Planos = $1,2 \times c_{omed}$ (0.00001734) e Canais = $0,4 \times c_{omed}$ (0.00000578).

As Figuras 5.8 e 5.9 apresentam a correlação entre os valores de erosão calculados e os valores de erosão observados na calibração. Os resultados obtidos para a calibração da

saturação S_i e do parâmetro c_o para a sub-bacia 1 através das duas discretizações estão apresentados na Tabela A3 em Anexo.

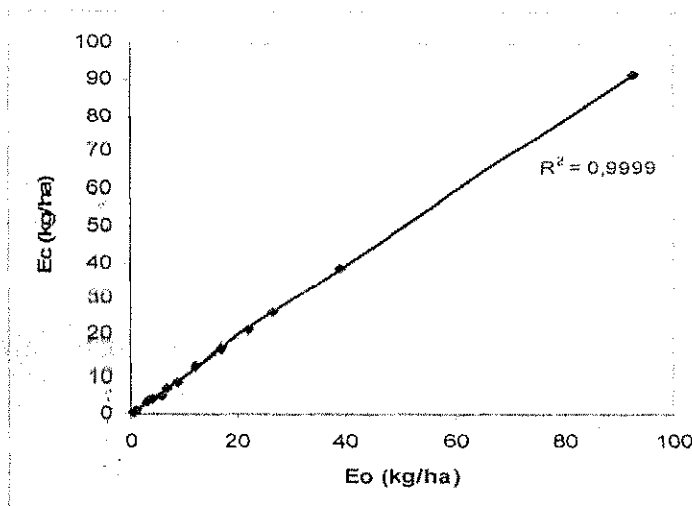


Figura 5.8 – Correlação entre os valores de erosão observada e erosão calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)

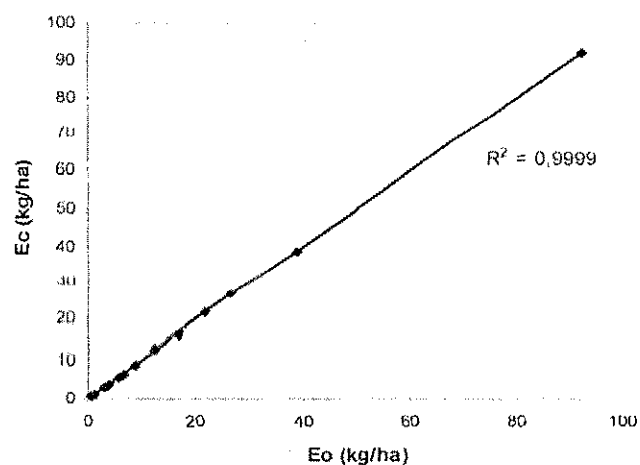


Figura 5.9 – Correlação entre os valores de erosão observada e erosão calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)

Após a obtenção dos valores médios dos parâmetros c_o para planos e para canais, foi possível realizar a simulação para as duas discretizações. Foram utilizados apenas os eventos que haviam sido calibrados. Também foram simulados os valores da produção de sedimentos nos eventos que não possuíam dados de erosão observados. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela A4 em Anexo. As Figuras 5.10 e 5.11 apresentam a correlação entre os valores de erosão calculada e erosão observada para a simulação.

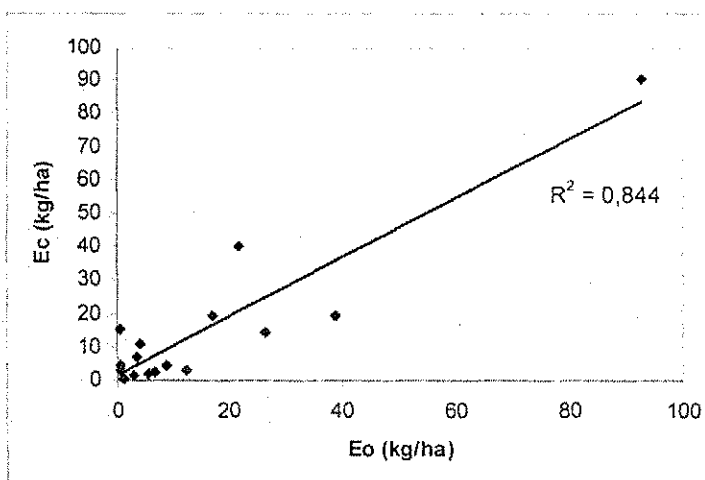


Figura 5.10 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 1 na simulação (discretização 1) com os valores médios de parâmetros.

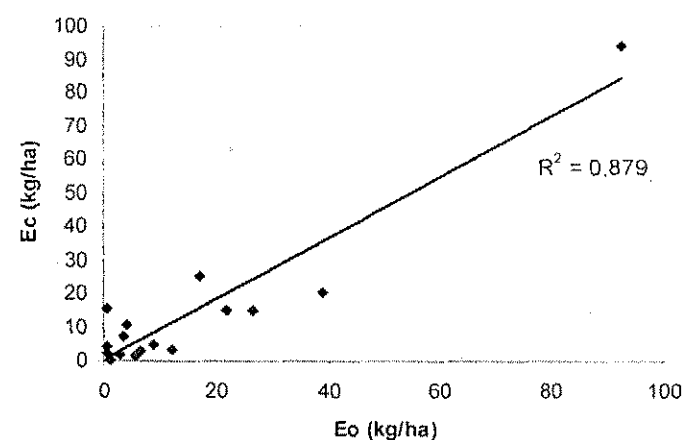


Figura 5.11 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 1 na simulação (discretização 2) com os valores médios de parâmetros.

A Figura 5.12 apresenta a produção de sedimentos simulados com as duas discretizações da sub-bacia 1, usando os valores médios obtidos dos parâmetros S_i e c_o .

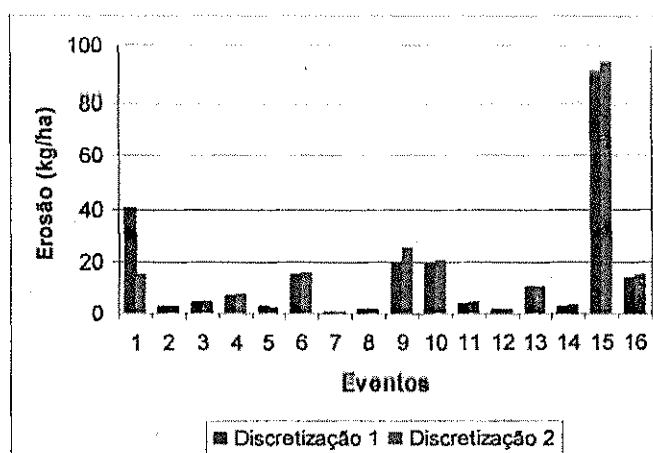


Figura 5.12 – Produção de sedimentos nas duas discretizações através da simulação da sub-bacia 1 com S_i méd e c_o méd.

A Tabela 5.3 apresenta a produção anual simulada de sedimento para as duas discretizações e a Figura 5.13 apresenta o gráfico comparativo.

Tabela 5.3 – Produção de sedimento anual na simulação – KINEROS2

ANO	EROSÃO ANUAL (kg/ha)	
	Discretização 1 87 elementos	Discretização 2 157 elementos
1987	65,083	69,017
1988	193,259	204,905
1989	116,833	122,175
1990	15,014	15,854
1991	92,194	96,511
1992	161,761	169,605
1994	14,718	15,742
1995	122,993	131,358
1996	137,106	143,207
2001	13,826	15,125
2004	72,440	48,000
2005	45,292	53,018
2006	120,246	124,509

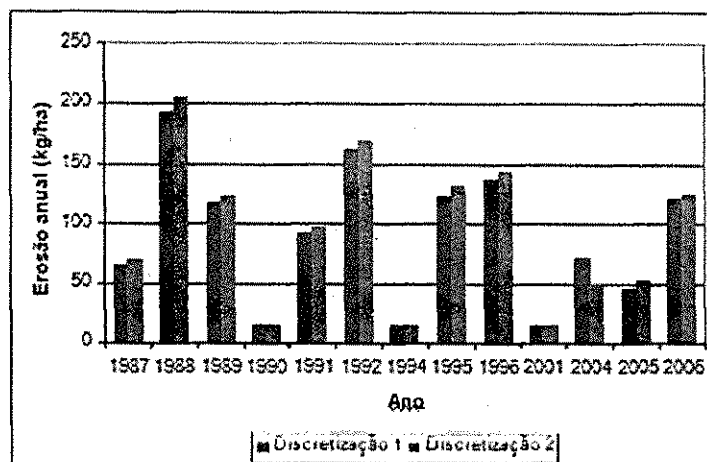


Figura 5.13 – Simulação da sub-bacia 1 usando os valores médios de S_i e c_o .

A Tabela 5.4 apresenta o total de eventos simulados com as relações entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão para as duas discretizações com classes de variação. Essas classes de variação foram escolhidas aleatoriamente e, quanto mais próxima do valor 1, mais proximidade houve entre os valores observados e calculados.

Tabela 5.4 - Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão nas duas discretizações com classes de variação para a sub-bacia 1 – KINEROS2.

Variação	Discretização 1				Discretização 2			
	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%
0,00 - 0,20	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,21 - 0,40	0	0,00	2	12,50	0	0,00	2	12,50
0,41 - 0,60	0	0,00	6	37,50	0	0,00	6	37,50
0,61 - 0,80	1	1,54	0	0,00	1	1,54	1	6,25
0,81 - 1,00	44	67,69	1	6,25	32	49,23	0	0,00
1,01 - 1,20	16	24,62	1	6,25	28	43,08	1	6,25
1,21 - 1,40	3	4,62	0	0,00	3	4,62	0	0,00
1,41 - 1,60	1	1,54	0	0,00	1	1,54	1	6,25
1,61 acima	0	0,00	6	37,50	0	0,00	5	31,25
Total	65		16		65		16	

5.1.2- Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 2

Inicialmente, a sub-bacia 2 (0,32km²) foi discretizada em quatro diferentes configurações: Discretização 1 (54 elementos – 37 planos e 17 canais), Discretização 2 (110 elementos – 74 planos e 36 canais), Discretização 3 (173 elementos – 131 planos e 42 canais)

e a Discretização 4 (227 elementos – 164 planos e 63 canais). A Figura 5.14 apresenta as discretizações e as Figuras 5.15, 5.16, 5.17 e 5.18, apresentam os esquemas das discretizações da Figura 5.14. As discretizações foram realizadas a partir do levantamento topográfico realizado, respeitando a rede de drenagem, levando em consideração cada mudança de declividade. As Tabelas A5, A6, A7 e A8, em Anexo, apresentam as características de cada elemento das quatro discretizações.

O mesmo procedimento adotado para calibração na sub-bacia 1, com relação ao escoamento superficial, foi adotado na sub-bacia 2. O parâmetro de saturação S_i foi calibrado evento a evento pelo método de tentativa e erro, procurando igualar o valor calculado de lâmina ao valor observado, para as quatro discretizações da sub-bacia 2.

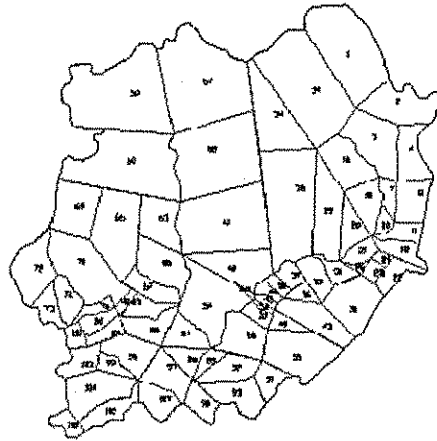
Foram utilizados 91 eventos para calibração na sub-bacia 2, sendo que apenas 22 desses eventos possuem dados de produção de sedimentos. Nesta etapa, apenas 57 eventos foram capazes de serem calibrados satisfatoriamente em relação à lâmina escoada. A Tabela 5.5 apresenta as estatísticas da razão (L_c / L_o) na calibração.

Tabela 5.5 – Análise estatística da razão entre a lâmina calculada e observada para os eventos de calibração do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 2.

Estatística lâmina	L_c/L_o			
	Discretização 1	Discretização 2	Discretização 3	Discretização 4
Média	1,006	1,020	1,014	1,021
Mediana	0,999	1,000	1,001	1,001
Desvio padrão	0,075	0,078	0,072	0,089
Mínimo	0,792	0,923	0,868	0,880
Máximo	1,395	1,422	1,417	1,420
Total	57	57	57	57



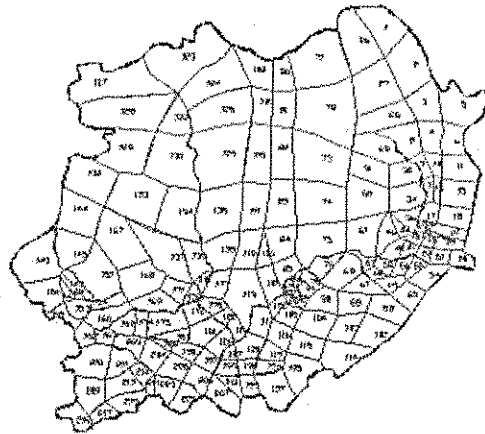
Discretização 1 – 54 elementos



Discretização 2 – 109 elementos



Discretização 3 – 173 elementos



Discretização 4 – 227 elementos

Figura 5.14 – Discretização da sub-bacia 2 em quatro diferentes configurações

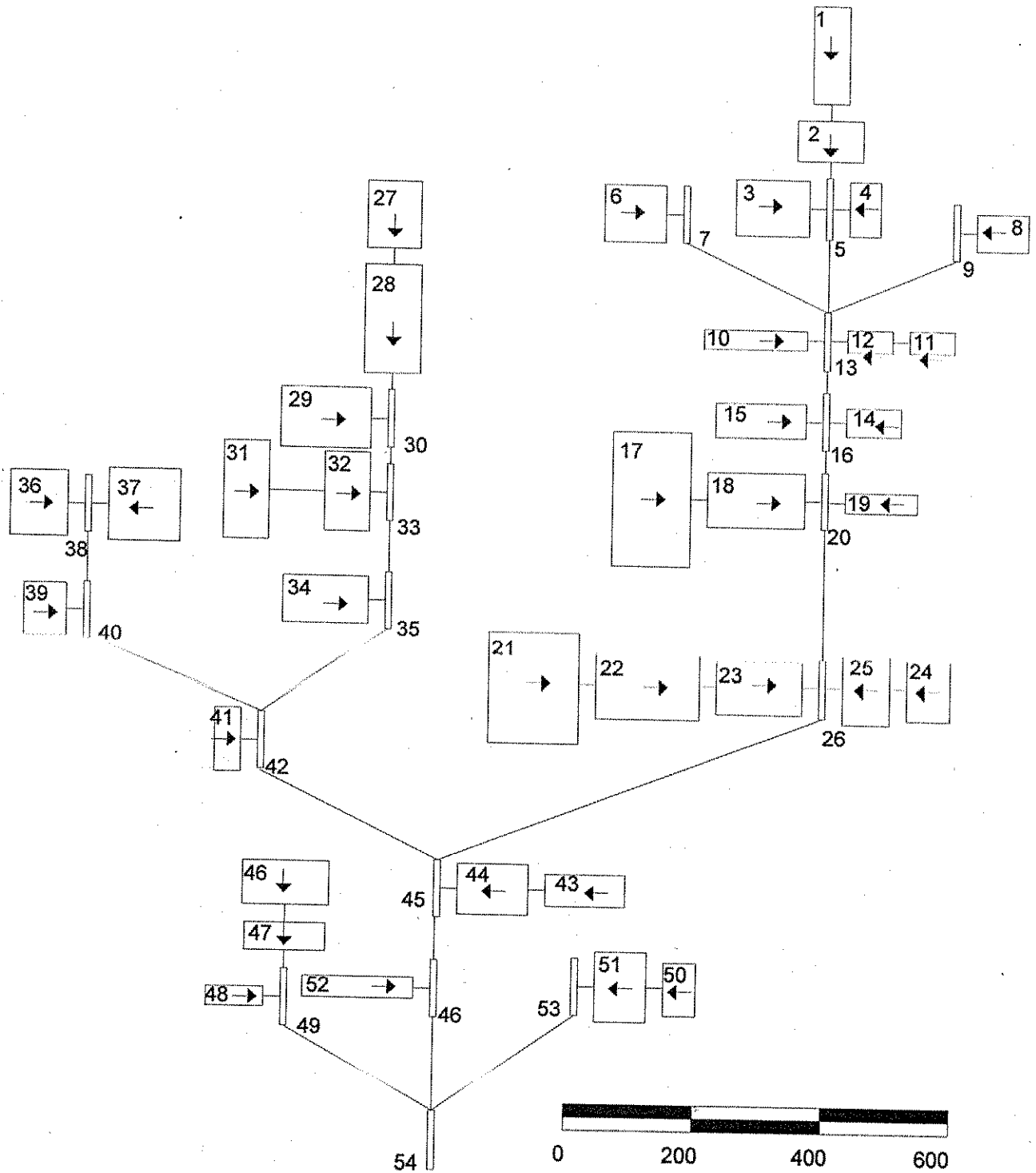


Figura 5.15 – Discretização 1 da sub-bacia 2 em planos e canais com 54 elementos

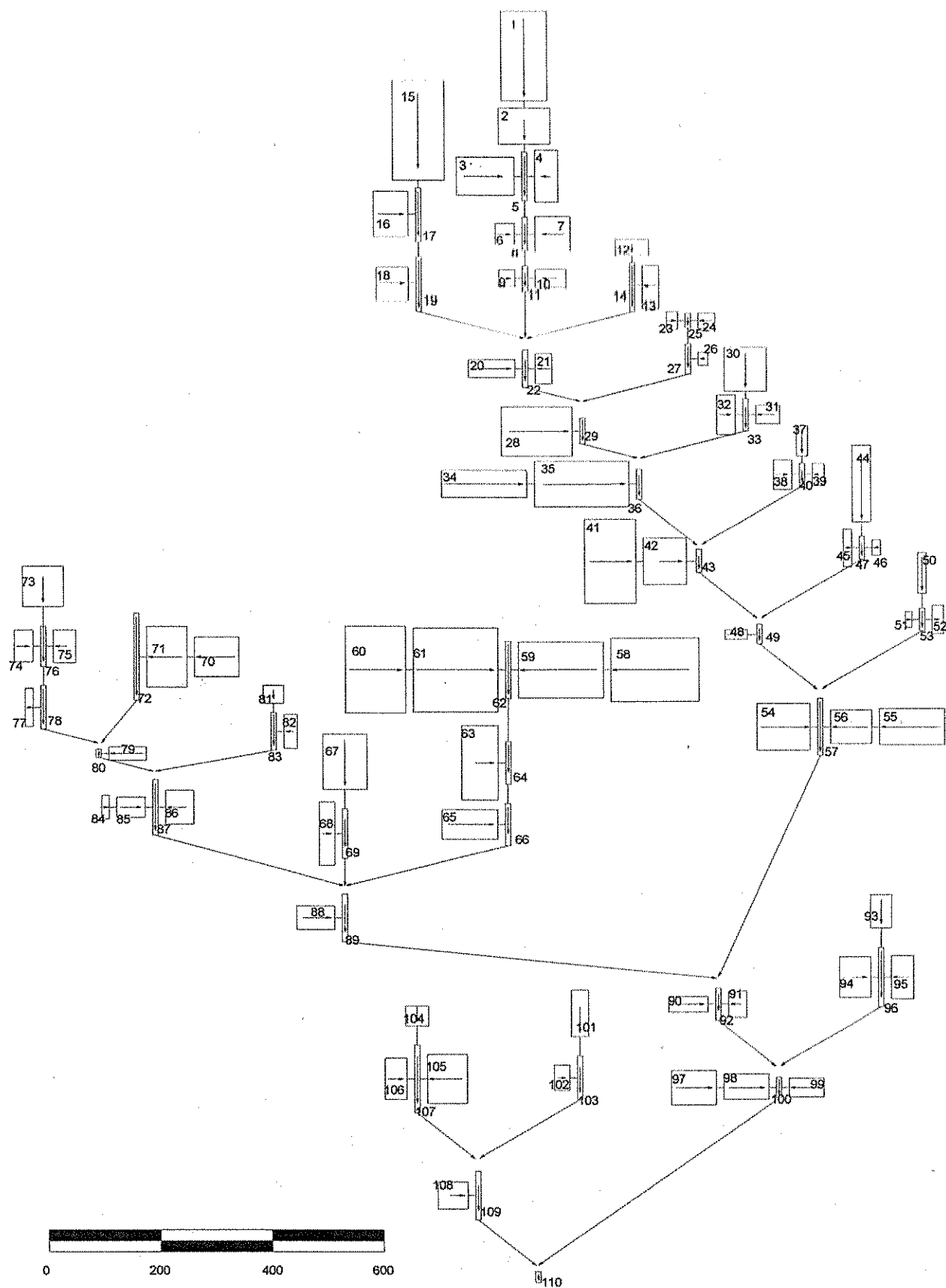


Figura 5.16 – Discretização 2 da sub-bacia 2 em planos e canais com 110 elementos

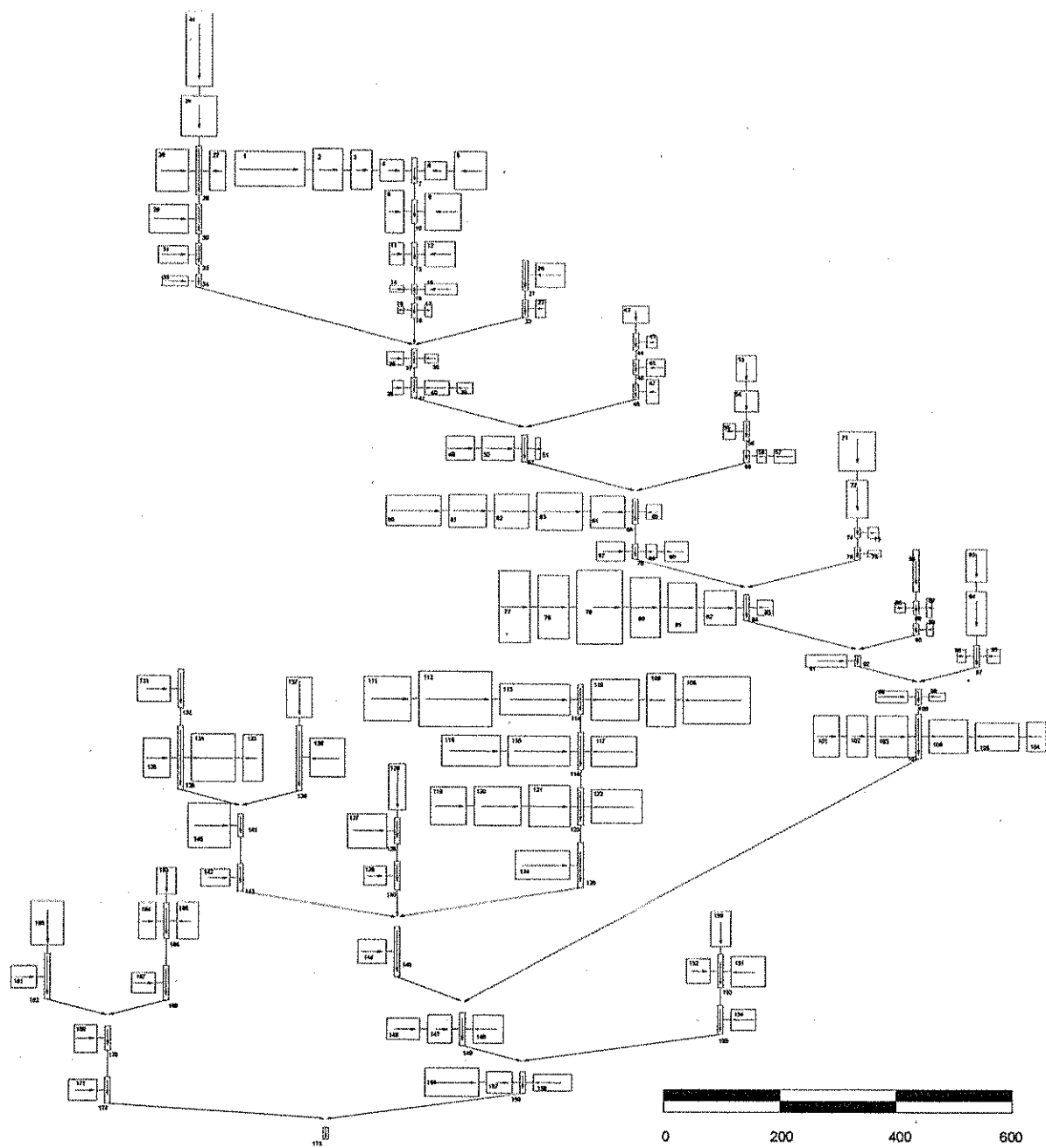


Figura 5.17 – Discretização 3 da sub-bacia 2 em planos e canais com 173 elementos

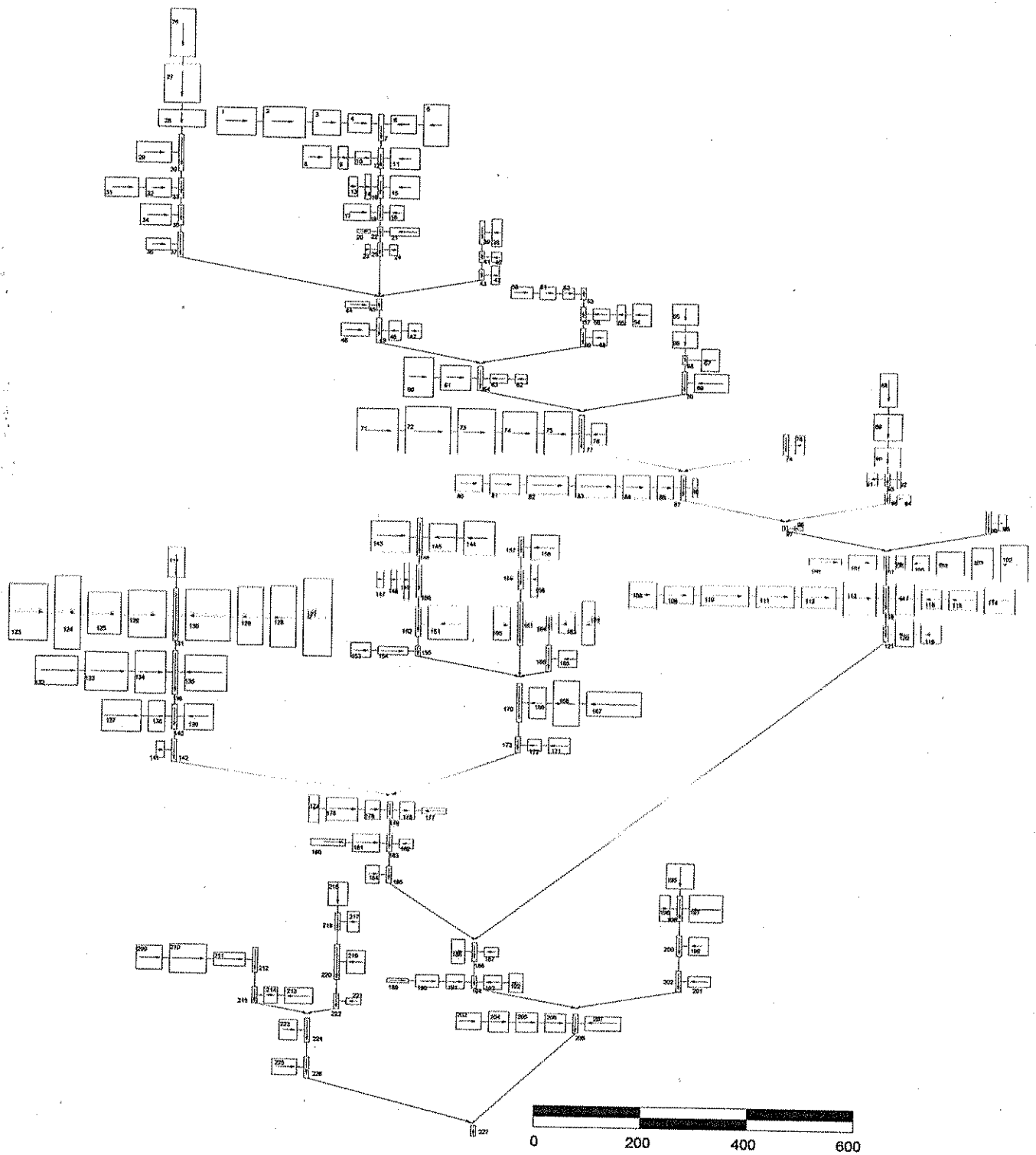


Figura 5.18 – Discretização 4 da sub-bacia 2 em planos e canais com 227 elementos

As Figuras 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22 apresentam os valores do parâmetro S_i calibrados na sub-bacia 2 para as quatro discretizações. As Tabelas A9 e A10, em Anexo, apresentam o valor de saturação para as quatro discretizações.

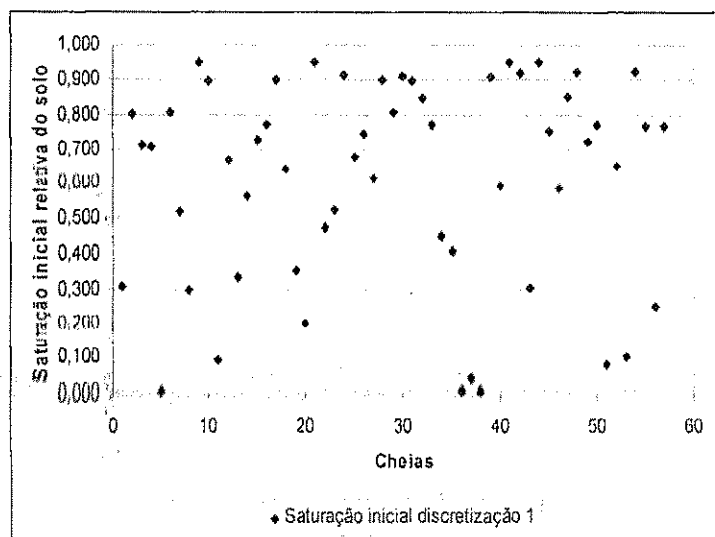


Figura 5.19 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 1)

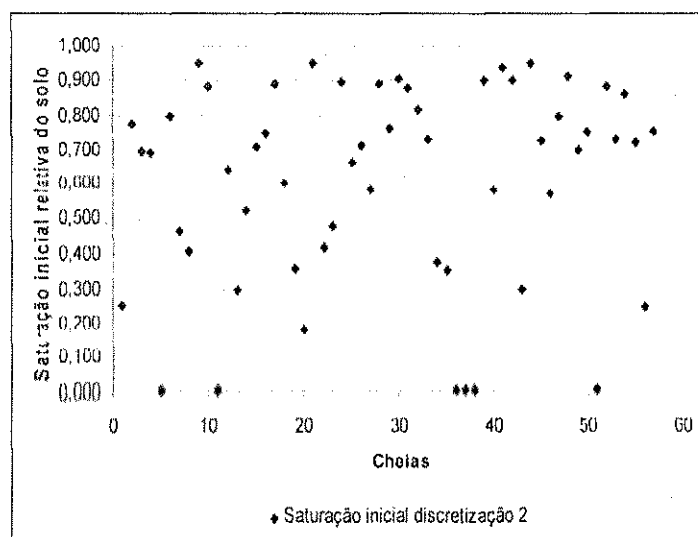


Figura 5.20 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 2)

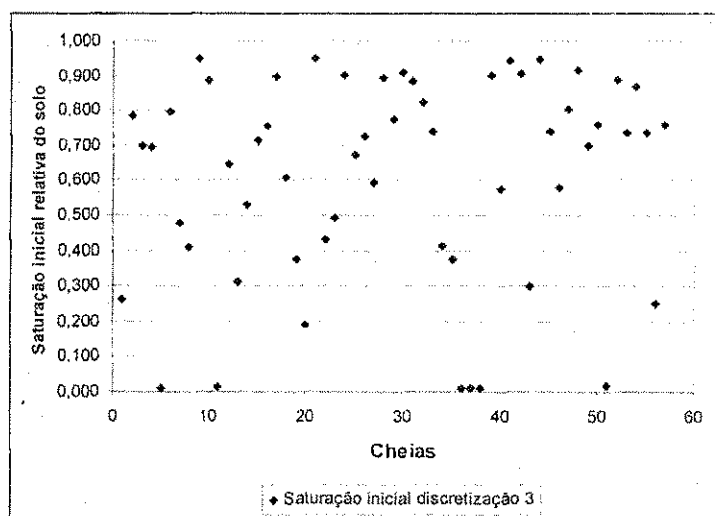


Figura 5.21 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 3)

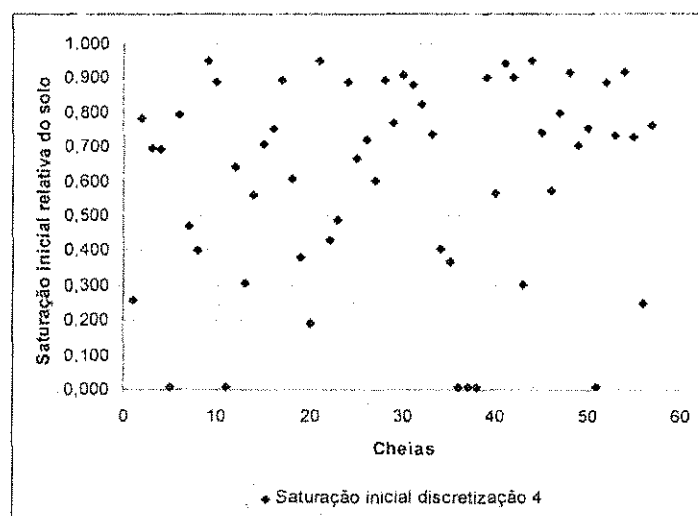


Figura 5.22 – Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 4)

As Figuras 5.23, 5.24, 5.25 e 5.26 apresentam a correlação entre os valores de lâmina calculados e os valores de lâmina observados.

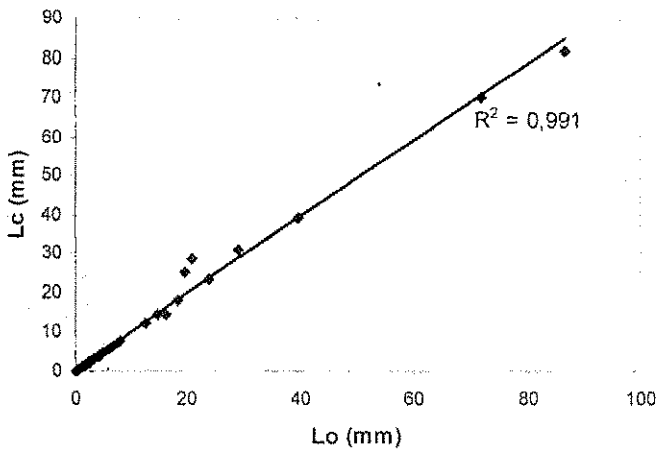


Figura 5.23 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 1)

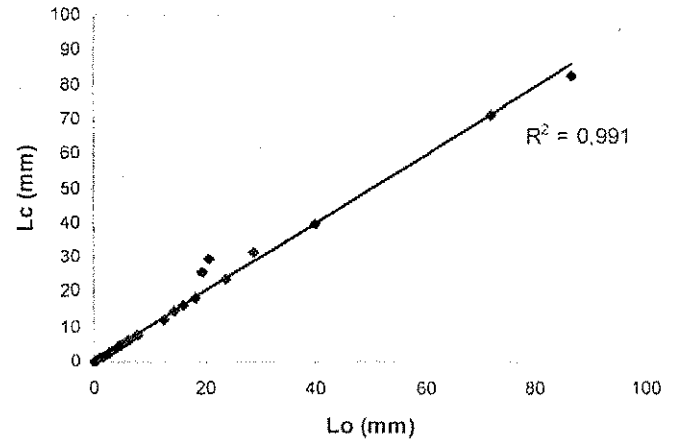


Figura 5.24 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 2)

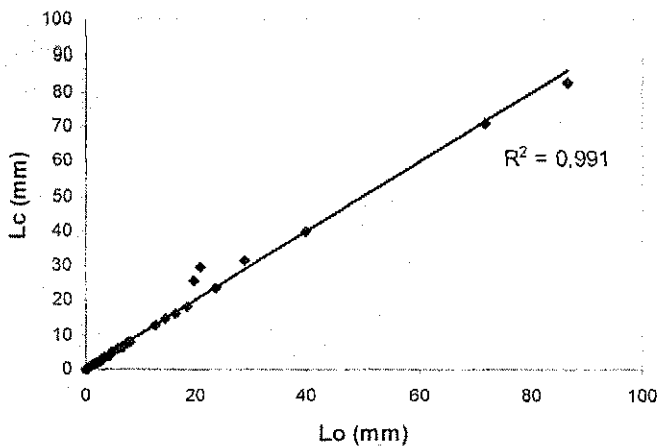


Figura 5.25 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 3)

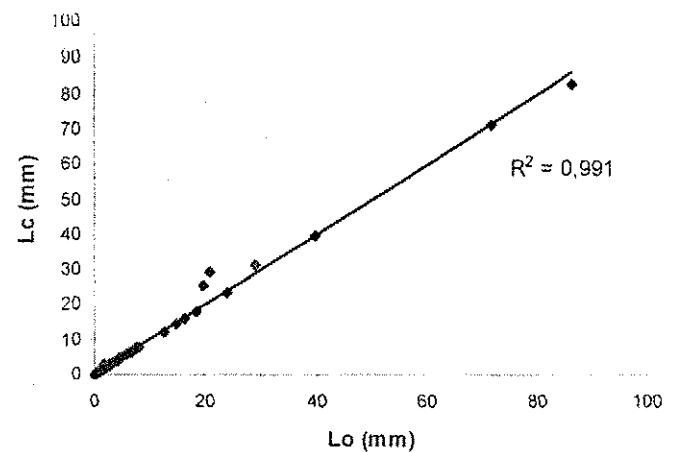


Figura 5.26 – Correlação entre os valores de lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 4)

Para a calibração dos parâmetros de erosão c_f e c_b para os planos e canais, foi realizado a calibração utilizando, para este fim, apenas os eventos com dados da produção volumétrica de sedimentos, ou seja, os 22 eventos, para as quatro discretizações (54 elementos, 110 elementos, 173 elementos e 227 elementos).

O parâmetro c_o foi calibrado evento a evento, e em apenas 15 eventos de um total de 22, nos quais a produção de sedimentos tinha sido medida, foi possível obter resultados dentro da faixa de variação estabelecida para as duas discretizações. A Tabela 5.6 apresenta a estatística da razão (E_c / E_o) para a erosão na calibração.

Tabela 5.6 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada para os eventos de calibração do modelo KINEROS2 para a sub-bacia 2.

Estatística erosão	E_c/E_o			
	Discretização 1	Discretização 2	Discretização 3	Discretização 4
Média	1,001	1,019	1,015	1,029
Mediana	1,008	1,002	1,008	1,001
Desvio padrão	0,042	0,077	0,055	0,126
Mínimo	0,895	0,958	0,946	0,930
Máximo	1,072	1,293	1,199	1,474
Total	15	15	15	15

Após a calibração do parâmetro c_o , o valor médio deste parâmetro de erosão calibrado nos 16 eventos, para a discretização 1, é de 0,00000951, para a discretização 2 é de 0,00001300, para a discretização 3 é de 0,00001300 e para a discretização 4 é de 0,00001900.

Da mesma forma da sub-bacia 1, atribuiu-se pesos ao parâmetro $c_{oméd}$ para planos e canais obtidos, apenas na discretização 1 da sub-bacia 2 (54 elementos) e o valor encontrado para os planos e para os canais é de: Planos = $0,65 \times c_{oméd}$ (0.00000618) e Canais = $c_{omed} / 90$ (0.00000012).

As Figuras 5.27, 5.28, 5.29 e 5.30 apresentam a correlação entre os valores de erosão calculados e os valores de erosão observados na calibração. Os resultados obtidos para a calibração da saturação S_i e do parâmetro c_o para a sub-bacia 2 através das quatro discretizações estão apresentados na Tabela A9 e A10, em Anexo.

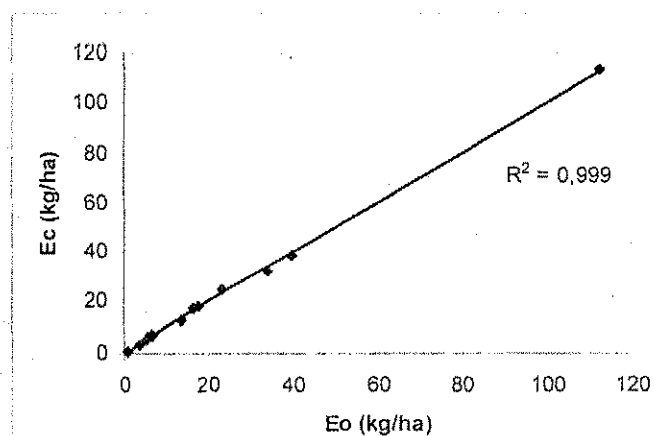


Figura 5.27 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 2 pela calibração eventual (discretização 1)

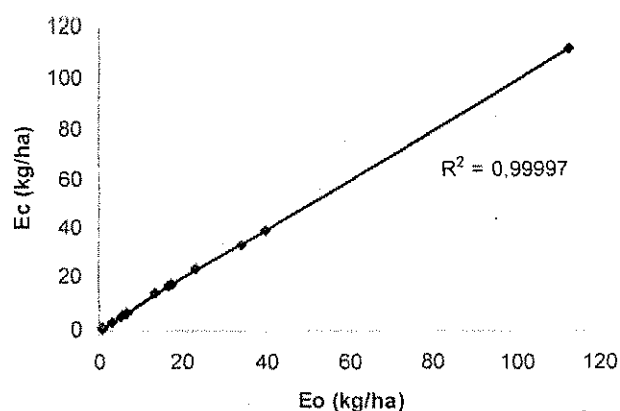


Figura 5.28 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 2 pela calibração eventual (discretização 2)

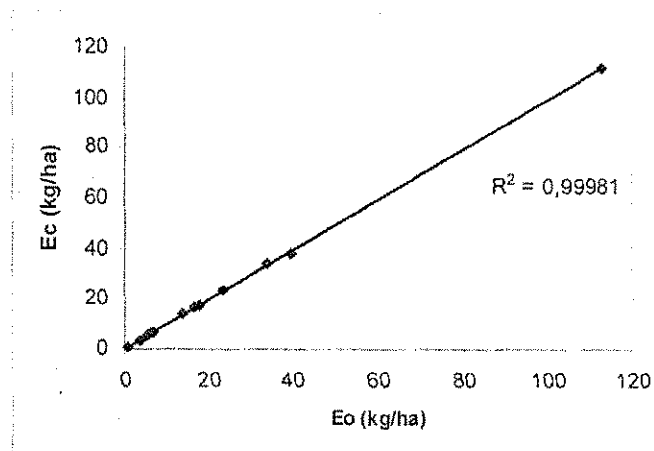


Figura 5.29 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 2 pela calibração eventual (discretização 3)

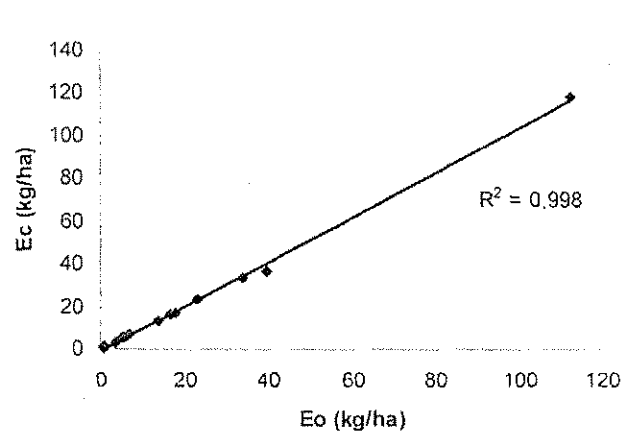


Figura 5.30 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada para a sub-bacia 2 pela calibração eventual (discretização 4)

Após a obtenção dos valores médios para planos e canais, foi realizada a simulação da erosão, fixando o valor médio obtido do parâmetro c_o na discretização 1 da sub-bacia 1 para os planos e canais nas quatro discretizações da sub-bacia 2. Foram utilizados apenas os eventos que haviam sido calibrados. Também foram simulados os eventos que não possuíam dados de erosão observados usando os valores médios de S_i e c_o . Os resultados obtidos encontram-se na Tabela A11 e A12 em Anexo. As Figuras 5.31, 5.32, 5.33 e 5.34 apresentam a correlação entre os valores de erosão calculada e erosão observada para a simulação na sub-bacia 2.

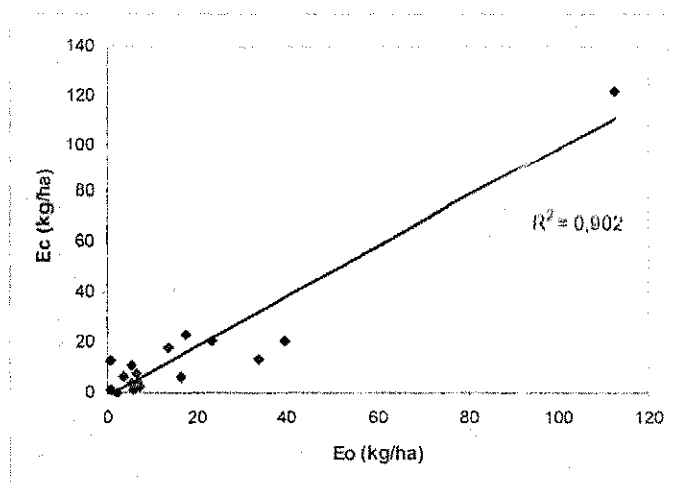


Figura 5.31 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o valor médio de c_o (discretização 1)

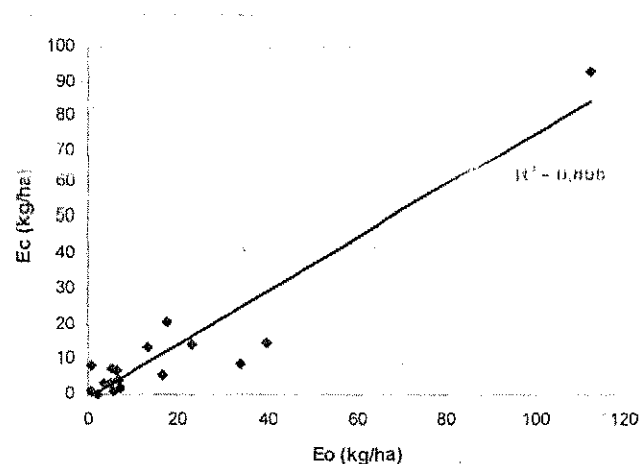


Figura 5.32 – Correlação entre os valores de erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o valor médio de c_o (discretização 2)

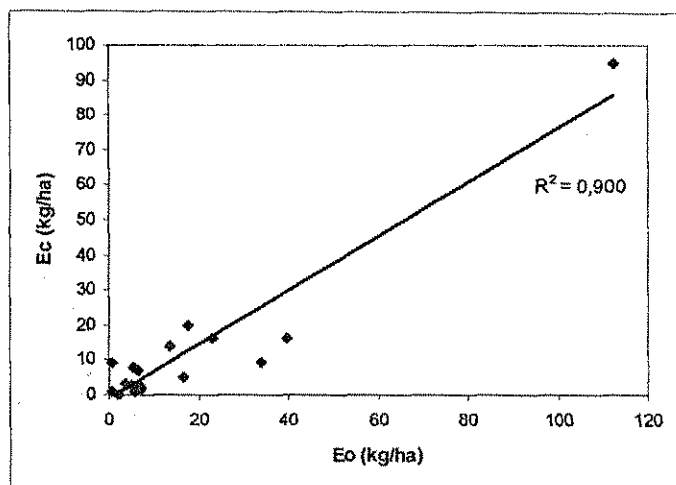


Figura 5.33 – Correlação entre os valores de erosão observada e erosão calculada na sub-bacia 2 com o valor médio de c_0 (discretização 3)

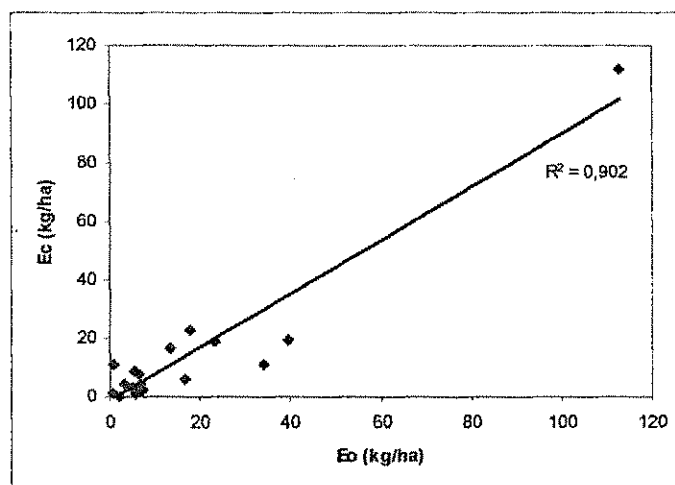


Figura 5.34 – Correlação entre os valores de erosão observada e erosão calculada na sub-bacia 2 com o valor médio de c_0 (discretização 4)

A Figura 5.35 apresenta a produção de sedimentos para as quatro discretizações da sub-bacia 2 com todos os eventos que possuíam dados de erosão observados.

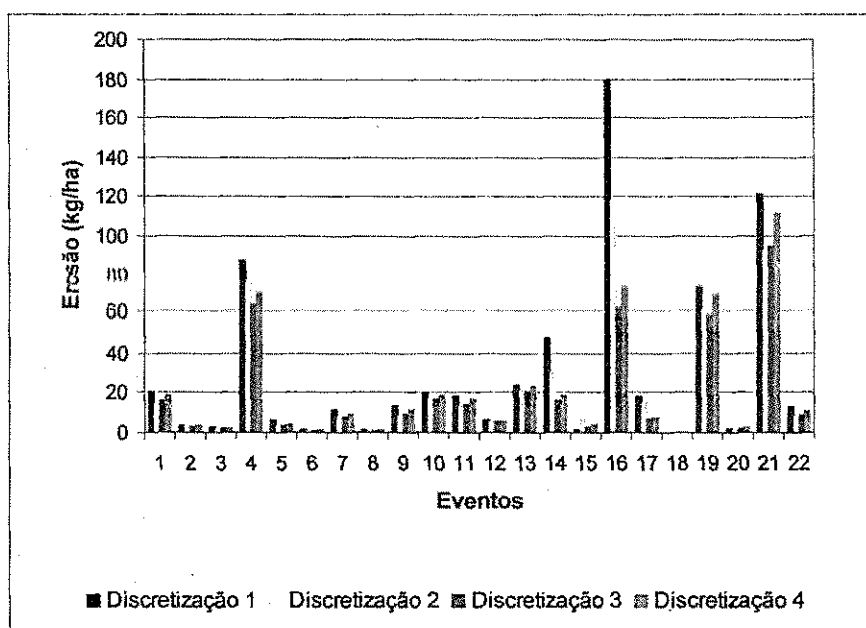


Figura 5.35 – Produção de sedimentos para as quatro discretizações através da simulação da sub-bacia 2

A Tabela 5.7 apresenta a produção anual de sedimentos para as quatro discretizações da sub-bacia 2 e a Figura 5.36 apresenta o gráfico comparativo.

Tabela 5.7 - Produção de sedimento anual na simulação – KINEROS2

ANO	EROSÃO ANUAL (kg/ha)			
	Discretização 01 54 Elementos	Discretização 02 110 Elementos	Discretização 03 173 Elementos	Discretização 04 227 Elementos
1987	41,104	28,744	30,392	35,976
1988	396,032	312,112	310,195	366,883
1989	47,674	39,634	39,353	44,295
1990	7,777	6,957	6,080	6,847
1991	5,314	3,823	4,136	4,879
1992	252,978	192,235	196,671	235,100
1994	56,257	27,967	22,855	26,564
1995	141,952	101,443	94,719	96,665
1996	132,111	103,749	105,451	120,916
2000	147,025	112,970	111,574	127,965
2004	59,809	40,778	43,308	51,393
2005	81,440	65,064	65,602	76,830
2006	135,018	101,600	103,973	123,289

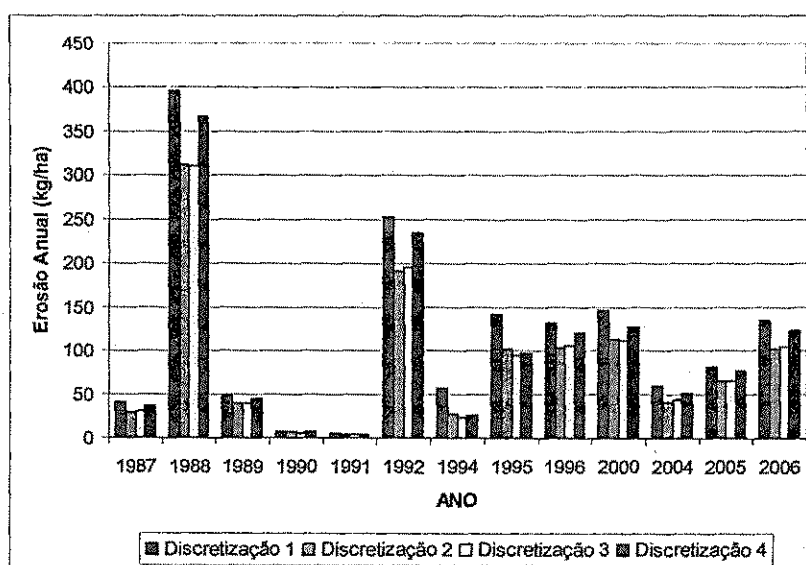


Figura 5.36 – Produção anual de sedimentos através da simulação sub-bacia 1

A Tabela 5.8 apresenta o total de eventos simulados para a sub-bacia 2 com as relações entre os valores observados e calculados de lâmina e erosão para classes de variação.

Tabela 5.8 – Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão nas quatro discretizações com classes de variação para a sub-bacia 2 – KINEROS2.

Variação	Discretização 1				Discretização 2			
	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%
0,00 - 0,20	0	0,00	1	6,67	0	0,00	1	6,67
0,21 - 0,40	0	0,00	2	13,33	0	0,00	3	20,00
0,41 - 0,60	0	0,00	1	6,67	0	0,00	1	6,67
0,61 - 0,80	1	1,75	2	13,33	0	0,00	2	13,33
0,81 - 1,00	29	50,88	1	6,67	30	52,63	3	20,00
1,01 - 1,20	25	43,86	1	6,67	24	42,11	2	13,33
1,21 - 1,40	2	3,51	3	20,00	2	3,51	2	13,33
1,41 - 1,60	0	0,00	0	0,00	1	1,75	0	0,00
1,61 acima	0	0,00	4	26,67	0	0,00	1	6,67
Total	57		15		57		15	
Variação	Discretização 3				Discretização 4			
	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%
0,00 - 0,20	0	0,00	1	6,67	0	0,00	1	6,67
0,21 - 0,40	0	0,00	2	13,33	0	0,00	2	13,33
0,41 - 0,60	0	0,00	3	20,00	0	0,00	1	6,67
0,61 - 0,80	0	0,00	1	6,67	0	0,00	2	13,33
0,81 - 1,00	25	43,86	1	6,67	33	57,89	2	13,33
1,01 - 1,20	30	52,63	5	33,33	22	38,60	0	0,00
1,21 - 1,40	1	1,75	0	0,00	1	1,75	4	26,67
1,41 - 1,60	1	1,75	1	6,67	1	1,75	1	6,67
1,61 acima	0	0,00	1	6,67	0	0,00	2	13,33
Total	57		15		57		15	

5.1.3 – Validação cruzada

- Sub-bacia 1

Após a simulação, foi realizada a validação cruzada na sub-bacia 2, com o valor médio do parâmetro c_o obtido na discretização 1 da sub-bacia 1. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela A13 em Anexo. As Figuras 5.37, 5.38, 5.39 e 5.40, apresentam a correlação entre a erosão calculada e observada nesta tentativa da validação cruzada.

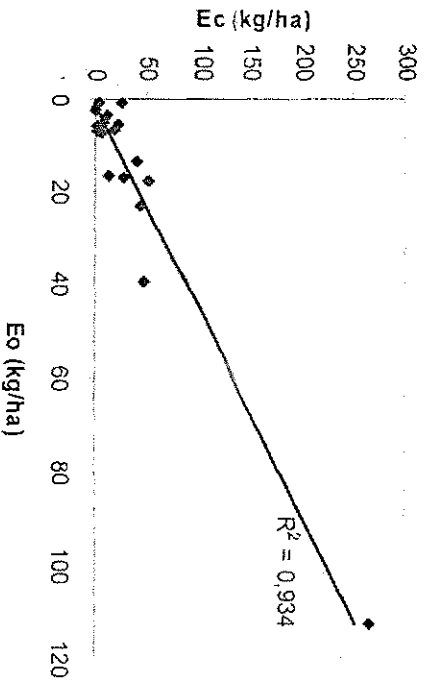


Figura 5.37 – Correlação erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o c_o *méd* da sub-bacia 1 (discretização 1 da sub-bacia 2)

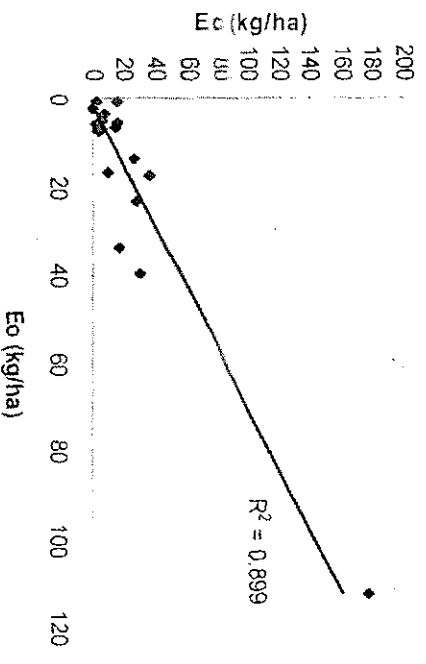


Figura 5.38 – Correlação erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o c_o *méd* da sub-bacia 1 (discretização 2 da sub-bacia 2)

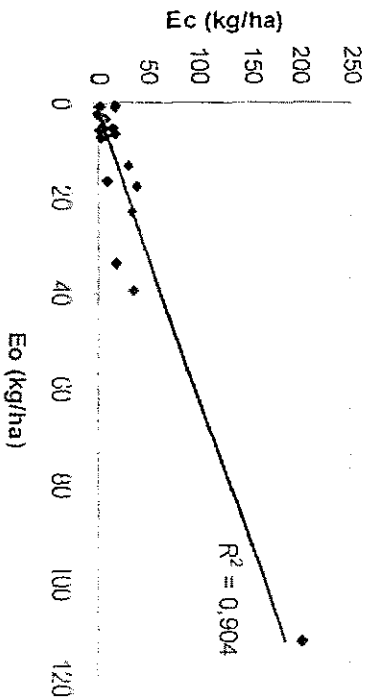


Figura 5.39 – Correlação erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o c_o *méd* da sub-bacia 1 (discretização 3 da sub-bacia 2)

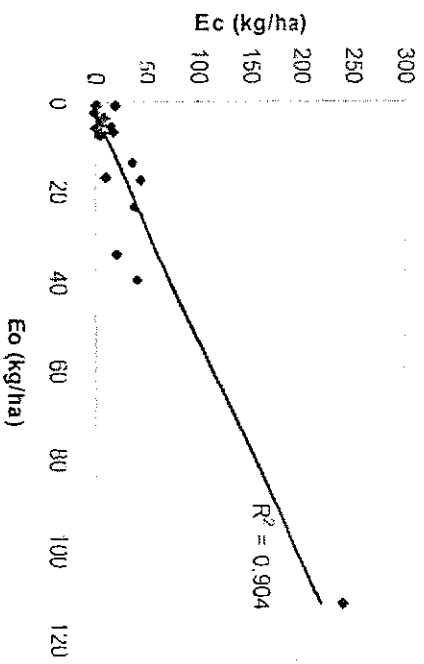


Figura 5.40 – Correlação erosão observada e calculada na sub-bacia 2 com o c_o *méd* da sub-bacia 1 (discretização 4 da sub-bacia 2)

A Figura 5.41 apresenta a produção de sedimentos para as quatro discretizações da sub-bacia 2 utilizando o valor médio de c_o (c_o *méd*) da sub-bacia 1 na discretização 1.

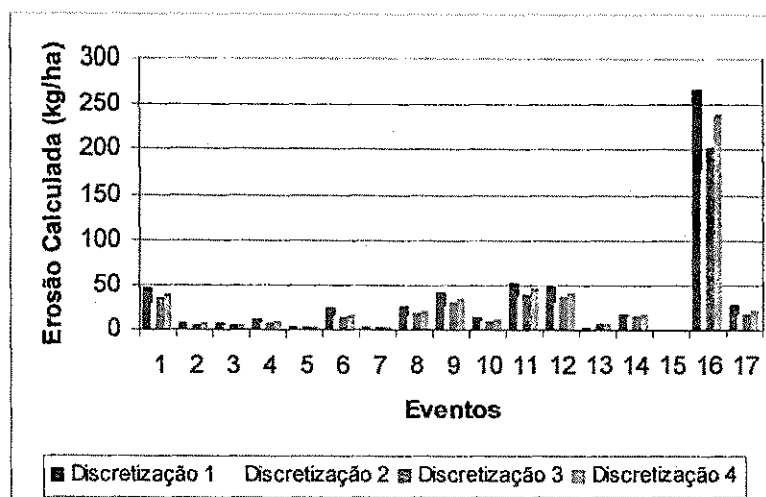


Figura 5.41 – Produção de sedimentos nas quatro discretizações da sub-bacia 2 através da validação cruzada do parâmetro $c_{o\text{ méd}}$ da sub-bacia 1.

A Tabela 5.9 apresenta a produção de sedimento anual para as quatro discretizações e a Figura 5.42 apresenta a comparação gráfica. A Tabela 5.10 apresenta uma comparação dos parâmetros estatísticos de E_o/E_o para as discretizações da sub-bacia 2

Tabela 5.9 – Produção de sedimento anual na validação cruzada – KINEROS2

ANO	EROSÃO ANUAL (kg/ha)			
	Discretização 01 54 Elementos	Discretização 02 110 Elementos	Discretização 03 173 Elementos	Discretização 04 227 Elementos
1987	89,914	57,414	64,105	75,322
1988	912,753	646,505	711,063	695,212
1989	105,118	71,745	79,929	95,079
1990	17,219	13,665	13,619	15,065
1991	11,568	11,568	8,036	9,664
1992	585,034	393,335	444,323	529,275
1994	87,737	55,278	42,404	48,820
1995	240,012	159,264	167,219	182,798
1996	301,833	207,864	238,543	277,681
2000	307,067	204,401	229,184	264,711
2004	124,076	80,675	84,198	97,721
2005	171,633	122,294	135,097	157,615
2006	294,926	194,922	221,323	260,854

Tabela 5.10 – Análise estatística da razão entre a erosão observada e calculada na validação cruzada do parâmetro $c_{o\text{ méd}}$ da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 do modelo KINEROS2.

Estatística erosão	E_c/E_o			
	Discretização 1	Discretização 2	Discretização 3	Discretização 4
Média	3,654	2,382	2,489	2,888
Mediana	1,932	1,211	1,457	1,674
Desvio padrão	7,457	4,385	4,762	5,511
Mínimo	0,068	0,061	0,049	0,025
Máximo	32,137	19,077	20,680	23,937
Total	17	17	17	17

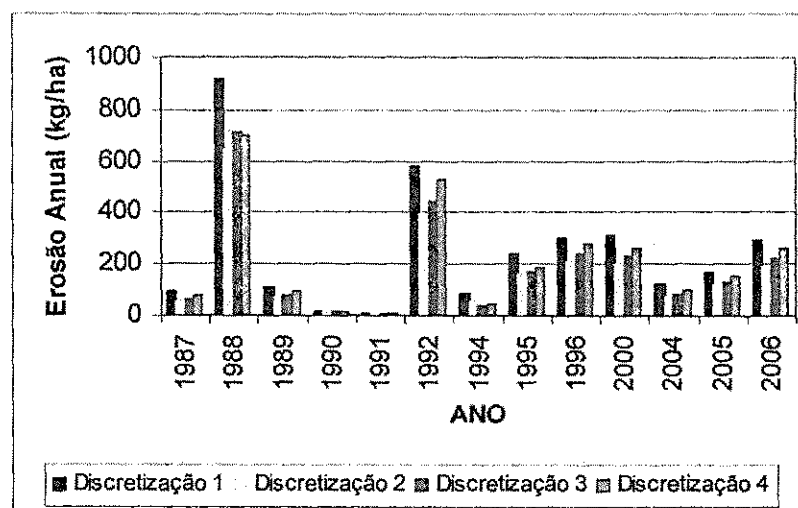


Figura 5.42 – Produção anual de sedimentos através da validação cruzada do parâmetro $c_{o\text{ méd}}$ da sub-bacia 1

- **Sub-bacia 2**

Após as simulações da erosão na sub-bacia 2 com as quatro configurações, foi realizada a tentativa da validação cruzada com o valor médio do parâmetro c_o obtido na discretização 1 da sub-bacia 2 usando-o na sub-bacia 1. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela A14 em Anexo. As Figuras 5.43 e 5.44 apresentam a correlação entre a erosão calculada e observada para a validação cruzada.

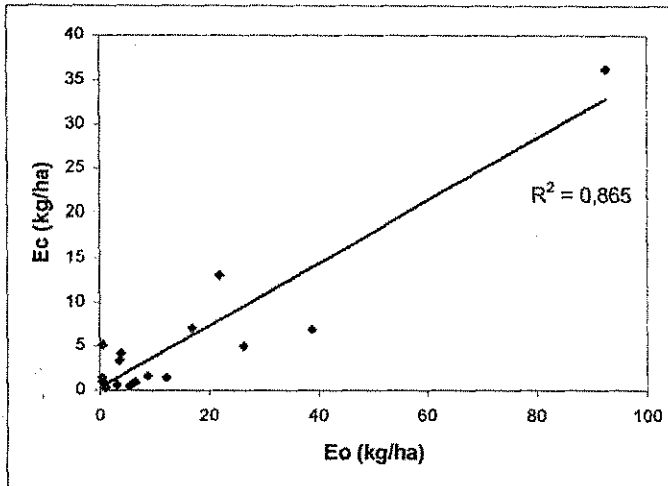


Figura 5.43 – Correlação erosão observada e calculada validação cruzada de c_o méd da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 (discretização 1 da sub-bacia 1)

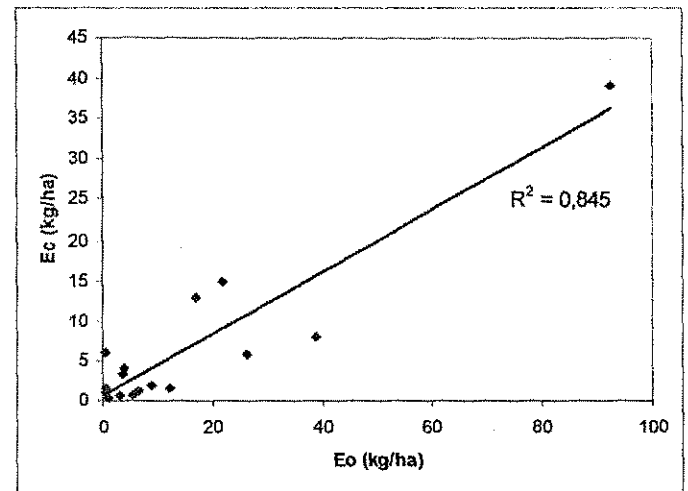


Figura 5.44 – Correlação erosão observada e calculada validação cruzada de c_o méd da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 (discretização 2 da sub-bacia 1)

A Figura 5.45 apresenta a produção de sedimentos para as duas discretizações da sub-bacia 1 para a validação cruzada do parâmetro c_o méd da sub-bacia 2 da discretização 1.

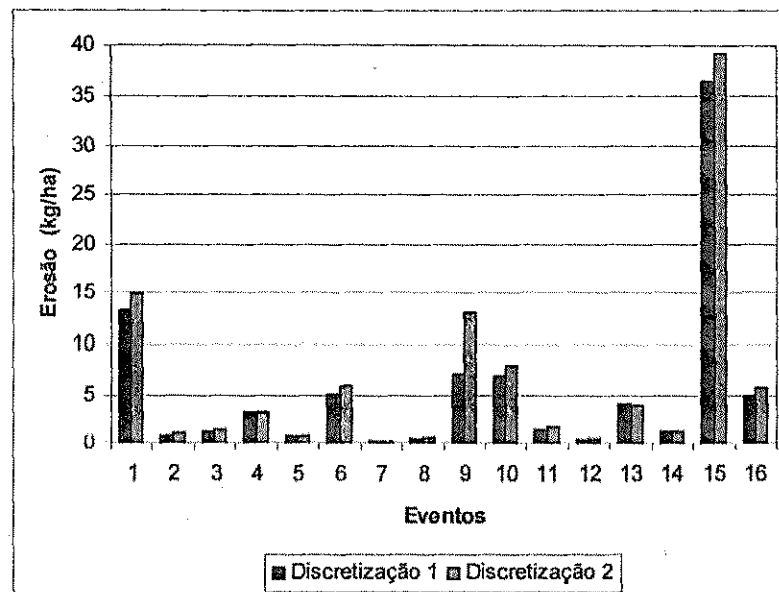
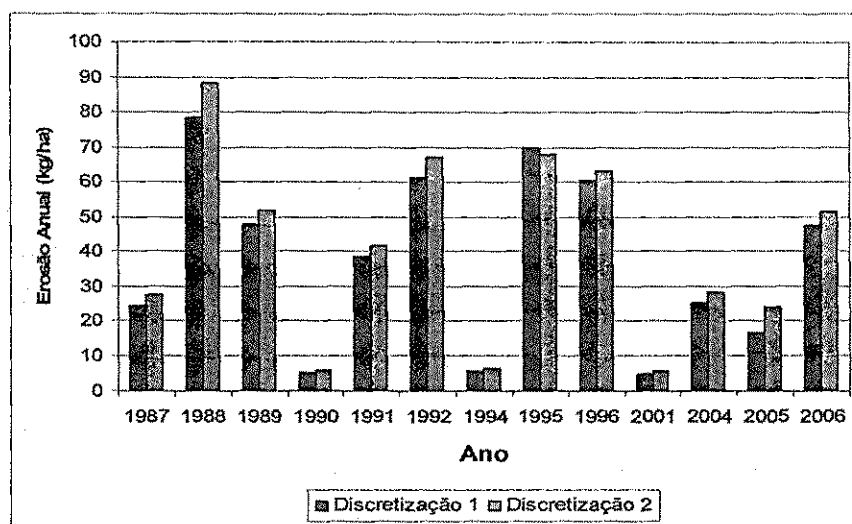


Figura 5.45 – Produção de sedimentos nas duas discretizações da sub-bacia 1 através da validação cruzada do parâmetro c_o méd da sub-bacia 2

A Tabela 5.11 apresenta a produção de sedimento por ano para as duas discretizações através da validação cruzada e a Figura 5.46 apresenta essa produção através de um gráfico.

Tabela 5.11 – Produção de sedimento anual na validação cruzada

EROSÃO ANUAL (kg/ha)		
ANO	Discretização 1	Discretização 2
	87 elementos	157 elementos
1987	24,210	27,353
1988	78,492	88,066
1989	48,004	51,840
1990	5,059	5,936
1991	38,326	41,640
1992	61,012	67,138
1994	5,414	6,420
1995	69,860	67,766
1996	60,391	63,217
2001	4,630	5,543
2004	25,117	28,390
2005	16,598	23,868
2006	47,636	51,441

Figura 5.46 – Produção anual de sedimentos através da validação cruzada do parâmetro $c_{o\ med}$ da sub-bacia 2

A análise estatística para a erosão (E_o/E_o) para a validação cruzada do parâmetro $c_{o\ med}$ da sub-bacia 2 nos 16 eventos que possuem erosão observada da sub-bacia 1 é apresentada na Tabela 5.12 abaixo:

Tabela 5.12 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada na validação cruzada do parâmetro c_o méd da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 do modelo KINEROS2.

Estatística erosão	E_c/E_o	
	Discretização 1	Discretização 2
Média	1,085	1,240
Mediana	0,315	0,338
Desvio padrão	2,101	2,435
Mínimo	0,095	0,124
Máximo	8,588	9,983
Total	16	16

A Tabela A15 em Anexo apresenta a produção de sedimentos para a simulação e validação cruzada dos parâmetros médios da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 e a Tabela A16 em Anexo apresenta a produção de sedimentos para a simulação e validação cruzada dos parâmetros médios da sub-bacia 2 na sub-bacia 1.

5.2 – Modelo WESP

5.2.1 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo WESP para a sub-bacia 1

Para a modelagem do escoamento superficial e erosão do solo na sub-bacia 1 com o modelo WESP, foram utilizadas a discretização 1 da sub-bacia 1 com 87 elementos e uma nova discretização com apenas 20 elementos (13 planos e 7 canais). A seguir, a Figura 5.47 apresenta o esquema da nova discretização com 20 elementos em planos e canais.

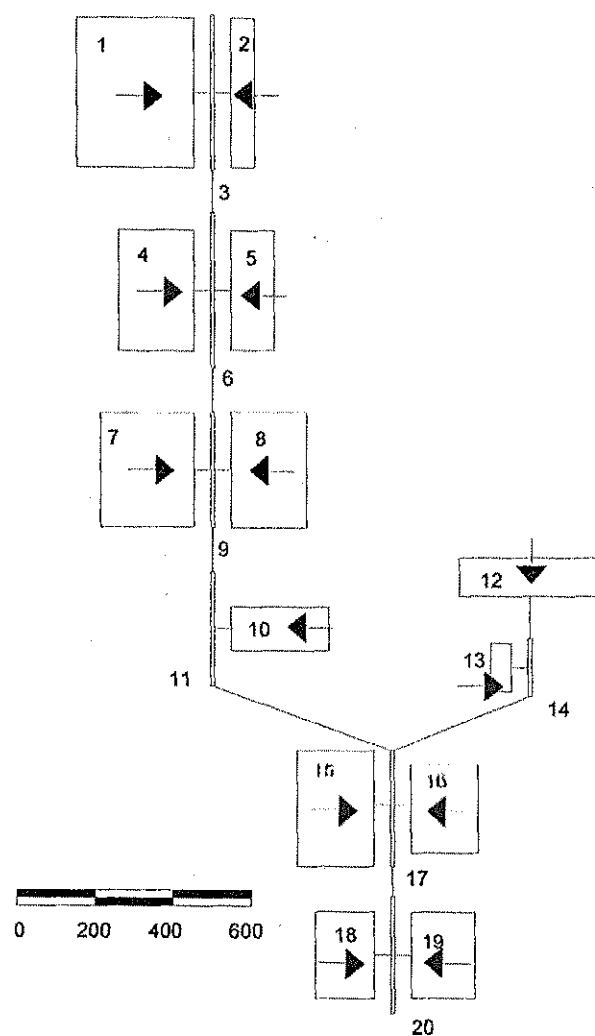


Figura 5.47 – Discretização 2 da sub-bacia 1 em planos e canais com 20 elementos

A discretização da sub-bacia 1 de 20 elementos foi utilizada de duas maneiras. A primeira manteve-se a declividade dos canais, calculados com as curvas de nível no mapa topográfico e, a segunda, as declividades dos canais foram reduzidas para 1% para verificar a influência das declividades dos canais na produção de sedimentos. A Tabela A17 e A18, em Anexo, apresentam as características de cada plano e canal para a discretização com 20 elementos.

De início, os parâmetros de escoamento superficial, que nesse caso são os parâmetros K_s e N_s foram calibrados, evento a evento na discretização de 87 elementos. Porém, como o parâmetro K_s – condutividade hidráulica saturada - é um parâmetro físico do solo, o mesmo valor calibrado para o modelo KINEROS2 foi fixado no modelo WESP, cujo valor é de $K_s = 4 \text{ mm/h}$, ou $1,11 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ que é o valor utilizado no modelo WESP.

O parâmetro N_s (Equação 4.20 a e b) diferentemente do parâmetro de saturação inicial do KINEROS2, representa a capacidade de sucção do solo na frente de molhada, ou seja,

quanto maior o seu valor, menor será a lâmina escoada, pois um alto valor de N_s significa que o solo está com a capacidade de sucção alta, ou seja, seco. Um baixo valor de N_s significa que o solo possui uma baixa capacidade de sucção, ou seja, ele está saturado ou úmido, e consequentemente a lâmina escoada será maior. Foram utilizados 98 eventos dos quais apenas 22 eventos possuíam dados de erosão observados.

O parâmetro N_s foi calibrado evento a evento na discretização da sub-bacia 1, de 87 elementos. O resultado da calibração de N_s encontra-se na Tabela A19 em Anexo. Os valores médios obtidos para o parâmetro N_s foram de 0,20639 e 0,21892 m para as duas discretizações com 87 e 20 elementos, respectivamente. A Tabela 5.13 apresenta a estatística da relação (L_c/L_o) para os dois casos.

Tabela 5.13 – Análise estatística da razão entre a lâmina calculada e observada para os eventos de calibração do modelo WESP para a sub-bacia 1.

Estatística lâmina	L_c/L_o	
	Discretização 1	Discretização 2
Média	1,018	1,017
Mediana	0,998	1,000
Desvio padrão	0,104	0,106
Mínimo	0,945	0,960
Máximo	1,728	1,768
Total	56	56

As Figuras 5.48 e 5.49 apresentam o parâmetro N_s relacionado com os eventos calibrados.

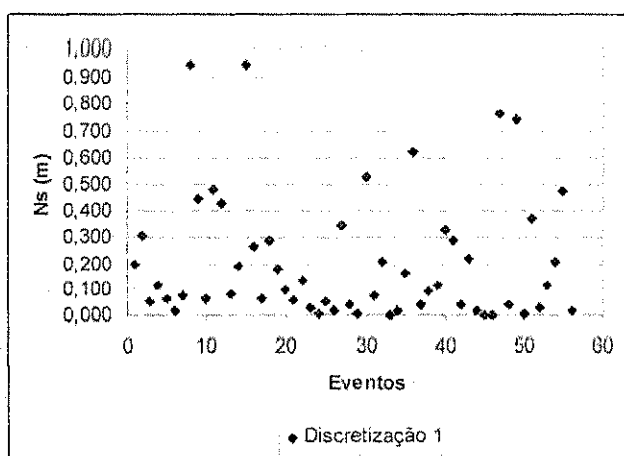


Figura 5.48 – Valor de N_s versus número da cheia para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)

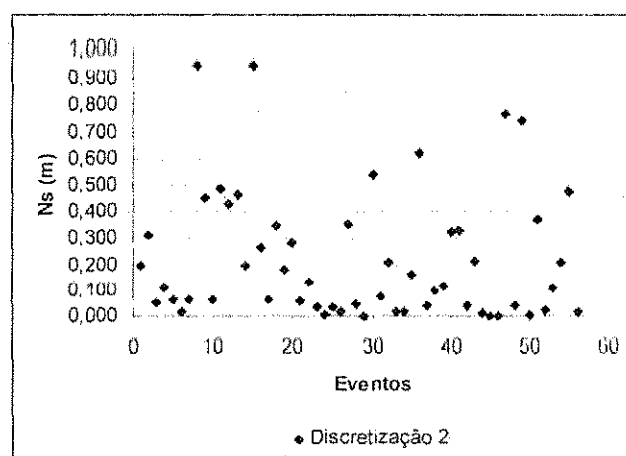


Figura 5.49 – Valor de N_s versus número da cheia para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)

As Figuras 5.50 e 5.51 apresentam a correlação entre a lâmina observada e a lâmina calculada para as duas discretizações da sub-bacia 1.

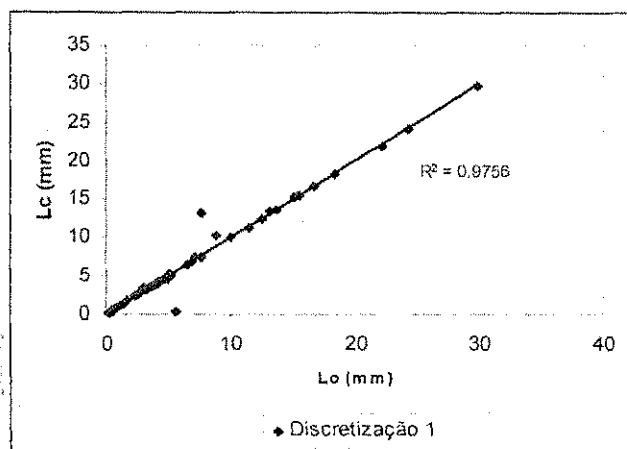


Figura 5.50 – Valor da correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 1)

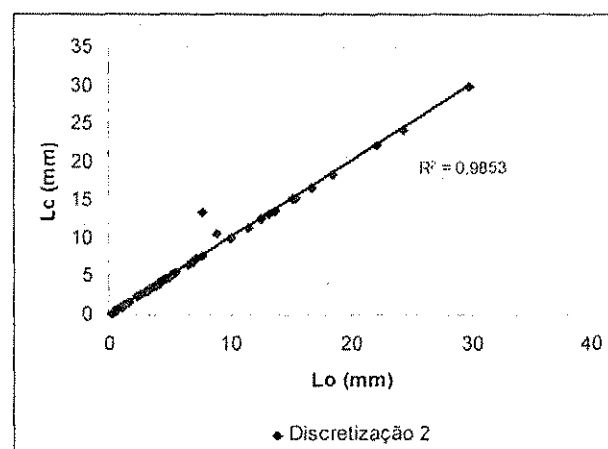


Figura 5.51 – Valor da correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na calibração (discretização 2)

Após a calibração do parâmetro N_s pode-se calibrar os parâmetros de erosão K_t , K_r e a . Foi verificado através da modelagem e também de trabalhos anteriores (LOPES, 2003; ARAGÃO, 2000), que o parâmetro K_t , erosão pelo impacto das gotas de chuva, não é sensível no processo de calibração, e portanto, o seu valor foi fixado em $5 \times 10^8 \text{ kg.s/m}^4$.

Os valores dos parâmetros K_r médio e a obtidos nas parcelas e micro-bacias (PAIVA, 2008), foram simulados na sub-bacia 1, porém, não eram adequados a sub-bacia, logo, foi realizado uma análise de sensibilidade dos parâmetros K_r e a na discretização 1 com 87 elementos, utilizando apenas os eventos que possuíam erosão observada. Foram atribuídos valores para K_r até que um maior número de eventos pudessem ser calibrados. Os valores mais adequados foram de a em $0,0002 \text{ kg.m/N}^{1,5}.\text{s}$ e, obteve-se o valor de K_r de $0,015 \text{ kg.m/N}^{1,5}.\text{s}$ como o melhor.

Após a calibração desses parâmetros, foi realizada a simulação com os parâmetros obtidos com a discretização 1 para as duas discretizações da sub-bacia 1 com o modelo WESP. Os resultados obtidos na simulação encontram-se na Tabela A20, em Anexo. Nessa tabela, também pode ser verificado os valores de K_r e a . A Tabela 5.14 apresenta as relações entre os valores de lâmina e erosão observados e calculados com classes de variação.

Tabela 5.14 – Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão nas duas discretizações com classes de variação para a sub-bacia 1 - WESP.

Variação	Discretização 1				Discretização 2			
	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%
0,00 - 0,20	0	0,00	1	10,00	0	0,00	1	10,00
0,21 - 0,40	0	0,00	1	10,00	0	0,00	0	0,00
0,41 - 0,60	0	0,00	1	10,00	0	0,00	1	10,00
0,61 - 0,80	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	20,00
0,81 - 1,00	33	58,93	1	10,00	28	50,00	1	10,00
1,01 - 1,20	22	39,29	2	20,00	27	48,21	1	10,00
1,21 - 1,40	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
1,41 - 1,60	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
1,61 acima	1	1,79	4	40,00	1	1,79	4	40,00
Total	56		10		56		10	

Com os parâmetros determinados, a simulação foi realizada para todos os eventos incluindo os que não possuíam dados de erosão observados. As Figuras 5.52 e 5.53 apresentam a correlação entre a erosão observada e calculada para as duas discretizações na simulação.

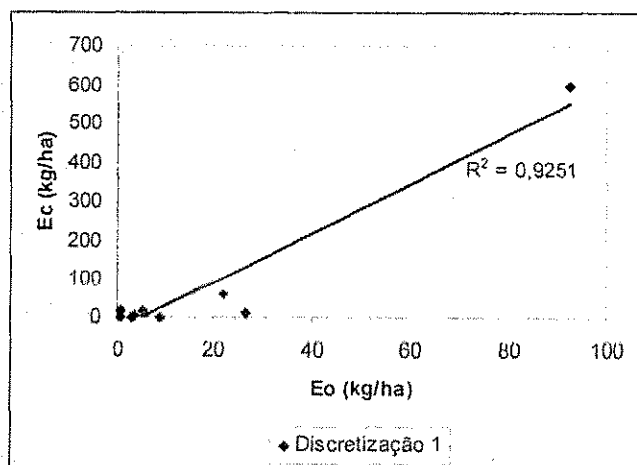


Figura 5.52 – Valor da correlação entre a erosão observada e calculada para a sub-bacia 1 pela simulação com os valores médios dos parâmetros K_r e a (discretização 1)

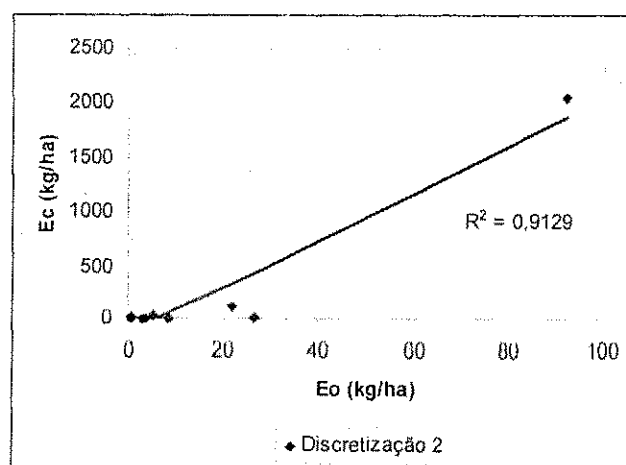


Figura 5.53 – Valor da correlação entre a erosão observada e calculada para a sub-bacia 1 pela simulação com os valores médios dos parâmetros K_r e a (discretização 2)

A Figura 5.54 apresenta a produção de sedimentos para as duas discretizações da sub-bacia 1 apenas para os 10 eventos que possuem dados de erosão observados e que foram calibrados.

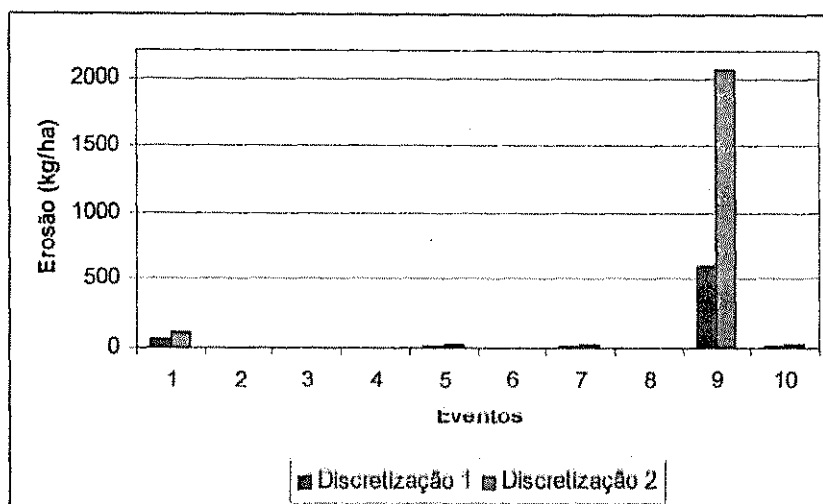


Figura 5.54 – Produção de sedimento simulado na sub-bacia 1 através dos valores médios dos parâmetros K_r e α para a sub-bacia 1

A Tabela 5.15 apresenta a produção anual de sedimentos na simulação das duas discretizações da sub-bacia 1 e a Figura 5.55 apresenta essa mesma estimativa em forma de gráfico.

Tabela 5.15 – Erosão anual na simulação sub-bacia 1 – WESP

	EROSÃO ANUAL (kg/ha)	
	Discretização 1	Discretização 2
1987	238,917	538,422
1988	2877,311	10040,719
1989	1612,845	4699,612
1990	879,990	4263,437
1991	587,537	1566,049
1992	1064,769	2851,184
1994	36,280	100,873
1995	62,752	86,876
1996	1121,872	3147,917
2001	34,113	60,220
2004	82,063	136,000
2005	3,415	34,273
2006	611,898	2072,949

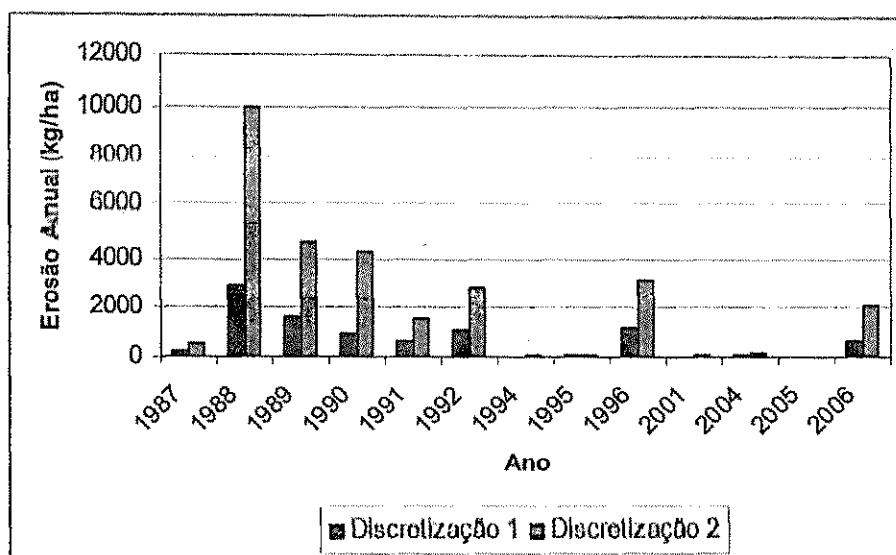


Figura 5.55 – Produção anual de sedimentos através da simulação dos parâmetros K_s e α para a sub-bacia 1

5.2.2 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo WESP para a sub-bacia 2

Para a modelagem do escoamento superficial erosão do solo na sub-bacia 2 com o modelo WESP foi utilizado a discretização 1 da sub-bacia 2 com 54 elementos.

Da mesma forma que nas parcelas e micro-bacias, o parâmetro N_s foi calibrado evento a evento. O resultado da calibração de N_s encontra-se na Tabela A21, em Anexo. Os valores médios obtidos para o parâmetro N_s foram de 0,25969 m. A Tabela 5.16 apresenta a estatística da relação (L_c/L_o) para a calibração. A Figura 5.56 apresenta os valores de N_s para cada evento durante a calibração.

Tabela 5.16 – Análise estatística da razão entre a lâmina calculada e observada para os eventos de calibração do modelo WESP para a sub-bacia 2.

Estatística lâmina	L_c/L_o
	Discretização 1
Média	1,006
Mediana	1,001
Desvio padrão	0,040
Mínimo	0,883
Máximo	1,197
Total	50

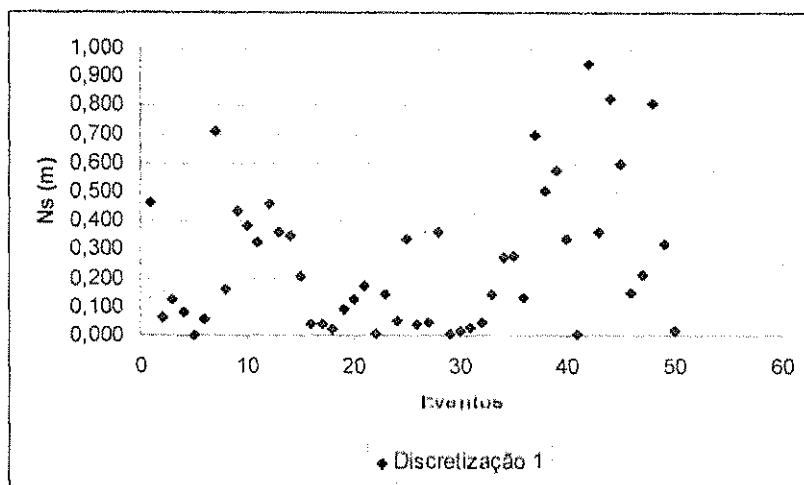


Figura 5.56 - Valor de N_s versus número da cheia para a sub-bacia 2 na calibração.

A Figura 5.57 apresenta a correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2.

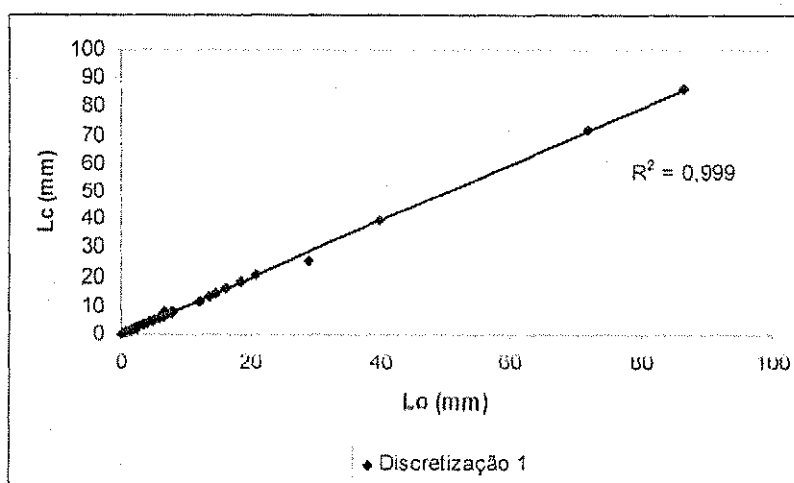


Figura 5.57 - Valor da correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 2 na calibração (discretização 1).

Da mesma forma que na sub-bacia 1, o valor de K_r méd e a das parcelas e micro-bacias (PAIVA, 2008), foram simulados na sub-bacia 1 e também não geraram bons resultados. Logo, também foi realizado uma análise de sensibilidade do parâmetro K_r e a para a sub-bacia 2, apenas para os eventos que possuíam erosão observada. Foram fixados valores para K_r próximos aos valores médios obtidos nas parcelas, porém, sem nenhum resultado satisfatório. Logo, atribuiu-se valores para o parâmetro K_r fixando o valor de a em 0,0003 e após a calibração, obteve-se o valor de K_r médio de 0,035.

Após a calibração desses parâmetros, foi realizada a simulação com os parâmetros de K_r e a para todos os eventos. Os resultados obtidos na simulação encontram-se na Tabela A22

em Anexo. Nessa tabela, também pode ser verificado os valores de K_r e u . A Tabela 5.17 apresenta a relação entre os valores calculados e observados com as seguintes classes de variação. Também foi simulado a produção de sedimentos para os eventos que não continham dados de erosão observados. A Tabela 5.18 apresenta a produção de sedimentos por ano na simulação.

Tabela 5.17 – Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina e erosão com classes de variação para a sub-bacia 2 – WESP.

Variação	Discretização 1			
	L_c/L_o	%	E_c/E_o	%
0,00 - 0,20	0	0,00	0	0,00
0,21 - 0,40	0	0,00	1	11,11
0,41 - 0,60	0	0,00	2	22,22
0,61 - 0,80	0	0,00	0	0,00
0,81 - 1,00	24	48,00	0	0,00
1,01 - 1,20	25	50,00	1	11,11
1,21 - 1,40	1	2,00	1	11,11
1,41 - 1,60	0	0,00	1	11,11
1,61 acima	0	0,00	3	33,33
Total	50		9	

Tabela 5.18 – Produção anual de sedimentos na simulação – WESP

EROSÃO ANUAL (kg/ha)	
Ano	Erosão
1987	75,122
1988	99240,327
1989	123,467
1990	105,282
1992	5123,485
1994	58,493
1995	77,156
1996	8488,165
2000	3,985
2004	59,056
2005	194,818
2006	1081,469

5.2.3 – Validação cruzada

- Sub-bacia 1

Após a simulação, foi realizada a validação cruzada do valor médio do parâmetro K_r e a obtido na discretização 1 da sub-bacia 1, e utilizado na sub-bacia 2. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela A23, em Anexo. A Figura 5.58 apresenta a correlação entre a erosão calculada e observada para a validação cruzada apenas para nove eventos que contém dados de erosão observados e que foram calibrados.

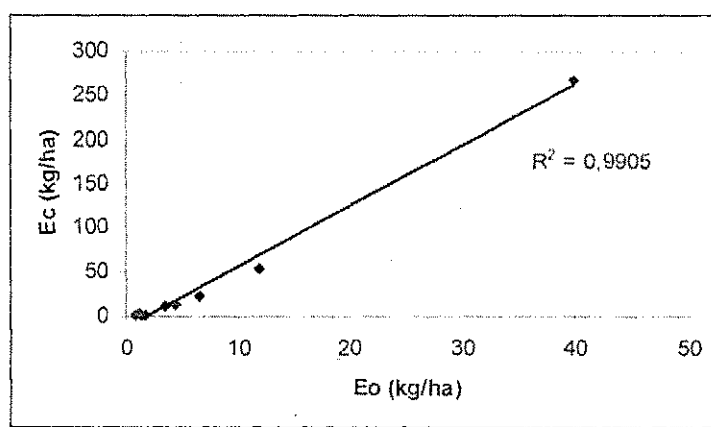


Figura 5.58 – Correlação erosão observada e calculada na validação cruzada dos parâmetros K_r e a da sub-bacia 1 na sub-bacia 2

A Tabela 5.19 apresenta a produção anual de sedimento na validação cruzada dos parâmetros K_r e a obtidos na sub-bacia 1 e utilizados na sub-bacia 2.

Tabela 5.19 – Erosão anual na validação sub-bacia 2 com os dados de K_r e a da sub-bacia 1 – WESP

EROSÃO ANUAL (kg/ha)	
	Discretização 1
1987	1350,716
1988	36619,802
1989	78,065
1990	22,964
1992	2122,501
1994	21,485
1995	19,159
1996	3173,967
2000	2,840
2004	39,371
2005	60,006
2006	281,251

A Tabela 5.20 apresenta a estatística para a E_c/E_o para a validação dos parâmetros K_r e α da sub-bacia 1 e usados na sub-bacia 2.

Tabela 5.20 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada na validação cruzada dos parâmetros K_r e α da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 do modelo WESP.

Estatística erosão	E_c/E_o
	Discretização 1
Média	0,974
Mediana	0,719
Desvio padrão	0,788
Mínimo	0,239
Máximo	2,379
Total	9

A discretização 2 da sub-bacia 1, de 20 elementos, foi utilizada para, além de verificar a influência das configurações através da modelagem, verificar a influência da declividade nos resultados da produção de sedimentos. Para isso, como já mencionado, a discretização 2 da sub-bacia 1 foi utilizada com as declividades obtidas através das curvas de nível observadas no mapa topográfico e depois com declividades dos canais reduzidas até 1%, como já mencionado. A Tabela A24 em Anexo apresenta os resultados obtidos para os dois casos.

- **Sub-bacia 2**

O mesmo procedimento foi realizado após a simulação com a validação cruzada do valor médio do parâmetro K_r e α obtido na discretização 1 da sub-bacia 2, nas duas discretizações da sub-bacia 1. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela A25, em Anexo. As Figuras 5.59 e 5.60 apresentam a correlação entre a erosão calculada e observada para a validação cruzada apenas para nove eventos que contém dados de erosão observados e que foram calibrados.

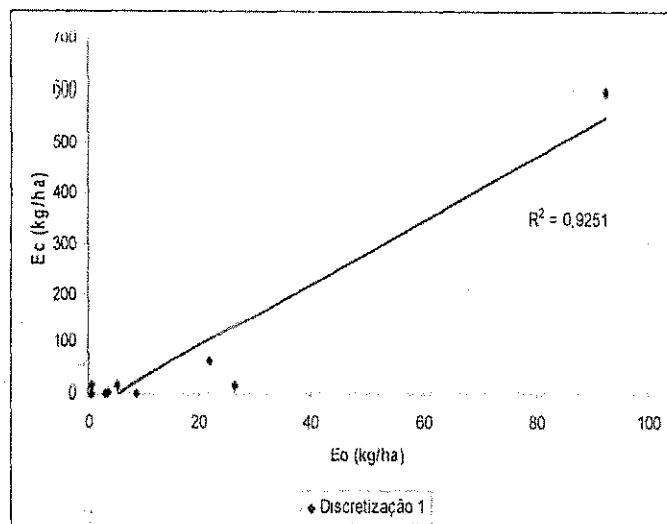


Figura 5.59 – Correlação erosão observada e calculada validação cruzada dos parâmetros K_r e α da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 – discretização 1.

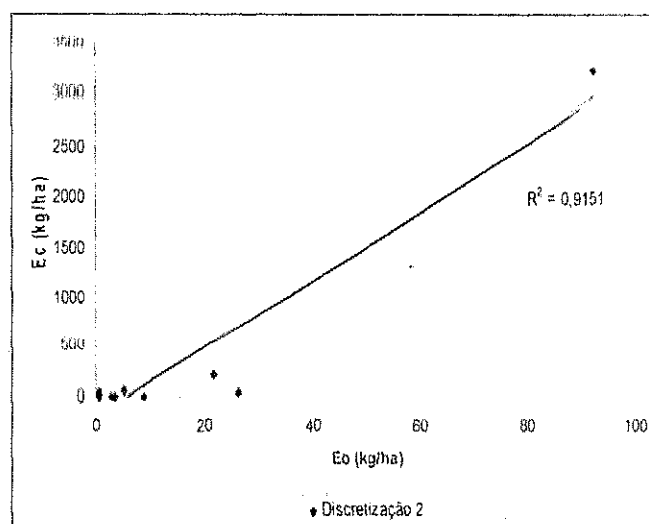


Figura 5.60 – Correlação erosão observada e calculada validação cruzada dos parâmetros K_r e α da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 – discretização 2.

A Tabela 5.21 apresenta a estatística para a E_c/E_o para a validação dos parâmetros K_r e α da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 nas duas discretizações.

Tabela 5.21 – Análise estatística da razão entre a erosão calculada e observada na validação cruzada dos parâmetros K_r e α da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 do modelo WESP.

Estatística erosão	E_c/E_o	
	Discretização 1	Discretização 2
Média	4,094	12,578
Mediana	1,019	1,776
Desvio padrão	7,488	20,798
Mínimo	0,137	0,196
Máximo	24,701	63,665
Total	10	10

As Tabelas A26 e A27 em Anexo apresentam os valores de sedimentos calculados para as duas validações em relação aos valores simulados.

5.3 – Modelo WEPP

5.3.1 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo WEPP para a sub-bacia 1

Para a modelagem do escoamento superficial e erosão do solo na sub-bacia 1 com o modelo WEPP, assim como no modelo WESP, foram utilizadas a discretização 1 da sub-bacia

1 com 87 elementos e a nova discretização de 20 elementos (13 planos e 7 canais) da sub-bacia 1. As Figuras 5.61 e 5.62 apresentam as discretizações com 87 e 20 elementos em planos e canais, para o modelo WEPP, respectivamente. A Figura 5.63 representa o plano 1 da discretização de 87 elementos com três declividades diferentes.

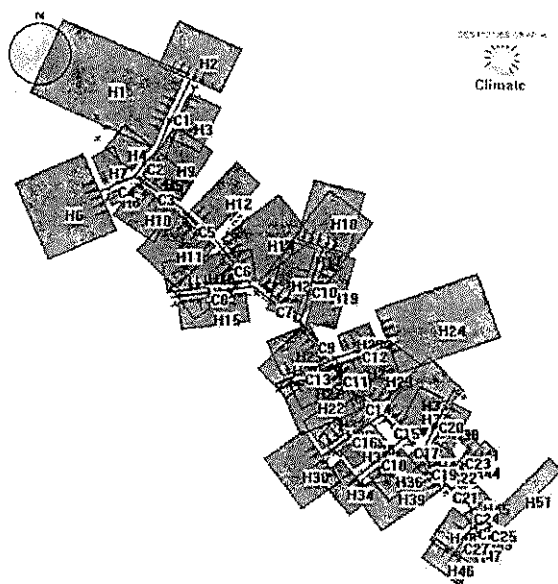


Figura 5.61 – Discretização da sub-bacia 1 em 87 elementos para o modelo WEPP

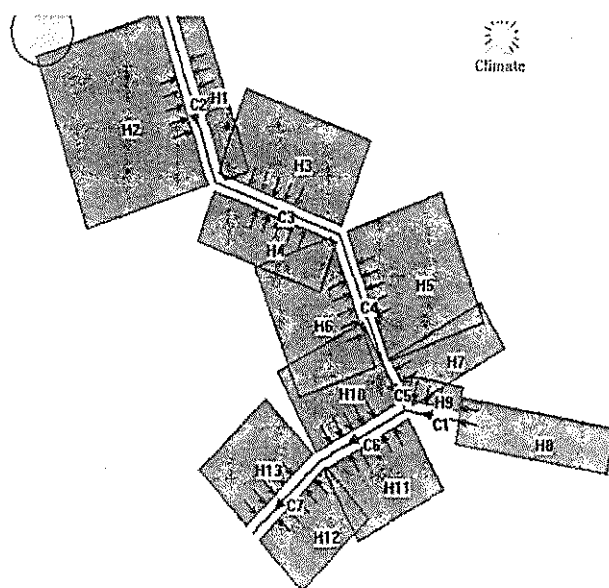


Figura 5.62 – Discretização da sub-bacia 1 em 20 elementos para o modelo WEPP

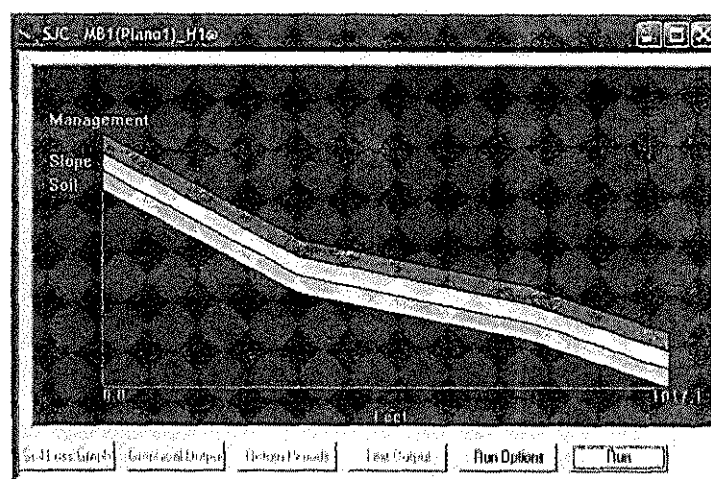


Figura 5.63 – Plano 1 da discretização de 87 elementos para o modelo WEPP

O processo de modelagem com o modelo WEPP é um pouco diferente dos dois outros modelos. Inicialmente, os arquivos de chuva e outros dados de clima tiveram de ser montados. Os dados da Estação Climatológica de São João do Cariri foram inseridos dentro de uma estação já existente no modelo, uma vez que, o modelo não permite a inserção de uma nova estação. Dessa forma, foi escolhida arbitrariamente a Estação Climatológica DES MOINES

WB AP IA no Estado de Iowa dos EUA, onde os dados foram substituídos pela estação Climatológica de São João do Cariri. Quando a estação americana é escolhida, o modelo salva uma cópia das informações climatológicas dessa estação em uma pasta chamada *Cligen*. Como as informações contidas nesse arquivo são referentes à estação americana, é necessário substituir essas informações pelas características da Estação Climatológica de São João do Cariri na BESJC, conforme apresentado no Capítulo 4 no item 4.3.6. Após a montagem dos arquivos de chuva, foi possível realizar a calibração do modelo.

Esse modelo possui um editor de solo, onde inicialmente se introduz todos os parâmetros relativos ao solo do projeto a ser executado. Para se utilizar as sub-bacias é necessário trabalhar com o modelo na *Watershad version*. A Figura 5.63 apresenta a representação desse solo.

Ao clicar na linha amarela desse plano, abre-se o editor de declividades do plano (*Slope*) onde é colocado a largura, comprimento e as demais características de cada plano.

Na linha vermelha é inserido as características iniciais das condições de uso do solo (*Management*), que nesse caso foi escolhido a condição inicial “*Fallow*” que significa um solo que foi arado e deixado em pousio.

A linha verde é o editor de solo (*Soil*). A Figura 5.64 apresenta este editor e todos os parâmetros a serem inseridos no mesmo.

Soil Database Editor: SJC.sol

Soil File Name: SJC Soil Texture: SIL Albedo: 0.23 Initial Sat. Level (%): 65

Interrill Erodibility: 1.3e+006 (Kg*s/m⁴) Have Model Calculate

Rill Erodibility: 0.0202 (s/m) Have Model Calculate

Critical Shear: 8 (Pa) Have Model Calculate

Eff. Hydr. Conductivity: 8 (mm/h) Have Model Calculate

Layer	Depth(mm)	Sand(%)	Clay(%)	Organic(%)	CEC(meq/10)	Rock(%)
1	500	69.0	10.0	2.000	5.0	0.0
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

English Units

Print Save As Save Cancel Help

Figura 5.64 – Editor de solo do modelo WEPP

Neste editor, em “*Soil File Name*” se encontra o nome do arquivo de solo que está sendo exibido, no quadro seguinte há um espaço para descrição do solo, “*Soil Texture*”, esse serve apenas para facilitar a identificação do solo indicada pelo próprio usuário e não alteram em nada os outros valores definidos para as características do solo.

O quadro seguinte exhibe o valor do Albedo, esse foi determinado através do Departamento de Ciências Atmosférica da UFCG-Campus I, e seu valor médio para a região do Cariri paraibano foi de $\alpha = 23$ (Cruz, 2004).

O quadro “*Initial Sat. Level (%)*” indica o valor da saturação em que o solo se encontra, esse valor foi configurado na medida em que as simulações foram ocorrendo e é um parâmetro a ser calibrado evento a evento.

Em “*Interril Erodibility*”, entra-se com o parâmetro que determina a capacidade de produção de sedimento para os planos da bacia (K_i), parâmetro a ser calibrado.

O quadro seguinte “*Rill Erodibility*” é a caixa de entrada do parâmetro de erosão nos canais (K_e), que também deve ser calibrado.

O último quadro dessa seqüência é “*Eff. Hydr. Conductivity*”, onde entra o valor para a condutividade hidráulica do solo, que foi utilizado de início o mesmo valor calibrado no KINEROS2 e também utilizado no WESP que é de 4,0 mm/h.

Na parte inferior da janela de edição do solo há um planilha para entrada dos valores das características granulométrica do solo, nas colunas estão identificados a profundidade (*Depth*), areia (*Sand*), argila (*Clay*), matéria orgânica (*Organic*), “*Cation Exchange Capacity*” (*CEC*) e pedregulho (*Rock*) que é o mesmo do KINEROS2, e nas linhas estão distribuídas às espessuras das camadas de acordo com a profundidade do solo.

Na coluna *Depth* entra-se com o valor da profundidade da camada, na coluna “*Sand*”, entra-se com o valor da porcentagem de areia definida a partir da curva granulométrica, na coluna “*Clay*” defini-se o valor para a porcentagem de solos finos, argila e silte, na coluna “*Organic*” definiram-se o valor de matéria orgânica, na coluna “*Rock*”, defini-se a proporção de pedregulho. O modelo WEPP permite que o modelador utilize até 9 camadas de solo.

Na coluna “*Cation Exchange Capacity*” (*CEC*) entra o valor designado à quantidade de cation (porção de molécula dissociada que vai para o pólo negativo) absorvida sobre partículas de solo por unidade de massa sob condições químicas neutras (milliequivalents/100 gramas de solo). *CEC* é usado como parâmetro nas equações da estimativa da condutividade hidráulica. Para a definição do valor de *CEC* para o solo em estudo, utilizou-se a tabela trazida pelo próprio menu de ajuda (*Help*) do WEPP (Tabela 5.22) relacionando os valores sugeridos para *CEC* com as texturas.

Tabela 5.22 - Relação entre texturas de solo e CEC.

Soil texture	Cation Exchange Capacity (<i>milliequivalents per 100g of soil</i>)
Sands	1_5
Fine sands loams	5_10
Loams and silt loams	5_15
Clay Loams	15_30
Clays	30_150

Entra-se nessa tabela utilizando os dados das curvas granulométricas e define o valor correspondente ao CEC, o qual foi configurado como sendo igual a 5,0.

Na primeira tentativa de calibração do modelo foi utilizado apenas uma camada de solo com as seguintes características de acordo com a Tabela 5.23:

Tabela 5.23 – Características do arquivo de solo (1 camada)

Depth (mm)	Sand (%)	Clay (%)	Organic (%)	CEC(meq/100g)	Rock (%)
500,00	69,00	10,00	2,00	5,00	0,00

As informações do arquivo de solo juntamente com a escolha da estação climatológica são extremamente importantes, pois esses fatores, determinam a saturação máxima e mínima que o modelo utiliza, que nesse caso, a máxima e mínima saturação sensível para o modelo foram de 95,00 e 14,28%, respectivamente.

A calibração da lâmina através do arquivo de solo com uma camada não obteve bons resultados, já que pouquíssimos eventos ficaram na faixa de calibração aceitável. Logo, decidiu-se utilizar duas camadas de solo, com a camada da superfície fina, e nessas condições conseguiu-se calibrar um maior número de eventos. O arquivo de solo utilizado com êxito na calibração das sub-bacias encontra-se na Tabela 5.24 abaixo.

Tabela 5.24 – Características do arquivo de solo (2 camadas)

Depth (mm)	Sand (%)	Clay (%)	Organic (%)	CEC(meq/100g)	Rock (%)
60,00	50,00	10,00	6,50	5,00	5,00
500,00	20,00	10,00	2,00	5,00	7,00

A discretização da sub-bacia 1 de 20 elementos também foi combinada com duas seqüências de declividades no WEPP, como foi no modelo WESP. As Tabelas A17 e A18, em Anexo, apresentam as características de cada plano e canal para a discretização com 20 elementos. Os canais para as duas sub-bacias foram considerados como canais de cascalho.

Assim como nas micro-bacias, o mesmo valor do parâmetro K_s , calibrado nas parcelas (PAIVA, 2008), foi utilizado na sub-bacia 1 para as duas discretizações. Porém, os resultados obtidos não foram bons, logo, esse parâmetro foi modificado através de várias tentativas, e o valor que calibrou mais eventos foi o de 4,0 mm/h, ou seja, o mesmo valor utilizado no modelo KINEROS2. Logo após a calibração do parâmetro K_s , foi possível a calibração da saturação para todos os eventos da sub-bacia 1. As Tabelas A28 e A29, em Anexo, apresentam os resultados da calibração da saturação para as duas discretizações. A Tabela 5.25 apresenta a relação entre os valores observados e calculados de lâmina e erosão para todos os eventos simulados e suas respectivas classes de variação.

Tabela 5.25 - Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina com classes de variação para a sub-bacia 1 - WEPP.

Variação	Discretização 1		Discretização 2	
	L_c/L_o	%	L_c/L_o	%
0,00 - 0,20	0	0,00	5	9,62
0,21 - 0,40	1	1,92	2	3,85
0,41 - 0,60	5	9,62	1	1,92
0,61 - 0,80	1	1,92	1	1,92
0,81 - 1,00	17	32,69	10	19,23
1,01 - 1,20	20	38,46	25	48,08
1,21 - 1,40	1	1,92	1	1,92
1,41 - 1,60	1	1,92	3	5,77
1,61 acima	6	11,54	4	7,69
Total	52		52	

As Figuras 5.65 e 5.66, a seguir, apresentam os valores do parâmetro S_i para a calibração da sub-bacia 1 para as duas discretizações.

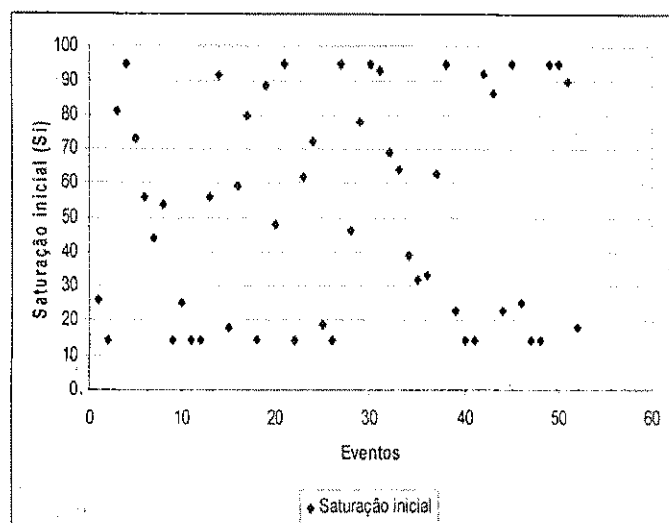


Figura 5.65 - Valor da saturação inicial relativa do solo para cada cheia na sub-bacia 1 durante a calibração (discretização 1)

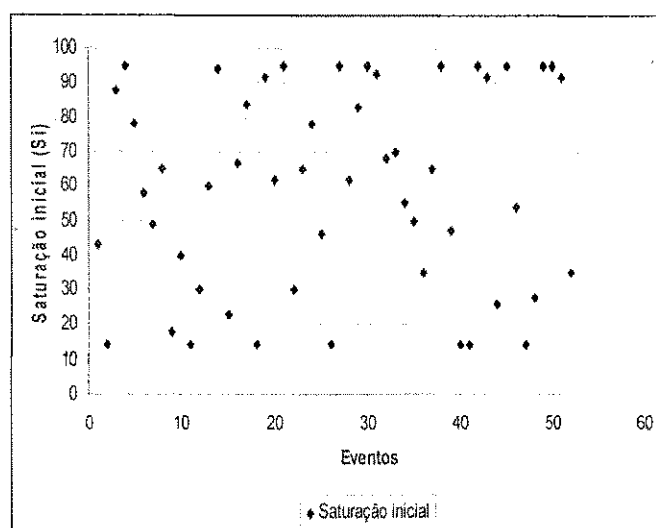


Figura 5.66 - Valor da saturação inicial relativa do solo para cada cheia na sub-bacia 1 durante a calibração (discretização 2)

As Figuras 5.67 e 5.68 apresentam a correlação entre as lâminas observada e calculada para as duas discretizações da sub-bacia 1. Após a calibração da saturação, foi possível a calibração dos parâmetros de erosão. O mesmo valor do parâmetro K_r calibrado nas micro-bacias (PAIVA, 2008) foi utilizado na sub-bacia, e se obteve bons resultados calculados. A tensão de resistência ao cisalhamento utilizada nas parcelas e nas micro-bacias não geraram bons resultados e, logo, esse parâmetro também foi calibrado por tentativas, obtendo-se o melhor valor encontrado igual a 20 Pa.

Após a fixação desses dois parâmetros (K_r e a tensão), os resultados de produção de sedimentos simulados foram altos. Através dos arquivos de saída do modelo, observou-se que os canais de drenagem da sub-bacia estavam produzindo grandes quantidades de sedimentos. Logo, o parâmetro K_r que estava fixado em 0,0202 s/m, como nas parcelas e micro-bacias (PAIVA, 2008), foi calibrado através de várias tentativas. Como o nosso critério para calibração da erosão era obter um resultado o mais próximo de zero ou de 100 kg/ha, o único valor de K_r que foi possível obter o maior número de eventos nessa margem de valores foi o valor mínimo admissível, que é de 0,0001 s/m. As Tabelas A28 e A29 também apresentam os valores de sedimentos calculados. Logo, foi realizada a simulação de erosão para todos os eventos em que a lâmina de escoamento foi calibrada.

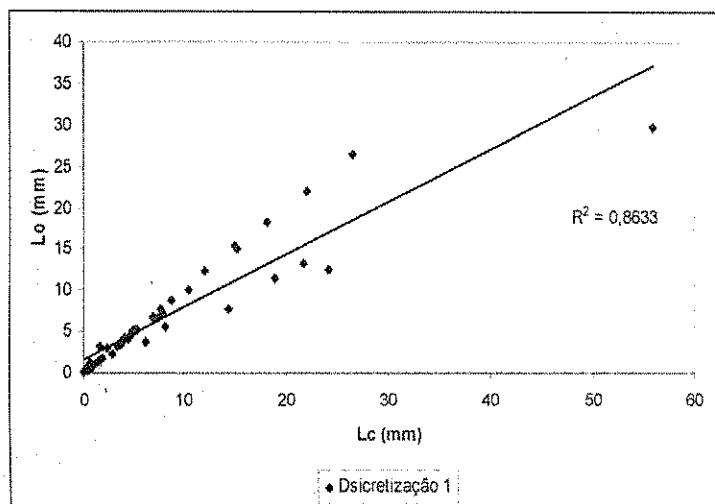


Figura 5.67 - Valor da correlação entre as lâminas observada e calculada para a sub-bacia 1 na simulação (discretização 1).

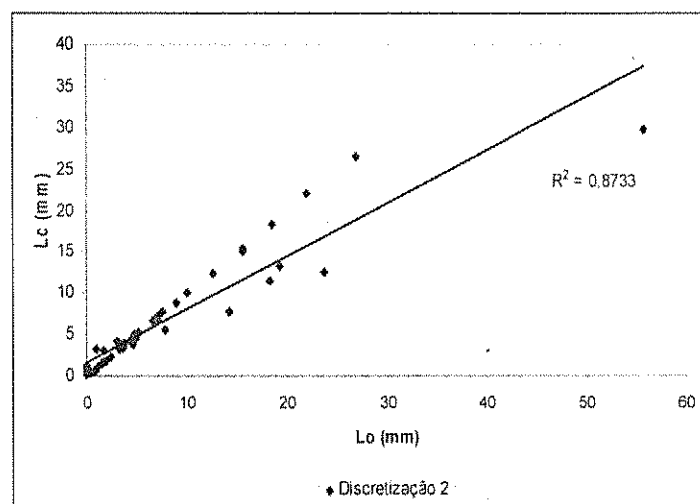


Figura 5.68 - Valor da correlação entre a lâmina observada e calculada para a sub-bacia 1 na simulação (discretização 2).

A discretização 2 da sub-bacia 1, de 20 elementos, foi utilizada para, além de verificar a influência das configurações, na modelagem, também verificar a influência das declividades dos canais nos resultados da produção de sedimentos. Para isso, como já mencionado, a discretização 2 da sub-bacia 1 foi utilizada com as declividades retiradas através do mapa topográfico com as curvas de nível, e depois, com declividades ajustadas apenas para os canais. A Tabela A30 apresenta os resultados obtidos para os dois casos.

5.3.2 – Calibração e Simulação dos parâmetros do modelo WEPP para a sub-bacia 2

Para a modelagem do escoamento superficial e erosão do solo na sub-bacia 2 com o modelo WEPP, foi utilizado apenas a discretização 1 da sub-bacia 2 com 54 elementos. A discretização da sub-bacia 2 no WEPP encontra-se na Figura 5.69.

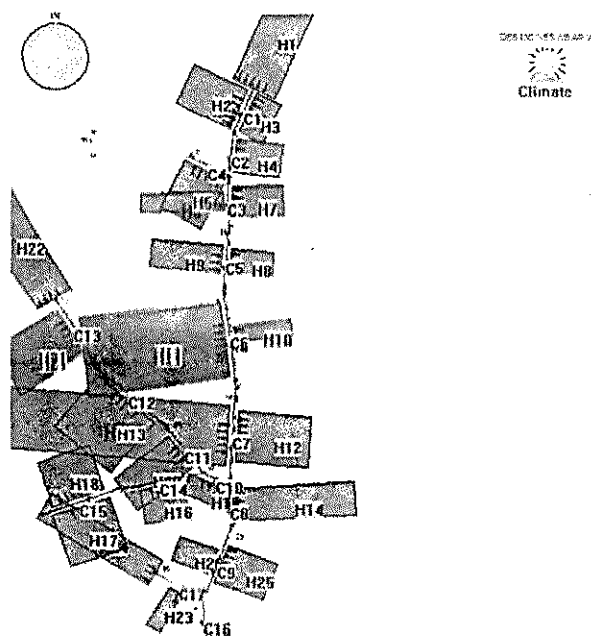


Figura 5.69 – Discretização da sub-bacia 2 em 54 elementos para o modelo WEPP

Não foi necessário a calibração do parâmetro K_s , já que o valor do parâmetro K_s (4,0 mm/h) calibrado na sub-bacia 1 através de várias tentativas foi utilizado nas sub-bacia com bons resultados. Da mesma forma, a tensão de cisalhamento calibrada na sub-bacia 1 de 20 Pa também gerou bons resultados. A Tabela A31, em Anexo, apresenta o resultado da calibração da saturação para a sub-bacia 2, e a Tabela 5.26 apresenta a relação entre os valores observados e calculados de lâmina e erosão para todos os eventos simulados e suas respectivas classes de variação.

Tabela 5.26 - Relação entre os valores observados e calculados para a lâmina com classes de variação para a sub-bacia 2 - WEPP.

Variação	Discretização	
	L_c/L_o	%
0,00 - 0,20	2	5,13
0,21 - 0,40	0	0,00
0,41 - 0,60	0	0,00
0,61 - 0,80	4	10,26
0,81 - 1,00	15	38,46
1,01 - 1,20	14	35,90
1,21 - 1,40	1	2,56
1,41 - 1,60	0	0,00
1,61 acima	3	7,69
Total	39	

A Figura 5.70 apresenta os valores do parâmetro S_i para a calibração da sub-bacia 2.

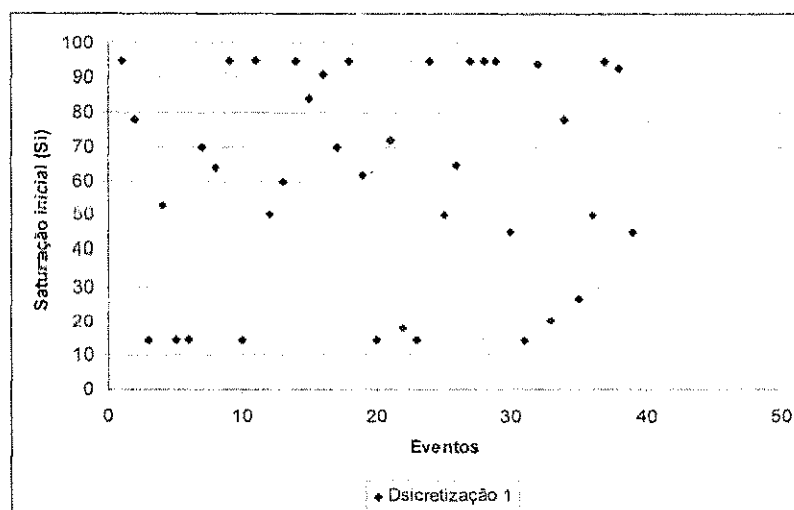


Figura 5.70 - Valor da saturação inicial relativa do solo para cada cheia da sub-bacia 2 durante a calibração (discretização 1).

A Figura 5.71 apresenta a correlação entre a lâmina observada e a lâmina calculada para a sub-bacia 2.

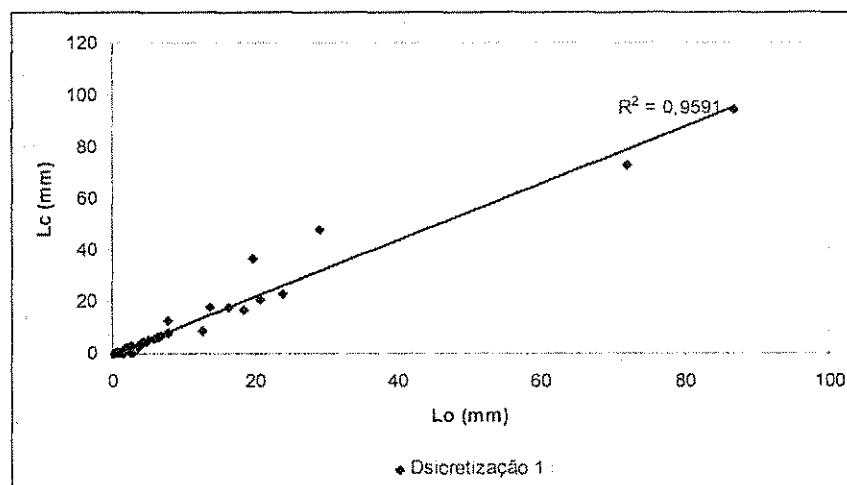


Figura 5.71 - Valor da correlação entre as lâminas observadas e calculadas para a sub-bacia 2 durante a calibração (discretização 1).

O parâmetro K_i , calibrado nas micro-bacias, foi utilizado na sub-bacia 2 e se obteve bons resultados. A tensão de resistência ao cisalhamento utilizada na sub-bacia 2 também foi de 20 Pa.

A mesma metodologia utilizada para a sub-bacia 1 foi seguida na sub-bacia 2 e também, através dos resultados do modelo, observou-se que os canais de drenagem da sub-bacia 2 estavam produzindo muitos sedimentos. Logo, o parâmetro K_r que estava fixado em 0,0202 s/m deve ser ajustado através de várias tentativas. O valor do parâmetro K_r calibrado para a sub-bacia 2 também foi de 0,0001 s/m, assim como na sub-bacia 1. A Tabela A31

também apresenta os valores de produção de sedimentos simulados. Da mesma forma que a sub-bacia 1, após a obtenção dos parâmetros de erosão, foi possível realizar a simulação dos valores médios obtidos dos parâmetros para todos os eventos da sub-bacia 2.

As Tabelas 5.27, 5.28 e 5.29 apresentam todos os valores dos parâmetros médios obtidos no processo de calibração das unidades experimentais analisadas na BESJC.

Tabela 5.27 – Valores médios obtidos para o modelo KINEROS2

Modelo	U E	Configuração	Parâmetros médios						
			G (mm)	K_s (mm/h)	S_r (%)	c_f	c_o		
						Planos	Planos	Canais	
KINEROS2	Parcela 1		330,0	4,00	0,756	1.478.970,420	0,01000000	-	
	Parcela 2		330,0	4,00	0,698	1.104.292,300	0,01000000	-	
	Micro-bacia 1		330,0	4,00	0,516	721.559,440	0,01000000	0,00010000	
	Micro-bacia 2		330,0	4,00	0,531	690.297,560	0,01000000	0,00010000	
	Micro-bacia 3		330,0	4,00	0,609	827.656,320	0,01000000	0,00010000	
	Sub-bacia 1	Disc. 1		330,0	4,00	0,631	1,000	0.00001734 ⁽¹⁾	0.00000578 ⁽¹⁾
		Disc. 2		330,0	4,00	0,635	1,000	0.00001734	0.00000578
	Sub-bacia 2	Disc. 1		330,0	4,00	0,613	1,000	0.00000618 ⁽²⁾	0.00000012 ⁽²⁾
		Disc. 2		330,0	4,00	0,607	1,000	0.00000618	0.00000012
		Disc. 3		330,0	4,00	0,614	1,000	0.00000618	0.00000012
		Disc. 4		330,0	4,00	0,613	1,000	0.00000618	0.00000012
⁽¹⁾ Valor obtido na calibração da discretização 1 da sub-bacia 1									
⁽²⁾ Valor obtido na calibração da discretização 1 da sub-bacia 2									
U.E. - Unidade Experimental									
Os dados referentes às Parcelas e Micro-bacias foram retirados do trabalho de Paiva (2008).									

Tabela 5.28 – Valores médios obtidos para o modelo WESP

Modelo	U E	Configuração	Parâmetros médios					
			K_s (m/s)	N_s (m)	K_i	K_r	α	
WESP					Planos	Planos	Canais	
	Parcela 1		$1,11 \times 10^{6(3)}$	0,038475	5×10^8	0,887	–	
	Parcela 2		$1,11 \times 10^6$	0,027305	5×10^8	0,648	–	
	Micro-bacia 1		$1,11 \times 10^6$	0,041489	5×10^8	0,768	0,02100	
	Micro-bacia 2		$1,11 \times 10^6$	0,035278	5×10^8	0,768	0,01600	
	Micro-bacia 3		$1,11 \times 10^6$	0,025180	5×10^8	0,768	0,01000	
	Sub-bacia 1	Disc. 1		$1,11 \times 10^6$	0,206390	5×10^8	0,015	0,00020
		Disc. 2 ⁽⁴⁾		$1,11 \times 10^6$	0,218920	5×10^8	0,015	0,00020
	Sub-bacia 2	Disc. 1		$1,11 \times 10^6$	0,259690	5×10^8	0,035	0,0003
		Disc. 2		–	–	–	–	–
		Disc. 3		–	–	–	–	–
		Disc. 4		–	–	–	–	–

⁽³⁾ Corresponde ao valor de 4,0 mm/l, que é o mesmo valor para o KINEROS2

⁽⁴⁾ Essa Discretização é referente à de 20 elementos e não à de 154 elementos

Os dados referentes às Parcelas e Micro-bacias foram retirados do trabalho de Paiva (2008).

Tabela 5.29 – Valores médios obtidos para o modelo WEPP

Modelo	U E	Configuração	Parâmetros médios					
			K_s (m/s)	S_s (%)	Tensão (t (Pa))	K_i	K_r	
WEPP						Planos	Canais	
	Parcela 1		2,00	0,762	8,00	$1.685 \times e^6$	–	
	Parcela 2		2,00	0,785	8,00	$1.300 \times e^6$	–	
	Micro-bacia 1		2,00	0,431	10,00	$1.000 \times e^4$	0,02020	
	Micro-bacia 2		2,00	0,374	10,00	$1.000 \times e^4$	0,02020	
	Micro-bacia 3		2,00	0,372	10,00	$1.000 \times e^4$	0,02020	
	Sub-bacia 1	Disc. 1		4,00	0,528	20,00	$1.000 \times e^4$	0,00010
		Disc. 2 ⁽⁴⁾		4,00	0,592	20,00	$1.000 \times e^4$	0,00010
	Sub-bacia 2	Disc. 1		4,00	0,616	20,00	$1.000 \times e^4$	0,00010
		Disc. 2		–	–	–	–	–
		Disc. 3		–	–	–	–	–
		Disc. 4		–	–	–	–	–

⁽⁴⁾ Essa Discretização é referente à de 20 elementos e não à de 154 elementos

Os dados referentes às Parcelas e Micro-bacias foram retirados do trabalho de Paiva (2008).

CAPITULO VI

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste Capítulo, serão apresentados a análise e discussão dos resultados, referentes às sub-bacias apresentados no Capítulo 5. Para as parcelas e micro-bacias, a análise e discussão estão detalhados no trabalho de Paiva (2008), e como foi indicado no Capítulo anterior, os valores médios dos parâmetros obtidos na calibração das parcelas e micro-bacias serão considerados na análise do efeito de escala.

6.0 – Análise e Discussão dos Resultados para as Sub-Bacias

6.1 – Modelo KINEROS2

6.1.1 – Escoamento Superficial e Erosão do Solo para as Sub-Bacias 1 e 2

Duas discretizações foram utilizadas para a calibração da sub-bacia 1 e quatro para a sub-bacia 2, onde no modelo KINEROS2 os parâmetros relacionados ao escoamento superficial e erosão do solo foram bastante sensíveis as variações no processo de calibração em todas as discretizações das sub-bacias 1 e 2. Os valores de saturação inicial relativa do solo são altos. A maioria dos eventos foram calibrados com uma saturação inicial relativa do solo superior a 60% na sub-bacia 1 e 50% na sub-bacia 2. Como a saturação inicial relativa do solo é dado pela relação entre a umidade inicial e a porosidade ($S_i = \theta_i/\phi$) verificamos que o valor de umidade inicial máximo é de 0,38, ou seja, para $S_i = 0,95$ e $\phi = 0,398$. Sendo assim, teoricamente, o valor do parâmetro S_i está entre os limites citados por (LOPES, 2003) onde para um solo tipo franco arenoso argiloso, como na BESJC, a umidade relativa do ponto de murcha fica em torno de 0,13 e a umidade relativa à capacidade de campo fica em torno de 0,34.

Uma explicação para valores altos de saturação inicial do solo seria a fixação do parâmetro G , o potencial de capilaridade, igual a 330 mm. Este parâmetro se refere a uma

característica física do solo que também varia de acordo com a umidade. Woolhiser *et al.*, (1990), baseado no trabalho de Rawls *et al.*, (1983), indicam valores médios desse parâmetro de acordo com o tipo de solo, e recomenda que utilizem o valor médio quando não exista valores disponíveis de campo. Caso tivéssemos pares de valores da condutividade hidráulica e do potencial mátrico de solo, poderíamos calcular G pela equação 4.2.

Todavia, o modelo apresenta coerência entre os valores encontrados para as parcelas, micro-bacias e sub-bacias. Para a parcela 1, o valor médio de saturação foi de 0,756 e para a parcela 2 foi de 0,698. Para as micro-bacias 1, 2 e 3, os valores ficam em torno de 0,516, 0,531 e 0,609. Para a sub-bacia 1, através das duas discretizações, o valor médio encontrado foi de 0,631 e 0,635 para a discretização 1 e 2, respectivamente, e para a sub-bacia 2, os valores médios encontrados foram de 0,613, 0,607, 0,614 e 0,613 para as discretizações 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Isso demonstra que o modelo representa bem a física do processo de infiltração e que o modelo mostrou-se sensível às discretizações das sub-bacias, uma vez que, para os mesmos eventos de precipitação, valores diferentes do parâmetro S_i foram obtidos quando houve aumento no número de elementos que compõe a bacia.

Nesse trabalho, foi observado também que o parâmetro S_i sofre uma sensível, mas perceptível variação de acordo com a discretização nas duas sub-bacias. Este fato pode ser explicado visto que o parâmetro S_i calibrado representa a saturação inicial sobre toda a bacia, e desta forma, quanto menor for o número de elementos, maior será a área de cada um e, sendo assim, haverá uma maior infiltração. Em geral, para que o modelo possa simular a lâmina observada, será necessário que o valor de saturação inicial, S_i , seja maior do que o encontrado para uma discretização com maior número de elementos, o que não ocorreu no caso das duas discretizações da sub-bacia 1, onde o valor da saturação inicial do solo para a discretização 1 (87 elementos) é quase sempre menor do que a discretização 2 (157 elementos). Para a sub-bacia 2, observa-se que apesar de ser pequena a diferença do valor de S_i entre uma discretização e outra, ocorre um decréscimo do valor de S_i com o aumento do número de elementos, até que, na discretização 4, esse valor começa a aumentar, porém ainda menor do que na discretização 1.

As estatísticas de lâmina para as duas sub-bacias para a calibração realizada através da relação entre os valores das lâminas calculadas e observadas (L_c/L_o) apresentam os valores da média, mediana, desvio padrão, e valores máximo e mínimo para cada configuração. A Tabela 5.1 apresenta a estatística entre os valores de L_c/L_o para a sub-bacia 1, mostrando que a variação dos resultados obtidos para os valores de lâmina são bem próximos de 1 nas duas discretizações, o que não oferece subsídios para se julgar qual seria a melhor discretização

utilizada, que nesse caso seria as duas. A Tabela 5.4 apresenta os valores para todos os eventos simulados com a relação entre a lamina e erosão observados e calculados com as respectivas classes de variação e é possível observar para a sub-bacia 1 que 91,91% dos eventos simulados para a lâmina na discretização 1, da sub-bacia 1, ficaram na faixa entre 0,8 e 1,2, significando uma excelente simulação, pois a maior parte da relação entre os eventos calibrados e calculados ficaram próximos a 1. Para a discretização 2 esse valor é de 92,31% ou seja, uma aproximação melhor.

Já a Tabela 5.5 apresenta a análise estatística para os valores de L_o/L_o para a sub-bacia 2, e é possível observar uma certa aproximação entre os valores para a discretização 2 e 3. A Tabela 5.8 mostra que, para a lâmina, aproximadamente 94,00% dos eventos na discretização 1 ficaram na faixa entre 0,8 e 1,2 indicando uma excelente simulação. Para a discretização 2 esse valor ficou em aproximadamente em 94,80%, para a discretização 3 em 96,50% e a discretização 4 em 94,50%. Todos esses valores indicam uma excelente simulação em todas as configurações. As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam os valores do coeficiente de determinação R^2 da fase de calibração, entre os valores calculados e observados de lâmina para as duas discretizações da sub-bacia 1, cujos valores são de 0,9704 e 0,9698, respectivamente, para a discretização 1 e 2. Esses valores indicam uma boa calibração do parâmetro S_i do modelo, uma vez que, se obteve a calibração da saturação em grande parte dos eventos utilizados. As Figuras 5.23, 5.24, 5.25 e 5.26 apresentam os resultados de correlação de lâmina para as quatro discretizações da sub-bacia 2, cujos valores são de 0,9910, ou seja, uma correlação muito boa, já que para o modelo, da mesma forma que a sub-bacia 1, foi possível a calibração da saturação para quase todos os eventos utilizados.

Em relação à erosão, deve-se salientar que os valores dos parâmetros foram calibrados apenas na discretização 1 (87 elementos) para a sub-bacia 1 e para a discretização 1 (54 elementos) para a sub-bacia 2. Para a sub-bacia 1, os parâmetros médios obtidos foram utilizados na simulação na outra configuração de 157 elementos. Já para a sub-bacia 2, os parâmetros médios obtidos na calibração foram simulados para as quatro diferentes discretizações. Também vale notar que em apenas alguns eventos existiam dados de erosão, e que os modelos foram utilizados para simular a produção de sedimentos nos outros eventos. Os resultados da simulação estão mostrados nas Tabelas A4 (sub-bacia 1), A11 e A12 (sub-bacia 2), em Anexo, na qual também é possível comparar tanto os valores obtidos na simulação, quanto as razões entre os valores simulados e observados das lâminas escoadas e erosões produzidas.

Nesse contexto, deve-se enfatizar a importância dos parâmetros da erosão. Enquanto não é realizada uma observação física em campo para verificar o processo real, o parâmetro c_f deve ser analisado de forma indireta. Considerar que os planos discretizados na sub-bacia seriam perfeitamente planos, o que seria favorável à erosão pelo impacto das gotas de chuva (c_f) – não seria totalmente válido. A melhor representação de um plano seria a própria parcela de erosão, e nesse caso a erosão principal ocorre pelo impacto das gotas de chuva. Nas sub-bacias, quando discretizadas, os planos são muito maiores do que as parcelas, e também, maiores do que as próprias micro-bacias, logo, nem toda a região do plano é totalmente plana, e em algumas partes começa a ocorrer a presença de sulcos formados pela concentração do escoamento superficial. A presença desses sulcos causa erosão concentrada, com a predominância da ação de cisalhamento na erosão das partículas e a coesão resistindo essa erosão. Dessa forma, o parâmetro c_f deixa de ser o parâmetro mais importante no processo de erosão nas sub-bacias. Daí, no processo de erosão e transporte de sedimentos, o parâmetro básico que influencia a produção de sedimentos seria c_o que representa a coesão entre as partículas do solo e, determina o parâmetro de intercâmbio c_g .

Em todas as discretizações através da simulação, os resultados foram semelhantes a do escoamento. As duas configurações da sub-bacia 1 geraram bons resultados. Os valores de correlação são os mesmos para as duas discretizações. A Figura 5.12 apresenta os valores de sedimentos através da simulação, e se observa que os valores são bem próximos, porém com uma pequena variação na discretização 2 da sub-bacia 1, cujos valores são maiores, ou seja, com um maior número de elementos (157 elementos), a produção de sedimentos aumentou, seguindo a mesma tendência do escoamento em relação a saturação, cujo valor de saturação aumentou com um maior número de elemento. Para a sub-bacia 2, observa-se que as discretizações intermediárias de 110 e 173 elementos ficaram próximos com produções menores do que as outras. Desta forma, nota-se uma tendência de redução da produção de sedimentos da configuração de 54 elementos para a de 110 elementos, ficando quase estável para a configuração de 173 elementos e aumentando para a de 227 elementos. Isto significa que um aumento de número dos elementos na representação da bacia não necessariamente melhora os resultados da simulação ou da previsão. No presente caso, as discretizações 2 e 3 com 110 e 173 elementos apresentam resultados melhores do que as configurações 1 e 4 com 54 e 227 elementos, respectivamente, pois os resultados são mais próximos aos observados. As Figuras 5.12 e 5.35 mostram uma comparação, entre as duas discretizações da sub-bacia 1 e entre as quatro discretizações da sub-bacia 2, respectivamente, em relação às quantidades de sedimentos produzidos pela erosão nos 16 e 22 eventos que continham dados de erosão

observados, até mesmo os que não calibraram. Observa-se que os resultados de lâmina produzidos através da simulação são bem próximos aos observados sempre com uma pequena variação. Também é possível analisar através da simulação que o modelo é capaz de produzir bons resultados na produção de sedimentos mesmo sem dados de erosão observados, pois os valores encontrados para os eventos sem observação, não se distanciam da margem de valores dos eventos que contem dados de erosão observados.

As estatísticas de erosão, para a calibração, apresentam os valores da média, mediana, desvio padrão, e valores máximo e mínimo para cada configuração, através da relação dos valores de erosão calculados e erosão observada (E_c/E_o). Para a sub-bacia 1, observa-se através da Tabela 5.2 que os valores obtidos para a discretização 1 é melhor do que os valores obtidos para a discretização 2, logicamente devido ao fato, dos valores médios obtidos na calibração terem sido obtidos na discretização 1 de 87 elementos. A Tabela 5.4 mostra que, para a erosão, os valores simulados ficaram em 12,50% na faixa entre 0,80 e 1,20 indicando uma baixa aproximação entre os valores observados e calculados. Para a sub-bacia 2, a Tabela 5.6 mostra que os melhores valores estatísticos são para a discretização 2 e 3, ou seja, 110 e 154 elementos. Os valores para a discretização 1 e 4 (54 e 227 elementos) se aproximam e são maiores na discretização 4. Isso também mostra que a discretização da bacia afeta os resultados, não existindo uma regra. A Tabela 5.8 apresenta uma baixa aproximação entre os resultados simulados para a erosão. Na discretização 1 da sub-bacia 2, 13,34% estão na faixa de 0,80 a 1,20, indicando uma baixa aproximação entre os valores observados e calculados. Para a discretização 2, esse valor é de 33,33%, para a discretização 3 é de 41,00% e para a discretização 4 é de 13,33% todos indicando uma baixa aproximação.

Os valores de R^2 entre os resultados de erosão observados e calculados são de 0,844 e 0,879 para as discretizações 1 e 2 da sub-bacia 1, respectivamente. São altas, porém inferior aos da calibração. Para a sub-bacia 2, os valores de R^2 também são próximos de 0,902, 0,895, 0,900 e 0,902 respectivamente para as discretizações de 1 a 4 da sub-bacia 2.

Em relação à validação, os valores médios obtidos na calibração da discretização 1 (87 elementos) da sub-bacia 1 e que foram utilizados na discretização 2, foram também utilizados durante a validação na sub-bacia 2 para as quatro discretizações. O mesmo ocorreu para a sub-bacia 2, os valores médios obtidos na calibração da discretização 1 (54 elementos) e que foram utilizados nas demais discretizações, também foram simulados nas duas discretizações da sub-bacia 1.

Para a sub-bacia 1, a Tabela A14, em Anexo, apresenta os resultados obtidos e fica evidente que os valores simulados subestimam os valores observados, o que fica mais

evidenciado através da Figura 5.45 que apresenta a situação na etapa de validação para as discretizações 1 e 2 da sub-bacia 1. Os resultados obtidos na discretização 2 (157 elementos) são sempre maiores do que os valores obtidos na discretização 1 (87 elementos), ou seja, com um maior número de elementos na discretização ocorre uma produção maior de sedimentos. Uma comparação é feita entre os resultados da simulação com os resultados obtidos pela validação cruzada. A Tabela A15 apresenta essa comparação, da qual observa-se que os valores da simulação superestimam os valores obtidos na validação, porém os valores simulados são mais próximos aos observados. A Tabela A13 e a Figura 5.41 apresentam a produção de sedimento para as quatro discretizações da sub-bacia 2 através da validação cruzada dos parâmetros médios obtidos na sub-bacia 1. Os resultados obtidos também seguem a tendência de serem próximos na discretização 2 e 3 e também próximos na discretização 1 e 4. Da discretização 1 para a 2, os resultados decrescem, já para a discretização 2 e 3 os resultados parecem praticamente constantes, e da discretização 3 para a 4, os resultados crescem novamente. Através da Tabela A16, observa-se que os valores obtidos na validação cruzada superestimam a produção de sedimentos com valores altos em relação aos resultados da simulação na própria sub-bacia. A Figura 5.41 apresenta os valores obtidos apenas para os eventos que continham erosão observada.

A estatística referente à erosão durante a validação cruzada apresentada na Tabela 5.10 com os parâmetros da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 e a Tabela 5.12 para os parâmetros da sub-bacia 2, aplicados na sub-bacia 1. Os resultados estatísticos para a sub-bacia 1 mostram que a média, mediana e desvio padrão da discretização 2 são maiores que na discretização 1. Já os resultados obtidos de média, mediana e desvio padrão para a sub-bacia 2 são altos e semelhantes aos da simulação, onde os valores da discretização 2 e 3 se aproximam, e os valores da discretização 1 e 4 também são próximos. Mais uma vez, observa-se que os valores da discretização 1 para 2 decresce, os valores da discretização 2 e 3 permanecem constantes, e para a discretização 4 ocorre um aumento nos valores estatísticos.

Definidos todos os parâmetros do modelo KINEROS2, foi possível obter uma estimativa da produção anual de sedimentos e uma estimativa da produção média interanual. Para este fim, foram simulados todos os eventos de todos os anos que tinham registro de dados consistentes e verificados de chuva e lâmina de escoamento. Como foi explicada anteriormente, a saturação inicial do solo, sendo variável para cada evento, tinha que ser determinada pelo ajuste entre a lâmina simulada e observada para cada evento para poder gerar a seqüência do fluxo sobre os planos e canais da cada configuração. Feito isto, a erosão

foi simulada evento por evento em cada ano para se obter a produção anual através da soma das produções individuais.

Uma das informações importantes para planejamento e gestão dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica é a taxa média anual de sedimentos erodidos. A melhor forma de estimar este valor é através de modelos calibrados e validados. Desta forma, os parâmetros calibrados da sub-bacia 1 e 2 foram utilizados para simular os eventos do registro e calcular a produção de sedimentos em cada ano e o valor médio dos anos obtidos. A simulação foi efetivada em todas as configurações das sub-bacias 1 e 2 para todos os anos com registros completos e sem falhas. As somas de produção de todos os eventos resultaram na produção anual mostrada nas Tabelas 5.3 e 5.7. Contudo, a tendência geral da produção segue o mesmo comportamento nos eventos individuais. Por exemplo, para a sub-bacia 2, a produção anual na configuração 1 aproxima a da configuração 4. As produções anuais obtidas nas configurações 2 e 3 são bastante próximos. Em todas as configurações, a produção de sedimentos apresenta uma tendência consistente e crescente com o escoamento anual. As Figuras 5.13 e 5.36 mostram a produção comparativa entre as duas discretizações da sub-bacia 1 e as quatro discretizações da sub-bacia 2, para os diversos anos de registro.

Através dos valores simulados e validados, pode-se fazer uma comparação entre os resultados que são apresentados nas Tabela A15 e A16, em Anexo.

Nota-se que, para a sub-bacia 1, os valores obtidos na simulação na própria bacia são sempre superiores aos valores da etapa da validação cruzada, porém próximos aos valores observados. Logo, verifica-se que os valores médios dos parâmetros obtidos na sub-bacia 2 e validados na sub-bacia 1 subestimaram os valores de erosão. Já para a sub-bacia 2, os valores para a validação superestimaram os valores da simulação, porém todos os resultados estão próximos aos valores observados. Verifica-se que os valores médios dos parâmetros obtidos na sub-bacia 1 e validados na sub-bacia 2 produziram bons resultados.

6.1.2 – Efeito de Escala sobre os parâmetros do modelo KINEROS2

Em relação aos parâmetros de capilaridade (G) e a condutividade hidráulica saturada (K_s) do modelo não podemos relacionar seus valores com a área da bacia, pois os mesmos refletem uma característica física do solo, que depende do tipo e das condições iniciais do mesmo. Na Figura 6.1, observa-se que o parâmetro de saturação médio obtidos nas parcelas, ocorre um decréscimo nos valores de saturação de 0,756 a 0,698, isso pode ter acontecido

devido ao uso de muitos eventos para a calibração da parcela 1. Nas micro-bacias observa-se que em relação à área ocorre um decréscimo na saturação média obtida na micro-bacia 2 para a 1, e um aumento da micro-bacia 1 para a micro-bacia 3.

Para as sub-bacias, observamos que o valor de saturação para as duas sub-bacias e para todas as configurações utilizadas são praticamente constantes, em torno de 60%.

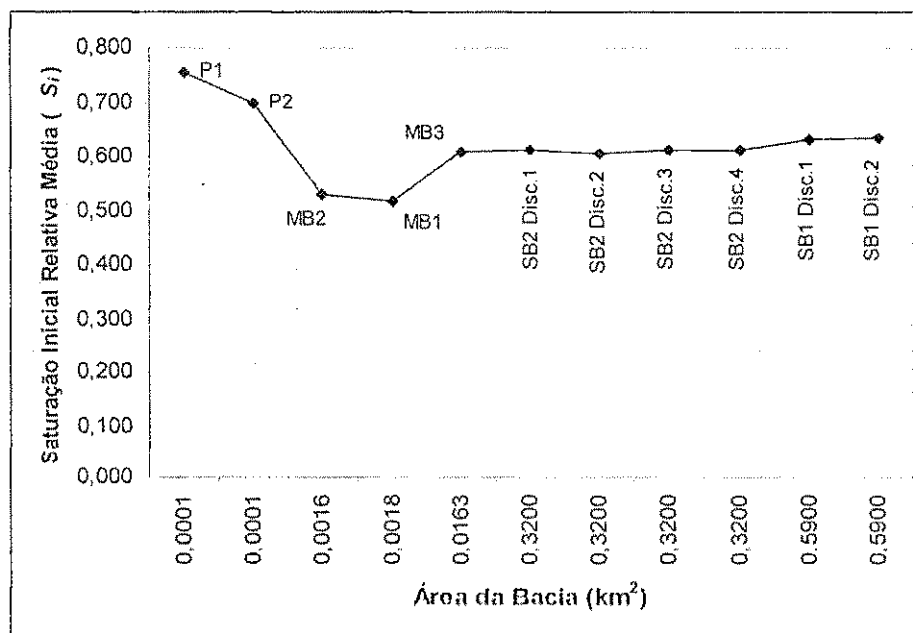


Figura 6.1 – Variação do parâmetro S_i calibrado do modelo KINEROS2 em relação às áreas das unidades analisadas.

Em relação à erosão, analisando a Figura 6.2, observa-se que os valores do parâmetro de erosão por impacto de gotas de chuva (c_f) variam entre 10^5 e 10^6 entre as parcelas e micro-bacias já que para as sub-bacias esse parâmetro foi fixado em 1, pois o mesmo não possui sensibilidade no processo de modelagem nas sub-bacias como já explicado. É possível perceber um decréscimo do valor de c_f nas parcelas até a micro-bacia 2, porém, quando a área começa a aumentar esse parâmetro começa a crescer novamente até a micro-bacia 3. Uma possível explicação para o caso da diminuição do parâmetro c_f nas parcelas seria a declividade das parcelas, uma vez que, a declividade da parcela 2 é pouco maior do que a parcela 1 (3,6 e 3,4 %) respectivamente. Dessa forma, devido a declividade da parcela 2, ocorre uma maior produção de sedimentos, e consequentemente o valor do parâmetro c_f é menor. Para as micro-bacias a mesma explicação pode ser dada em relação ao aumento do parâmetro c_f , já que, a declividade da micro-bacia 2 (9,75 %), é a maior dentre as micro-bacias, logo, está mais propícia à erosão pelo impacto das gotas de chuva e dessa forma o valor de c_f é menor. Para a micro-bacia 1, com declividade de 7,50%, ou seja, um pouco menor do que a micro-bacia 2, já é possível observar o aumento do parâmetro c_f , já que a produção de sedimento é menos

favorecida devido a declividade, logo o valor do parâmetro c_f é maior. Para a micro-bacia 3, que possui a menor declividade dentre as micro-bacias de 6,75%, observa-se que o parâmetro c_f é maior dentre as micro-bacias. Dessa forma, fica evidenciado que a declividade dessas unidades experimentais influencia muito no processo de calibração dos parâmetros.

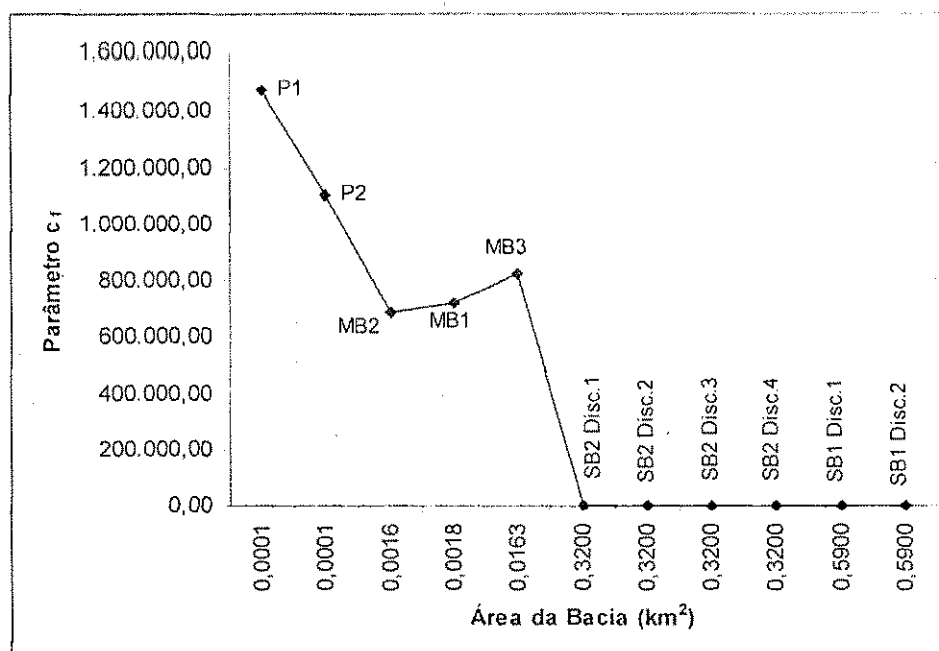


Figura 6.2 – Variação do parâmetro c_f calibrado do modelo KINEROS2 com as áreas das unidades analisadas.

Para o parâmetro de coesão do solo (c_o) os valores médios obtidos ficaram na faixa de 10^{-2} a 10^{-6} para os planos das sub-bacias e de 10^{-4} a 10^{-7} para os canais. Para a sub-bacia 1, os resultados do parâmetro c_o ficou na faixa de 10^{-5} para as duas discretizações e para a sub-bacia 2 ficou na faixa de 10^{-6} para as quatro discretizações. Os valores utilizados nas parcelas e micro-bacias foram fixados em 10^{-2} . Esse parâmetro, como já explicado, varia de acordo com a rede de drenagem da bacia, pois está relacionado, com a coesão do solo, já que a erosão nas sub-bacias está condicionada a erosão concentrada nos pequenos sulcos formados nos planos em cada discretização, além dos canais. Como nas parcelas e micro-bacias a área de cada plano é muitas vezes 50 ou 100 vezes menor que a área de um único plano das sub-bacias, que é o caso da micro-bacia 1, cuja área total, corresponde a apenas um plano da sub-bacia 1, o parâmetro c_o não é sensível na modelagem, e sim o parâmetro c_f .

6.2 – Modelo WESP

6.2.1 – Escoamento Superficial e Erosão do Solo para Sub-Bacia 1 e 2

Duas discretizações da sub-bacia 1 foram utilizadas para a análise do escoamento superficial e erosão do solo para o modelo WESP, a discretização 1 da sub-bacia 1 de 87 elementos e uma nova discretização de 20 elementos que também foi utilizada para a análise do efeito da declividade sobre a produção de sedimentos. Para a sub-bacia 2, a discretização 1 de 54 elementos foi utilizada para o modelo WESP.

O parâmetro calibrável do modelo para o escoamento superficial é o N_s , que representa a interação entre o potencial mátrico do solo, o qual varia com a umidade e a umidade inicial relativa do solo. Os valores encontrados para esse parâmetro para as parcelas variaram de 0,10 a 95,00 mm, que são valores próximos aos valores encontrados por Aragão (2000) e por Lopes (2003). Os valores médios utilizados para a parcela 1 e 2 são respectivamente de 38,475 e 27,305 mm respectivamente. Utilizando a equação 4.20a ($N_s = (1 - S_e) \phi G$), pode-se calcular o valor da saturação inicial efetiva do solo. Utilizando os valores do potencial de capilaridade de 330 mm e da porosidade 0,398 já estabelecidos pelo modelo KINEROS2 através da calibração, encontramos o valor de saturação inicial de 0,707 e 0,792, ou seja, valores próximos aos obtidos com o modelo KINEROS2. Para as micro-bacias, os valores médios de N_s foram de 41,489, 35,278 e 25,180 mm respectivamente para as micro-bacias 1, 2 e 3. Os valores de saturação relativa para esses valores de N_s são de 0,684, 0,731 e 0,808 respectivamente. Para as sub-bacias os valores médios de N_s obtidos são de 0,20639 m e 0,21892 m para discretização 1 de 87 elementos e para a discretização 2, de 20 elementos. Os valores de saturação inicial do solo para esses valores de N_s são de 0,571 e 0,667. Para a sub-bacia 2 o valor médio de N_s foi de 0,25969 m, cujo valor de saturação inicial dá exatamente igual a 0,977. Esses valores indicam que o modelo WESP fornece resultados semelhantes aos do modelo KINEROS2 apesar de possuir diferentes equações de infiltração.

De acordo com a equação 4.20a o valor máximo para o parâmetro N_s nas sub-bacias, de acordo com os valores de G e ϕ estabelecidos no início da calibração seria de 657 mm ou 0,657m. Observa-se na Tabela A19 e A21 que alguns valores de N_s ficaram acima desse valor, pois no processo de calibração, se fosse utilizado o valor máximo calculado de N_s o valor calculado não se aproximava do valor observado. O valor N_s observados através das Figuras 5.48 e 5.49, apresenta alguns valores iguais a 0,950 m, que indica uma umidade do

solo a uma profundidade de 0,950 m, logicamente, na região em estudo, a profundidade do solo na maior parte da bacia talvez não chega nesse valor. A variação dos valores de N_s , de acordo com Aragão (2000) pode ser atribuída aos seguintes fatores: i) mudança nas condições de umidade que ocorrem de evento para evento; ii) selagem ou redução da capacidade de infiltração da superfície do terreno, influenciando na formação do escoamento; iii) características dos extratos que compõem o solo e iv) caminhos preferenciais existentes nas camadas do solo da bacia. A Tabela A19 em Anexo apresenta os valores de N_s calibrados. Observa-se que os valores de N_s na discretização de 20 elementos são sempre maiores do que os valores da discretização de 87 elementos. Isso significa que, para uma discretização com um maior número de elementos, cujas áreas são menores, ocorre uma menor infiltração, devido ao menor tempo para a propagação do escoamento, e conseqüentemente os valores de N_s são menores. Já para a discretização com o menor número de elementos, as áreas são bem maiores, favorecendo o processo de infiltração, e os valores de N_s são maiores.

As estatísticas de lâmina para as duas sub-bacias para a calibração realizada através da relação entre os valores de lâmina calculada e observada (L_c/L_o) apresentam os valores da média, mediana, desvio padrão, e valores máximo e mínimo para cada configuração. A Tabela 5.13 apresenta a estatística entre os valores de L_c/L_o para a sub-bacia 1, mostrando que a variação dos resultados obtidos para os valores de lâmina são bem próximos de 1 na duas discretizações, o que, da mesma forma que o modelo KINEROS2, não oferece subsídios para julgar qual seria melhor discretização utilizada, que nesse caso seria as duas. A Tabela 5.14 indica que 98,00% dos eventos na discretização 1 encontra-se na faixa de variação entre 0,80 e 1,20, indicando uma excelente simulação para a lâmina. Na discretização 2, 98,21% dos eventos ficaram na respectiva faixa. Já a Tabela 5.16 apresenta a análise estatística para os valores de L_c/L_o para a sub-bacia 2, apresentando resultados bem próximos a 1. A Tabela 5.17 indica que 98,00% da relação entre os valores de lâmina observada e calculada estão na faixa de 0,80 a 1,20 indicando uma excelente simulação. Em relação a correlação dos valores observados e calculados observa-se valores iguais a 0,9756 e 0,9853, apresentado bons valores na calibração do parâmetro N_s .

Em relação à produção de sedimentos o parâmetro K_i , que representa a erosão por impacto das gotas de chuva nos planos das sub-bacias, foi fixado em 5×10^8 em todas as unidades experimentais analisadas, assim como no trabalho de Aragão (2000) e os parâmetro K_r e a foram calibrados. No trabalho de Lopes (2003) esse parâmetro também foi calibrado, variando-se o seu valor de 0 a 10^{17} sem obter grandes variações nos resultados finais.

Nas parcelas de erosão, o valor do parâmetro a foi fixado em 0,00001 e dessa forma o valor do parâmetro K_r , que representa a erosão pelo fluxo superficial, foi calibrado evento a evento obtendo os seguintes valores 0,887 e 0,648. O valor médio obtido de 0,768 foi fixado nos planos das micro-bacias e dessa forma o valor do parâmetro a que representa a erosão devido ao fluxo nos sulcos e canais foi calibrado evento a evento, cujos valores são de 0,021, 0,016 e 0,010 respectivamente para as micro-bacias 1, 2 e 3. Da mesma forma o valor do parâmetro K_r médio obtido nas parcelas e utilizado com êxito nas micro-bacias, foi aplicado as sub-bacias sem obter resultados satisfatórios. Logo, atribuiu-se valores para o parâmetro K_r fixando o valor de a em 0,0002 e após a calibração, obteve-se o valor de K_r médio de 0,015. Esse procedimento foi realizado apenas na discretização 1 da sub-bacia 1 de 87 elementos. Para a sub-bacia 2, os valores dos parâmetros K_r e a encontrados para a sub-bacia 1, foram utilizados, porém não obteve-se bons resultados, necessitando a alteração desse parâmetro e os valores que calibraram mais eventos foram K_r de 0,035 e a de 0,0003.

Após a calibração desses parâmetros foi realizada a simulação de todos os eventos. A Tabela A20 em Anexo apresenta os resultados da simulação com estes valores de K_r e a , e observa-se que os valores da produção de sedimentos na discretização 2 com 20 elementos superestima a produção em relação a discretização com 87 elementos. Mais uma vez, fica evidenciado que, a discretização com menor número de eventos, também, superestima a produção de sedimentos em relação à discretização maior, conforme a Tabela A20 em Anexo. Para R^2 obteve-se o valor de 0,9251 para a discretização 1 e 0,9129 para a discretização 2 com a simulação dos parâmetros médios de K_r e a .

A Tabela 5.14 indica que 30,00% dos eventos simulados, a relação dos resultados observados e calculados ficaram na faixa de 0,80 e 1,20, indicando uma razoável simulação. Deve-se salientar que foram analisados nesta relação apenas os dez eventos de erosão que foram possíveis de calibração do escoamento superficial e que continham dados de erosão observados. Para a sub-bacia 2, a Tabela 5.17 indica que apenas 11,00% dos valores simulados ficaram na faixa de 0,80 a 1,20%.

Em relação à validação, os valores médios obtidos na calibração da discretização 1 (87 elementos) da sub-bacia 1 e que foram utilizados com a discretização 2 da sub-bacia 2, foram também utilizados na simulação da sub-bacia 2. O mesmo ocorreu para a sub-bacia 2, os valores médios obtidos na calibração da discretização 1 (54 elementos) e que foi simulado na mesma discretização, também foram utilizados para simulação nas duas discretizações da sub-bacia 1. As Tabelas A25 e A26 apresentam os valores simulados e validados para a sub-bacia 1 e 2, e é possível observar que os parâmetros da sub-bacia 1 validados na sub-bacia 2

apresentaram uma grande superestimação na maioria dos eventos simulados. Já os valores validados na sub-bacia 1, nas duas discretizações, com os valores médios dos parâmetros K_r e a obtidos na sub-bacia 2, apresentam resultados muito bons na maioria dos eventos. Isso significa que, para as duas discretizações da sub-bacia 1, os valores médios obtidos nas discretizações da sub-bacia 2 e validados na sub-bacia 1, foram melhor adaptados as condições da sub-bacia 1.

O valor de R^2 entre os valores observados e calculados de erosão na validação da sub-bacia 2 com os dados dos parâmetros médios da sub-bacia 1 é de 0,9905, e os valores de R^2 com a validação dos parâmetros médios da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 é de 0,9215 e 0,9151 para a discretização 1 e 2 respectivamente. Estes valores indicam uma boa simulação dos eventos.

Da mesma forma que o modelo KINEROS2, esse modelo também foi utilizado para estimar a produção anual de sedimentos e os valores obtidos e apresentados na Tabela 5.15 e na Figura 5.55 para a sub-bacia 1 na simulação, indica que a produção de sedimentos na discretização menor de 20 elementos são bem maiores do que a discretização com mais elementos. Para a sub-bacia 2, a Tabela 5.18 apresenta valores bastante altos de sedimentos estimados em relação aos valores estimados nas duas discretizações da sub-bacia 1.

Em relação à discretização 2 da sub-bacia 1, a mesma foi utilizada através de duas metodologias. A primeira foi com as declividades dos canais obtidas através da topografia do mapa da região. A segunda forma foi de utilizar a mesma discretização, mas reduzindo as declividades dos canais. Os resultados obtidos através dessas duas metodologias, através do modelo WESP, são apresentados na Tabela A24 em Anexo. Verifica-se uma pequena variação na produção de sedimentos entre as duas situações. Os resultados obtidos com as declividades topográficas dos canais são, na maioria dos eventos, maiores do que as declividades alteradas. Lembrando que, as declividades foram alteradas de forma que os canais produzissem o mínimo de sedimento possível durante a calibração. Isso indica que, no modelo WESP, a declividade não é muito sensível nas respostas do modelo para a produção de sedimentos.

6.2.2 – Efeito de Escala sobre os parâmetros do modelo WESP

Em relação aos parâmetros de capilaridade (G) e a condutividade hidráulica saturada (K_s) do modelo, da mesma forma que o modelo KINEROS2, não pode se relacionar seus valores com a área da bacia, pois os mesmos refletem uma característica física do solo, que

depende do tipo e das condições iniciais do mesmo. O parâmetro K_s , de $4,0 \text{ mm/h}$, obtido através da calibração do modelo KINEROS2, também foi utilizado no modelo WESP, cujo valor utilizado no modelo é de $1,11 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

Analisando o parâmetro N_s nas parcelas, observa-se que ocorre um decréscimo nos valores médios de N_s de $0,038475$ a $0,027305 \text{ m}$, isso pode ter acontecido devido a maior quantidade de eventos para a calibração da parcela 1, como no modelo KINEROS2. Nas micro-bacias observa-se que, em relação a área ocorre um aumento de N_s médio obtido na micro-bacia 2 para a 1, e um decréscimo da micro-bacia 1 para a micro-bacia 3. Para as sub-bacias observamos que o valor de N_s para as duas discretizações da sub-bacia 1 são praticamente constantes, $0,206390$, $0,218920 \text{ m}$ e para a sub-bacia 2, $0,259690 \text{ m}$, houve um aumento no valor de N_s bem evidenciado. Essa variação pode ser verificada através da Figura 6.3 abaixo.

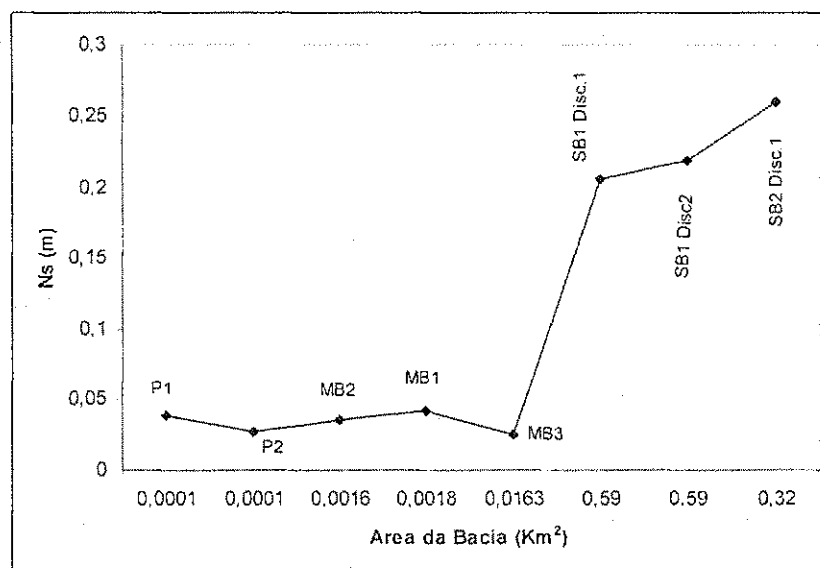


Figura 6.3 – Variação do parâmetro N_s calibrado do modelo WESP com as áreas das unidades analisadas.

Em relação ao parâmetro de erodibilidade pelo impacto das gotas de chuva, o parâmetro K_i , não foi calibrado, apenas fixado em 5×10^8 . Segundo Lopes (2003) que calibrou esse parâmetro nas parcelas e micro-bacias de Sumé, nada se pode afirmar sobre a influencia da escala da bacia hidrográfica sobre esse parâmetro.

Em relação ao parâmetro de erosão pelo fluxo superficial K_r , observa-se na Figura 6.4 que em relação às parcelas acontece um decréscimo no valor médio obtido. Esse resultado, também pode ter sido influenciado pela declividade das parcelas, uma vez que o valor da declividade da parcela 2 é um pouco maior que o da parcela 1, o que favorece o processo de erosão, e dessa forma o valor de K_r é menor. Para as micro-bacias, o valor médio obtido nas

parcelas foi utilizado com êxito no processo de modelagem, logo, não houve alteração no seu valor. Contudo, para as sub-bacias, os valores de K_r , reduziram-se bastante em relação ao valor das micro-bacias. Mais uma vez, as áreas dos planos das sub-bacias são muito maiores que as próprias micro-bacias, o que reflete os valores obtidos do parâmetro K_r .

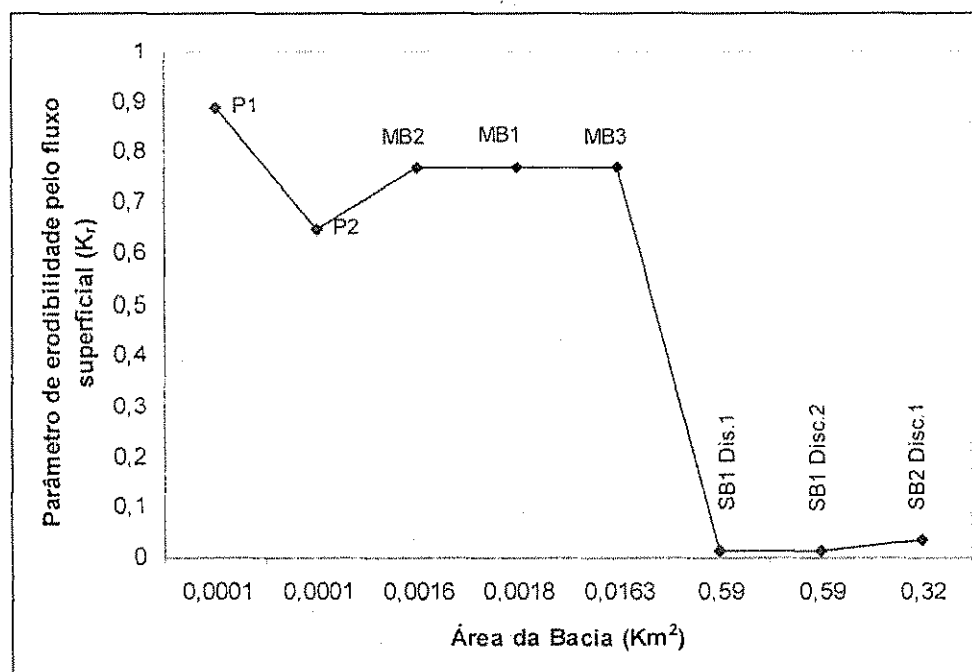


Figura 6.4 – Variação do parâmetro K_r calibrado do modelo WESP com as áreas das unidades analisadas.

Em relação ao parâmetro de erosão pelo fluxo nos sulcos e nos canais a nota-se que o mesmo cresce em relação a micro-bacia 2 para a micro-bacia 1 e decresce em relação a micro-bacia 3. Esse resultado em relação a micro-bacia 2, mais uma vez é influenciada pela pequena área da micro-bacia e pelo pequeno número de elementos da discretização. Observa-se que ocorre uma redução entre os valores da micro-bacia 1 até a sub-bacia 1, o que talvez seria a tendência desse parâmetro. Porém, da sub-bacia 1 para a sub-bacia 2, ocorre um pequeno aumento. Esses resultados do parâmetro estão intimamente ligados aos canais e aos sulcos de escoamento, que são pequenos canais que se criam no processo de escoamento sobre os planos da discretização da sub-bacia.

Em relação à utilização da discretização 2 da sub-bacia 1 com as declividades topográficas e ajustadas, os parâmetros de erosão do modelo WESP, são mais robustos do que os parâmetros do modelo WEPP, já que os mesmos, produziram na simulação uma variação bem menor em relação aos valores de erosão observados.

6.3 – Modelo WEPP

6.3.1 – escoamento Superficial e Erosão do Solo para Sub-Bacia 1 e 2

Da mesma forma que o modelo WESP, duas discretizações da sub-bacia 1 foram utilizadas para a análise do escoamento superficial e erosão do solo para o modelo WEPP. a discretização 1 da sub-bacia 1 de 87 elementos e uma nova discretização de 20 elementos que também foi utilizada para a análise do efeito da declividade sobre a produção de sedimentos. Para a sub-bacia 2, a discretização 1 de 54 elementos foi também utilizada no modelo WEPP.

O arquivo de solo escolhido para o processo de calibração foi de duas camadas de solo, conforme Tabela 5.24. Antes de fixar esse arquivo, um outro arquivo de solo, com apenas uma camada, foi utilizado conforme a Tabela 5.23. Obteve-se péssimos resultados no processo de calibração. Logo, verificou-se que o modelo utiliza as porcentagens de areia, argila e rocha para a utilização dos parâmetros no processo de cálculo. Observou-se também que as porcentagens de argila e areia, além da profundidade das camadas de solo, são bastante sensíveis na modelagem do escoamento superficial. Essas informações são utilizadas, pelo modelo, no processo de cálculo do parâmetro de condutividade hidráulica efetiva K_s , que afeta diretamente o valor da saturação. Os valores encontrados para as duas parcelas foram de 2,0 mm/h. Para as micro-bacias, esse valor foi utilizado com êxito no processo de calibração. Já para as sub-bacias, o valor encontrado através de várias tentativas foi de 4,0 mm/h, ou seja, igual ao valor obtido no processo de calibração do modelo KINEROS2 e utilizado com êxito no modelo WESP. Novamente, as parcelas e micro-bacias foram calibradas com esse valor de K_s igual a 4,0 mm/h, onde se obteve valores calculados superestimados em relação aos valores observados de escoamento.

Após fixar, o valor de K_s nas sub-bacias, e através do arquivo de solo fixado (Tabela 5.24), foi possível calibrar o parâmetro de saturação para o escoamento superficial, cujo intervalo de variação dos valores utilizados foram de 14,28 % a 95,00 %. Pode-se observar através da Tabela A28, que os valores de saturação inicial relativa do solo também são altos. A maior parte dos eventos foram calibrados com saturação acima de 50 % para as duas sub-bacias, inclusive nas parcelas e micro-bacias. O valor mínimo de saturação observado acima, esta relacionado com os dados da climatologia no processo de calibração.

As mesmas explicações dadas em relação ao modelo WESP referentes aos valores altos de umidade do solo, e conseqüentemente da saturação do solo, podem ser dadas ao modelo WEPP. Outra explicação, segundo Cruz (2004), seria o modelo de infiltração utilizada pelo

modelo que considera o solo como sendo homogêneo, o que contradiz com o encontrado na prática, induzindo variações no valor do parâmetro; 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, fazem com que a água atinja as camadas mais internas de maneira heterogênea.

Todavia, o modelo, também, apresenta coerência entre os valores encontrados para as parcelas, micro-bacias e sub-bacias. Para a parcela 1 o valor médio de saturação foi de 76,20 e para parcela 2 foi de 78,48 %. Para as micro-bacias 1, 2 e 3 os valores ficam em torno de 43,10, 37,42 e 37,17 % (PAIVA, 2008). Para a sub-bacia 1, através das duas discretizações, o valor médio encontrado foi 52,81 e 59,23 % para a discretização 1 e 2 respectivamente e para a sub-bacia 2 o valor médio encontrado foi de 61,27 %. Isso demonstra que o modelo também representa bem a física do processo de infiltração e também se mostrou sensível para a forma de discretizações das sub-bacias, uma vez que, para os mesmos eventos de precipitação, valores diferentes do parâmetro S_i e da produção de sedimentos foram obtidos quando houve aumento no número de elementos que compõe a bacia. Também foi observado que, o parâmetro S_i sofre uma pequena, mas perceptível variação de acordo com a discretização nas duas sub-bacias, onde, para a discretização da sub-bacia 1 com menor número de elementos (20 elementos), os valores de saturação são maiores.

A Tabela 5.25 indica que 71,00% dos valores simulados encontra-se na faixa de variação de 0,80 a 1,20, indicando uma excelente simulação da lâmina.

Após a calibração do parâmetro de saturação e da fixação do parâmetro K_s , pôde-se calibrar os parâmetros de erosão.

Antes de analisar os resultados obtidos de erosão do solo com o modelo WEPP, é necessário observar que os dados de erosão observados para as sub-bacias, e utilizados para todos os modelos, são subestimados em relação ao valor real produzido, uma vez que, no processo de coleta dos sedimentos nos vertedores das sub-bacias, apenas é contabilizado os sedimentos que ficam retidos nas calhas do vertedores, porém, diferentemente das parcelas e das micro-bacias, esses vertedores não possuem equipamentos que registram os sedimentos finos que passam através do escoamento após a passagem do vertedor. Logo, os sedimentos finos, e até mesmo uma grande quantidade de sedimentos de diâmetro mediano, passam pela calha do vertedor sem serem contabilizados. Portanto os valores observados de sedimentos são subestimados do valor real. Essa explicação se deve ao fato que, a precisão do modelo WEPP para o cálculo dos sedimentos produzidos é de apenas 0,1 t/ha ou de 100 kg/ha. Observa-se que o valor de erosão observado chega ao máximo em apenas um evento na casa

de 30 kg/ha. Dessa forma, o modelo WEPP foi utilizado não para verificar a produção de sedimentos e sim para estimar os parâmetros que se adaptariam melhor no processo de produção de sedimentos. Ou seja, os parâmetros de erosão foram ajustados para que os valores calculados chegassem o mais próximo possível do valor de 0 ou de 100 kg/ha. Os outros modelos foram capazes de produzir sedimentos de acordo com os valores observados devido a precisão dos mesmos.

Os canais utilizados nas discretizações com o modelo WEPP, foram considerados de cascalhos, enquanto que nas micro-bacias e parcelas foram considerados canais simplesmente de terra. Logicamente, essa consideração foi utilizada para diminuir a quantidade de sedimentos produzidos nos canais, já que o modelo WEPP superestima a produção de sedimentos nos canais.

A tensão de resistência ao cisalhamento foi calibrada nas parcelas de erosão através de várias tentativas, procurando calibrar o maior numero de eventos. O melhor resultado para a tensão nas parcelas 1 e 2 foi de 8 Pa. Nas micro-bacias o valor de tensão encontrado foi de 10 Pa para as micro-bacias 1, 2 e 3 respectivamente. Nas sub-bacias o valor de tensão foi de 20 Pa. Como as parcelas representam planos perfeitos e as mesmas são desmatadas e não possuem nenhuma vegetação rasteira já seria esperado que os valores da tensão de cisalhamento nessas áreas fossem menores em relação às demais áreas. Nas micro-bacias o valor é maior justamente por apresentarem vegetação nativa da região, além de pequenas rochas superficiais, e das declividades que são maiores. Nas micro-bacias o valor de tensão também é maior devido aos pequenos sulcos nos planos e da presença dos canais da rede de drenagem. Para as sub-bacias observou-se que os canais e sulcos produzidos pelo escoamento produzem a maior quantidade de sedimentos em relação aos planos, e desta forma, o valor da tensão foi alto para evitar a grande quantidade de sedimentos produzidos nos sulcos e canais de erosão.

Para as sub-bacias 1 e 2, o valor de K_f de 10000, também foi utilizado, uma vez que, para estimar a erosão, esse valor é o menor valor a ser utilizado no modelo. Observa-se que o valor de K_f decresce, uma vez que, a produção de sedimento nos planos através do modelo WEPP é bem inferior do que nos canais e nos sulcos formado pelo escoamento, e como a rede de drenagem e presença de sulcos são mais intensos nas sub-bacias, esse valor é reduzido. Fica evidenciado, assim como nos outros dois modelos que, a erosão pelo fluxo concentrado é o processo físico que ocorre na produção de sedimentos nas áreas maiores.

Após essa constatação, o parâmetro K_f que representa a erosão devido ao escoamento superficial nos canais e sulcos produzidos pelo escoamento, foi calibrado através de

tentativas. Para as parcelas esse valor não influencia nos resultados, pois não foi verificada a presença de sulcos e de canais. Para as micro-bacias, o valor de K_r de 0,0202 s/m foi utilizado para estimar a produção de sedimentos. Já nas sub-bacias 1 e 2, a utilização desse valor produzia uma grande quantidade de sedimentos, logo, foi utilizado o menor valor para esse parâmetro que é de 0,0001 s/m. As Tabelas A28, A29 e A31 apresentam os resultados obtidos da simulação desses valores para a estimativa dos sedimentos produzidos na discretização 1 e 2 da sub-bacia 1 e da sub-bacia 2.

Não foi possível realizar uma análise estatística para os valores de erosão, uma vez que, não foi possível calibrar os parâmetros, mas sim, estimá-los, através da aproximação dos valores calculados aos observados.

Analisando a discretização 2 da sub-bacia 1 de 20 elementos, assim como no modelo WESP, foram também utilizadas para verificar a influência das declividades dos canais, já que nesses dois modelos foi verificado uma grande produção de sedimentos nos canais. A Tabela A30 em Anexo, apresentam os resultados da simulação da erosão, para as duas condições: a primeira com a declividade topográfica dos canais e a segunda com as declividades ajustadas. Observa-se que, a variação na produção de sedimentos entre as duas condições é de -33,00% a -100%, ou seja, na simulação com as declividades alteradas para 1% em todos os 7 canais, a produção de sedimento é bastante reduzida em relação com as declividades topográficas. Dessa forma, a declividade no modelo WEPP é muito sensível no processo de produção de sedimentos, do que no modelo WESP, onde também se obteve uma variação, porém, bem menor.

6.3.2 – Efeito de Escala sobre os parâmetros do modelo WEPP

Em relação ao parâmetro de condutividade hidráulica saturada K_s , os valores crescem com o aumento da bacia, apenas quando analisado entre as micro-bacias e sub-bacias. Entre as parcelas e as micro-bacias o mesmo permaneceu constante. Em relação à variação encontrada entre as unidades menores para as sub-bacias, pode ser verificada devido as grandes heterogeneidades existentes entre essas unidades em relação às áreas menores. A Figura 6.5 abaixo apresenta essa variação.

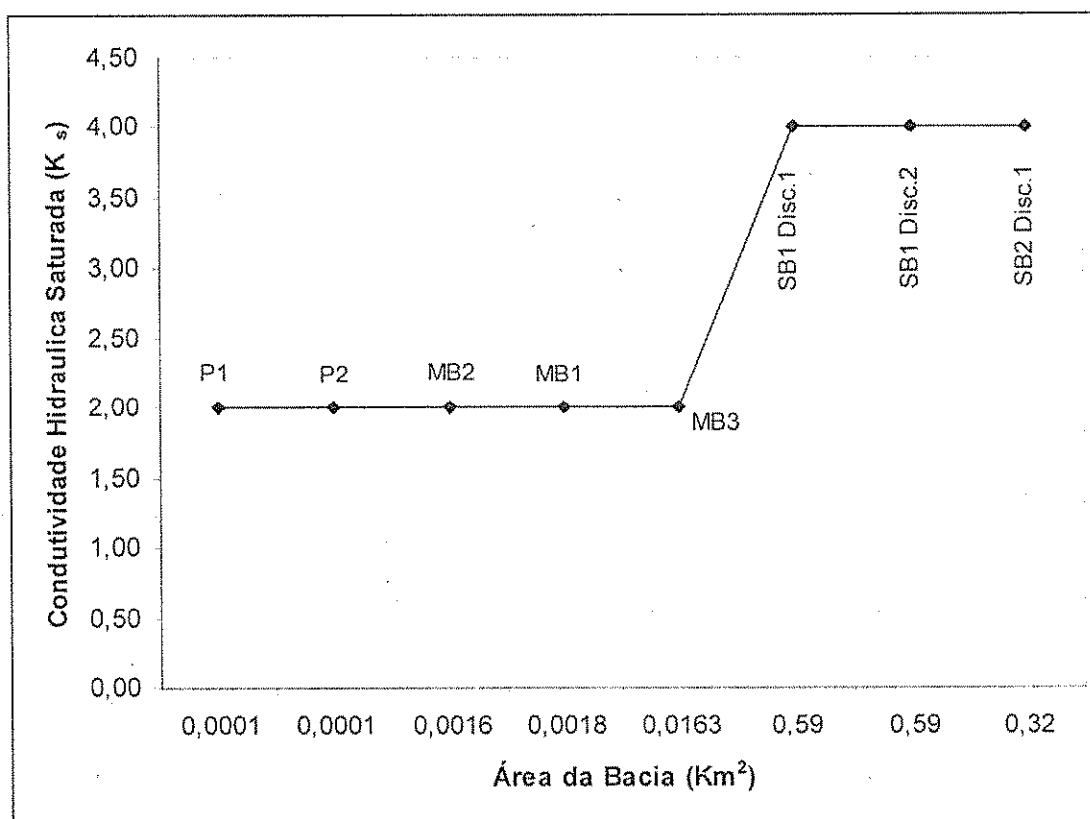


Figura 6.5 – Variação do parâmetro K_s calibrado do modelo WEPP com as áreas das unidades analisadas.

Em relação ao parâmetro de saturação inicial do solo, observa-se um aumento desse parâmetro da parcela 1 para a parcela 2. Esse aumento pode ser verificado devido ao pequeno número de eventos utilizados no processo de calibração para a parcela 2. Em relação as micro-bacias, observa-se um aumento em relação a micro-bacia 2 para a micro-bacia 1. Esse aumento ocorre talvez devido a área da micro-bacia que é a menor dentre as micros. Para as sub-bacias observa-se a mesma tendência em relação ao modelo KINEROS2, com um pequeno, mais perceptível aumento, em relação às discretizações 1 e 2 da sub-bacia 1 e uma valor médio maior na sub-bacia 2. Mais uma vez fica evidenciado que as duas discretizações geram valores diferentes porém próximos, nos valores médios da saturação. A Figura 6.6 a seguir apresenta essa variação da saturação para todas as unidades experimentais estudadas.

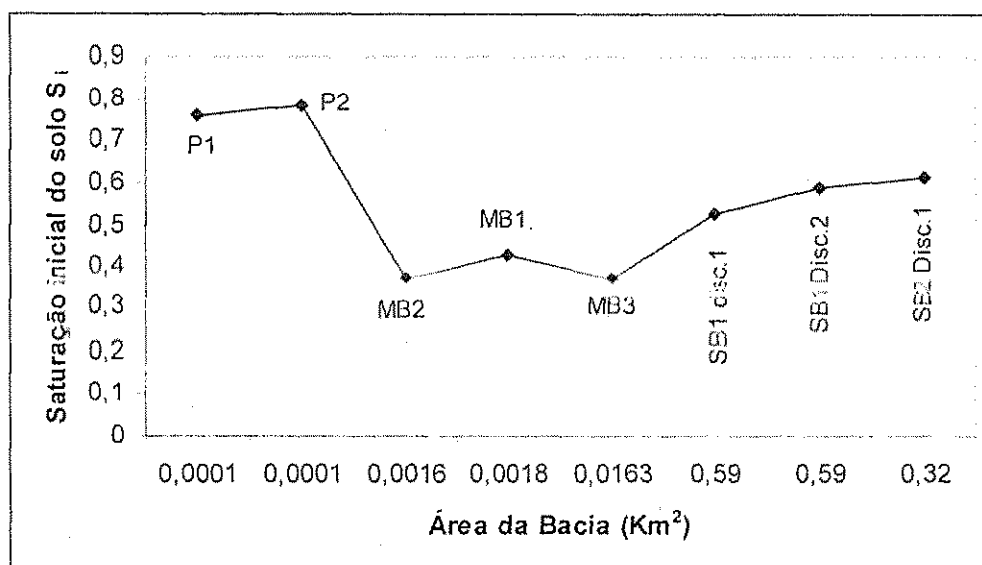


Figura 6.6 – Variação do parâmetro S_i calibrado do modelo WEPP com as áreas das unidades analisadas.

Em relação ao parâmetro K_i que representa a erosão pelo impacto das gotas de chuva sobre os planos, os valores encontrados foram de 1.000×10^4 para as micro-bacias e sub-bacias e $1,685 \times 10^6$ para as parcelas. Nas parcelas, esse parâmetro atua ativamente na modelagem do modelo, pois, as mesmas, não apresentam sulcos nem canal de erosão, o que nas micro-bacias e sub-bacias, esse parâmetro perde a sensibilidade, uma vez que a erosão está vinculada ao processo de erosão pelo fluxo concentrado nos canais e nos pequenos sulcos que formam sobre os planos das micro-bacias. Como para as micro-bacias e sub-bacias procurava-se estimar os parâmetros de erosão através dos valores obtidos, o valor mínimo que o modelo utiliza de 1.000×10^4 foi utilizado, já que, esse é o menor valor utilizado pelo modelo. Mesmo assim a produção ainda ficou alta devido a grande produção que os canais e sulcos nos planos estavam produzindo.

Da mesma forma que o parâmetro K_i , o parâmetro de erodibilidade pelo fluxo nos canais K_r foi otimizado, para produzir o menor valor de sedimentos possível. Os valores utilizados são de, 0,0202 s/m para as micro-bacias e 0,0001 s/m para as sub-bacias. Quanto maior esse valor, maior será a produção de sedimentos nos canais. Como nas micro-bacias a presença de sulcos e canais é menor do que as sub-bacias, o valor é maior em relação à sub-bacia.

Nas sub-bacias, constata-se através dos arquivos de saída do modelo que a produção de sedimentos é maior nos canais, e por isso, o valor de K_r é menor que nas micro-bacias, e também, o menor valor utilizado pelo modelo.

Em relação à discretização 2 da sub-bacia 1 com o uso das declividades normais e alteradas, é possível observar que os parâmetros de erosão do modelo WEPP são menos robustos do que os parâmetros do modelo WESP, uma vez que, a variação da resposta do modelo para a alteração das declividades é bem maior do que no modelo WESP.

CAPITULO VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste Trabalho, foram aplicados três modelos hidrossedimentológicos de base física para duas sub-bacias da Bacia Experimental de São João do Cariri – BESJC, o modelo KINEROS2, o modelo WESP e o modelo WEPP. Todos foram parametrizados com os dados das parcelas 1 e 2, das micro-bacias 1, 2 e 3 e das sub-bacias 1 e 2.

Os aspectos investigados neste trabalho compreendem essencialmente: (i) a influência da forma de discretização, (ii) a parametrização dos modelos, e (iii) o efeito de escala de acordo com o tamanho da bacia.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se o que se segue.

7.1- Conclusões

- a) Em termos de parametrização, pode-se concluir que o modelo WESP possui maior facilidade para ser parametrizado. Os parâmetros são de fácil obtenção e estáveis no processo de modelagem. O modelo KINEROS2 produz resultados bastante estáveis e satisfatórios, porém o parâmetro c_0 foi mais complicado de ser encontrado, enquanto que o WEPP não permite alterar livremente os parâmetros, pois os mesmos estão associados ou, muitas vezes, estão vinculados com as características do solo, da região e da própria estação climatológica, e apesar de possuir um grande banco de dados interno, não conseguiu produzir estimativas de erosão para as sub-bacias. Como nenhum destes modelos estudados foi analisado em sub-bacias anteriormente, e também devido à pequena quantidade de dados observados e precisos, como nas parcelas e micro-bacias, não se pode concluir qual seria o melhor modelo para estimativa de erosão nessa escala;
- b) Os três modelos simularam bem o escoamento superficial em todas as discretizações utilizadas. Em relação à produção de sedimentos, os modelos KINEROS2 e WESP apresentaram resultados melhores devido a melhor precisão desses modelos e também

por terem sido direcionados para pequenas bacias. O modelo WEPP possui pouca precisão para valores de produção de sedimentos em bacias, sendo a menor produção considerada de 100 kg/ha;

- c) As diferentes configurações da bacia não necessariamente melhoram os resultados da simulação ou da previsão. Apesar dos resultados do escoamento superficial ser semelhantes para todas as discretizações, nota-se uma pequena mais perceptível variação nos valores médios dos parâmetros dos modelos;
- d) Para o modelo KINEROS2 pode-se concluir através dos resultados estatísticos, que para a sub-bacia 1, a discretização de 87 elementos apresenta resultados melhores, assim como, para a sub-bacia 2, as discretizações intermediárias de 110 e 173 elementos apresentam melhores resultados;
- e) Nos modelos WESP e WEPP, para a sub-bacia 1 a discretização 1 (87 elementos) também apresenta melhores resultados em relação a discretização 2 com apenas 20 elementos, onde ocorre uma superestimação nos valores de sedimentos obtidos através da simulação. Para a sub-bacia 2 apenas foi utilizada a discretização de 54 elementos obtendo bons resultados;
- f) Nos três modelos, a erosão por impacto de gotas de chuva deixa de ser o processo erosivo predominante para dar lugar à erosão por fluxo concentrado, o que pode ser explicado devido ao fato que a concentração do fluxo superficial em sulcos não ter ocorrido nas parcelas de erosão;
- g) Os modelos KINEROS2 e WESP foram capazes de estimar, com fidelidade, a produção de sedimentos em eventos individuais e em nível anual e, portanto, podem servir como uma boa ferramenta de previsão onde não existam dados medidos em pequenas bacias;
- h) Em relação à produção de sedimentos, o modelo WESP é mais robusto do que o modelo WEPP. O modelo WEPP é bastante sensível às variações da declividade enquanto o WESP não é tanto;
- i) Observa-se um efeito de escala em relação à saturação média dos eventos do solo em todas as áreas experimentais analisadas com os três modelos, apesar de ser um parâmetro que representa a umidade em toda a bacia e de serem calibrados evento a evento, os valores médios obtidos em cada unidade experimental apresentam variações com a escala;
- j) Em relação ao parâmetro de erodibilidade devido às gotas de chuva do modelo KINEROS2, o c_f também apresenta efeito de escala. Já para o parâmetro c_o , o efeito

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, M.B., BATHURST, J.C., CUNGE, J.A., O'CONNELL, P.E. e 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. Hydrol.*, 87: 45-59.
- ABBOTT, M.B., BATHURST, J.C., CUNGE, J.A., O'CONNELL, P.E. e RASMUSSEN, J. (1986b). *An introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen, "SHE"*, 2: Structure of Physically-Based, Distributed Modelling System. *J. Hydrol.*, 87: 61-77..
- ARAGÃO, R. (2006). *Análise da Influência Antrópica na Produção de Escoamento Superficial e Sedimentos em Bacias Hidrográficas do Cariri Paraibano Através da Modelização dos Processos Físicos e do Emprego de Sig*. Relatório Técnico, Edital 002/03 – FAPESQ-PB/MCT/CNPq, CNPq – Processo Nº. 35.0599/2004-1
- ARAGÃO, R. (2000). *Estimativa dos Parâmetros do Modelo Distribuído WESP com 9os Dados da Bacia Experimental de Sumé – PB*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Área de Recursos Hídricos.
- BATHURST, J.C., WICKS, J.M., e 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.
- BATHURST, J. C. e PURNAMA, A. (1991). *Design and Application of a Sediment and Contaminant Transport Modelling System*. IAHS, Proceedings of the Vienna Symposium, Publ. 203, 305-313.
- BATHURST, J.C. (1986a). Physically-Based Distributed Modelling of an Upland Catchment Using the Système Hydrologique Européen. *J. Hydrol.*, 87: 79-102.
- BENNETT, J. P. (1974). *Concepts of mathematical modeling of sediment yield*. *Water Resources Research*, 10(3): 485-492.

- BEVEN, K. (1989). *Changing Ideas in Hydrology - The Case of Physically Based Models*. J. Hydrol., 105: 157-172.
- BEVEN, K. e O'CONNELL, P.E. (1982). *On the Role of Physically-Based Distributed Modelling in Hydrology*. Institute of Hydrology, Report 81, Wallingford.
- BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 4. ed., Ícone, 1999. 355p
- BJORNEBERG, D.L., TROUT, T.J., SOJKA, R.E. e ASAE, J.K. (1999). *Evaluating WEPP Predicted Infiltration, Runoff and Soil Erosion for Furrow Irrigation*. Transactions of the ASAE 42(6): 1733-1741.
- BORDAS, M. P. , LANNA, H. E. , SEMMELMANN, F. R. (1988). *Evaluation des risques d'érosion et de sédimentation au Brésil a partir de bilans Sedimentologiques rudimentaires*. IAHS publ. n. 174, Porto Alegre: Symp. P. 359-69.
- BOSCH, J.M. e HEWLETT, J.D., (1982). *A review of catchment experiments to determine the effect to vegetation changes on water yield and evapotranspiration*. Journal of Hydrology 55: 2 – 23.
- BROOKS, R. H. e COREY, A. T. (1964). *Hydraulic Properties of Porous Media*. Hydrol. Paper no 3, Colorado State Univ., Fort Collins.
- BRUIJNZEEL, L.A. (1996). *Predicting the hydrological impacts of tropical Forest conversion: The need for integrated research*. Capítulo 2 de "Amazonian Deforestation and Climate" Eds: Gash J H C, Nobre C A, Roberts J M e Victoria R L John Wiley & Co: Chichester, Inglaterra.
- BRUIJNZEEL, L.A. (1990). *Hydrology of Moist Tropical Forest and Effects of Conversion: A State of Knowledge Review*. IHP. IAHS. UNESCO. 224p.
- CADIER, E., LANNA, A. E, MENEZES, M. e CATNPELLO, 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.
- CADIER, E. (1984). *Método de avaliação do escoamento das pequenas bacias do semi-árido*, Recife-PE, SUDENE-DRN-HME, 75p il. (Brasil, SUDENE – Hidrologia, 21) "Convênio SUDENE/ORSTOM".

- CADIER, E.; FREITAS, B.J. (1983). *Bacia Representativa de Sumé, Primeira estimativa dos recursos de água*. Campanha 73/80, Recife, SUDENE-DRN-HME. 18Op. (Brasil.SUDENE. hidrologia, 14). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- CADIER, E. e FREITAS, B. J. (1982). *Bacia Representativa de Sumé: Primeira Estimativa dos Recursos de Água*. Recife, SUDENE. 195p.
- CARVALHO, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia prática*, Rio de Janeiro, CPRM, 372p.
- CHAVES, L.H.G., MENINO, I.B., ARAÚJO, I.A., CHAVES, I.B.(2004). *Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Souza, PB*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, n.3, p.262-267, 1998
- CHU, S. T. (1978). *Infiltration during an unsteady rain*. Water Resources Research, 14(3):461-466.
- CORRADINI, C., MELONE, F. e SMITH, R. E. (1994). *Modeling infiltration during complex rainfall sequences*. Water Resources Research, 30(10), 2777-2784.
- CROLEY, T. E. H. (1982). *Unsteady Overland Sedimentation*. Journal of Hydrology, 56:325- 346. Apud Lopes (1987).
- CRUZ, E. S. (2004). *Estudo dos Impactos do Uso do Solo Através da Modelagem da Geração do Escoamento Superficial e Erosão do Solo na Região do Cariri Paraibano*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Área de Recursos Hídricos.
- CRUZ, E. S., SRINIVASAN, V. S. e ALVES, F. M. ; COSTA, F. M.(2004) . *Avaliação da Geração do escoamento superficial e erosão do solo na região do Cariri Paraibano com o modelo WEPP*. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luiz, MA. Anais, VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Porto Alegre, RS : Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2004, v. Único. p. 1-18.
- DOOGE, J. C. I. (1973). *Linear theory of hydrologic systems*, Technical Bulletin n. 1948, ARS, US Department of Agriculture.
- 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. e HANSEN, E. (1967). *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*. Teknisk Forlag, Copenhagen.
- EVANS, R. A. (1992). *Rill Erosion in Contrasting Landscapes*. Soil Use and Management, 8: 170-175.
- FACICANI, E. (1995). *Influencia da estrutura tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro, SP: Proposta de reabilitação e aspectos jurídicos-institucionais correlatos*. Dissertação de Mestrado - IGCE/UNESP.
- FIGUEIREDO, E. E. E SRINIVASAN, V. S. (1999). *Avaliação dos Impactos do uso do solo e da Influência dos Açudes sobre o Escoamento para o açude Sumé - PB*. CD-ROM, Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte - MG.
- FIGUEIREDO, E. E. (1998a). *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.
- FIGUEIREDO, E. E. (1998b). *Estimativa de Parâmetros Físicos do Solo da Bacia Representativa de Sumé com Base na Textura*. Anais em CDROM do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Campina Grande, Paraíba, ABRH.
- FLANAGAN, D.C. e NEARING, M.A.(1995). *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*. NSERL Report No. 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. West Lafayette, Indiana.
- FOSTER, G. R. (1982). *Modelling the erosion process*. In: Haan, C. T.; Johnson, H. P. e Brakensiek, D. L., Ed. Hydrologic modeling of small watersheds, St. Joseph, American Society Agricultural Engineers, p. 297-380.
- GALVÃO, C. de O. (1990). *Modelagem do escoamento superficial e da erosão do solo em microbacias*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Área de Recursos Hídricos.
- GREEN, W. H. e 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 (1 973).

- HSIA e KOH (1983). *Water yield resulting from clearcutting a small hardwood basin in central Taiwan*. In: Hydrology of humid Tropical Regions, Keller, R. (ed.) IAHS publication n. 140, p215 – 220.
- HRISSANTHOU, V. (2005). *Estimative of sediment yield in a basin without sediment data*. CATENA 64 - 333-347 345
- KLEEBERG, H. B., OVERLAND, H. e PAUS, B. (1989). *NAVMO, Version 1.1, Niederschlag – Abfluss – Verdunstung Modell. Documentation*. Universität der Bundeswehr München, Alemanha.
- KNISEL, W.G. (1980). *CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*. Cons. Res. Report, 26, USDA.
- LACERDA JUNIOR, H. B. (2002). *Um estudo dos efeitos de escala e uso do solo na parametrização do modelo NAVMO com dados de bacias do Cariri paraibano*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Área de Recursos Hídricos.
- LAL, R. e RUSSEL, E.W. (1981). *Tropical Agricultural Hydrology*. Wiley and Sons, Chichester.
- LANE, L. J. e SHIRLEY, E. D. (1985). *Erosion and Sediment Yield Equations: Solutions for Overland Flow*. West Lafayette, 22p. Apud Lopes (1987).
- 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.
- LOPES, W. T. A. (2003). *Efeitos de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semi-Árida Paraibana*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Área de Recursos Hídricos.
- LOPES, V. L. e SRINIVASAN, V. S. (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, V. L. (1987a). *A numerical model of watershed erosion and sediment yield*. Tucson, 148 p. PhD. Dissertation, University of Arizona.

- LOPES, V. L. e 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., NEARING, M. A, FOSTER, G. R., FINKER, S. C. e 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.
- MCCULLOCH, J. S. G. e ROBINSON, M. (1993). *History of Forest Hydrology*. Journal of Hydrology, v. 150. p. 189-216.
- MEHTA, A. J. (1983). *Characterization Tests for Cohesive Sediments*. In: Shen, H. W. Frontiers in hydraulic Engineering, Cambridge, Mass., ASCEMT, pp. 79-84. Apud Lopes (1987).
- MENDONÇA, A.S. (2003). *Introdução: Razões para quantificação*. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. FINEP – RECOPE/SEHIDRO/SUB-REDE1. ABRH - 2003.
- MEIN, R. G. e LARSON, C. L. (1973). *Modeling Infiltration During a Steady Rain*. Water Resources Research. 9(2): 384-394.
- MEYER L. D. e 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.
- MURCK, B. W., SKINNER, B. J. e PORTER, S. C. (1996). *Environmental geology*. New York, John Wiley. 535p.
- NOUVELOUT, J.F. (1974). *Planificação da Implantação de Bacias Representativas*. Aplicação à Área da SUDENE. Recife: SUDENE/ORSTOM.
- PAIVA, F. M. de L. (2008). *Estudo Comparativo entre Três Modelos de Base Física na Modelagem Hidrossedimentológica em Micro-bacias na Região Semi-Árida Paraibana*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Área de Recursos Hídricos.

- PAIVA, J. B. D. e PAIVA, E. M. C. D. (2003). *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Projeto RECOPE – REHIDRO – Rede cooperativa de pesquisa em recursos hídricos, SUB-REDE 1 – Monitoramento de bacias hidrográficas e processamento de dados.
- PIMENTEL DA SILVA, L. e EWEN, J. (2000). *Modelagem Hidrológica para Grandes Bacias Hidrográficas: a Necessidade de Novas Metodologias*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 5. nº 5, pp.81-92.
- RAWLS, W.J. e SAXTON, K.E. (1982). *Estimation of Soil Water Properties*. Trans. ASAE, 25(5), 1316-1320, 1328.
- ROSE, C. W. (1960). *Soil Detachment caused by rainfall*, Soil Science, Baltimore, 89 (1): 28-36, January.
- ROVEY, E. W., WOOLHISER, D. A. e 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.
- SCHULTZ, J. P., JARRETT, A.R. e HOOVER, J. R. (1985). *Detachment and Splash of a Cohesive Soil by Rainfall* - American Society of Agriculture Engineering.
- SILVA, G. G. da. (1993). *O Problema da Desertificação no Ecossistema da Caatinga do Município de São João do Cariri. Teresina*. Monografia (grau de especialista em desertificação no Núcleo de Pesquisas e Controle da Desertificação do Nordeste). Universidade Federal do Piauí, Instituto Desert. 93p. il
- SIMANTON, J. R., HAWKINS, R. H., SARAVI, M. M. e RENARD, K. G. (1996). *Runoff Curve Number Variation with Drainage Area, Walnut Gulch, Arizona*. Transactions of the ASAE, Vol. 39(4): 1391-1394.
- SIMÕES, S. J. C. (1998). *Monitoramento da Erosão e do Transporte de Sedimentos*. Capítulo 21 – Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. FINEP/RECOPE/REHIDRO/SUB-REDE1.
- SIMONS, D. B. e SENTÜRK, F. (1992). *Sediment transport technology*. Fort Collins, Water Resources Publications, 807p.

- SINGH, V.P. (1995). *Watershed Modelling*. In: V.P. Singh (editor). Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publication, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- SMITH, R. E., CORRADINI, C. e MELONE, F. (1993). *Modeling Infiltration for Multistorm Runoff Events*. Water Resources Research, 29(1): 133-144.
- SMITH, R. E. e PARLANGE, J. Y. (1978). *A Parameter-Efficient Hydrologic Infiltration Model*. Water Res. Res., 14(3): 533-538.
- SMITH, R. E. e WOOLHISER, D. A.. (1981). *A kinematic model for surface mine sediment yield*. Trans. of Ani. Soc. Agr. Eng., 24 (6): 1508-1514. Apud Lopes 1987.
- SOUSA, G. e FIGUEIREDO, E. E. (2007). *Simulação Hidrossedimentológica Em Bacias Do Nordeste Semi-Árido Com O Modelo Distribuído Modfipe*. II International Conference on Water in Arid and Semiarid Lands, Gravatá-PE
- SRINIVASAN, V.S., GALVÃO, C.O., SANTOS, C.A.G., FIGUEIREDO, E.E., REGO, J.C., ALCÂNTARA, H.M., ALBUQUERQUE, J.P.T., ARAGÃO, R., MELO, R.N.T., CRUZ, E., GUEDES, G.A., LACERDA, I., SANTOS, L.L., ALVES, F.M. (2004). *Bacia Experimental de São João do Cariri-PB*. In: Righetto, A.M. (Org.), Implantação de Bacias Experimentais no Semi-árido. Cap. 4. FINEP/FUNPEC/CNPq/CTBRASIL. 93-126.
- SRINIVASAN, V. S. e GALVÃO, C. O. (2003). *Bacia Experimental de Sumé: Descrição e dados coletados*. Campina Grande-PB: UFCG/CNPq, vol. 1, p.129.
- TISCARENO-LOPEZ, M., A BAYESIAN-MONTE CARLO (1994). Approach to Assess Uncertainties in Process-Based, Continuous Simulation Models. Ph.D.Dissertation, University of Arizona, Tucson, AZ.
- TOY, T. J. (1982). *Accelerated erosion: process, problems, and prognosis*. Geology. 10: 524 – 529.
- TUCCI, C. E. M. (2005). *Modelos Hidrológicos*. 2o. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS ABRH GWP, v. 1. 678 p.
- 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 UFRGS/ABRH/EDUSP, Porto Alegre, 943p.
- TUCCI, C. E. M. (1987). *Modelos determinísticos*. In: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos, Nobel/ABRH, p. 211-324.
- WADE, J. C. e HEADY, E. O. (1978). *Measurement of Sediment Control Impacts on Agriculture*. Water Resour. Res., 14: 1-8.
- WALLING, D. E. (1983). *The Sediment Delivery Problem*. Journal of Hydrol., 65: 209-237.
- WISCHMEIER, W. H. e SMITH, D. D. (1960). *A universal Soil-loss Equation to Guide Conservation Farm Planning*. 7th Int. Cong. Soil Sci. Trans.1: 418-425.
- WILLIAMS, J.R., C.A. JONES e P.T. DYKE. (1984). *A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity*. Trans. ASAE 27(1):129-144.
- WOOLHISER, D. A., SMITH, R.E. e GIRALDEZ, J. -V. (1996). *Effects of Spatial Variability of Saturated Hydraulic Conductivity on Hortonian Overland Flow*. Water Res. Res., Vol. 32, no. 3, pp 671-678.
- WOOLHISER, D. A., SMITH, R. E. e GOODRICH, D. C. (1990). *KINEROS: A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual*. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130 pp.

Continuação							
55	Plano	6305,820	61,700	102,200	4,000	0,06483	
56	Plano	7813,590	78,200	100,000	8,000	0,10230	
57	Plano	4697,420	67,500	69,600	8,000	0,11852	
58	Canal	xxx	115,110		13,000	0,08939	
59	Plano	4862,560	47,500	102,400	4,000	0,08421	
60	Plano	6039,750	61,300	98,500	4,000	0,06525	
61	Canal	xxx	172,300		11,000	0,06384	
62	Canal	xxx	52,000		1,000	0,01923	
63	Plano	8819,860	86,800	101,600	4,000	0,04608	
64	Plano	6898,760	70,400	98,000	9,000	0,12784	
65	Plano	2413,140	28,500	84,700	3,000	0,10526	
66	Plano	987,560	25,000	34,300	1,500	0,06000	
67	Canal	xxx	28,800		2,500	0,08681	
68	Plano	3051,930	54,300	56,200	4,000	0,07366	
69	Canal	xxx	67,100		7,000	0,10432	
70	Plano	1735,910	75,400	23,000	8,000	0,10610	MB I**
71	Plano	3216,380	46,500	69,200	3,000	0,06452	
72	Canal	xxx	61,100		4,000	0,06547	
73	Plano	2562,880	44,500	57,590	1,000	0,02247	
74	Canal	xxx	82,000		3,000	0,03659	
75	Plano	1351,910	32,900	41,100	1,000	0,03040	
76	Plano	6227,670	56,400	110,400	2,500	0,04433	
77	Plano	2599,010	43,200	60,200	4,000	0,09259	
78	Plano	4731,860	50,500	93,700	6,000	0,11881	
79	Canal	xxx	68,100		10,100	0,14831	
80	Plano	1761,660	48,700	36,200	5,000	0,10267	
81	Plano	1426,610	27,300	52,200	3,000	0,10989	
82	Canal	xxx	33,800		4,000	0,11834	
83	Plano	2580,310	51,000	50,600	5,000	0,09804	
84	Plano	3819,620	66,000	57,900	7,000	0,10606	
85	Plano	5065,100	75,500	67,100	7,000	0,09272	
86	Canal	xxx	66,100		2,000	0,03026	
87	Canal	xxx	42,300		1,000	0,02364	

* - Referente as lagoas que existem na sub-bacia I

** - O Plano 70 é a própria micro-bacia I

Tabela A2 – Elementos da discretização da sub-bacia 1 com 157 elementos

Elemento	Tipo	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Desnível	Declividade	
1	Plano	9871,117	88,077	112,074	1,500	0,017	
2	Plano	16456,188	109,273	150,597	0,600	0,005	
3	Plano	9537,930	111,006	85,923	1,800	0,016	
4	Plano	17408,569	110,000	158,260	2,400	0,022	Lagoa 4*
5	Canal	xxx	111,046	0,000	1,400	0,013	
6	Plano	16732,002	111,000	150,739	2,000	0,018	
7	Plano	17754,892	102,983	172,406	4,000	0,039	
8	Canal	xxx	110,564	0,000	4,000	0,036	
9	Plano	28269,830	114,000	247,981	1,000	0,009	Lagoa 5*
10	Plano	2332,201	32,488	71,787	0,800	0,025	
11	Canal	xxx	86,479	0,000	0,500	0,006	
12	Plano	5400,925	97,679	55,292	1,900	0,019	
13	Plano	5427,943	64,916	83,615	1,700	0,026	
14	Plano	6903,574	86,111	80,170	1,800	0,021	
15	Canal	xxx	77,552	0,000	1,000	0,013	
16	Plano	7389,819	83,827	88,156	1,400	0,017	
17	Plano	4002,808	63,617	62,921	0,800	0,013	
18	Canal	xxx	62,172	0,000	0,700	0,011	
19	Plano	7705,454	99,178	77,693	1,800	0,018	
20	Plano	5184,006	73,098	70,918	1,200	0,016	
21	Canal	xxx	77,194	0,000	1,000	0,013	
22	Plano	24403,427	208,035	117,304	2,700	0,013	Lagoa 3*
23	Canal	xxx	82,142	0,000	0,300	0,004	
24	Plano	12021,993	119,909	100,260	1,800	0,015	
25	Plano	7311,817	85,035	85,986	2,000	0,024	
26	Plano	7606,691	110,286	68,973	1,500	0,014	
27	Plano	10834,707	85,384	126,894	0,700	0,008	
28	Plano	8149,538	62,376	130,653	0,300	0,005	
29	Plano	7554,730	69,265	109,070	1,000	0,014	
30	Plano	4170,461	58,552	71,227	2,200	0,038	
31	Canal	xxx	92,390	0,000	2,400	0,026	
32	Plano	4723,812	87,670	53,882	2,000	0,023	
33	Plano	9382,242	115,328	81,353	3,600	0,031	
34	Plano	5752,642	70,177	81,973	0,400	0,006	
35	Plano	5275,409	75,425	69,942	4,000	0,053	
36	Canal	xxx	85,262	0,000	1,800	0,021	
37	Plano	2411,854	85,238	28,296	1,200	0,014	
38	Plano	3777,491	39,108	96,590	2,000	0,051	
39	Canal	xxx	55,594	0,000	1,400	0,025	
40	Plano	7430,543	74,771	99,378	4,000	0,053	
41	Plano	8170,765	99,563	82,066	6,000	0,060	
42	Canal	xxx	110,222	0,000	5,400	0,049	
43	Plano	8862,262	88,266	100,405	2,000	0,023	
44	Plano	10553,631	84,537	124,840	4,000	0,047	
45	Plano	11054,933	111,024	99,572	5,000	0,045	
46	Plano	8308,505	107,518	77,276	4,000	0,037	
47	Canal	xxx	87,254	0,000	4,500	0,052	
48	Plano	2781,705	60,398	46,056	1,000	0,017	
49	Plano	3534,729	66,757	52,949	1,000	0,015	
50	Canal	xxx	32,634	0,000	0,800	0,025	
51	Plano	5321,635	86,398	61,595	4,000	0,046	
52	Plano	2114,453	58,529	36,127	4,000	0,068	

Continuação						
53	Canal	xxx	96,175	0,000	4,000	0,042
54	Plano	7800,876	80,140	97,341	3,000	0,037
55	Plano	6071,127	76,079	79,801	4,000	0,053
56	Plano	5640,123	69,342	81,338	3,000	0,043
57	Canal	xxx	85,431	0,000	1,000	0,012
58	Plano	3176,566	46,303	68,604	2,800	0,060
59	Plano	2517,157	43,543	57,809	1,000	0,023
60	Plano	1426,807	25,342	56,301	1,200	0,047
61	Plano	1676,222	36,589	45,812	0,800	0,022
62	Canal	xxx	54,285	0,000	0,300	0,006
63	Plano	2195,614	45,278	48,492	2,200	0,049
64	Plano	563,149	40,300	13,974	1,200	0,030
65	Plano	1651,630	44,466	37,143	0,400	0,009
66	Canal	xxx	46,368	0,000	3,000	0,065
67	Plano	910,695	51,096	17,823	4,200	0,082
68	Plano	1350,725	66,263	20,384	6,200	0,094
69	Canal	xxx	52,654	0,000	2,000	0,038
70	Plano	521,261	43,753	11,914	2,200	0,050
71	Canal	xxx	21,008	0,000	0,900	0,017
72	Plano	12057,597	113,500	106,234	0,800	0,007
73	Plano	25004,972	113,564	220,184	2,000	0,018
74	Plano	1793,579	42,236	42,466	4,000	0,095
75	Canal	xxx	48,600	0,000	3,700	0,076
76	Plano	1128,170	31,565	35,742	2,500	0,079
77	Canal	xxx	36,247	0,000	2,500	0,069
78	Plano	996,550	24,955	39,934	0,600	0,024
79	Canal	xxx	33,721	0,000	0,600	0,018
80	Plano	2256,566	65,892	34,246	5,000	0,076
81	Plano	5511,220	76,683	71,871	4,400	0,057
82	Plano	3268,648	37,883	86,282	3,000	0,079
83	Plano	1191,715	24,647	48,351	0,200	0,008
84	Canal	xxx	40,045	0,000	1,300	0,032
85	Plano	3117,307	73,331	42,510	5,000	0,068
86	Plano	8357,214	113,417	73,686	4,400	0,039
87	Plano	8221,261	62,914	130,675	6,000	0,095
88	Canal	xxx	52,820	0,000	2,700	0,051
89	Plano	721,593	37,615	19,184	3,000	0,080
90	Canal	xxx	11,070	0,000	1,000	0,023
91	Plano	3893,256	75,030	51,890	4,500	0,060
92	Plano	3528,287	55,277	63,830	4,000	0,072
93	Plano	1691,403	43,363	39,006	2,000	0,046
94	Canal	xxx	69,080	0,000	2,400	0,035
95	Plano	1909,053	43,601	43,785	6,000	0,138
96	Plano	1962,357	44,886	43,718	5,000	0,111
97	Plano	629,506	29,838	21,097	0,600	0,020
98	Canal	xxx	50,996	0,000	2,000	0,039
99	Plano	8428,355	69,093	121,987	1,000	0,014
100	Plano	11059,772	76,374	144,811	2,000	0,026
101	Plano	7863,967	88,197	89,164	1,000	0,011
102	Plano	2157,493	41,520	51,963	3,000	0,072
103	Canal	xxx	102,497	0,000	8,000	0,078
104	Plano	2725,910	79,165	34,433	0,200	0,003
105	Plano	3120,362	42,808	72,892	1,800	0,042
106	Canal	xxx	65,495	0,000	3,000	0,046
107	Plano	2031,189	37,314	54,435	4,000	0,107

Lagoa 2*

Lagoa 1*

Continuação						
108	Plano	2323,956	39,226	59,245	8,000	0,204
109	Canal	xxx	80,405	0,000	9,000	0,112
110	Plano	1061,933	37,023	28,683	0,200	0,005
111	Canal	xxx	46,100	0,000	0,800	0,017
112	Plano	9690,784	107,687	89,990	6,000	0,056
113	Plano	5692,718	77,793	73,177	6,000	0,077
114	Plano	2777,289	66,446	41,798	4,000	0,060
115	Plano	2052,478	45,819	44,795	2,000	0,044
116	Canal	xxx	57,401	0,000	6,000	0,105
117	Plano	2765,996	56,784	48,710	6,200	0,109
118	Canal	xxx	57,313	0,000	4,200	0,073
119	Plano	1846,329	59,047	31,269	4,200	0,071
120	Canal	xxx	45,769	0,000	0,600	0,013
121	Plano	5746,695	84,653	67,885	5,600	0,066
122	Plano	2590,370	78,715	32,908	5,800	0,074
123	Plano	664,251	26,164	25,388	1,900	0,073
124	Plano	4142,998	80,119	51,711	2,500	0,031
125	Canal	xxx	43,878	0,000	2,200	0,050
126	Plano	2314,554	47,579	48,647	0,200	0,004
127	Plano	2053,569	40,704	50,451	0,400	0,010
128	Canal	xxx	52,339	0,000	0,600	0,011
129	Plano	716,710	60,480	11,850	1,000	0,017
130	Canal	xxx	23,638	0,000	1,500	0,063
131	Plano	3261,404	43,404	75,141	5,000	0,115
132	Plano	2875,926	34,001	84,583	6,000	0,176
133	Canal	xxx	55,619	0,000	3,000	0,054
134	Plano	4566,669	79,980	57,098	7,000	0,088
135	Plano	2047,303	47,885	42,754	4,500	0,094
136	Plano	1421,147	31,407	45,250	3,000	0,096
137	Plano	3869,208	85,054	45,491	7,000	0,082
138	Canal	xxx	37,417	0,000	2,400	0,064
139	Plano	1748,709	50,552	34,592	2,200	0,044
140	Plano	1021,147	24,049	42,462	0,500	0,021
141	Canal	xxx	44,557	0,000	0,500	0,011
142	Plano	2710,432	45,062	60,149	4,000	0,089
143	Plano	3547,459	65,728	53,972	8,000	0,122
144	Plano	2658,421	32,020	83,024	4,000	0,125
145	Plano	1518,120	36,970	41,064	1,000	0,027
146	Canal	xxx	56,690	0,000	3,000	0,053
147	Plano	3426,235	63,499	53,957	2,000	0,031
148	Plano	3176,534	56,255	56,466	6,000	0,107
149	Plano	4557,486	54,754	83,236	3,000	0,055
150	Plano	4356,428	61,737	70,565	4,000	0,065
151	Plano	3109,020	55,583	55,935	8,000	0,144
152	Canal	xxx	105,064	0,000	13,000	0,124
153	Plano	6586,310	94,438	69,742	5,000	0,053
154	Plano	4706,324	67,047	70,194	9,000	0,134
155	Plano	3150,932	46,155	68,268	2,000	0,043
156	Plano	1313,224	35,178	37,331	2,000	0,057
157	Canal	xxx	41,505	0,000	0,400	0,010

MB 01**

*- Referente às lagoas que existem na sub-bacia I

**- O Plano 137 é a própria micro-bacia I

Tabela A3 – Calibração dos parâmetros S_i e c_o modelo KINEROS2 para duas discretizações - Sub-bacia 1

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Discretização 01 87 ELEMENTOS						Discretização 02 157 ELEMENTOS					
					S_i	Lc mm	Lc/Lo	Co	Ec kg/ha.	Ec/Eo	S_i	Lc mm	Lc/Lo	Co	Ec kg/ha.	Ec/Eo
1	11/3/1987	32,0	4,742		0,582	4,742	1,000				0,582	4,748	1,001			
2	13/3/1987	52,0	11,480		0,673	11,471	0,999				0,683	11,485	1,000			
3	15/3/1987	16,0	0,764		0,756	0,761	0,996				0,758	0,765	1,001			
4	23/3/1987	13,0	0,791		0,782	0,789	0,998				0,788	0,797	1,008			
5	28/3/1987	26,0	5,142		0,730	3,853	0,746				0,730	3,852	0,749			
6	14/2/1988	40,5	12,333		0,211	12,319	0,999				0,225	12,330	1,000			
7	23/2/1988	28,0	3,924		0,737	3,934	1,003				0,740	3,962	1,010			
8	25/2/1988	33,0	7,648		0,010	9,682	1,266				0,010	9,609	1,256			
9	9/3/1988	40,0	6,564		0,319	6,567	1,000				0,324	6,374	0,971			
10	14/3/1988	33,5	5,249		0,931	5,245	0,999				0,930	5,274	1,005			
11	13/4/1988	55,0	13,211		0,288	13,205	1,000				0,270	13,242	1,002			
12	19/4/1988	30,0	2,356		0,827	2,344	0,995				0,840	2,383	1,012			
13	20/4/1988	24,0	1,682		0,103	1,665	0,991				0,122	1,682	1,000			
14	21/4/1988	12,5	0,553		0,653	0,543	0,990				0,650	0,558	1,008			
15	22/4/1988	51,0	15,450		0,773	15,444	1,000				0,776	15,470	1,001			
16	28/3/1989	47,5	8,858		0,478	8,853	1,000				0,485	8,864	1,001			
17	8/4/1989	74,4	16,697		0,730	16,705	1,000				0,730	16,658	0,998			
18	10/4/1989	18,4	3,242		0,865	3,227	0,995				0,867	3,223	0,994			
19	18/4/1989	47,0	7,660		0,254	7,655	0,999				0,260	7,647	0,998			
20	29/4/1989	11,4	0,370		0,805	0,372	1,005				0,800	0,377	1,020			
21	1/5/1989	7,0	0,328		0,755	0,312	0,952				0,758	0,326	0,996			
22	10/5/1989	8,8	0,816		0,870	0,814	0,998				0,871	0,812	0,995			
23	13/6/1989	16,3	1,468		0,948	1,463	1,000				0,949	1,488	1,013			
24	7/7/1989	10,3	0,631		0,937	0,623	0,988				0,938	0,630	0,999			
25	8/7/1989	10,3	0,471		0,949	0,383	0,824				0,949	0,393	0,834			
26	26/2/1990	24,6	5,142		0,945	5,145	1,001				0,949	5,027	0,978			
27	14/3/1991	15,3	3,036		0,950	4,155	1,368				0,950	4,173	1,374			
28	15/3/1991	41,2	10,070		0,010	10,609	1,053				0,010	10,412	1,034			
29	16/3/1991	43,7	15,137		0,760	15,122	0,999				0,765	15,181	1,003			
30	29/3/1991	21,7	1,542		0,941	1,537	0,997				0,943	1,554	1,008			
31	27/1/1992	53,4	18,384		0,905	18,414	1,002				0,900	18,361	0,999			
32	28/1/1992	97,7	29,832		0,010	33,841	1,136				0,010	33,509	1,123			

Valores médios		0,631		0,00001445		0,635		0,00005009	
33	29/1/1992	12,0	0,842	0,785	0,846	1,005	0,793	0,847	1,006
34	10/2/1992	29,0	4,947	0,389	4,937	0,998	0,390	4,940	0,999
35	19/5/1994	17,7	3,894	0,950	2,916	0,749	0,950	1,108	0,285
36	21/5/1994	8,0	2,603	0,906	2,602	1,000	0,906	2,614	1,004
37	4/6/1994	8,9	0,690	0,697	0,692	1,003	0,700	0,630	0,913
38	5/6/1994	11,4	1,216	0,757	1,207	0,992	0,762	1,210	0,994
39	17/2/1995	26,8	4,134	0,738	4,124	0,998	0,744	4,162	1,007
40	25/3/1995	51,4	6,620	0,870	6,585	0,995	0,870	6,616	0,999
41	8/4/1995	15,2	3,111	0,673	3,103	0,997	0,680	3,120	1,003
42	22/5/1995	77,3	16,634	0,010	24,672	1,483	0,010	24,501	1,473
43	2/7/1995	22,9	0,289	0,108	0,284	0,981	0,130	0,286	0,987
44	17/1/1996	29,9	5,177	0,181	5,169	0,998	0,198	5,171	0,999
45	11/3/1996	65,2	22,110	0,010	25,144	1,137	0,010	25,044	1,133
46	12/3/1996	75,0	2,657	0,830	2,679	1,008	0,830	2,686	1,011
47	18/4/1996	28,1	7,202	0,380	7,218	1,002	0,420	7,253	1,007
48	21/4/1996	11,0	0,597	0,917	0,589	0,986	0,919	0,590	0,989
49	23/4/1996	28,7	6,904	0,950	5,990	0,868	0,950	6,094	0,883
50	11/3/2001	41,6	5,541	0,950	4,354	0,786	0,950	4,463	0,806
51	25/1/2004	64,8	12,515	21,82	0,695	12,430	0,993	0,968	0,700
52	30/1/2004	14,8	0,749	6,62	0,640	0,733	0,979	0,645	0,748
53	31/1/2004	12,1	1,138	0,61	0,950	1,194	1,010	0,950	1,133
54	27/2/2004	17,0	1,746	3,52	0,752	1,740	0,997	0,754	1,744
55	28/2/2004	6,4	0,697	0,61	0,947	0,690	0,990	0,627	0,900
56	15/7/2004	45,7	4,471	0,61	0,753	4,479	1,002	0,753	4,450
57	17/2/2005	9,6	0,105	1,16	0,675	0,105	1,002	0,677	1,145
58	25/3/2005	22,6	0,426	3,03	0,560	0,422	0,992	0,565	0,427
59	28/4/2005	50,7	6,551	16,97	0,600	6,528	0,997	6,576	1,004
60	14/6/2005	52,8	6,468	38,80	0,140	6,490	1,003	6,424	0,993
61	18/6/2005	10,5	1,204	8,80	0,935	1,173	0,974	0,935	1,201
62	24/4/2006	9,3	0,398	5,59	0,648	0,385	0,967	0,684	0,398
63	27/4/2006	12,1	3,304	4,00	0,892	3,319	1,005	3,305	1,000
64	13/5/2006	15,8	0,894	12,22	0,060	0,884	0,989	0,080	0,897
65	7/6/2006	153,0	24,264	92,51	0,010	32,913	1,356	0,010	1,345
66	21/6/2006	52,8	4,221	26,43	0,783	4,207	0,997	0,785	0,998

Continuação

Tabela A4 – Simulação do parâmetro c_0 modelo KINEROS2 para duas discretizações - Sub-bacia 1

					Discretização 01					Discretização 02				
					PLANOS					PLANOS				
					$C_0 \text{ med } x 1.2 = 0.00001734$					$C_0 \text{ med } x 1.2 = 0.00001734$				
					CANAIS					CANAIS				
					$C_0 \text{ med } x 0.40 = 0.00000578$					$C_0 \text{ med } x 0.40 = 0.00000578$				
					87 ELEMENTOS					157 ELEMENTOS				
Cheia	DATA	Chuva	Lo	Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo
		mm	mm	kg/ha.		mm		kg/ha.			mm		kg/ha.	
1	11/3/1987	32,0	4,742		0,582	4,743	1,000	16,268		0,582	4,748	1,001	17,179	
2	13/3/1987	52,0	11,480		0,673	11,471	0,999	29,551		0,683	11,485	1,000	31,589	
3	15/3/1987	16,0	0,764		0,756	0,761	0,996	2,689		0,758	0,765	1,001	2,909	
4	23/3/1987	13,0	0,791		0,782	0,789	0,998	2,971		0,788	0,797	1,008	3,066	
5	28/3/1987	26,0	5,142		0,730	3,838	0,746	13,604		0,730	3,852	0,749	14,274	
6	14/2/1988	40,5	12,333		0,211	12,319	0,999	30,487		0,225	12,330	1,000	31,059	
7	23/2/1988	28,0	3,924		0,737	3,934	1,003	11,730		0,740	3,962	1,010	12,805	
8	25/2/1988	33,0	7,648		0,010	9,682	1,266	25,731		0,010	9,609	1,256	27,439	
9	9/3/1988	40,0	6,564		0,319	6,567	1,000	17,910		0,324	6,374	0,971	18,843	
10	14/3/1988	33,5	5,249		0,931	5,246	0,999	14,973		0,930	5,274	1,005	16,121	
11	13/4/1988	55,0	13,211		0,288	13,205	1,000	32,430		0,270	13,242	1,002	34,009	
12	19/4/1988	30,0	2,356		0,827	2,344	0,995	7,636		0,840	2,383	1,012	8,767	
13	20/4/1988	24,0	1,682		0,103	1,666	0,991	5,065		0,122	1,682	1,000	6,888	
14	21/4/1988	12,5	0,553		0,653	0,548	0,990	2,383		0,650	0,558	1,008	2,519	
15	22/4/1988	51,0	15,450		0,773	15,444	1,000	44,915		0,776	15,470	1,001	46,456	
16	28/3/1989	47,5	8,858		0,478	8,858	1,000	20,708		0,485	8,864	1,001	22,111	
17	8/4/1989	74,4	16,697		0,730	16,705	1,000	43,616		0,730	16,658	0,998	45,068	
18	10/4/1989	18,4	3,242		0,865	3,227	0,995	11,041		0,867	3,223	0,994	12,157	
19	18/4/1989	47,0	7,660		0,254	7,653	0,999	26,028		0,260	7,647	0,998	26,534	
20	29/4/1989	11,4	0,370		0,805	0,372	1,005	1,653		0,800	0,377	1,020	1,685	
21	1/5/1989	7,0	0,328		0,755	0,312	0,952	1,162		0,758	0,326	0,996	1,147	
22	10/5/1989	8,8	0,816		0,870	0,814	0,998	2,942		0,871	0,812	0,995	3,172	
23	13/6/1989	16,3	1,468		0,948	1,468	1,000	5,149		0,949	1,488	1,013	5,733	
24	7/7/1989	10,3	0,631		0,937	0,623	0,988	2,881		0,938	0,630	0,999	2,829	
25	8/7/1989	10,3	0,471		0,949	0,388	0,824	1,654		0,949	0,393	0,834	1,739	
26	26/2/1990	24,6	5,142		0,945	5,145	1,001	15,014		0,949	5,027	0,978	15,854	
27	14/3/1991	15,3	3,036		0,950	4,155	1,368	15,743		0,950	4,173	1,374	16,905	
28	15/3/1991	41,2	10,070		0,010	10,609	1,053	33,638		0,010	10,412	1,034	34,094	
29	16/3/1991	43,7	15,137		0,760	15,122	0,999	37,548		0,765	15,181	1,003	39,912	

Continuação														
30	29/3/1991	21,7	1,542		0,941	1,537	0,997	5,265		0,943	1,554	1,008	5,600	
31	27/1/1992	53,4	18,384		0,905	18,414	1,002	54,807		0,900	18,361	0,999	57,909	
32	28/1/1992	97,7	25,832		0,010	33,891	1,136	89,255		0,010	33,509	1,123	93,240	
33	29/1/1992	12,0	0,842		0,785	0,846	1,005	2,960		0,793	0,847	1,006	3,115	
34	10/2/1992	29,0	4,947		0,389	4,937	0,998	14,739		0,390	4,940	0,999	15,341	
35	21/5/1994	8,0	2,603		0,906	2,602	1,000	8,586		0,906	2,614	1,004	9,264	
36	4/6/1994	8,9	0,690		0,697	0,692	1,003	2,526		0,700	0,630	0,913	2,654	
37	5/6/1994	11,4	1,216		0,757	1,207	0,992	3,606		0,762	1,210	0,994	3,824	
38	17/2/1995	26,8	4,134		0,738	4,124	0,998	12,464		0,744	4,162	1,007	13,383	
39	25/3/1995	51,4	6,620		0,870	6,585	0,995	23,733		0,870	6,616	0,999	22,873	
40	8/4/1995	15,2	3,111		0,673	3,103	0,997	9,972		0,680	3,120	1,003	10,477	
41	22/5/1995	77,3	14,634		0,010	24,672	1,483	88,167		0,010	24,501	1,473	83,480	
42	2/7/1995	22,9	0,289		0,108	0,284	0,981	1,121		0,130	0,286	0,987	1,145	
43	17/1/1996	29,9	5,177		0,181	5,169	0,998	21,180		0,198	5,171	0,999	20,831	
44	11/3/1996	65,2	22,110		0,010	25,144	1,137	65,914		0,010	25,044	1,133	68,671	
45	12/3/1996	75,0	2,657		0,830	2,679	1,008	8,685		0,830	2,686	1,011	9,368	
46	18/4/1996	28,1	7,202		0,380	7,218	1,002	18,543		0,420	7,253	1,007	20,109	
47	21/4/1996	11,0	0,597		0,917	0,589	0,986	2,950		0,919	0,590	0,989	3,005	
48	23/4/1996	28,7	6,904		0,950	5,990	0,868	19,834		0,950	6,094	0,883	21,223	
49	11/3/2001	41,6	5,541		0,950	4,354	0,786	13,826		0,950	4,463	0,806	15,125	
50	25/1/2004	64,8	12,515	21,82	0,695	12,430	0,993	40,248	1,844	0,700	12,569	1,004	14,988	0,687
51	30/1/2004	14,8	0,749	6,62	0,640	0,733	0,979	2,716	0,410	0,645	0,748	0,999	3,002	0,453
52	31/1/2004	12,1	1,138	0,61	0,950	1,194	1,049	4,462	7,360	0,950	1,133	0,996	4,397	7,253
53	27/2/2004	17,0	1,746	3,52	0,752	1,740	0,997	7,051	2,003	0,754	1,744	0,999	7,339	2,084
54	28/2/2004	6,4	0,697	0,61	0,947	0,690	0,990	2,801	4,621	0,947	0,627	0,900	2,591	4,274
55	15/7/2004	45,7	4,471	0,61	0,753	4,479	1,002	15,162	25,010	0,753	4,450	0,995	15,683	25,870
56	17/2/2005	9,6	0,105	1,16	0,675	0,105	1,002	0,586	0,507	0,677	0,120	1,145	0,604	0,522
57	25/3/2005	22,6	0,426	3,03	0,560	0,422	0,992	1,652	0,545	0,565	0,427	1,002	1,811	0,597
58	28/4/2005	60,7	6,551	16,97	0,600	6,528	0,997	19,393	1,142	0,615	6,576	1,004	25,245	1,487
59	14/6/2005	52,8	6,468	38,80	0,140	6,490	1,003	19,368	0,499	0,155	6,424	0,993	20,631	0,532
60	18/6/2005	10,5	1,204	8,80	0,935	1,173	0,974	4,293	0,488	0,935	1,201	0,997	4,727	0,537
61	24/4/2006	9,3	0,398	5,59	0,675	0,385	0,967	1,745	0,312	0,684	0,398	1,000	1,553	0,278
62	27/4/2006	12,1	3,304	4,00	0,892	3,319	1,005	10,675	2,668	0,890	3,305	1,000	10,755	2,688
63	13/5/2006	15,8	0,894	12,22	0,060	0,884	0,989	3,130	0,256	0,080	0,897	1,003	3,269	0,267
64	7/6/2006	133,0	24,264	92,51	0,010	32,913	1,356	90,384	0,977	0,010	32,646	1,345	93,979	1,016
65	21/6/2006	32,8	4,221	26,43	0,783	4,207	0,997	14,312	0,542	0,785	4,214	0,998	14,953	0,566
Valores médios					0,626						0,630			

Tabela A5 - Elementos da discretização da sub-bacia 2 com 54 elementos

Elemento	Tipo	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Desnível	Declividade
1	Plano	13673,010	153,400	89,133	5,000	0,033
2	Plano	6604,860	63,980	103,233	2,000	0,031
3	Plano	9979,520	113,850	87,655	5,000	0,044
4	Plano	4091,660	47,760	85,671	3,000	0,063
5	Canal	xxx	97,660		6,000	0,061
6	Plano	8449,500	96,040	87,979	5,000	0,052
7	Canal	xxx	87,100		3,000	0,034
8	Plano	4775,230	78,500	60,831	1,000	0,013
9	Canal	xxx	88,600		2,000	0,023
10	Plano	3238,210	160,500	20,176	1,000	0,006
11	Plano	2370,710	68,800	34,458	2,000	0,029
12	Plano	2972,810	28,100	105,794	1,000	0,036
13	Canal	xxx	89,500		0,500	0,006
14	Plano	3671,110	82,600	44,444	1,000	0,012
15	Plano	7403,090	137,700	53,762	2,000	0,015
16	Canal	xxx	130,100		2,500	0,019
17	Plano	25885,820	121,500	213,052	1,000	0,008
18	Plano	13208,500	151,600	87,127	3,000	0,020
19	Plano	3663,700	112,100	32,682	1,500	0,013
20	Canal	xxx	181,200		2,500	0,014
21	Plano	24509,420	140,100	174,942	3,000	0,021
22	Plano	16252,330	161,100	100,883	4,000	0,025
23	Plano	10658,980	132,700	80,324	3,000	0,023
24	Plano	6396,220	68,400	93,512	2,000	0,029
25	Plano	7885,210	73,300	107,574	2,000	0,027
26	Canal	xxx	191,500		2,000	0,010
27	Plano	8952,300	106,500	84,059	4,000	0,038
28	Plano	14634,480	166,800	87,737	5,000	0,030
29	Plano	13172,080	140,000	94,086	5,000	0,036
30	Canal	xxx	136,500		6,000	0,044
31	Plano	11014,040	70,500	156,228	4,000	0,057
32	Plano	8694,200	69,500	125,096	3,000	0,043
33	Canal	xxx	187,400		4,000	0,021
34	Plano	10072,500	133,800	75,280	6,000	0,045
35	Canal	xxx	120,000		4,000	0,033
36	Plano	12902,500	112,300	114,893	4,000	0,036
37	Plano	9284,500	88,800	104,555	4,000	0,045
38	Canal	xxx	155,000		6,000	0,039
39	Plano	5611,500	66,500	84,383	1,000	0,015
40	Canal	xxx	170,500		1,000	0,006
41	Plano	4090,500	40,700	100,504	4,000	0,098
42	Canal	xxx	55,400		4,000	0,072
43	Plano	6273,500	123,900	50,634	7,000	0,056
44	Plano	8653,500	109,500	79,027	8,000	0,073
45	Canal	xxx	80,000		3,000	0,038
46	Plano	9530,570	135,600	70,284	8,000	0,059
47	Plano	5604,840	126,200	44,412	10,000	0,079
48	Plano	2737,890	89,200	30,694	4,000	0,045
49	Canal	xxx	111,180		0,500	0,004
50	Plano	4580,730	54,550	83,973	6,000	0,110
51	Plano	8579,700	77,600	110,563	8,000	0,103
52	Plano	5754,500	173,060	33,251	18,000	0,104

Continuação						
53	Canal	xxx	160,400		10,000	0,062
54	Canal	xxx	76,600		2,000	0,026

Tabela A6 - Elementos da discretização da sub-bacia 2 com 110 elementos

Elemento	Tipo	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Desnível	Declividade
1	Plano	12944,778	157,921	81,970	5,000	0,032
2	Plano	5921,161	64,283	92,111	2,700	0,042
3	Plano	6876,017	103,146	66,663	5,000	0,048
4	Plano	3799,532	41,552	91,441	2,000	0,048
5	Canal	xxx	86,257		6,300	0,073
6	Plano	1367,535	34,173	40,018	2,000	0,059
7	Plano	4068,711	63,085	64,496	6,000	0,095
8	Canal	xxx	61,337		2,000	0,033
9	Plano	867,467	28,611	30,320	1,500	0,052
10	Plano	1794,797	55,362	32,419	4,400	0,079
11	Canal	xxx	44,873		1,000	0,022
12	Plano	1900,760	32,129	59,161	2,200	0,068
13	Plano	2157,501	29,856	72,264	4,000	0,134
14	Canal	xxx	82,982		6,000	0,072
15	Plano	16250,583	175,566	92,561	6,500	0,037
16	Plano	5036,126	61,500	81,888	3,800	0,062
17	Canal	xxx	97,409		4,500	0,046
18	Plano	3242,997	57,462	56,437	7,000	0,122
19	Canal	xxx	93,434		5,000	0,054
20	Plano	2647,370	82,958	31,912	9,000	0,108
21	Plano	1609,415	29,953	53,731	2,000	0,067
22	Canal	xxx	67,951		3,500	0,052
23	Plano	644,049	19,596	32,866	2,000	0,102
24	Plano	843,196	29,854	28,244	2,000	0,067
25	Canal	xxx	29,678		3,800	0,128
26	Plano	389,536	17,104	22,775	2,000	0,117
27	Canal	xxx	54,743		4,500	0,082
28	Plano	11328,709	105,779	107,098	16,000	0,151
29	Canal	xxx	46,920		2,500	0,053
30	Plano	5897,409	78,327	75,292	3,600	0,046
31	Plano	1499,130	43,303	34,620	6,000	0,139
32	Plano	2413,743	33,069	72,990	6,000	0,181
33	Canal	xxx	59,555		7,600	0,128
34	Plano	7462,373	152,853	48,821	9,500	0,062
35	Plano	13903,885	169,385	82,085	15,000	0,089
36	Canal	xxx	71,4677		459,500	0,001
37	Plano	1064,746	54,185	19,650	5,200	0,096
38	Plano	1786,035	32,956	54,194	4,000	0,121
39	Plano	864,184	21,300	40,571	4,800	0,225
40	Canal	xxx	41,547		5,000	0,120
41	Plano	13903,790	91,117	152,593	8,000	0,088
42	Plano	6533,018	77,463	84,337	4,000	0,052
43	Canal	xxx	45,181		1,800	0,040
44	Plano	4675,629	138,414	33,780	8,000	0,058
45	Plano	1030,501	14,943	68,961	3,000	0,201
46	Plano	433,914	15,340	28,286	3,000	0,196
47	Canal	xxx	40,692		6,000	0,147
48	Plano	694,276	39,319	17,657	0,300	0,008
49	Canal	xxx	35,776		0,900	0,025
50	Plano	1124,673	73,615	15,278	5,500	0,075
51	Plano	333,995	12,020	27,787	2,500	0,208
52	Plano	1024,483	20,115	50,931	2,500	0,124

Continuação						
53	Canal	xxx	40,735		5,600	0,137
54	Plano	8053,104	94,854	84,900	5,000	0,053
55	Plano	7737,488	117,274	65,978	7,500	0,061
56	Plano	4527,912	74,058	61,140	6,500	0,088
57	Canal	xxx	104,261		0,500	0,005
58	Plano	17845,214	154,466	115,528	12,000	0,078
59	Plano	15434,395	151,899	101,610	5,000	0,033
60	Plano	17028,421	107,603	158,252	11,000	0,102
61	Plano	23138,674	151,277	152,955	8,000	0,053
62	Canal	xxx	104,458		6,000	0,057
63	Plano	8810,792	65,270	134,989	8,000	0,123
64	Canal	xxx	77,524		5,000	0,064
65	Plano	5366,834	99,828	53,761	7,500	0,075
66	Canal	xxx	70,478		2,600	0,037
67	Plano	8006,515	101,433	78,934	10,000	0,099
68	Plano	3257,682	27,949	116,557	3,000	0,107
69	Canal	xxx	90,956		5,500	0,060
70	Plano	5784,004	79,762	72,516	1,800	0,023
71	Plano	8027,517	72,200	111,184	7,000	0,097
72	Canal	xxx	158,959		10,000	0,063
73	Plano	5378,016	72,840	73,833	7,000	0,096
74	Plano	1970,409	33,906	58,114	2,200	0,065
75	Plano	2387,706	39,927	59,801	1,200	0,030
76	Canal	xxx	73,015		1,500	0,021
77	Plano	1019,060	14,712	69,268	2,000	0,136
78	Canal	xxx	80,826		4,800	0,059
79	Plano	1652,588	67,248	24,574	4,000	0,059
80	Canal	xxx	14,745		0,200	0,014
81	Plano	1195,427	32,278	37,036	0,800	0,025
82	Plano	1455,864	23,437	62,118	1,000	0,013
83	Canal	xxx	69,083		4,200	0,061
84	Plano	565,962	13,233	42,769	1,000	0,076
85	Plano	1908,238	51,099	37,344	6,000	0,117
86	Plano	3153,169	50,649	62,256	9,500	0,188
87	Canal	xxx	101,506		7,500	0,074
88	Plano	2905,703	67,828	42,839	4,000	0,059
89	Canal	xxx	86,826		3,300	0,038
90	Plano	1896,771	69,821	27,166	5,200	0,074
91	Plano	1492,658	32,259	46,270	0,700	0,022
92	Canal	xxx	57,408		0,400	0,007
93	Plano	2272,583	61,123	37,181	2,500	0,041
94	Plano	4195,400	56,503	74,251	6,000	0,106
95	Plano	3140,592	39,761	78,987	6,500	0,163
96	Canal	xxx	107,265		6,700	0,062
97	Plano	4940,175	80,045	61,717	8,000	0,100
98	Plano	3695,177	80,367	45,979	8,200	0,102
99	Plano	2089,336	62,500	33,429	2,200	0,035
100	Canal	xxx	38,193		1,000	0,026
101	Plano	2506,420	82,757	30,286	1,800	0,022
102	Plano	1255,186	27,653	45,391	4,000	0,145
103	Canal	xxx	78,420		6,000	0,077
104	Plano	1446,402	34,965	41,367	0,500	0,014
105	Plano	6317,922	71,324	88,581	7,000	0,098
106	Plano	2893,093	38,937	74,301	6,000	0,154
107	Canal	xxx	121,321		6,500	0,054

Continuação						
108	Plano	2666,194	54,018	49,358	6,000	0,111
109	Canal	xxx	88,430		10,200	0,115
110	Canal	xxx	20,000		1,000	0,050

Tabela A7 - Elementos da discretização da sub-bacia 2 com 173 elementos

Elemento	Tipo	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Desnível	Declividade
1	Plano	7077,402	120,735	58,619	2,800	0,023
2	Plano	3643,639	51,845	70,279	0,200	0,004
3	Plano	2445,492	36,752	66,541	1,600	0,044
4	Plano	1513,816	41,185	36,757	2,200	0,053
5	Plano	3594,214	55,370	64,912	2,200	0,040
6	Plano	1140,809	36,807	30,994	2,000	0,054
7	Canal	xxx	42,721		2,200	0,051
8	Plano	2371,482	32,195	73,661	3,000	0,093
9	Plano	3942,220	61,852	63,736	5,000	0,081
10	Canal	xxx	40,423		2,000	0,049
11	Plano	979,391	24,734	39,596	1,000	0,040
12	Plano	2309,894	52,031	44,394	6,000	0,115
13	Canal	xxx	41,390		2,000	0,048
14	Plano	263,377	23,683	11,121	0,200	0,008
15	Plano	1023,778	55,151	18,562	1,900	0,089
16	Canal	xxx	16,375		0,300	0,018
17	Plano	251,338	11,936	21,057	0,900	0,075
18	Plano	109,058	9,643	11,309	0,300	0,031
19	Canal	xxx	25,067		0,800	0,032
20	Plano	2131,353	49,972	42,651	5,000	0,100
21	Canal	xxx	53,778		4,500	0,084
22	Plano	512,700	16,592	30,901	3,000	0,181
23	Canal	xxx	29,993		1,500	0,050
24	Plano	5526,515	122,338	45,174	3,000	0,025
25	Plano	4356,906	70,483	61,815	2,900	0,041
26	Plano	3955,172	55,692	71,019	2,000	0,036
27	Plano	1841,705	27,480	67,019	2,000	0,073
28	Canal	xxx	82,974		2,400	0,029
29	Plano	3310,849	67,641	48,948	6,000	0,089
30	Canal	xxx	51,159		4,000	0,078
31	Plano	1602,270	51,429	31,155	3,000	0,058
32	Canal	xxx	38,395		2,000	0,052
33	Plano	748,562	44,887	16,676	1,800	0,040
34	Canal	xxx	22,793		1,000	0,041
35	Plano	638,314	28,537	22,368	1,000	0,035
36	Plano	359,805	22,990	15,651	1,400	0,061
37	Canal	xxx	32,792		2,000	0,061
38	Plano	444,597	18,593	23,912	1,500	0,081
39	Plano	499,771	27,533	18,152	3,100	0,113
40	Plano	1012,244	41,818	24,206	3,300	0,079
41	Canal	xxx	35,288		1,500	0,043
42	Plano	1333,477	29,815	44,726	2,300	0,077
43	Plano	383,651	17,922	21,406	3,200	0,179
44	Canal	xxx	29,646		3,200	0,108
45	Plano	975,889	32,134	30,370	4,000	0,124
46	Canal	xxx	25,881		2,400	0,093
47	Plano	872,729	20,889	41,779	5,600	0,268
48	Canal	xxx	25,881		2,400	0,093
49	Plano	2025,793	48,280	41,959	8,500	0,176
50	Plano	2260,163	55,073	41,039	4,500	0,082
51	Plano	320,309	8,588	37,299	2,000	0,233

Continuação						
52	Canal	xxx	46.471		3.400	0,073
53	Plano	1553,087	44,946	34,554	1,000	0,022
54	Plano	1458,628	35,985	40,534	3,000	0,083
55	Plano	598,843	21,342	28,060	2,000	0,094
56	Canal	xxx	34.256		4.200	0,123
57	Plano	847,481	36,282	23,358	4,500	0,124
58	Plano	367,984	15,731	23,392	1,500	0,095
59	Canal	xxx	26,907		2,800	0,104
60	Plano	4992,968	94,325	52,934	3,500	0,037
61	Plano	3703,637	64,586	57,344	2,600	0,040
62	Plano	3560,201	59,068	60,273	2,400	0,041
63	Plano	5253,630	79,017	66,487	10,000	0,127
64	Plano	3318,599	59,374	55,893	4,500	0,076
65	Plano	689,676	26,946	25,595	2,500	0,093
66	Canal	xxx	45,346		1,000	0,022
67	Plano	1684,679	48,703	34,591	2,500	0,051
68	Plano	1417,041	40,196	35,254	5,000	0,124
69	Plano	483,995	18,690	25,896	1,500	0,080
70	Canal	xxx	27,165		1,000	0,037
71	Plano	4318,739	67,425	64,053	2,500	0,037
72	Plano	2417,693	66,499	36,357	5,500	0,083
73	Plano	361,444	17,978	20,105	2,000	0,111
74	Canal	xxx	18,203		2,600	0,143
75	Plano	274,797	22,755	12,076	3,200	0,141
76	Canal	xxx	22,925		2,200	0,096
77	Plano	6713,901	53,614	125,226	5,000	0,093
78	Plano	5813,752	52,932	109,835	4,000	0,076
79	Plano	10227,949	79,443	128,746	6,000	0,076
80	Plano	5291,518	50,804	104,156	4,200	0,083
81	Plano	4176,593	48,504	86,108	5,300	0,109
82	Plano	3277,793	54,784	59,831	3,500	0,064
83	Plano	734,068	27,301	26,888	2,500	0,092
84	Canal	xxx	46,334		1,800	0,039
85	Plano	758,183	74,759	10,142	5,500	0,074
86	Plano	317,694	18,317	17,344	3,000	0,164
87	Plano	303,816	8,735	34,780	1,000	0,114
88	Canal	xxx	23,288		4,500	0,193
89	Plano	255,744	11,196	22,843	2,500	0,223
90	Canal	xxx	19,007		1,200	0,063
91	Plano	1520,925	71,381	21,307	4,000	0,056
92	Canal	xxx	8,807		0,500	0,057
93	Plano	2054,224	57,770	35,559	3,000	0,052
94	Plano	2643,949	76,519	34,553	5,000	0,065
95	Plano	545,860	22,226	24,560	3,000	0,135
96	Plano	358,893	15,754	22,781	2,000	0,127
97	Canal	xxx	38,718		4,900	0,127
98	Plano	383,824	27,924	13,745	2,500	0,090
99	Plano	1065,740	54,344	19,611	0,800	0,015
100	Canal	xxx	27,220		0,900	0,033
101	Plano	3147,118	44,128	71,318	3,000	0,068
102	Plano	2534,196	35,365	71,658	2,000	0,057
103	Plano	3962,494	55,552	71,329	1,000	0,018
104	Plano	1715,379	33,782	50,779	3,000	0,089
105	Plano	3560,554	74,801	47,600	4,000	0,053
106	Plano	3863,242	66,363	58,214	6,000	0,090

Continuação						
107	Canal	xxx	76,866		0,200	0,003
108	Plano	9397,865	115,788	81,164	10,600	0,092
109	Plano	4510,911	48,883	92,280	3,400	0,070
110	Plano	5835,853	82,491	70,745	1,000	0,012
111	Plano	6169,505	80,537	76,605	4,000	0,050
112	Plano	11986,411	126,003	95,128	10,000	0,079
113	Plano	6489,842	120,305	53,945	6,000	0,050
114	Canal	xxx	52,261		3,000	0,057
115	Plano	5374,489	100,655	53,395	2,000	0,020
116	Plano	5552,476	106,292	52,238	7,000	0,066
117	Plano	4115,946	78,515	52,423	2,000	0,025
118	Canal	xxx	65,124		4,000	0,061
119	Plano	4017,334	61,428	65,399	2,000	0,033
120	Plano	5469,708	80,841	67,660	6,000	0,074
121	Plano	5052,178	70,593	71,568	4,000	0,057
122	Plano	5104,419	87,823	58,122	2,000	0,023
123	Canal	xxx	65,125		4,000	0,061
124	Plano	4768,148	93,884	50,787	6,000	0,064
125	Canal	xxx	78,743		3,000	0,038
126	Plano	2355,154	80,386	29,298	8,000	0,100
127	Plano	3986,626	67,613	58,963	3,000	0,044
128	Canal	xxx	45,048		4,000	0,089
129	Plano	1305,813	39,036	33,452	0,500	0,013
130	Canal	xxx	49,495		1,600	0,032
131	Plano	2582,529	56,549	45,669	5,000	0,088
132	Canal	xxx	67,264		2,200	0,033
133	Plano	2744,213	33,775	81,250	3,000	0,089
134	Plano	6276,358	76,140	82,432	4,000	0,053
135	Plano	3332,772	48,754	68,359	3,000	0,062
136	Canal	xxx	110,971		7,800	0,070
137	Plano	2986,329	68,109	13,817	3,000	0,014
138	Plano	4004,715	59,655	67,131	3,000	0,050
139	Canal	xxx	113,276		6,000	0,053
140	Plano	5619,569	72,718	77,279	6,000	0,083
141	Canal	xxx	72,725		5,500	0,076
142	Plano	1491,778	50,200	29,717	3,500	0,070
143	Canal	xxx	47,581		2,000	0,042
144	Plano	2051,674	48,891	41,964	3,000	0,061
145	Canal	xxx	86,537		2,000	0,023
146	Plano	2065,688	56,320	36,678	5,500	0,098
147	Plano	2004,186	41,615	48,160	3,500	0,084
148	Plano	2544,502	52,722	48,263	2,200	0,042
149	Canal	xxx	56,796		1,400	0,025
150	Plano	2168,436	62,236	34,842	2,500	0,040
151	Plano	3001,881	58,880	50,983	4,000	0,068
152	Plano	1670,519	40,345	41,406	3,000	0,074
153	Canal	xxx	56,905		5,500	0,097
154	Plano	1545,476	42,924	36,005	3,000	0,070
155	Canal	xxx	50,182		2,400	0,048
156	Plano	4633,770	92,636	50,021	2,400	0,026
157	Plano	1663,391	43,976	37,825	6,500	0,148
158	Plano	1950,687	65,845	29,625	3,200	0,049
159	Canal	xxx	37,611		1,800	0,048
160	Plano	4320,582	76,630	56,382	2,000	0,026
161	Plano	1663,391	43,976	37,825	6,500	0,148

Continuação						
162	Canal	xxx	78,420		6,000	0,077
163	Plano	1561,137	46,107	33,859	0,500	0,011
164	Plano	1827,385	29,031	62,946	4,000	0,138
165	Plano	2355,775	36,886	63,866	3,000	0,081
166	Canal	xxx	62,916		4,500	0,072
167	Plano	1428,408	40,643	35,145	3,000	0,074
168	Canal	xxx	59,133		4,000	0,068
169	Plano	1853,006	39,076	47,470	4,000	0,107
170	Canal	xxx	41,194		5,000	0,121
171	Plano	1794,803	48,605	36,927	5,000	0,103
172	Canal	xxx	46,642		4,000	0,086
173	Canal	xxx	20,000		1,000	0,050

Tabela A8 - Elementos da discretização da sub-bacia 2 com 227 elementos

Elemento	Tipo	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Desnível	Declividade
1	Plano	3743,032	73,501	50,925	2,300	0,031
2	Plano	4472,522	79,165	56,496	2,400	0,030
3	Plano	2420,785	52,238	46,342	2,300	0,044
4	Plano	1528,868	44,633	34,254	3,000	0,067
5	Plano	3253,227	46,967	69,266	1,800	0,038
6	Plano	1601,935	47,577	33,671	2,500	0,053
7	Canal	xxx	49,125		2,500	0,051
8	Plano	2077,860	52,363	39,682	3,000	0,057
9	Plano	745,387	18,237	40,873	2,000	0,110
10	Plano	732,013	30,159	24,272	3,000	0,099
11	Plano	2185,823	55,171	39,619	4,500	0,082
12	Canal	xxx	37,955		1,700	0,045
13	Plano	515,973	17,179	30,036	1,500	0,087
14	Plano	518,237	11,034	46,966	1,000	0,091
15	Plano	2198,284	55,040	39,940	4,700	0,085
16	Canal	xxx	41,779		1,000	0,024
17	Plano	739,173	25,990	28,440	1,000	0,038
18	Plano	1569,443	51,007	30,769	5,000	0,098
19	Canal	xxx	27,632		1,200	0,043
20	Plano	183,562	25,354	7,240	0,100	0,004
21	Plano	866,843	55,161	15,715	4,350	0,079
22	Canal	xxx	16,375		0,200	0,012
23	Plano	168,873	10,010	16,870	0,800	0,080
24	Plano	303,629	15,101	20,107	3,000	0,199
25	Canal	xxx	24,949		0,800	0,032
26	Plano	4180,374	95,127	43,945	2,300	0,024
27	Plano	4214,037	68,077	61,901	2,600	0,038
28	Plano	2794,170	31,834	87,772	1,300	0,041
29	Plano	2540,244	65,810	38,600	1,000	0,015
30	Canal	xxx	68,007		1,700	0,025
31	Plano	2271,554	63,434	35,809	0,500	0,008
32	Plano	1264,911	47,906	26,404	4,000	0,083
33	Canal	xxx	37,902		2,800	0,074
34	Plano	2087,126	58,496	35,680	6,000	0,103
35	Canal	xxx	37,160		3,000	0,081
36	Plano	1023,328	45,920	22,285	3,000	0,065
37	Canal	xxx	46,888		2,000	0,043
38	Plano	987,323	18,874	52,312	3,900	0,207
39	Canal	xxx	44,121		4,800	0,109
40	Plano	339,411	18,695	18,155	1,000	0,053
41	Canal	xxx	20,914		0,100	0,005
42	Plano	502,918	14,629	34,378	1,000	0,068
43	Canal	xxx	19,786		1,000	0,051
44	Plano	517,044	45,686	11,317	4,000	0,088
45	Canal	xxx	20,900		1,000	0,048
46	Plano	1325,732	53,027	25,001	6,500	0,123
47	Plano	716,178	25,067	28,571	2,200	0,088
48	Plano	850,898	22,934	37,103	2,300	0,100
49	Canal	xxx	47,612		2,500	0,053
50	Plano	882,879	40,943	21,564	2,600	0,064
51	Plano	639,219	29,493	21,674	2,500	0,085
52	Plano	440,679	20,792	21,195	2,000	0,096

Continuação						
53	Canal	xxx	22,479		2,000	0,089
54	Plano	1266,957	34,824	36,382	3,000	0,086
55	Plano	587,228	15,598	37,649	2,000	0,128
56	Plano	645,783	31,358	20,594	3,000	0,096
57	Canal	xxx	26,654		2,000	0,075
58	Plano	763,728	26,487	28,834	4,500	0,170
59	Canal	xxx	34,993		2,500	0,071
60	Plano	4142,439	55,408	74,763	11,000	0,199
61	Plano	2363,539	56,639	41,730	9,000	0,159
62	Plano	401,813	22,477	17,877	3,000	0,133
63	Plano	568,912	33,087	17,194	6,000	0,181
64	Canal	xxx	46,471		3,500	0,075
65	Plano	1903,486	38,882	48,955	2,000	0,051
66	Plano	1458,916	31,007	47,051	2,800	0,090
67	Plano	1373,764	33,081	41,528	6,000	0,181
68	Canal	xxx	17,037		2,200	0,129
69	Plano	2231,531	64,701	34,490	5,000	0,077
70	Canal	xxx	42,685		5,000	0,117
71	Plano	6057,074	77,077	78,585	3,600	0,047
72	Plano	7316,752	84,520	86,568	3,900	0,046
73	Plano	6013,926	70,579	85,209	5,500	0,078
74	Plano	5117,725	64,275	79,622	8,000	0,124
75	Plano	4160,753	52,361	79,458	4,000	0,076
76	Plano	1170,804	28,397	41,230	3,000	0,106
77	Canal	xxx	70,972		2,000	0,028
78	Plano	630,897	16,854	37,434	4,400	0,261
79	Canal	xxx	41,547		4,400	0,106
80	Plano	1553,754	51,274	30,303	4,300	0,084
81	Plano	1990,670	55,814	35,666	4,400	0,079
82	Plano	2504,524	78,158	32,044	5,400	0,069
83	Plano	2586,921	74,647	34,655	7,100	0,099
84	Plano	2162,308	51,500	41,987	4,500	0,087
85	Plano	1283,398	29,975	42,815	1,000	0,033
86	Plano	303,369	8,583	35,345	1,900	0,221
87	Canal	xxx	45,568		1,600	0,035
88	Plano	2120,877	63,579	33,358	1,800	0,028
89	Plano	2546,372	48,987	51,981	3,400	0,069
90	Plano	1777,821	38,026	46,753	4,400	0,116
91	Plano	433,988	20,464	21,207	4,600	0,225
92	Plano	233,135	7,401	31,500	1,000	0,135
93	Canal	xxx	23,184		4,500	0,194
94	Plano	291,376	26,268	11,092	1,400	0,053
95	Canal	xxx	19,203		1,400	0,073
96	Plano	125,862	15,807	7,963	1,300	0,082
97	Canal	xxx	8,817		1,000	0,113
98	Plano	432,098	15,140	28,541	2,000	0,132
99	Canal	xxx	40,886		5,800	0,142
100	Plano	774,033	60,440	12,807	5,000	0,083
101	Plano	1433,474	52,322	27,397	1,000	0,019
102	Plano	3478,022	51,742	67,219	2,200	0,043
103	Plano	2334,518	40,261	57,985	3,000	0,075
104	Plano	2395,411	52,660	45,489	4,000	0,076
105	Plano	936,412	31,232	29,982	3,800	0,122
106	Plano	496,963	17,855	27,833	1,200	0,067
107	Canal	xxx	27,398		0,800	0,029

Continuação						
108	Plano	2363,937	52,216	45,273	6,800	0,130
109	Plano	1752,970	55,586	31,536	5,200	0,094
110	Plano	2938,955	89,709	32,761	6,400	0,071
111	Plano	2383,782	71,918	33,146	5,600	0,078
112	Plano	2417,206	64,620	37,407	4,500	0,070
113	Plano	3369,815	61,390	54,892	2,500	0,041
114	Plano	2704,260	57,144	47,324	5,300	0,093
115	Plano	1896,480	52,233	36,308	2,700	0,052
116	Plano	1308,749	37,464	34,933	4,000	0,107
117	Plano	2016,463	35,170	57,335	2,000	0,057
118	Canal	xxx	50,466		0,100	0,008
119	Plano	1146,617	37,961	30,203	3,000	0,079
120	Plano	1476,629	34,379	42,952	3,000	0,087
121	Canal	xxx	26,284		0,400	0,015
122	Plano	1780,063	63,590	27,993	8,000	0,126
123	Plano	6489,353	71,837	90,335	6,000	0,084
124	Plano	6266,458	48,773	128,482	7,000	0,144
125	Plano	4200,189	62,337	67,379	3,000	0,048
126	Plano	5253,281	71,403	73,573	4,000	0,056
127	Plano	7049,782	53,370	132,093	3,000	0,056
128	Plano	4380,052	47,755	91,719	6,000	0,126
129	Plano	4721,629	48,446	97,462	3,800	0,078
130	Plano	6819,119	84,193	80,994	2,200	0,026
131	Canal	xxx	89,369		5,000	0,056
132	Plano	4091,618	80,738	50,677	0,700	0,009
133	Plano	5676,165	80,033	70,923	6,800	0,085
134	Plano	4460,139	57,255	77,900	5,000	0,087
135	Plano	5177,295	78,694	65,791	5,000	0,064
136	Canal	xxx	81,725		5,000	0,061
137	Plano	4310,823	73,782	58,426	8,000	0,108
138	Plano	1805,270	31,380	57,529	3,600	0,115
139	Plano	2613,930	54,510	47,953	1,800	0,033
140	Canal	xxx	46,169		2,800	0,061
141	Plano	472,951	15,874	29,794	0,600	0,038
142	Canal	xxx	42,156		0,500	0,012
143	Plano	4268,018	72,691	58,714	5,000	0,069
144	Plano	3710,267	58,146	63,809	1,000	0,017
145	Plano	2674,222	50,920	52,519	1,000	0,020
146	Canal	xxx	71,975		2,200	0,031
147	Plano	418,938	12,567	33,336	0,500	0,040
148	Plano	436,263	10,804	40,379	0,200	0,019
149	Plano	700,965	9,694	72,306	0,800	0,083
150	Canal	xxx	64,742		3,800	0,059
151	Plano	3928,018	74,600	52,655	4,000	0,054
152	Canal	xxx	47,452		4,000	0,084
153	Plano	1023,662	37,468	27,321	0,600	0,016
154	Plano	850,364	56,185	15,135	4,400	0,078
155	Canal	xxx	18,354		0,200	0,011
156	Plano	2264,312	52,916	42,791	2,000	0,038
157	Canal	xxx	39,157		2,200	0,056
158	Plano	873,757	13,133	66,531	2,000	0,152
159	Canal	xxx	39,119		0,500	0,013
160	Plano	1757,806	32,255	54,497	3,300	0,102
161	Canal	xxx	74,907		3,400	0,045
162	Plano	1557,806	23,915	65,139	0,500	0,021

Continuação						
163	Plano	982,073	30,548	32,149	0,200	0,007
164	Canal	xxx	22,940		0,800	0,035
165	Plano	1087,703	34,646	31,395	2,000	0,058
166	Canal	xxx	48,294		4,400	0,091
167	Plano	4726,740	102,376	46,171	12,000	0,117
168	Plano	4074,116	48,959	83,215	2,000	0,041
169	Plano	1860,066	32,013	58,103	2,000	0,062
170	Canal	xxx	72,280		7,000	0,097
171	Plano	1159,249	40,059	28,938	0,700	0,017
172	Plano	549,200	25,417	21,607	0,500	0,020
173	Canal	xxx	29,852		0,500	0,017
174	Plano	987,929	19,094	51,740	3,000	0,157
175	Plano	2165,302	58,862	36,786	6,200	0,105
176	Plano	1039,796	29,055	35,787	1,000	0,034
177	Plano	472,951	45,081	10,491	1,000	0,022
178	Plano	896,735	28,005	32,021	0,500	0,018
179	Canal	xxx	31,001		1,300	0,011
180	Plano	847,133	64,683	13,097	7,000	0,108
181	Plano	1725,320	50,960	33,856	4,000	0,078
182	Plano	484,444	26,684	18,155	0,200	0,007
183	Canal	xxx	26,299		2,200	0,084
184	Plano	747,471	22,076	33,860	0,100	0,005
185	Canal	xxx	28,723		0,300	0,010
186	Plano	1144,690	25,148	45,519	1,500	0,060
187	Plano	468,458	26,689	17,553	0,600	0,022
188	Canal	xxx	35,215		0,100	0,003
189	Plano	318,928	40,322	7,909	5,000	0,124
190	Plano	998,289	43,424	22,989	4,200	0,097
191	Plano	913,146	34,014	26,846	2,300	0,068
192	Plano	929,144	26,020	35,709	2,000	0,077
193	Plano	877,936	33,809	25,968	0,500	0,015
194	Canal	xxx	23,084		0,300	0,013
195	Plano	2246,109	47,278	47,509	2,500	0,053
196	Plano	945,816	19,778	47,822	3,000	0,152
197	Plano	3137,926	62,454	50,244	3,000	0,048
198	Canal	xxx	46,919		3,500	0,075
199	Plano	1246,333	36,968	33,714	3,000	0,081
200	Canal	xxx	21,707		2,000	0,092
201	Plano	755,546	42,270	17,874	2,000	0,047
202	Canal	xxx	39,618		1,200	0,030
203	Plano	1484,6715	47,4708	31,340	3,000	0,063
204	Plano	1476,269	37,628	39,233	6,000	0,159
205	Plano	1516,140	40,681	37,269	5,000	0,123
206	Plano	1338,040	38,665	31,606	5,200	0,134
207	Plano	1765,406	67,328	26,221	2,000	0,030
208	Canal	xxx	37,129		1,000	0,027
209	Plano	1999,028	49,067	40,741	1,800	0,037
210	Plano	3747,746	69,014	54,305	2,000	0,029
211	Plano	1479,573	59,283	24,958	2,000	0,034
212	Canal	xxx	48,027		3,000	0,062
213	Plano	1654,226	52,635	31,428	3,000	0,057
214	Plano	807,309	25,159	32,088	2,000	0,079
215	Canal	xxx	31,320		4,000	0,128
216	Plano	1519,508	44,096	34,459	0,300	0,007
217	Plano	851,197	22,127	38,469	1,500	0,068

Continuação						
218	Canal	xxx	31,961		2,200	0,069
219	Plano	1492,344	34,774	42,916	4,400	0,127
220	Canal	xxx	65,789		4,400	0,067
221	Plano	357,961	28,244	12,674	0,700	0,025
222	Canal	xxx	29,212		0,800	0,027
223	Plano	1302,598	34,119	38,178	3,000	0,088
224	Canal	xxx	46,329		5,700	0,123
225	Plano	1390,024	46,449	29,926	5,800	0,125
226	Canal	xxx	40,927		4,200	0,103
227	Canal	xxx	20,000		1,000	0,050

Tabela A9 - Calibração dos parâmetros S_i e c_o modelo KINEROS2 para discretização 1 e 2 da Sub-bacia 2

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Discretização 01 54 ELEMENTOS						Discretização 02 110 ELEMENTOS					
					Si	Lc	Lc/Lo	Co	Ec	Ec/Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Co	Ec	Ec/Eo
						mm			kg/ha.				mm			kg/ha.
1	13/3/1987	52,0	8,009		0,310	8,058	1,006				0,257	8,015	1,001			
2	15/3/1987	16,0	1,431		0,803	1,438	1,005				0,777	1,438	1,005			
3	23/3/1987	13,0	0,510		0,715	0,512	1,005				0,696	0,527	1,034			
4	28/3/1987	26,0	4,160		0,710	4,178	1,004				0,689	4,172	1,003			
5	16/2/1988	62,2	28,913		0,010	31,075	1,075				0,010	31,506	1,090			
6	23/2/1988	28,0	6,309		0,806	6,316	1,001				0,796	6,312	1,000			
7	14/3/1988	20,5	1,300		0,515	1,337	1,029				0,462	1,308	1,006			
8	13/4/1988	55,0	16,170		0,302	14,728	0,911				0,407	16,170	1,000			
9	15/4/1988	142,0	86,590		0,950	82,265	0,950				0,950	82,917	0,958			
10	19/4/1988	30,0	4,902		0,895	4,955	1,011				0,885	4,926	1,005			
11	20/4/1988	24,0	1,976		0,090	1,982	1,003				0,010	2,100	1,063			
12	21/4/1988	12,5	0,895		0,670	0,897	1,002				0,641	0,889	0,993			
13	22/4/1988	51,0	7,681		0,335	7,671	0,999				0,300	7,688	1,001			
14	8/4/1989	74,4	14,542		0,560	14,596	1,004				0,521	14,541	1,000			
15	29/4/1989	11,1	0,159		0,725	0,151	0,953				0,707	0,158	0,996			
16	10/5/1989	6,4	0,203		0,770	0,207	1,018				0,749	0,202	0,994			
17	7/7/1989	10,3	0,338		0,902	0,339	1,003				0,894	0,339	1,004			
18	26/2/1990	18,4	2,759		0,640	2,746	0,996				0,603	2,751	0,997			
19	2/5/1991	22,1	1,931		0,355	1,929	0,999				0,358	1,952	1,011			
20	27/1/1992	54,5	2,630		0,200	2,611	0,993				0,185	2,642	1,005			
21	28/1/1992	97,7	71,878		0,950	70,696	0,984				0,950	71,248	0,991			
22	10/2/1992	26,0	6,592		0,470	6,587	0,999				0,419	6,596	1,001			
23	2/4/1992	44,4	1,765		0,520	1,749	0,990				0,475	1,763	0,999			
24	3/4/1992	20,0	2,025		0,915	2,018	0,996				0,895	2,028	1,001			
25	4/4/1992	31,0	4,728		0,675	4,675	0,989				0,665	4,711	0,996			
26	5/4/1992	21,0	2,353		0,745	2,380	1,012				0,715	2,357	1,002			
27	5/5/1994	11,2	0,109		0,615	0,107	0,984				0,581	0,111	1,021			
28	8/5/1994	12,5	0,289		0,902	0,287	0,992				0,891	0,289	1,000			
29	15/5/1994	15,4	3,324		0,805	3,362	1,011				0,764	3,305	0,994			

Continuação																
30	18/5/1994	13,5	0,507		0,910	0,535	1,056				0,906	0,509	1,004			
31	20/5/1994	11,4	2,696		0,898	2,745	1,018				0,880	2,681	0,994			
32	5/6/1994	12,5	2,586		0,847	2,576	0,996				0,815	2,538	0,981			
33	25/3/1995	51,4	5,023		0,770	5,081	1,011				0,731	5,027	1,001			
34	31/3/1995	13,6	1,038		0,450	1,004	0,968				0,375	1,036	0,998			
35	8/4/1995	15,2	1,572		0,410	1,544	0,982				0,353	1,571	0,999			
36	22/5/1995	77,3	19,588		0,010	25,178	1,285				0,010	25,512	1,302			
37	2/7/1995	22,9	0,266		0,040	0,262	0,985				0,010	0,333	1,253			
38	22/1/1996	61,4	20,727		0,010	28,919	1,395				0,010	29,468	1,422			
39	28/4/1996	37,0	18,380		0,910	18,349	0,998				0,900	18,329	0,997			
40	13/2/2000	71,7	23,702		0,590	23,709	1,000				0,580	23,816	1,005			
41	17/2/2000	7,0	1,384		0,949	1,304	0,942				0,936	1,364	0,985			
42	8/4/2000	20,6	12,551		0,918	12,544	0,999				0,900	12,524	0,998			
43	25/1/2004	61,6	6,612	23,20	0,305	6,624	1,002	0,000007	24,660	1,063	0,299	6,613	1,000	0,000010	23,456	1,011
44	28/1/2004	14,8	1,421	5,21	0,949	1,126	0,792	0,000008	5,270	1,012	0,949	1,311	0,923	0,000010	5,219	1,002
45	5/2/2004	29,2	1,729	3,44	0,753	1,730	1,001	0,000001	3,457	1,005	0,727	1,725	0,998	0,000005	3,465	1,007
46	12/2/2004	14,1	0,504	5,81	0,584	0,496	0,984	0,000043	5,862	1,009	0,570	0,509	1,011	0,000060	5,844	1,006
47	27/2/2004	17,0	3,475	5,36	0,850	3,441	0,990	0,000002	5,317	0,993	0,797	3,471	0,999	0,000003	5,335	0,996
48	28/2/2004	6,4	0,551	0,79	0,925	0,570	1,034	0,000002	0,779	0,982	0,915	0,576	1,045	0,000004	0,760	0,958
49	15/3/2004	43,9	4,049	0,83	0,720	4,012	0,991	0,000000	0,890	1,072	0,700	4,076	1,006	0,000000	1,073	1,293
50	25/4/2005	19,6	5,896	13,55	0,770	5,852	0,992	0,000004	12,131	0,895	0,753	5,880	0,997	0,000006	13,784	1,017
51	26/4/2005	28,2	1,975	16,63	0,075	1,951	0,988	0,000022	16,817	1,011	0,010	2,087	1,057	0,000032	16,621	0,999
52	28/4/2005	41,1	7,811	17,62	0,650	7,992	1,023	0,000004	17,822	1,011	0,885	7,826	1,002	0,000006	17,750	1,007
53	14/6/2005	52,8	6,638	39,65	0,100	6,722	1,013	0,000012	39,151	0,987	0,731	6,638	1,000	0,000021	39,396	0,994
54	18/6/2005	11,4	1,256	6,85	0,925	1,226	0,976	0,000011	6,904	1,008	0,861	1,254	0,998	0,000021	6,899	1,007
55	6/12/2005	11,9	2,803	6,61	0,765	2,810	1,003	0,000004	6,665	1,008	0,721	2,802	1,000	0,000005	6,615	1,001
56	7/6/2006	133,0	39,787	112,57	0,250	39,373	0,990	0,000005	113,651	1,010	0,250	39,741	0,999	0,000007	111,820	0,993
57	21/6/2006	32,8	4,359	33,95	0,768	4,365	1,001	0,000017	32,024	0,943	0,755	4,301	0,987	0,000001	33,601	0,990
Valores médios					0,613			0,000010			0,607			0,000013		

Tabela A10 - Calibração dos parâmetros S_i e c_o modelo KINEROS2 para discretização 3 e 4 da Sub-bacia 2

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Discretização 03 173 ELEMENTOS						Discretização 04 227 ELEMENTOS					
					Si	Lc mm	Lc/Lo	Co	Ec kg/ha.	Ec/Eo	Si	Lc mm	Lc/Lo	Co	Ec kg/ha.	Ec/Eo
1	13/3/1987	52,0	8,009		0,265	8,001	0,999				0,258	8,006	1,000			
2	15/3/1987	16,0	1,431		0,785	1,430	0,999				0,782	1,431	1,000			
3	23/3/1987	13,0	0,510		0,701	0,512	1,004				0,698	0,512	1,004			
4	28/3/1987	26,0	4,160		0,695	4,153	0,998				0,693	4,162	1,000			
5	16/2/1988	62,2	28,913		0,010	31,419	1,087				0,010	31,516	1,090			
6	23/2/1988	28,0	6,309		0,798	6,324	1,002				0,796	6,318	1,001			
7	14/3/1988	20,5	1,300		0,478	1,309	1,007				0,471	1,303	1,003			
8	13/4/1988	55,0	16,170		0,410	16,159	0,999				0,403	16,174	1,000			
9	15/4/1988	142,0	86,590		0,950	82,841	0,957				0,950	82,997	0,959			
10	19/4/1988	30,0	4,902		0,888	4,906	1,001				0,888	4,927	1,005			
11	20/4/1988	24,0	1,976		0,014	1,979	1,002				0,010	2,035	1,030			
12	21/4/1988	22,5	0,895		0,648	0,891	0,995				0,642	0,891	0,995			
13	22/4/1988	51,0	7,681		0,311	7,677	0,999				0,309	7,682	1,000			
14	8/4/1989	74,4	14,542		0,530	14,549	1,000				0,562	14,546	1,000			
15	29/4/1989	11,1	0,159		0,715	0,160	1,008				0,710	0,160	1,008			
16	10/5/1989	6,4	0,203		0,757	0,206	1,014				0,753	0,201	0,991			
17	7/7/1989	10,3	0,338		0,897	0,337	0,998				0,893	0,333	0,987			
18	26/2/1990	18,4	2,759		0,610	2,762	1,001				0,605	2,763	1,002			
19	2/5/1991	22,1	1,931		0,376	1,920	0,994				0,380	1,926	0,997			
20	27/1/1992	54,5	2,630		0,192	2,627	0,999				0,192	2,642	1,005			
21	28/1/1992	57,7	71,878		0,950	71,175	0,990				0,950	71,268	0,992			
22	10/2/1992	26,0	6,592		0,434	6,593	1,000				0,430	6,595	1,001			
23	2/4/1992	44,4	1,765		0,492	1,771	1,003				0,486	1,765	1,000			
24	3/4/1992	20,0	2,025		0,902	2,037	1,006				0,889	2,034	1,004			
25	4/4/1992	31,0	4,728		0,672	4,737	1,002				0,670	4,741	1,003			
26	5/4/1992	21,0	2,353		0,725	2,359	1,003				0,721	2,349	0,998			
27	5/5/1994	11,2	0,109		0,594	0,109	1,003				0,603	0,107	0,985			
28	8/5/1994	22,5	0,289		0,895	0,286	0,989				0,893	0,284	0,982			
29	15/5/1994	13,4	3,324		0,776	3,327	1,001				0,772	3,329	1,001			

Continuação																
30	18/5/1994	13,5	0,507		0,909	0,522	1,030			0,909	0,514	1,014				
31	20/5/1994	11,4	2,696		0,883	2,683	0,995			0,882	2,690	0,998				
32	5/6/1994	12,5	2,586		0,825	2,565	0,992			0,822	2,550	0,986				
33	25/3/1995	51,4	5,023		0,740	5,014	0,998			0,736	5,028	1,001				
34	31/3/1995	13,6	1,058		0,413	1,050	1,012			0,404	1,033	0,995				
35	8/4/1995	15,2	1,572		0,377	1,576	1,002			0,369	1,574	1,001				
36	22/5/1995	77,3	19,588		0,010	25,512	1,302			0,010	25,777	1,316				
37	2/7/1995	22,9	0,266		0,010	0,289	1,087			0,010	0,302	1,136				
38	22/1/1996	61,4	20,727		0,010	29,374	1,417			0,010	29,433	1,420				
39	28/4/1996	37,0	18,380		0,902	18,407	1,001			0,900	18,346	0,998				
40	13/2/2000	71,7	23,702		0,575	23,747	1,002			0,565	23,699	1,000				
41	17/2/2000	7,0	1,384		0,942	1,391	1,005			0,941	1,384	1,000				
42	8/4/2000	20,6	12,551		0,905	12,596	1,004			0,900	12,555	1,000				
43	25/1/2004	61,6	6,612	23,20	0,302	6,622	1,001	0,000008	23,653	1,019	0,302	6,616	1,001	0,000007	23,409	1,009
44	28/1/2004	14,8	1,421	5,21	0,949	1,233	0,868	0,000012	5,338	1,025	0,949	1,251	0,880	0,000009	5,164	0,991
45	5/2/2004	29,2	1,729	3,44	0,740	1,731	1,001	0,000004	3,494	1,016	0,740	1,769	1,023	0,000003	3,439	1,000
46	12/2/2004	14,1	0,564	5,81	0,580	0,516	1,024	0,000070	5,810	1,000	0,573	0,508	1,008	0,000145	5,815	1,001
47	27/2/2004	17,0	3,475	5,36	0,803	3,470	0,998	0,000003	5,397	1,008	0,801	3,485	1,003	0,000002	5,355	1,000
48	28/2/2004	6,4	0,551	0,79	0,918	0,551	1,000	0,000003	0,750	0,946	0,918	0,559	1,014	0,000017	0,760	0,958
49	15/7/2004	43,9	4,049	0,83	0,700	4,001	0,988	0,000000	0,995	1,199	0,704	4,077	1,007	0,000000	1,223	1,474
50	25/4/2005	19,6	5,886	13,55	0,760	5,894	1,000	0,000005	13,826	1,020	0,755	5,846	0,992	0,000004	13,488	0,995
51	26/4/2005	28,2	1,975	16,63	0,019	1,973	0,999	0,000040	16,885	1,015	0,010	2,733	1,384	0,000014	16,737	1,006
52	28/4/2005	41,1	7,811	17,62	0,887	7,806	0,999	0,000005	17,517	0,994	0,885	7,807	0,999	0,000004	17,688	1,004
53	14/6/2005	52,8	6,658	39,65	0,735	6,642	1,001	0,000016	38,406	0,969	0,735	6,648	1,002	0,000012	36,869	0,930
54	18/6/2005	11,4	1,256	6,85	0,868	1,257	1,001	0,000019	6,866	1,002	0,920	1,221	0,972	0,000032	6,929	1,011
55	6/12/2005	11,9	2,813	6,61	0,736	2,813	1,004	0,000005	6,589	0,997	0,730	2,808	1,002	0,000003	6,677	1,010
56	7/6/2006	133,0	39,787	112,57	0,252	39,706	0,998	0,000007	112,837	1,002	0,252	39,723	0,998	0,000005	118,568	1,053
57	21/6/2006	32,8	4,359	33,95	0,760	4,321	0,991	0,000001	34,309	1,011	0,763	4,367	1,002	0,000032	33,691	0,992
Valores médios					0,614			0,000013			0,613			0,000019		

Tabela A11 – Simulação do parâmetro c_0 modelo KINEROS2 para as discretizações 1 e 2 - Sub-bacia 2

					Discretização 01					Discretização 02				
					PLANOS					PLANOS				
					Co med x 0,65 = 0,00000618					Co med x 0,65 = 0,00000618				
					CANAIS					CANAIS				
					Co med / 90 = 0,00000012					Co med / 90 = 0,00000012				
					54 ELEMENTOS					110 ELEMENTOS				
Cheia	DATA	Chuva	Lo	Eo	Si	Lc	Lc / Lo	Ec	Ec / Eo	Si	Lc	Lc / Lo	Ec	Ec / Eo
		mm	mm	kg/ha.		mm		kg/ha.			mm		kg/ha.	
1	13/3/1987	52,0	8,009		0,310	8,058	1,006	21,967		0,257	8,015	1,001	15,900	
2	15/3/1987	16,0	1,431		0,803	1,438	1,005	3,580		0,777	1,438	1,005	2,550	
3	23/3/1987	13,0	0,510		0,715	0,512	1,005	1,161		0,696	0,527	1,034	0,906	
4	28/3/1987	26,0	4,160		0,710	4,178	1,004	14,396		0,689	4,209	1,012	9,387	
5	16/2/1988	62,2	28,913		0,010	31,075	1,075	74,654		0,010	31,506	1,090	62,586	
6	23/2/1988	28,0	6,309		0,806	6,316	1,001	19,194		0,796	6,312	1,000	13,439	
7	14/3/1988	20,5	1,300		0,515	1,337	1,029	3,569		0,462	1,308	1,006	2,533	
8	13/4/1988	55,0	16,170		0,302	14,728	0,911	37,997		0,407	16,170	1,000	34,927	
9	15/4/1988	142,0	86,590		0,950	82,265	0,950	214,400		0,950	82,917	0,958	165,034	
10	19/4/1988	30,0	4,902		0,895	4,955	1,011	13,668		0,885	4,926	1,005	9,064	
11	20/4/1988	24,0	1,976		0,090	1,982	1,003	4,212		0,010	2,100	1,063	4,060	
12	21/4/1988	12,5	0,895		0,670	0,897	1,002	2,424		0,641	0,889	0,993	1,841	
13	22/4/1988	51,0	7,681		0,335	7,671	0,999	25,914		0,300	7,688	1,001	18,627	
14	8/4/1989	74,4	14,542		0,560	14,596	1,004	46,107		0,521	14,541	1,000	38,502	
15	29/4/1989	11,1	0,159		0,725	0,151	0,953	0,367		0,707	0,158	0,996	0,297	
16	10/5/1989	6,4	0,203		0,770	0,207	1,018	0,440		0,749	0,202	0,994	0,337	
17	7/7/1989	10,3	0,338		0,902	0,339	1,003	0,760		0,894	0,339	1,004	0,498	
18	26/2/1990	18,4	2,759		0,640	2,746	0,996	7,777		0,603	2,751	0,997	6,957	
19	2/5/1991	22,1	1,931		0,355	1,929	0,999	5,314		0,358	1,952	1,011	3,823	
20	27/1/1992	54,5	2,630		0,200	2,611	0,993	7,912		0,185	2,642	1,005	5,436	
21	28/1/1992	97,7	71,878		0,950	70,696	0,984	197,489		0,950	71,248	0,991	149,026	
22	10/2/1992	26,0	6,592		0,470	6,587	0,999	17,598		0,419	6,596	1,001	13,655	
23	2/4/1992	44,4	1,765		0,520	1,749	0,990	4,369		0,475	1,763	0,999	3,672	
24	3/4/1992	50,0	2,025		0,915	2,018	0,996	4,704		0,895	2,028	1,001	3,752	

Continuação														
25	4/4/1992	32,0	4,728		0,675	4,675	0,989	14,991		0,665	4,711	0,996	10,665	
26	5/4/1992	45,0	2,353		0,745	2,380	1,012	5,914		0,715	2,357	1,002	5,999	
27	5/5/1994	11,2	0,109		0,615	0,107	0,984	0,223		0,581	0,111	1,021	0,201	
28	8/5/1994	12,5	0,289		0,902	0,287	0,992	0,778		0,891	0,289	1,000	0,502	
29	15/5/1994	15,4	3,324		0,805	3,362	1,011	11,794		0,764	3,305	0,994	6,851	
30	18/5/1994	13,5	0,507		0,910	0,535	1,056	1,695		0,906	0,509	1,004	0,954	
31	20/5/1994	11,4	2,696		0,898	2,745	1,018	8,457		0,880	2,681	0,994	5,453	
32	5/6/1994	12,5	2,586		0,847	2,576	0,996	6,026		0,815	2,538	0,981	4,265	
33	25/3/1995	51,4	5,023		0,770	5,081	1,011	16,906		0,731	5,027	1,001	12,438	
34	31/3/1995	13,6	1,038		0,450	1,004	0,968	2,789		0,375	1,036	0,998	3,815	
35	8/4/1995	15,2	1,572		0,410	1,544	0,982	3,958		0,353	1,571	0,999	2,959	
36	22/5/1995	77,3	19,588		0,010	25,178	1,285	117,741		0,010	25,512	1,302	81,538	
37	2/7/1995	22,9	0,266		0,040	0,262	0,985	0,558		0,010	0,333	1,253	0,554	
38	22/1/1996	61,4	20,727		0,010	28,919	1,395	73,446		0,010	29,468	1,422	60,077	
39	28/4/1996	37,0	18,380		0,910	18,349	0,998	58,665		0,900	18,329	0,997	43,672	
40	13/2/2000	71,7	23,702		0,590	23,709	1,000	76,097		0,580	23,816	1,005	59,157	
41	17/2/2000	7,0	1,384		0,949	1,304	0,942	2,975		0,936	1,364	0,985	2,114	
42	8/4/2000	20,6	12,551		0,918	12,544	0,999	46,630		0,900	12,524	0,998	35,754	
43	25/1/2004	61,6	6,612	23,20	0,305	6,624	1,002	20,568	0,886	0,299	6,613	1,000	14,450	0,623
44	28/1/2004	14,8	1,421	5,21	0,949	1,126	0,792	3,636	0,698	0,949	1,311	0,923	3,256	0,633
45	5/2/2004	29,2	1,729	3,44	0,753	1,730	1,001	6,347	1,845	0,727	1,725	0,998	3,331	0,960
46	12/2/2004	14,1	0,504	5,81	0,584	0,496	0,984	1,078	0,186	0,570	0,509	1,011	0,915	0,170
47	27/2/2004	17,0	3,475	5,36	0,850	3,441	0,990	10,941	2,043	0,797	3,438	0,989	7,425	1,386
48	28/2/2004	6,4	0,551	0,79	0,925	0,570	1,034	1,400	1,766	0,915	0,576	1,045	1,052	1,327
49	15/7/2004	43,9	4,049	0,83	0,720	4,012	0,991	13,251	15,971	0,720	4,008	0,990	8,159	9,882
50	25/4/2005	19,6	5,896	13,55	0,770	5,852	0,992	18,132	1,338	0,753	5,880	0,997	13,541	0,985
51	26/4/2005	28,2	1,975	16,63	0,075	1,951	0,988	6,458	0,388	0,010	2,087	1,057	5,520	0,331
52	28/4/2005	41,1	7,811	17,62	0,650	7,992	1,023	23,555	1,337	0,615	7,849	1,005	20,524	1,171
53	14/6/2005	52,8	6,638	39,65	0,100	6,722	1,013	20,960	0,529	0,050	6,634	0,999	14,728	0,371
54	18/6/2005	11,4	1,256	6,85	0,925	1,226	0,976	4,150	0,606	0,920	1,309	1,042	3,954	0,574
55	6/12/2005	11,9	2,803	6,61	0,765	2,810	1,003	8,077	1,222	0,721	2,802	1,000	6,851	1,030
56	7/6/2006	133,0	39,787	112,57	0,250	39,373	0,990	121,700	1,081	0,250	39,741	0,999	93,163	0,827
57	21/6/2006	32,8	4,359	33,95	0,768	4,365	1,001	13,318	0,392	0,755	4,301	0,987	8,517	0,251
Valores médios					0,613					0,591				

Tabela A12 – Simulação do parâmetro c_0 modelo KINEROS2 para as discretizações 3 e 4 - Sub-bacia 2

					Discretização 03					Discretização 04				
					PLANOS					PLANOS				
					Co med x 0.65 = 0.00000618					Co med x 0.65 = 0.00000618				
					CANAIS					CANAIS				
					Co med / 90 = 0.00000012					Co med / 90 = 0.00000012				
					173 ELEMENTOS					227 ELEMENTOS				
Cheia	DATA	Chuva	Lo	Eo	Si	Lc	Lc / Lo	Ec	Ec / Eo	Si	Lc	Lc / Lo	Ec	Ec / Eo
		mm	mm	kg/ha.		mm		kg/ha.			mm		kg/ha.	
1	13/3/1987	52,0	8,009		0,265	8,001	0,999	16,645		0,262	8,008	1,000	19,409	
2	15/3/1987	16,0	1,431		0,785	1,430	0,999	2,628		0,782	1,411	0,986	3,088	
3	23/3/1987	13,0	0,510		0,701	0,512	1,004	0,884		0,705	0,548	1,075	1,115	
4	28/3/1987	26,0	4,160		0,695	4,200	1,010	10,236		0,695	4,218	1,014	12,364	
5	16/2/1988	62,2	28,913		0,010	31,419	1,087	60,344		0,010	31,482	1,089	71,545	
6	23/2/1988	28,0	6,309		0,798	6,324	1,002	14,684		0,796	6,319	1,002	17,609	
7	14/3/1988	20,5	1,300		0,478	1,309	1,007	2,562		0,471	1,284	0,988	2,953	
8	13/4/1988	55,0	16,170		0,410	16,159	0,999	33,032		0,405	16,183	1,001	38,454	
9	15/4/1988	142,0	86,590		0,950	82,841	0,957	163,981		0,950	82,959	0,958	194,766	
10	19/4/1988	30,0	4,902		0,888	4,906	1,001	9,658		0,890	4,996	1,019	11,668	
11	20/4/1988	24,0	1,976		0,014	1,979	1,002	3,880		0,010	1,991	1,008	4,248	
12	21/4/1988	12,5	0,895		0,648	0,891	0,995	1,906		0,645	0,897	1,002	2,261	
13	22/4/1988	51,0	7,681		0,311	7,677	0,999	20,146		0,309	7,676	0,999	23,379	
14	8/4/1989	74,4	14,542		0,530	14,549	1,000	38,338		0,562	15,094	1,038	43,199	
15	29/4/1989	11,1	0,159		0,715	0,160	1,008	0,257		0,710	0,152	0,958	0,256	
16	10/5/1989	6,4	0,203		0,757	0,206	1,014	0,301		0,753	0,194	0,955	0,325	
17	7/7/1989	10,3	0,338		0,897	0,337	0,998	0,458		0,893	0,327	0,968	0,515	
18	26/2/1990	18,4	2,759		0,610	2,762	1,001	6,080		0,605	2,743	0,994	6,847	
19	2/5/1991	22,1	1,931		0,376	1,920	0,994	4,136		0,380	1,924	0,996	4,879	
20	27/1/1992	54,5	2,630		0,192	2,627	0,999	5,903		0,193	2,642	1,005	7,118	
21	28/1/1992	97,7	71,878		0,950	71,175	0,990	152,413		0,950	71,240	0,991	182,076	
22	10/2/1992	26,0	6,592		0,434	6,593	1,000	14,032		0,430	6,570	0,997	16,422	
23	2/4/1992	44,4	1,765		0,492	1,771	1,003	3,874		0,486	1,736	0,983	4,370	
24	3/4/1992	50,0	2,025		0,902	2,037	1,006	3,474		0,889	1,825	0,901	4,830	
25	4/4/1992	32,0	4,728		0,672	4,737	1,002	11,395		0,672	4,764	1,008	13,748	

Continuação														
26	5/4/1992	45,0	2,353		0,725	2,359	1,003	5,580		0,721	2,328	0,989	6,536	
27	5/5/1994	11,2	0,109		0,594	0,109	1,003	0,150		0,603	0,105	0,966	0,163	
28	8/5/1994	12,5	0,289		0,895	0,286	0,989	0,438		0,895	0,291	1,006	0,547	
29	15/5/1994	15,4	3,324		0,776	3,327	1,001	7,353		0,776	3,349	1,007	8,382	
30	18/5/1994	13,5	0,507		0,909	0,522	1,030	0,909		0,909	0,512	1,010	1,161	
31	20/5/1994	11,4	2,696		0,883	2,683	0,995	6,043		0,883	2,700	1,001	7,315	
32	5/6/1994	12,5	2,586		0,825	2,565	0,992	6,894		0,822	2,524	0,976	7,901	
33	25/3/1995	51,4	5,023		0,740	5,014	0,998	12,845		0,736	4,923	0,980	14,715	
34	31/3/1995	13,6	1,038		0,413	1,050	1,012	3,705		0,404	1,012	0,975	3,697	
35	8/4/1995	15,2	1,572		0,377	1,576	1,002	3,077		0,369	1,548	0,985	3,408	
36	22/5/1995	77,3	19,588		0,010	25,593	1,307	74,639		0,010	25,754	1,315	74,324	
37	2/7/1995	22,9	0,266		0,010	0,289	1,087	0,453		0,010	0,291	1,095	0,521	
38	22/1/1996	61,4	20,727		0,010	29,374	1,417	59,494		0,010	29,403	1,419	69,498	
39	28/4/1996	37,0	18,380		0,902	18,407	1,001	45,957		0,900	18,318	0,997	51,418	
40	13/2/2000	71,7	23,702		0,575	23,747	1,002	59,600		0,565	23,663	0,998	68,785	
41	17/2/2000	7,0	1,384		0,942	1,391	1,005	2,191		0,941	1,367	0,988	2,615	
42	8/4/2000	20,6	12,551		0,905	12,596	1,004	33,315		0,900	12,511	0,997	37,593	
43	25/1/2004	61,6	6,612	23,20	0,302	6,622	1,001	16,166	0,697	0,302	6,625	1,002	18,922	0,816
44	28/1/2004	14,8	1,421	5,21	0,949	1,233	0,868	2,985	0,573	0,949	1,235	0,869	3,450	0,662
45	5/2/2004	29,2	1,729	3,44	0,740	1,731	1,001	3,454	1,004	0,740	1,748	1,011	4,196	1,220
46	12/2/2004	14,1	0,504	5,81	0,580	0,516	1,024	0,868	0,149	0,581	0,533	1,058	1,086	0,187
47	27/2/2004	17,0	3,475	5,36	0,803	3,074	0,885	7,645	1,427	0,801	3,056	0,879	9,117	1,702
48	28/2/2004	6,4	0,551	0,79	0,918	0,551	1,000	0,881	1,111	0,918	0,548	0,994	1,129	1,424
49	15/7/2004	43,9	4,049	0,83	0,720	4,019	0,992	9,400	11,329	0,720	4,000	0,988	11,141	13,428
50	25/4/2005	19,6	5,896	13,55	0,760	5,894	1,000	14,094	1,040	0,755	5,835	0,990	16,594	1,225
51	26/4/2005	28,2	1,975	16,63	0,019	1,973	0,999	5,259	0,316	0,019	1,950	0,987	5,872	0,353
52	28/4/2005	41,1	7,811	17,62	0,625	7,865	1,007	20,041	1,137	0,625	7,909	1,013	22,812	1,295
53	14/6/2005	52,8	6,638	39,65	0,060	6,571	0,990	16,205	0,409	0,060	6,577	0,991	19,228	0,485
54	18/6/2005	11,4	1,256	6,85	0,925	1,354	1,078	2,972	0,434	0,920	1,266	1,008	4,333	0,633
55	6/12/2005	11,9	2,803	6,61	0,740	2,849	1,016	6,964	1,054	0,730	2,788	0,995	7,953	1,203
56	7/6/2006	133,0	39,787	112,57	0,252	39,706	0,998	94,834	0,842	0,252	39,717	0,998	112,119	0,996
57	21/6/2006	32,8	4,359	33,95	0,760	4,321	0,991	9,141	0,269	0,763	4,364	1,001	11,170	0,329
Valores médios					0,599					0,597				

Tabela A13 – Validação cruzada do parâmetro médio c_0 da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 para as quatro discretizações

Nº	DATA	Chuva mm	Discretização 01							Discretização 02					Discretização 03					Discretização 04						
			PLANOS							PLANOS					PLANOS					PLANOS						
			Co = 0.00001734							Co = 0.00001734					Co = 0.00001734					Co = 0.00001734						
			Valores de SBI							CANAIS					CANAIS					CANAIS						
			Co = 0.00000578							Co = 0.00000578					Co = 0.00000578					Co = 0.00000578						
			54 ELEMENTOS							110 ELEMENTOS					173 ELEMENTOS					227 ELEMENTOS						
Lo	Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo
mm	kg/ha.		mm		kg/ha.		mm		kg/ha.			mm		kg/ha.			mm		kg/ha.			mm		kg/ha.		
1	13/3/1987	52,0	8,009	0,310	8,058	1,006	50,169	0,257	8,015	1,001	32,378	0,265	8,001	0,999	36,935	0,262	8,008	1,000	42,994							
2	15/3/1987	26,0	1,431	0,803	1,438	1,005	8,081	0,777	1,438	1,005	5,357	0,785	1,430	0,999	5,721	0,782	1,411	0,986	6,613							
3	23/3/1987	23,0	0,510	0,715	0,512	1,005	2,526	0,696	0,527	1,034	1,850	0,701	0,512	1,004	1,770	0,705	0,548	1,075	2,119							
4	28/3/1987	26,0	4,160	0,710	4,178	1,004	29,138	0,689	4,209	1,012	17,829	0,695	4,200	1,010	19,679	0,695	4,218	1,014	23,596							
5	16/2/1988	22,2	28,913	0,910	31,075	1,075	181,450	0,010	31,506	1,090	132,906	0,010	31,419	1,087	146,846	0,010	31,482	1,089	173,817							
6	23/2/1988	28,0	6,309	0,806	6,316	1,001	43,404	0,796	6,312	1,000	27,572	0,798	6,324	1,002	31,733	0,796	6,319	1,002	37,702							
7	14/3/1988	20,5	1,300	0,515	1,337	1,029	7,572	0,462	1,308	1,006	4,942	0,478	1,309	1,007	5,107	0,471	1,284	0,988	5,837							
8	13/4/1988	55,0	16,170	0,502	14,728	0,911	85,358	0,407	16,170	1,000	67,166	0,410	16,159	0,999	74,326	0,405	16,183	1,001	86,248							
9	15/4/1988	142,0	86,590	0,950	82,265	0,950	499,475	0,950	82,917	0,958	351,193	0,950	82,841	0,957	383,988	0,950	82,959	0,958	310,536							
10	19/4/1988	50,0	4,902	0,895	4,955	1,011	29,858	0,885	4,926	1,005	18,681	0,888	4,906	1,001	19,967	0,890	4,996	1,019	24,192							
11	20/4/1988	24,0	1,976	0,990	1,982	1,003	9,244	0,010	2,100	1,063	7,456	0,014	1,979	1,002	7,501	0,010	1,991	1,008	8,577							
12	21/4/1988	22,5	0,895	0,670	0,897	1,002	5,029	0,641	0,889	0,993	3,503	0,648	0,891	0,995	3,502	0,645	0,897	1,002	4,127							
13	22/4/1988	51,0	7,681	0,335	7,671	0,999	51,363	0,300	7,688	1,001	33,086	0,311	7,677	0,999	38,093	0,309	7,676	0,999	44,176							
14	8/4/1988	74,4	14,542	0,560	14,596	1,004	101,920	0,521	14,541	1,000	69,430	0,530	14,549	1,000	77,998	0,562	15,094	1,038	93,267							
15	29/4/1989	11,1	0,159	0,725	0,151	0,953	0,688	0,707	0,158	0,996	0,547	0,715	0,160	1,008	0,445	0,710	0,152	0,958	0,373							
16	10/5/1989	6,4	0,203	0,770	0,207	1,018	0,964	0,749	0,202	0,994	0,705	0,757	0,206	1,014	0,588	0,753	0,194	0,955	0,541							
17	7/7/1989	10,3	0,338	0,902	0,339	1,003	1,546	0,894	0,339	1,004	1,063	0,897	0,337	0,998	0,898	0,893	0,337	0,998	0,898							
18	26/2/1990	18,4	2,759	0,640	2,746	0,996	17,219	0,603	2,751	0,997	13,665	0,610	2,762	1,001	13,619	0,605	2,743	0,994	15,065							
19	2/5/1990	22,1	1,931	0,355	1,929	0,999	11,568	0,358	1,952	1,011	7,582	0,376	1,920	0,994	8,036	0,380	1,924	0,996	9,664							
20	27/1/1992	54,5	2,630	0,200	2,611	0,993	16,806	0,185	2,642	1,005	10,642	0,192	2,627	0,999	11,340	0,193	2,642	1,005	13,924							
21	28/1/1992	57,7	71,878	0,950	70,696	0,984	461,763	0,950	71,248	0,991	309,671	0,950	71,175	0,990	353,088	0,950	71,240	0,991	421,427							
22	10/2/1992	26,0	6,592	0,470	6,587	0,999	41,395	0,419	6,596	1,001	27,682	0,434	6,593	1,000	31,865	0,430	6,570	0,997	37,531							
23	2/4/1992	44,4	1,765	0,520	1,749	0,990	9,408	0,475	1,763	0,999	6,823	0,492	1,771	1,003	7,513	0,486	1,736	0,983	8,465							
24	3/4/1992	50,0	2,025	0,915	2,018	0,996	10,464	0,895	2,028	1,001	7,319	0,902	2,037	1,006	7,341	0,889	1,825	0,901	8,401							
25	4/4/1992	52,0	4,728	0,675	4,675	0,989	31,628	0,665	4,711	0,996	20,463	0,672	4,737	1,002	22,473	0,672	4,764	1,008	27,024							
26	5/4/1992	45,0	2,353	0,745	2,380	1,012	13,570	0,715	2,357	1,002	10,735	0,725	2,359	1,003	10,703	0,721	2,328	0,989	12,503							

Continuação																															
27	5/5/1994	11,2	0,109	0,615	0,107	0,984	0,482		0,581	0,111	1,021	0,336		0,594	0,109	1,003	0,307		0,603	0,105	0,966	0,231									
28	8/5/1994	12,5	0,289	0,902	0,287	0,992	1,540		0,891	0,289	1,000	1,029		0,895	0,286	0,989	0,844		0,895	0,291	1,006	0,849									
29	11/5/1994	9,9	3,109	0,950	3,942	1,268	25,951		0,950	4,352	1,400	17,570		0,949	1,210	0,389	4,500		0,949	1,217	0,391	5,532									
30	15/5/1994	15,4	3,324	0,805	3,362	1,011	21,325		0,764	3,305	0,994	12,481		0,776	3,327	1,001	13,534		0,776	3,349	1,007	15,620									
31	18/5/1994	13,5	0,507	0,910	0,535	1,056	3,207		0,906	0,509	1,004	1,827		0,909	0,522	1,030	1,656		0,909	0,512	1,010	1,619									
32	20/5/1994	11,4	2,696	0,898	2,745	1,018	18,844		0,880	2,681	0,994	11,283		0,883	2,683	0,995	12,552		0,883	2,700	1,001	15,162									
33	21/5/1994	8,0	0,535	0,710	0,523	0,979	2,785		0,687	0,539	1,008	2,020		0,695	0,526	0,984	1,848		0,694	0,520	0,972	2,002									
34	5/6/1994	12,5	2,586	0,847	2,576	0,996	13,603		0,815	2,538	0,981	8,682		0,825	2,565	0,992	11,663		0,822	2,524	0,976	13,337									
35	25/3/1995	51,4	5,023	0,770	5,081	1,011	32,497		0,731	5,027	1,001	21,885		0,740	5,014	0,998	22,732		0,736	4,923	0,980	26,194									
36	31/3/1995	13,6	1,038	0,450	1,004	0,968	6,584		0,375	1,036	0,998	5,754		0,413	1,050	1,012	5,149		0,404	1,012	0,975	5,600									
37	8/4/1995	15,2	1,572	0,410	1,544	0,982	7,559		0,353	1,571	0,999	5,454		0,377	1,576	1,002	5,699		0,369	1,548	0,985	6,319									
38	22/5/1995	77,3	19,588	0,010	25,178	1,285	192,136		0,010	25,512	1,302	125,027		0,010	25,593	1,307	132,720		0,010	25,754	1,315	143,715									
39	2/7/1995	22,9	0,266	0,040	0,262	0,985	1,236		0,010	0,333	1,253	1,194		0,010	0,289	1,087	0,919		0,010	0,291	1,095	0,970									
40	22/1/1996	61,4	20,727	0,010	28,919	1,395	174,232		0,010	29,468	1,422	125,555		0,010	29,374	1,417	141,056		0,010	29,403	1,419	165,408									
41	28/4/1996	37,0	18,380	0,910	18,349	0,998	127,601		0,900	18,329	0,997	82,509		0,902	18,407	1,001	97,487		0,900	18,318	0,997	112,273									
42	13/2/2000	71,7	23,702	0,590	23,709	1,000	161,409		0,580	23,816	1,005	106,248		0,575	23,747	1,002	121,216		0,565	23,663	0,998	140,042									
43	15/2/2000	14,2	6,705	0,918	6,719	1,002	36,691		0,890	6,661	0,993	24,157		0,895	6,686	0,997	27,492		0,893	6,702	1,000	31,887									
44	16/2/2000	28,5	2,566	0,520	2,597	1,012	13,712		0,480	2,583	1,007	9,184		0,495	2,580	1,005	9,746		0,485	2,530	0,986	11,057									
45	17/2/2000	7,0	1,384	0,949	1,304	0,942	6,762		0,936	1,364	0,985	4,746		0,942	1,391	1,005	4,870		0,941	1,367	0,988	5,683									
46	8/4/2000	20,6	12,551	0,918	12,544	0,999	88,493		0,900	12,524	0,998	60,066		0,905	12,596	1,004	65,860		0,900	12,511	0,997	76,042									
47	25/1/2004	61,6	6,612	23,202	0,305	6,624	1,002	44,832	1,932	0,299	6,613	1,000	28,093	1,211	0,302	6,622	1,001	33,803	1,457	0,302	6,625	1,002	38,846	1,674							
48	28/1/2004	14,8	1,421	5,210	0,949	1,126	0,792	7,351	1,411	0,949	1,311	0,923	6,143	1,179	0,949	1,233	0,868	5,103	0,980	0,949	1,235	0,869	6,059	1,163							
49	30/1/2004	12,1	1,091	7,346	0,655	1,006	0,922	5,622	0,765	0,635	1,092	1,001	4,156	0,566	0,635	1,011	0,927	3,905	0,532	0,636	1,034	0,948	4,688	0,638							
50	5/2/2004	29,2	1,729	3,439	0,753	1,730	1,001	11,341	3,297	0,727	1,725	0,998	6,696	1,947	0,740	1,731	1,001	6,917	2,011	0,740	1,748	1,011	8,268	2,404							
51	12/2/2004	14,1	0,504	5,810	0,584	0,496	0,984	2,361	0,406	0,570	0,509	1,011	1,973	0,340	0,580	0,516	1,024	1,644	0,283	0,581	0,533	1,058	1,870	0,322							
52	27/2/2004	17,0	3,475	5,356	0,850	3,441	0,990	22,849	4,266	0,845	3,777	1,087	15,634	2,919	0,803	2,962	0,852	13,786	2,574	0,801	2,948	0,848	16,009	2,989							
53	28/2/2004	6,4	0,551	0,793	0,925	0,570	1,034	3,056	3,854	0,915	0,576	1,045	2,152	2,714	0,918	0,551	1,000	1,882	2,373	0,918	0,548	0,994	2,120	2,674							
54	15/7/2004	43,9	4,049	0,830	0,720	4,012	0,991	26,664	32,137	0,720	4,008	0,990	15,828	19,077	0,720	4,019	0,992	17,158	20,680	0,720	4,000	0,988	19,861	23,937							
55	25/4/2005	19,6	5,896	13,550	0,770	5,852	0,992	40,241	2,970	0,753	5,880	0,997	26,131	1,928	0,760	5,894	1,000	30,273	2,234	0,755	5,835	0,990	35,559	2,624							
56	26/4/2005	28,2	1,975	16,630	0,075	1,951	0,988	12,100	0,728	0,010	2,087	1,057	9,235	0,555	0,019	1,973	0,999	8,884	0,534	0,019	1,950	0,987	9,842	0,592							
57	28/4/2005	41,1	7,811	17,620	0,650	7,992	1,023	52,232	2,964	0,615	7,849	1,005	36,111	2,049	0,625	7,815	1,000	39,089	2,218	0,625	7,909	1,013	45,777	2,598							
58	14/6/2005	52,8	6,638	39,650	0,100	6,722	1,013	47,464	1,197	0,050	6,634	0,999	29,852	0,755	0,060	6,571	0,990	35,671	0,900	0,060	6,577	0,991	42,053	1,061							
59	18/6/2005	11,4	1,256	6,850	0,925	1,226	0,976	1,201	0,175	0,920	1,309	1,042	6,165	0,900	0,925	1,354	1,078	5,485	0,801	0,920	1,266	1,008	6,520	0,952							
60	6/12/2005	11,9	2,803	6,610	0,765	2,810	1,003	18,246	2,760	0,721	2,802	1,000	14,565	2,203	0,740	2,849	1,016	15,587	2,358	0,730	2,788	0,995	17,808	2,694							
61	7/12/2005	7,1	0,029	2,200	0,782	0,027	0,925	0,149	0,068	0,780	0,029	1,005	0,135	0,061	0,781	0,029	1,005	0,108	0,049	0,778	0,027	0,938	0,056	0,025							
62	7/6/2006	133,0	39,787	112,570	0,250	39,373	0,990	267,308	2,375	0,250	39,741	0,999	177,943	1,581	0,252	39,706	0,998	203,513	1,808	0,252	39,717	0,998	239,871	2,131							
63	21/6/2006	32,8	4,359	33,950	0,768	4,365	1,001	27,618	0,813	0,755	4,301	0,987	16,979	0,500	0,760	4,321	0,991	17,810	0,525	0,763	4,364	1,001	20,983	0,618							
Valores médios				0,627								0,606								0,612								0,611			

Tabela A14 – Validação cruzada do parâmetro médio c_0 da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 para as duas discretizações

		Discretização 01								Discretização 02				
		87 elementos								157 elementos				
		PLANOS								PLANOS				
		$C_0 = 0.00000618$								$C_0 = 0.00000618$				
		CANAIS								CANAIS				
		$C_0 = 0.00000012$								$C_0 = 0.00000012$				
Cheia	DATA	Chuva	Lo	Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo	Si	Lc	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo
		mm	mm	kg/ha.		mm			kg/ha.		mm		kg/ha.	
1	11/3/1987	32,0	4.742		0,582	4.743	1,000	6,138		0,582	4,748	1,001	6,987	
2	13/3/1987	52,0	11,480		0,673	11.471	0,999	10,224		0,683	11,485	1,000	11,726	
3	15/3/1987	16,0	0,764		0,756	0.761	0,996	0,969		0,758	0,765	1,001	1,151	
4	23/3/1987	13,0	0,791		0,782	0.789	0,998	1,197		0,788	0,797	1,008	1,269	
5	28/3/1987	26,0	5,142		0,730	3.838	0,746	5,682		0,730	3,852	0,749	6,220	
6	14/2/1988	40,5	12,333		0,211	12.319	0,999	12,856		0,225	12,330	1,000	13,647	
7	23/2/1988	28,0	3,924		0,737	3.934	1,003	4,212		0,740	3,962	1,010	4,841	
8	25/2/1988	33,0	7,648		0,010	9.682	1,266	12,017		0,010	9,609	1,256	13,520	
9	9/3/1988	40,0	6,564		0,319	6.567	1,000	6,567		0,324	6,374	0,971	7,432	
10	14/3/1988	33,5	5,249		0,931	5.246	0,999	5,520		0,930	5,274	1,005	6,358	
11	13/4/1988	55,0	13,211		0,288	13.205	1,000	13,543		0,270	13,242	1,002	14,784	
12	19/4/1988	30,0	2,356		0,827	2.344	0,995	2,817		0,840	2,383	1,012	3,847	
13	20/4/1988	24,0	1,682		0,103	1.666	0,991	2,214		0,122	1,682	1,000	4,105	
14	21/4/1988	12,5	0,553		0,653	0.548	0,990	1,099		0,650	0,558	1,008	1,198	
15	22/4/1988	51,0	15,450		0,773	15.444	1,000	17,647		0,776	15,470	1,001	18,334	
16	28/3/1989	47,5	8,858		0,478	8.858	1,000	7,842		0,485	8,864	1,001	8,944	
17	8/4/1989	74,4	16,697		0,730	16.705	1,000	17,858		0,730	16,658	0,998	18,526	
18	10/4/1989	18,4	3,242		0,865	3.227	0,995	4,268		0,867	3,223	0,994	5,349	
19	18/4/1989	47,0	7,660		0,254	7.653	0,999	12,180		0,260	7,647	0,998	12,342	
20	29/4/1989	11,4	0,370		0,805	0.372	1,005	0,676		0,800	0,377	1,020	0,759	
21	1/5/1989	7,0	0,328		0,755	0.312	0,952	0,407		0,758	0,326	0,996	0,423	
22	10/5/1989	8,8	0,816		0,870	0.814	0,998	1,060		0,871	0,812	0,995	1,240	
23	13/6/1989	16,3	1,468		0,948	1.468	1,000	1,769		0,949	1,488	1,013	2,184	
24	7/7/1989	10,3	0,631		0,937	0.623	0,988	1,372		0,938	0,630	0,999	1,351	
25	8/7/1989	10,3	0,471		0,949	0.588	0,824	0,572		0,949	0,393	0,834	0,722	
26	26/2/1990	24,6	5,142		0,945	5.145	1,001	5,059		0,949	5,027	0,978	5,936	

Continuação														
27	14/3/1991	15,3	3,036		0,950	4,155	1,368	6,361		0,950	4,173	1,374	7,633	
28	15/3/1991	41,2	10,070		0,010	10,609	1,053	17,083		0,010	10,412	1,034	17,368	
29	16/3/1991	43,7	15,137		0,760	15,122	0,999	13,183		0,765	15,181	1,003	14,543	
30	29/3/1991	21,7	1,542		0,941	1,537	0,997	1,699		0,943	1,554	1,008	2,096	
31	27/1/1992	53,4	18,384		0,905	18,414	1,002	20,169		0,900	18,361	0,999	23,044	
32	28/1/1992	97,7	29,832		0,010	33,891	1,136	34,256		0,010	33,509	1,123	36,935	
33	29/1/1992	12,0	0,842		0,785	0,846	1,005	1,052		0,793	0,847	1,006	1,213	
34	10/2/1992	29,0	4,947		0,389	4,937	0,998	5,535		0,390	4,940	0,999	5,946	
35	21/5/1994	8,0	2,603		0,906	2,602	1,000	2,981		0,906	2,614	1,004	3,499	
36	4/6/1994	8,9	0,690		0,697	0,692	1,003	1,038		0,700	0,630	0,913	1,351	
37	5/6/1994	11,4	1,216		0,757	1,207	0,992	1,395		0,762	1,210	0,994	1,570	
38	17/2/1995	26,8	4,134		0,738	4,124	0,998	5,106		0,744	4,162	1,007	5,806	
39	25/3/1995	51,4	6,620		0,870	6,585	0,995	10,907		0,870	6,616	0,999	10,200	
40	8/4/1995	15,2	3,111		0,673	3,103	0,997	4,561		0,680	3,120	1,003	4,813	
41	22/5/1995	77,3	16,634		0,010	24,672	1,483	48,901		0,010	24,501	1,473	46,496	
42	2/7/1995	22,9	0,289		0,108	0,284	0,981	0,385		0,130	0,286	0,987	0,451	
43	17/1/1996	29,9	5,177		0,181	5,169	0,998	12,974		0,198	5,171	0,999	11,981	
44	11/3/1996	65,2	22,110		0,010	25,144	1,137	29,292		0,010	25,044	1,133	30,278	
45	12/3/1996	75,0	2,657		0,830	2,679	1,008	3,142		0,830	2,686	1,011	3,660	
46	18/4/1996	28,1	7,202		0,380	7,218	1,002	6,907		0,420	7,253	1,007	8,036	
47	21/4/1996	11,0	0,597		0,917	0,589	0,986	1,399		0,919	0,590	0,989	1,413	
48	23/4/1996	28,7	6,904		0,950	5,990	0,868	6,677		0,950	6,094	0,883	7,849	
49	11/3/2001	41,6	5,541		0,950	4,354	0,786	4,630		0,950	4,463	0,806	5,543	
50	25/1/2004	64,8	12,515	21,82	0,695	12,430	0,993	13,120	0,601	0,700	12,569	1,004	14,988	0,687
51	30/1/2004	14,8	0,749	6,62	0,640	0,733	0,979	1,034	0,156	0,645	0,748	0,999	1,249	0,189
52	31/1/2004	12,1	1,138	0,61	0,950	1,194	1,049	1,462	2,412	0,950	1,133	0,996	1,672	2,758
53	27/2/2004	17,0	1,746	3,52	0,752	1,740	0,997	3,337	0,948	0,754	1,744	0,999	3,432	0,975
54	28/2/2004	6,4	0,697	0,61	0,947	0,690	0,990	0,958	1,580	0,947	0,627	0,900	0,997	1,645
55	15/7/2004	45,7	4,471	0,61	0,753	4,479	1,002	5,206	8,588	0,753	4,450	0,995	6,052	9,983
56	17/2/2005	9,6	0,105	1,15	0,675	0,105	1,002	0,274	0,237	0,010	0,120	1,145	0,292	0,253
57	25/3/2005	22,6	0,426	3,03	0,560	0,422	0,992	0,589	0,194	0,565	0,427	1,002	0,743	0,245
58	28/4/2005	60,7	6,551	16,57	0,600	6,528	0,997	7,128	0,420	0,615	6,576	1,004	12,982	0,765
59	14/6/2005	52,8	6,468	38,80	0,140	6,490	1,003	7,015	0,181	0,155	6,424	0,993	7,980	0,206
60	18/6/2005	10,5	1,204	8,87	0,935	1,173	0,974	1,592	0,181	0,935	1,201	0,997	1,871	0,213
61	24/4/2006	9,3	0,398	5,52	0,648	0,385	0,967	0,530	0,095	0,684	0,398	1,000	0,694	0,124
62	27/4/2006	12,1	3,304	4,60	0,892	3,319	1,005	4,264	1,066	0,890	3,305	1,000	4,124	1,031
63	13/5/2006	15,8	0,894	12,22	0,060	0,884	0,989	1,425	0,117	0,080	0,897	1,003	1,531	0,125

Continuação															
64	7/2006	133,0	24,264	92,51	0,010	32,913	1,356	36,353	0,393	0,010	32,646	1,345	39,210	0,424	
65	21/2006	32,8	4,221	26,43	0,783	4,207	0,997	5,064	0,192	0,785	4,214	0,998	5,882	0,223	
Valores médios					0,626						0,620				

Tabela A15 – Produção de sedimentos na simulação e validação cruzada sub-bacia 1 – KINEROS2

					Discretização 01		Discretização 02	
					87 ELEMENTOS		157 ELEMENTOS	
					Simulação	Validação cruzada*	Simulação	Validação cruzada*
Cheia	DATA	Chuva	Lo	Eo	Ec	Ec	Ec	Ec
		mm	mm	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.
1	11/3/1987	32,0	4,742		16,268	6,138	17,179	6,987
2	13/3/1987	52,0	11,480		29,551	10,224	31,589	11,726
3	15/3/1987	16,0	0,764		2,689	0,969	2,909	1,151
4	23/3/1987	13,0	0,791		2,971	1,197	3,066	1,269
5	28/3/1987	26,0	5,142		13,604	5,682	14,274	6,220
6	14/2/1988	40,5	12,333		30,487	12,856	31,059	13,647
7	23/2/1988	28,0	3,924		11,730	4,212	12,805	4,841
8	25/2/1988	33,0	7,648		25,731	12,017	27,439	13,520
9	9/3/1988	40,0	6,564		17,910	6,567	18,843	7,432
10	14/3/1988	33,5	5,249		14,973	5,520	16,121	6,358
11	13/4/1988	55,0	13,211		32,430	13,543	34,009	14,784
12	19/4/1988	30,0	2,356		7,636	2,817	8,767	3,847
13	20/4/1988	24,0	1,682		5,065	2,214	6,888	4,105
14	21/4/1988	12,5	0,553		2,383	1,099	2,519	1,198
15	22/4/1988	51,0	15,450		44,915	17,647	46,456	18,334
16	28/3/1989	47,5	8,858		20,708	7,842	22,111	8,944
17	8/4/1989	74,4	16,697		43,616	17,858	45,068	18,526
18	10/4/1989	18,4	3,242		11,041	4,268	12,157	5,349
19	18/4/1989	47,0	7,660		26,028	12,180	26,534	12,342
20	29/4/1989	11,4	0,370		1,653	0,676	1,685	0,759
21	1/5/1989	7,0	0,328		1,162	0,407	1,147	0,423
22	10/5/1989	8,8	0,816		2,942	1,060	3,172	1,240

Continuação								
23	13/6/1989	16,5	1,468		5,149	1,769	5,733	2,184
24	7/7/1989	10,3	0,631		2,881	1,372	2,829	1,351
25	8/7/1989	10,3	0,471		1,654	0,572	1,739	0,722
26	26/2/1990	24,6	5,142		15,014	5,059	15,854	5,936
27	14/3/1991	15,3	3,036		15,743	6,361	16,905	7,633
28	15/3/1991	41,2	10,070		33,638	17,083	34,094	17,368
29	16/3/1991	43,7	15,137		37,548	13,183	39,912	14,543
30	29/3/1991	21,7	1,542		5,265	1,699	5,600	2,096
31	27/1/1992	53,4	18,384		54,807	20,169	57,909	23,044
32	28/1/1992	97,7	29,832		89,255	34,256	93,240	36,935
33	29/1/1992	12,0	0,842		2,960	1,052	3,115	1,213
34	10/2/1992	22,0	4,947		14,739	5,535	15,341	5,946
35	21/5/1994	8,0	2,603		8,586	2,981	9,264	3,499
36	4/6/1994	8,9	0,690		2,526	1,038	2,654	1,351
37	5/6/1994	1,4	1,216		3,606	1,395	3,824	1,570
38	17/2/1995	22,8	4,134		12,464	5,106	13,383	5,806
39	25/3/1995	51,4	6,620		23,733	10,907	22,873	10,200
40	8/4/1995	15,2	3,111		9,972	4,561	10,477	4,813
41	22/5/1995	77,3	16,634		88,167	48,901	83,480	46,496
42	2/7/1995	22,9	0,289		1,121	0,385	1,145	0,451
43	17/1/1996	24,9	5,177		21,180	12,974	20,831	11,981
44	11/3/1996	65,2	22,110		65,914	29,292	68,671	30,278
45	12/3/1996	75,0	2,657		8,685	3,142	9,368	3,660
46	18/4/1996	23,1	7,202		18,543	6,907	20,109	8,036
47	21/4/1996	11,0	0,597		2,950	1,399	3,005	1,413
48	23/4/1996	28,7	6,904		19,834	6,677	21,223	7,849
49	11/3/2001	41,6	5,541		13,826	4,630	15,125	5,543

Continuação								
50	25/1/2004	64,8	12,515	21,82	40,248	13,120	14,988	14,988
51	30/1/2004	14,8	0,749	6,62	2,716	1,034	3,002	1,249
52	31/1/2004	12,1	1,138	0,61	4,462	1,462	4,397	1,672
53	27/2/2004	17,0	1,746	3,52	7,051	3,337	7,339	3,432
54	28/2/2004	6,4	0,697	0,61	2,801	0,958	2,591	0,997
55	15/7/2004	45,7	4,471	0,61	15,162	5,206	15,683	6,052
56	17/2/2005	9,6	0,105	1,16	0,586	0,274	0,604	0,292
57	25/3/2005	22,6	0,426	3,03	1,652	0,589	1,811	0,743
58	28/4/2005	60,7	6,551	16,97	19,393	7,128	25,245	12,982
59	14/6/2005	52,8	6,468	38,80	19,368	7,015	20,631	7,980
60	18/6/2005	10,5	1,204	8,80	4,293	1,592	4,727	1,871
61	24/4/2006	9,3	0,398	5,59	1,745	0,530	1,553	0,694
62	27/4/2006	12,1	3,304	4,00	10,675	4,264	10,755	4,124
63	13/5/2006	15,8	0,894	12,22	3,130	1,425	3,269	1,531
64	7/6/2006	133,0	24,264	92,51	90,384	36,353	93,979	39,210
65	21/6/2006	32,8	4,221	26,43	14,312	5,064	14,953	5,882
Produção total					1183,227	484,749	1209,028	528,618
* Validação realizada com os parâmetros médios obtidos na sub-bacia 2								

Tabela A16 – Produção de sedimentos na simulação e validação cruzada sub-bacia 2 – KINEROS2

					Discretização 01		Discretização 02		Discretização 03		Discretização 04	
					54 ELEMENTOS		110 ELEMENTOS		173 ELEMENTOS		227 ELEMENTOS	
					Simulação	Validação cruzada*	Simulação	Validação cruzada*	Simulação	Validação cruzada*	Simulação	Validação cruzada*
Ch.	DATA	Chuva	Lo	Eo	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec
		mm	mm	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.	kg/ha.
1	13/3/1987	52,0	8,009		21,967	50,169	15,920	32,378	16,645	36,935	19,409	42,994
2	15/3/1987	16,0	1,431		3,580	8,081	2,550	5,357	2,628	5,721	3,088	6,613
3	23/3/1987	13,0	0,510		1,161	2,526	0,926	1,850	0,884	1,770	1,115	2,119
4	28/3/1987	26,0	4,160		14,396	29,138	9,337	17,829	10,236	19,679	12,364	23,596
5	16/2/1988	62,2	28,913		74,654	181,450	62,536	132,906	60,344	146,846	71,545	173,817
6	23/2/1988	28,0	6,309		19,194	43,404	13,439	27,572	14,684	31,733	17,609	37,702
7	14/3/1988	20,5	1,300		3,569	7,572	2,533	4,942	2,562	5,107	2,953	5,837
8	13/4/1988	55,0	16,170		37,997	85,358	34,827	67,166	33,032	74,326	38,454	86,248
9	15/4/1988	142,0	86,590		214,400	499,475	165,034	351,193	163,981	383,988	194,766	310,536
10	19/4/1988	30,0	4,902		13,668	29,858	9,664	18,681	9,658	19,967	11,668	24,192
11	20/4/1988	24,0	1,976		4,212	9,244	4,660	7,456	3,880	7,501	4,248	8,577
12	21/4/1988	12,5	0,895		2,424	5,029	1,341	3,503	1,906	3,502	2,261	4,127
13	22/4/1988	51,0	7,681		25,914	51,363	18,627	33,086	20,146	38,093	23,379	44,176
14	8/4/1989	74,4	14,542		46,107	101,920	38,502	69,430	38,338	77,998	43,199	93,267
15	29/4/1989	11,1	0,159		0,367	0,688	0,297	0,547	0,257	0,445	0,256	0,373
16	10/5/1989	6,4	0,203		0,440	0,964	0,337	0,705	0,301	0,588	0,325	0,541
17	7/7/1989	10,3	0,338		0,760	1,546	0,498	1,063	0,458	0,898	0,515	0,898
18	26/2/1990	18,4	2,759		7,777	17,219	6,557	13,665	6,080	13,619	6,847	15,065
19	2/5/1991	22,1	1,931		5,314	11,568	3,323	7,582	4,136	8,036	4,879	9,664
20	27/1/1992	54,5	2,630		7,912	16,806	5,436	10,642	5,903	11,340	7,118	13,924
21	28/1/1992	97,7	71,878		197,489	461,763	145,026	309,671	152,413	353,088	182,076	421,427

Continuação												
22	10/2/1992	26,0	6,592		17,598	41,395	13,655	27,682	14,032	31,865	16,422	37,531
23	2/4/1992	44,4	1,765		4,369	9,408	3,672	6,823	3,874	7,513	4,370	8,465
24	3/4/1992	50,0	2,025		4,704	10,464	3,752	7,319	3,474	7,341	4,830	8,401
25	4/4/1992	32,0	4,728		14,991	31,628	10,695	20,463	11,395	22,473	13,748	27,024
26	5/4/1992	45,0	2,353		5,914	13,570	5,999	10,735	5,580	10,703	6,536	12,503
27	5/5/1994	11,2	0,109		0,223	0,482	0,201	0,386	0,150	0,307	0,163	0,231
28	8/5/1994	12,5	0,289		0,778	1,540	0,502	1,029	0,438	0,844	0,547	0,849
29	15/5/1994	15,4	3,324		11,794	21,325	6,831	12,481	7,355	13,534	8,382	15,620
30	18/5/1994	13,5	0,507		1,695	3,207	0,954	1,827	0,909	1,656	1,161	1,619
31	20/5/1994	11,4	2,696		8,457	18,844	5,458	11,283	6,045	12,552	7,315	15,162
32	21/5/1994	8,0	0,535		1,318	2,785	1,024	2,020	0,911	1,848	1,095	2,002
33	5/6/1994	12,5	2,586		6,026	13,603	4,205	8,682	6,894	11,663	7,901	13,337
34	25/3/1995	51,4	5,023		16,906	32,497	12,438	21,885	12,845	22,732	14,715	26,194
35	31/3/1995	13,6	1,038		2,789	6,584	3,885	5,754	3,705	5,149	3,697	5,600
36	8/4/1995	15,2	1,572		3,958	7,559	2,969	5,404	3,077	5,699	3,408	6,319
37	22/5/1995	77,3	19,588		117,741	192,136	81,588	125,027	74,659	122,720	74,324	143,715
38	2/7/1995	22,9	0,266		0,558	1,236	0,564	1,194	0,455	0,919	0,521	0,970
39	22/1/1996	61,4	20,727		73,446	174,232	60,077	125,555	59,454	141,056	69,498	165,408
40	28/4/1996	37,0	18,380		58,665	127,601	43,672	82,309	45,957	97,487	51,418	112,273
41	13/2/2000	71,7	23,702		76,097	161,409	59,137	106,248	59,610	121,216	68,785	140,042
42	15/2/2000	14,2	6,705		15,375	36,691	11,493	24,157	12,075	27,492	13,945	31,887
43	16/2/2000	28,5	2,566		5,948	13,712	4,392	9,184	4,395	9,746	5,027	11,057
44	17/2/2000	7,0	1,384		2,975	6,762	2,184	4,746	2,191	4,870	2,615	5,683
45	8/4/2000	20,6	12,551		46,630	88,493	35,764	60,066	33,333	65,860	37,593	76,042
46	25/1/2004	61,6	6,612	23,20	20,568	44,832	14,460	28,093	16,156	33,803	18,922	38,846
47	28/1/2004	14,8	1,421	5,21	3,636	7,351	3,296	6,143	2,965	5,103	3,450	6,059
48	30/1/2004	12,1	1,091	7,35	2,588	5,622	2,060	4,156	1,919	3,905	2,352	4,688
49	5/2/2004	29,2	1,729	3,44	6,347	11,341	3,301	6,696	3,454	6,917	4,196	8,268

Continuação												
50	12/2/2004	14,1	0,504	5,31	1,078	2,361	0,985	1,973	0,868	1,644	1,086	1,870
51	27/2/2004	17,0	3,475	5,36	10,941	22,849	7,425	15,634	7,645	13,786	9,117	16,009
52	28/2/2004	6,4	0,551	0,79	1,400	3,056	1,052	2,152	0,881	1,882	1,129	2,120
53	15/7/2004	43,9	4,049	0,33	13,251	26,664	8,199	15,828	9,400	17,158	11,141	19,861
54	25/4/2005	19,6	5,896	13,55	18,132	40,241	13,341	26,131	14,094	30,273	16,594	35,559
55	26/4/2005	28,2	1,975	16,63	6,458	12,100	5,510	9,255	5,259	8,884	5,872	9,842
56	28/4/2005	41,1	7,811	17,62	23,555	52,232	20,634	36,111	20,041	39,089	22,812	45,777
57	14/6/2005	52,8	6,638	39,65	20,960	47,464	14,728	29,552	16,203	35,671	19,228	42,053
58	18/6/2005	11,4	1,256	6,35	4,150	1,201	3,934	6,165	2,972	5,485	4,333	6,520
59	6/12/2005	11,9	2,803	6,51	8,077	18,246	6,811	14,565	6,964	15,587	7,953	17,808
60	7/12/2005	7,1	0,029	2,20	0,108	0,149	0,106	0,135	0,068	0,108	0,038	0,056
61	7/6/2006	133,0	39,787	112,57	121,700	267,308	93,063	177,943	94,834	203,513	112,119	239,871
62	21/6/2006	32,8	4,359	33,95	13,318	27,618	8,537	16,979	9,140	17,810	11,170	20,983
Produção total					1478,524	3222,939	1128,285	2197,374	1134,159	2439,043	1317,602	2709,817
* Validação realizada com os parâmetros médios obtidos na sub-bacia 1												

Tabela A17 - Elementos da discretização da sub-bacia 1 com 20 elementos com declividades topográficas

Elemento	Tipo	Área	Comprimento	Largura	Declividade*
1	Plano	23270,720	60,500	384,640	0,044
2	Plano	115752,675	300,430	385,290	0,013
3	Canal	xxx	384,01		0,023
4	Plano	60524,317	192,980	313,630	0,028
5	Plano	34605,533	111,840	309,420	0,021
6	Canal	xxx	313,42		0,031
7	Plano	71082,410	240,990	294,960	0,059
8	Plano	57124,810	192,320	297,030	0,043
9	Canal	xxx	294,45		0,040
10	Plano	28148,326	248,770	113,150	0,035
11	Canal	xxx	112,95		0,034
12	Plano	36961,000	369,610	100,000	0,010
13	Plano	6388,076	51,550	123,920	0,021
14	Canal	xxx	126,58		0,060
15	Plano	44321,096	194,280	228,130	0,044
16	Plano	39732,405	172,330	230,560	0,043
17	Canal	xxx	231,16		0,060
18	Plano	33139,394	149,290	221,980	0,060
19	Plano	36035,780	162,800	221,350	0,058
20	Canal	xxx	222,13		0,080

* Declividade dos canais normais

Tabela A18 - Elementos da discretização da sub-bacia 1 com 20 elementos com declividades ajustadas

Elemento	Tipo	Área	Comprimento	Largura	Declividade*
1	Plano	23270,720	60,500	384,640	0,044
2	Plano	115752,675	300,430	385,290	0,013
3	Canal	xxx	384,01		0,010
4	Plano	60524,317	192,980	313,630	0,028
5	Plano	34605,533	111,840	309,420	0,021
6	Canal	xxx	313,42		0,010
7	Plano	71082,410	240,990	294,960	0,059
8	Plano	57124,810	192,320	297,030	0,043
9	Canal	xxx	294,45		0,010
10	Plano	28148,326	248,770	113,150	0,035
11	Canal	xxx	112,95		0,010
12	Plano	36961,000	369,610	100,000	0,010
13	Plano	6388,076	51,550	123,920	0,021
14	Canal	xxx	126,58		0,010
15	Plano	44321,096	194,280	228,130	0,044
16	Plano	39732,405	172,330	230,560	0,043
17	Canal	xxx	231,16		0,010
18	Plano	33139,394	149,290	221,980	0,060
19	Plano	36035,780	162,800	221,350	0,058
20	Canal	xxx	222,13		0,010

* Declividade dos canais alteradas

Tabela A19 - Calibração do parâmetro N_s para as duas discretizações no modelo WESP - Sub-bacia 1

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Discretização 01			Discretização 02		
					87 elementos			20 elementos		
					N_s m	Lc mm	Lc/Lo	N_s m	Lc mm	Lc/Lo
1	11/3/1987	32,0	4,742		0,19500	4,710	0,993	0,19600	4,741	1,000
2	13/3/1987	52,0	11,480		0,31000	11,258	0,981	0,31200	11,426	0,995
3	15/3/1987	16,0	0,764		0,04980	0,765	1,000	0,04970	0,768	1,005
4	23/3/1987	13,0	0,791		0,11350	0,796	1,006	0,11200	0,787	0,995
5	28/3/1987	26,0	5,142		0,06500	5,132	0,998	0,06600	5,151	1,002
6	16/2/1988	78,0	13,699		0,01480	13,681	0,999	0,01480	13,681	0,999
7	23/2/1988	28,0	3,924		0,07680	3,897	0,993	0,06600	3,907	0,996
8	25/2/1988	33,0	7,648		0,95000	13,217	1,728	0,95000	13,518	1,768
9	9/3/1988	40,0	6,564		0,45000	6,529	0,995	0,45500	6,551	0,998
10	14/3/1988	33,5	5,249		0,06200	5,221	0,995	0,06500	5,250	1,000
11	13/4/1988	55,0	13,211		0,48000	13,490	1,021	0,49000	13,263	1,004
12	19/4/1988	30,0	2,356		0,43000	2,381	1,011	0,43000	2,372	1,007
13	21/4/1988	12,5	0,553		0,08000	0,536	0,969	0,46500	0,546	0,986
14	22/4/1988	51,0	15,450		0,19000	15,500	1,003	0,20000	15,333	0,992
15	28/3/1989	47,5	8,858		0,95000	10,340	1,167	0,95000	10,486	1,184
16	8/4/1989	74,4	16,697		0,27000	16,620	0,995	0,27000	16,724	1,002
17	10/4/1989	18,4	3,242		0,06400	3,249	1,002	0,06400	3,224	0,994
18	18/4/1989	47,0	7,660		0,29000	7,364	0,961	0,35000	7,697	1,005
19	29/4/1989	11,4	0,370		0,18000	0,363	0,980	0,18000	0,381	1,029
20	1/5/1989	7,0	0,328		0,09800	0,320	0,976	0,28500	0,325	0,993
21	10/5/1989	8,8	0,816		0,05800	0,851	1,043	0,05700	0,849	1,041
22	13/6/1989	16,3	1,468		0,13350	1,465	0,998	0,13350	1,464	0,997
23	7/7/1989	10,3	0,631		0,02900	0,651	1,032	0,03500	0,605	0,960
24	8/7/1989	10,3	0,471		0,00770	0,478	1,014	0,00750	0,465	0,986
25	26/2/1990	24,6	5,142		0,05300	5,101	0,992	0,03700	5,146	1,001
26	14/3/1991	15,3	3,036		0,01700	3,462	1,140	0,01950	3,032	0,998
27	15/3/1991	41,2	10,070		0,35000	10,044	0,997	0,35500	10,015	0,994
28	16/3/1991	43,7	15,137		0,04000	15,370	1,015	0,04400	15,169	1,002
29	27/1/1992	53,4	18,384		0,00300	18,280	0,994	0,00280	18,366	0,999
30	28/1/1992	97,7	29,832		0,53000	29,758	0,998	0,54000	29,831	1,000
31	29/1/1992	12,0	0,842		0,07500	0,843	1,001	0,07530	0,844	1,002
32	10/2/1992	29,0	4,947		0,21000	4,676	0,945	0,20700	4,951	1,001
33	19/3/1994	17,7	3,894		0,00013	3,809	0,978	0,01543	3,939	1,012
34	21/5/1994	8,0	2,603		0,01700	2,596	0,997	0,01700	2,663	1,023
35	5/6/1994	11,4	1,216		0,16500	1,168	0,960	0,16500	1,249	1,027
36	17/2/1995	26,8	4,134		0,62200	4,114	0,995	0,62500	4,139	1,001
37	15/3/1995	39,2	3,442		0,03850	3,451	1,003	0,03900	3,456	1,004
38	8/4/1995	15,2	3,111		0,09500	3,190	1,025	0,09700	3,115	1,001
39	2/7/1995	22,9	0,289		0,11650	0,284	0,981	0,11650	0,287	0,990
40	17/1/1996	29,9	5,177		0,33000	5,108	0,987	0,32500	5,195	1,004
41	11/3/1996	65,2	22,110		0,29000	22,010	0,995	0,33000	22,108	1,000
42	12/3/1996	75,0	2,657		0,03800	2,693	1,013	0,03900	2,655	0,999
43	18/4/1996	28,1	7,202		0,22000	7,356	1,021	0,21600	7,253	1,007
44	21/4/1996	11,0	0,597		0,01500	0,567	0,949	0,01170	0,584	0,978
45	23/4/1996	28,7	6,904		0,00148	6,836	0,990	0,00153	6,920	1,002
46	11/3/2001	41,6	5,541		0,00010	0,384	0,069	0,00260	5,587	1,008
47	25/1/2004	64,8	12,515	21,824	0,77000	12,442	0,994	0,77000	12,596	1,007
48	31/1/2004	12,1	1,138	0,606	0,04100	1,123	0,987	0,04100	1,102	0,969

Continuação										
49	27/2/2004	17,0	1,746	3,521	0,74400	1,716	0,983	0,74400	1,727	0,989
50	28/2/2004	6,4	0,697	0,606	0,00580	0,668	0,959	0,00540	0,698	1,002
51	15/7/2004	45,7	4,471	0,606	0,37400	4,479	1,002	0,37400	4,425	0,990
52	25/3/2005	22,6	0,426	3,031	0,03000	0,448	1,051	0,02550	0,423	0,994
53	29/3/2005	36,0	3,684	5,214	0,11400	3,637	0,987	0,11000	3,673	0,997
54	18/6/2005	10,5	1,204	8,801	0,21000	1,231	1,022	0,21000	1,222	1,015
55	7/6/2006	133,0	24,264	92,510	0,47650	24,059	0,992	0,47650	24,194	0,997
56	21/6/2006	32,8	4,221	26,430	0,01900	4,314	1,022	0,01800	4,290	1,016
Valores médios					0,20639			0,21892		

Tabela A20 – Simulação do parâmetro K_r e a para duas discretizações no modelo WESP - Sub-bacia 1

Cheia	DATA	Chuva mm	Discretização 01 87 elementos								Discretização 02 20 elementos							
			Lo mm	Eo kg/ha.	Ns m	Lc mm	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo kg/ha.	kr	a	Ns m	Lc mm	Lc/Lo	Ec	Ec/Eo kg/ha.	kr	a
1	11/3/1987	32,0	4,742	0,19500	4,710	0,993	13,826	0,0150	0,00020	0,19600	4,741	1,000	16,272	0,0150	0,00020			
2	13/3/1987	52,0	11,480	0,31000	11,258	0,981	205,785	0,0150	0,00020	0,31200	11,426	0,995	497,919	0,0150	0,00020			
3	15/3/1987	16,0	0,764	0,04980	0,765	1,000	0,382	0,0150	0,00020	0,04970	0,768	1,005	0,282	0,0150	0,00020			
4	23/3/1987	13,0	0,791	0,11350	0,796	1,006	1,352	0,0150	0,00020	0,11200	0,787	0,995	1,218	0,0150	0,00020			
5	28/3/1987	26,0	5,142	0,06500	5,132	0,998	17,571	0,0150	0,00020	0,06600	5,151	1,002	22,731	0,0150	0,00020			
6	16/2/1988	78,0	13,699	0,01480	13,681	0,999	173,197	0,0150	0,00020	0,01480	13,681	0,999	379,227	0,0150	0,00020			
7	23/2/1988	28,0	3,924	0,07680	3,897	0,993	8,898	0,0150	0,00020	0,06600	3,907	0,996	21,587	0,0150	0,00020			
8	25/2/1988	33,0	7,648	0,95000	13,217	1,728	1914,785	0,0150	0,00020	0,95000	13,518	1,768	7543,374	0,0150	0,00020			
9	9/3/1988	40,0	6,564	0,45000	6,529	0,995	53,336	0,0150	0,00020	0,45500	6,551	0,998	101,234	0,0150	0,00020			
10	14/3/1988	33,5	5,249	0,06200	5,221	0,995	80,811	0,0150	0,00020	0,06500	5,250	1,000	137,458	0,0150	0,00020			
11	13/4/1988	55,0	13,211	0,48000	13,490	1,021	502,509	0,0150	0,00020	0,49000	13,263	1,004	1595,232	0,0150	0,00020			
12	19/4/1988	30,0	2,356	0,43000	2,381	1,011	8,129	0,0150	0,00020	0,43000	2,372	1,007	9,480	0,0150	0,00020			
13	21/4/1988	12,5	0,553	0,48000	0,533	0,963	0,866	0,0150	0,00020	0,46500	0,546	0,986	11,876	0,0150	0,00020			
14	22/4/1988	51,0	15,450	0,19000	15,500	1,003	134,779	0,0150	0,00020	0,20000	15,333	0,992	241,243	0,0150	0,00020			
15	28/3/1989	47,5	8,858	0,95000	10,340	1,167	961,476	0,0150	0,00020	0,95000	10,486	1,184	3010,587	0,0150	0,00020			
16	8/4/1989	74,4	16,697	0,27000	16,620	0,995	510,294	0,0150	0,00020	0,27000	16,724	1,002	1540,525	0,0150	0,00020			
17	10/4/1989	18,4	3,242	0,06400	3,249	1,002	14,597	0,0150	0,00020	0,06400	3,224	0,994	20,100	0,0150	0,00020			
18	18/4/1989	47,0	7,660	0,29000	7,364	0,961	122,795	0,0150	0,00020	0,35000	7,697	1,005	125,450	0,0150	0,00020			
19	29/4/1989	11,4	0,370	0,18000	0,363	0,980	0,117	0,0150	0,00020	0,18000	0,381	1,029	0,068	0,0150	0,00020			
20	1/5/1989	7,0	0,328	0,28500	0,320	0,976	0,065	0,0150	0,00020	0,28500	0,325	0,993	0,043	0,0150	0,00020			
21	10/5/1989	8,8	0,816	0,05800	0,851	1,043	0,508	0,0150	0,00020	0,05700	0,849	1,041	0,454	0,0150	0,00020			
22	13/6/1989	16,3	1,468	0,13350	1,465	0,998	2,355	0,0150	0,00020	0,13350	1,464	0,997	2,017	0,0150	0,00020			
23	7/7/1989	10,3	0,631	0,03500	0,651	1,032	0,462	0,0150	0,00020	0,03500	0,605	0,960	0,302	0,0150	0,00020			
24	8/7/1989	10,3	0,471	0,00770	0,478	1,014	0,177	0,0150	0,00020	0,00750	0,465	0,986	0,077	0,0150	0,00020			
25	26/2/1990	24,6	5,142	0,05300	5,120	0,996	879,990	0,0150	0,00020	0,03700	5,146	1,001	4263,437	0,0150	0,00020			
26	14/3/1991	15,3	3,036	0,01700	3,462	1,140	6,028	0,0150	0,00020	0,01950	3,032	0,998	3,667	0,0150	0,00020			
27	15/3/1991	41,2	10,070	0,35000	10,044	0,997	175,190	0,0150	0,00020	0,35500	10,015	0,994	423,561	0,0150	0,00020			
28	16/3/1991	43,7	15,137	0,04000	15,370	1,015	406,319	0,0150	0,00020	0,04400	15,169	1,002	1138,822	0,0150	0,00020			
29	27/1/1992	53,4	18,384	0,00300	18,280	0,994	153,902	0,0150	0,00020	0,00280	18,366	0,999	307,410	0,0150	0,00020			

Continuação																		
30	28/1/1992	97,7	29,832		0,53000	29,758	0,998	855,142		0,0150	0,00020	0,54000	29,831	1,000	2435,770		0,0150	0,00020
31	29/1/1992	12,0	0,842		0,07500	0,843	1,001	0,571		0,0150	0,00020	0,07530	0,844	1,002	0,391		0,0150	0,00020
32	10/2/1992	29,0	4,947		0,21000	4,676	0,945	55,155		0,0150	0,00020	0,20700	4,951	1,001	107,613		0,0150	0,00020
33	19/5/1994	17,7	3,894		0,00013	3,809	0,978	26,118		0,0150	0,00020	0,00013	3,939	1,012	38,540		0,0150	0,00020
34	21/5/1994	8,0	2,603		0,01700	2,596	0,997	9,417		0,0150	0,00020	0,01700	2,663	1,023	11,393		0,0150	0,00020
35	5/6/1994	11,4	1,216		0,16500	1,283	1,055	0,745		0,0150	0,00020	0,16500	1,249	1,027	50,940		0,0150	0,00020
36	17/2/1995	26,3	4,134		0,62200	4,114	0,995	44,587		0,0150	0,00020	0,62500	4,139	1,001	65,753		0,0150	0,00020
37	15/3/1995	39,2	3,442		0,03850	3,451	1,003	8,231		0,0150	0,00020	0,03900	3,456	1,004	9,015		0,0150	0,00020
38	8/4/1995	15,2	3,111		0,09500	3,190	1,025	9,695		0,0150	0,00020	0,09700	3,115	1,001	12,108		0,0150	0,00020
39	2/7/1995	22,9	0,289		0,11650	0,284	0,981	0,239		0,0150	0,00020	0,11650	0,287	0,990	0,016		0,0150	0,00020
40	17/1/1996	29,3	5,177		0,33000	5,108	0,987	32,625		0,0150	0,00020	0,32500	5,195	1,004	59,423		0,0150	0,00020
41	11/3/1996	65,2	22,110		0,29000	21,775	0,985	707,171		0,0150	0,00020	0,33000	22,108	1,000	2189,652		0,0150	0,00020
42	12/3/1996	75,0	2,657		0,03800	2,693	1,013	9,817		0,0150	0,00020	0,03900	2,655	0,999	10,961		0,0150	0,00020
43	18/4/1996	28,1	7,202		0,20000	7,890	1,096	339,323		0,0150	0,00020	0,21600	7,253	1,007	833,119		0,0150	0,00020
44	21/4/1996	11,0	0,597		0,01500	0,567	0,949	1,484		0,0150	0,00020	0,01170	0,584	0,978	2,311		0,0150	0,00020
45	23/4/1996	28,7	6,904		0,00148	6,836	0,990	31,453		0,0150	0,00020	0,00153	6,920	1,002	52,451		0,0150	0,00020
46	11/3/2001	41,5	5,541		0,00250	5,580	1,007	34,113		0,0150	0,00020	0,00260	5,587	1,008	60,220		0,0150	0,00020
47	25/1/2004	64,3	12,515	21,824	0,77000	12,442	0,994	62,115	2,846	0,0150	0,00020	0,77000	12,596	1,007	110,736	5,074	0,0150	0,00020
48	31/1/2004	12,1	1,138	0,606	0,04100	1,123	0,987	0,632	1,042	0,0150	0,00020	0,04100	1,102	0,969	0,448	0,739	0,0150	0,00020
49	27/2/2004	17,0	1,746	3,521	0,74400	1,716	0,983	3,698	1,050	0,0150	0,00020	0,74400	1,727	0,989	3,720	1,057	0,0150	0,00020
50	28/2/2004	6,4	0,697	0,606	0,00580	0,668	0,959	0,575	0,948	0,0150	0,00020	0,00540	0,698	1,002	0,549	0,906	0,0150	0,00020
51	15/7/2004	45,7	4,471	0,606	0,37400	4,479	1,002	15,044	24,815	0,0150	0,00020	0,37400	4,425	0,990	20,547	33,893	0,0150	0,00020
52	25/3/2005	22,6	0,426	3,031	0,03000	0,448	1,051	0,972	0,321	0,0150	0,00020	0,02550	0,423	0,994	1,379	0,455	0,0150	0,00020
53	29/3/2005	36,0	3,684	5,214	0,11400	3,637	0,987	15,406	2,955	0,0150	0,00020	0,11000	3,673	0,997	31,900	6,119	0,0150	0,00020
54	18/6/2005	10,5	1,204	8,801	0,21000	1,231	1,022	1,225	0,139	0,0150	0,00020	0,21000	1,222	1,015	0,994	0,113	0,0150	0,00020
55	7/6/2006	135,0	24,264	92,510	0,47650	24,059	0,992	598,296	6,467	0,0150	0,00020	0,47650	24,194	0,997	2053,013	22,192	0,0150	0,00020
56	21/6/2006	32,3	4,221	26,430	0,01900	4,314	1,022	13,602	0,515	0,0150	0,00020	0,01800	4,290	1,016	19,936	0,754	0,0150	0,00020

Tabela A21 – Calibração dos parâmetros N_s e a modelo WESP – Sub-bacia 2

Cheia	DATA	Chuva	Lo	Eo	Ns	Le	Le/Lo	Ee	Ee/Eo	kr	a
		mm	mm	kg/ha.	m	mm		kg/ha.			
1	13/3/1987	52,0	8,009		0,46800	8,051	1,005				
2	15/3/1987	16,0	1,431		0,06280	1,400	0,978				
3	23/3/1987	13,0	0,510		0,13000	0,525	1,030				
4	28/3/1987	26,0	4,160		0,07870	4,158	0,999				
5	16/2/1988	62,2	28,913		0,00001	25,520	0,883				
6	23/2/1988	28,0	6,309		0,05900	6,309	1,000				
7	9/3/1988	40,0	1,438		0,71000	1,445	1,005				
8	14/3/1988	20,5	1,300		0,16400	1,320	1,008				
9	13/4/1988	55,0	16,170		0,43700	16,189	1,001				
10	15/4/1988	142,0	86,590		0,38300	86,560	1,000				
11	19/4/1988	30,0	4,902		0,32800	4,940	1,008				
12	21/4/1988	12,5	0,895		0,45900	0,890	0,994				
13	22/4/1988	51,0	7,681		0,36000	7,635	0,994				
14	8/4/1989	74,4	14,542		0,35000	14,542	1,000				
15	29/4/1989	11,1	0,159		0,21150	0,159	1,002				
16	10/5/1989	6,4	0,203		0,04080	0,209	1,027				
17	7/7/1989	10,3	0,338		0,04280	0,337	0,998				
18	26/2/1990	18,4	2,759		0,02500	2,779	1,007				
19	27/1/1992	54,5	2,630		0,09100	2,623	0,997				
20	28/1/1992	97,7	71,878		0,13000	71,910	1,000				
21	10/2/1992	26,0	6,592		0,17700	6,584	0,999				
22	17/2/1992	9,2	5,858		0,00550	5,874	1,003				
23	2/4/1992	44,4	1,765		0,14300	1,730	0,980				
24	3/4/1992	53,0	2,025		0,05000	2,201	1,087				
25	4/4/1992	27,0	4,728		0,34000	4,939	1,045				
26	5/4/1992	24,5	2,353		0,03900	2,399	1,020				
27	5/5/1994	11,2	0,109		0,04750	0,101	0,929				
28	15/5/1994	15,4	3,324		0,36000	3,398	1,022				
29	18/5/1994	13,5	0,507		0,00790	0,508	1,002				
30	19/5/1994	4,2	0,680		0,01470	0,680	1,000				
31	20/5/1994	11,4	2,696		0,02760	2,645	0,981				
32	21/5/1994	8,0	0,535		0,04600	0,555	1,038				
33	5/6/1994	12,5	2,586		0,14300	2,558	0,989				
34	25/3/1995	51,4	5,023		0,27500	5,001	0,995				

Continuação												
35	31/3/1995	13,6	1,038		0,28000	1,090	1,050					
36	8/4/1995	15,2	1,572		0,13300	1,523	0,969					
37	22/1/1996	61,4	20,727		0,69900	20,920	1,009					
38	11/3/1996	75,0	13,529		0,50500	13,508	0,998					
39	18/4/1996	27,9	0,694		0,57500	0,692	0,997					
40	28/4/1996	37,0	18,380		0,33500	18,338	0,998					
41	23/2/2000	2,8	0,956		0,00500	0,994	1,040					
42	25/1/2004	61,6	6,612	23,20	0,95000	7,916	1,197	23,831	1,027	1,000	0,00020	
43	28/1/2004	14,8	1,421	5,21	0,36000	1,416	0,997	5,236	1,005	1,000	0,00084	
44	5/2/2004	29,2	1,729	3,44	0,82500	1,730	1,001	3,460	1,006	1,000	0,00028	
45	27/2/2004	17,0	3,475	5,36	0,60000	3,581	1,030	5,320	0,993	1,000	0,00009	
46	29/3/2005	28,4	0,869	5,33	0,14900	0,873	1,004	5,406	1,014	1,000	0,00060	
47	18/6/2005	11,4	1,256	6,85	0,21500	1,268	1,009	6,796	0,992	0,0021	0,00001	
48	5/12/2005	91,2	11,952	66,66	0,81000	11,642	0,974	67,108	1,007	1,000	0,00025	
49	7/6/2006	133,000	39,787	112,57	0,31700	39,648	0,997	112,186	0,997	0,0023	0,00001	
50	21/6/2006	32,8	4,359	33,95	0,01950	4,418	1,013	33,505	0,987	1,000	0,00050	
Valores médios					0,25969							

Tabela A22 – Simulação do parâmetro K , e a para a discretização 1 no modelo WESP - Sub-bacia 2

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Ns m	Lc mm	Lc/Lo	Ec kg/ha.	Ec/Eo	kr	a
1	13/3/1987	52,0	8,009		0,46200	8,030	1,003	56,186		0,0350	0,00030
2	15/3/1987	16,0	1,431		0,04200	1,489	1,040	2,700		0,0350	0,00030
3	23/3/1987	13,0	0,510		0,12500	0,533	1,046	0,964		0,0350	0,00030
4	28/3/1987	26,0	4,160		0,07600	4,210	1,012	15,272		0,0350	0,00030
5	16/2/1988	62,2	28,913		0,00001	25,151	0,870	296,627		0,0350	0,00030
6	23/2/1988	28,0	6,309		0,05200	6,337	1,004	37,721		0,0350	0,00030
7	9/3/1988	40,0	1,438		0,70000	1,457	1,013	3,175		0,0350	0,00030
8	14/3/1988	20,5	1,300		0,16400	1,310	1,008	2,199		0,0350	0,00030
9	13/4/1988	55,0	16,170		0,43700	16,189	1,001	562,224		0,0350	0,00030
10	15/4/1988	142,0	85,590		0,38300	86,560	1,000	98266,390		0,0350	0,00030
11	19/4/1988	30,0	4,902		0,32800	4,940	1,008	30,520		0,0350	0,00030
12	21/4/1988	12,5	0,895		0,44600	0,872	0,974	3,079		0,0350	0,00030
13	22/4/1988	51,0	7,681		0,35000	7,709	1,004	38,393		0,0350	0,00030
14	8/4/1989	74,4	14,542		0,34000	14,437	0,993	123,131		0,0350	0,00030
15	29/4/1989	11,1	0,159		0,20000	0,157	0,988	0,030		0,0350	0,00030
16	10/5/1989	6,4	0,203		0,07000	0,264	1,298	0,127		0,0350	0,00030
17	7/7/1989	10,3	0,338		0,04280	0,337	0,998	0,178		0,0350	0,00030
18	26/2/1990	18,4	2,759		0,09500	2,720	0,986	105,282		0,0350	0,00030
19	27/1/1992	54,5	2,630		0,08500	2,578	0,980	8,882		0,0350	0,00030
20	28/1/1992	97,7	71,878		0,13000	71,910	1,000	4991,324		0,0350	0,00030
21	10/2/1992	26,0	5,592		0,17700	6,584	0,999	50,371		0,0350	0,00030
22	17/2/1992	9,2	5,858		0,00550	5,874	1,003	33,607		0,0350	0,00030
23	2/4/1992	44,4	1,765		0,11000	1,529	0,866	3,270		0,0350	0,00030
24	3/4/1992	53,0	2,025		0,05000	2,201	1,087	7,174		0,0350	0,00030
25	4/4/1992	27,0	4,728		0,25000	4,174	0,883	15,326		0,0350	0,00030
26	5/4/1992	24,5	2,353		0,04500	2,412	1,025	13,532		0,0350	0,00030
27	5/5/1994	11,2	0,109		0,04400	0,126	1,156	0,075		0,0350	0,00030
28	15/5/1994	15,4	3,324		0,36000	3,398	1,022	15,010		0,0350	0,00030
29	18/5/1994	13,5	0,507		0,00720	0,576	1,136	0,387		0,0350	0,00030
30	19/5/1994	4,2	0,680		0,01470	0,680	1,000	29,889		0,0350	0,00030
31	20/5/1994	11,4	2,696		0,02760	2,645	0,981	8,150		0,0350	0,00030
32	21/5/1994	8,0	0,535		0,04600	0,555	1,038	0,272		0,0350	0,00030
33	5/6/1994	12,5	2,586		0,14300	2,558	0,989	4,711		0,0350	0,00030
34	25/3/1995	51,4	5,023		0,27500	5,001	0,995	18,738		0,0350	0,00030

Continuação											
35	31/3/1995	13,6	1,038		0,28000	1,090	1,050	1,251		0,0350	0,00030
36	8/4/1995	15,2	1,572		0,13300	1,523	0,969	2,143		0,0350	0,00030
37	22/1/1996	61,4	20,727		0,69900	20,920	1,009	704,714		0,0350	0,00030
38	11/3/1996	75,0	13,529		0,50500	15,508	0,998	110,113		0,0350	0,00030
39	18/4/1996	27,9	0,694		0,56000	0,680	0,979	2,042		0,0350	0,00030
40	28/4/1996	37,0	18,380		0,33500	18,338	0,998	7671,296		0,0350	0,00030
41	23/2/2000	2,8	0,956		0,00070	0,835	0,874	3,985		0,0350	0,00030
42	25/1/2004	61,6	6,612	23,20	0,95000	7,916	1,197	35,747	1,541	0,0350	0,00030
43	28/1/2004	14,8	1,421	5,21	0,36000	1,416	0,997	1,870	0,359	0,0350	0,00030
44	5/2/2004	29,2	1,729	3,44	0,82500	1,730	1,001	3,707	1,078	0,0350	0,00030
45	27/2/2004	17,0	3,475	5,36	0,60000	3,581	1,030	17,733	3,311	0,0350	0,00030
46	29/3/2005	28,4	0,869	5,33	0,14900	0,873	1,004	2,703	0,507	0,0350	0,00030
47	18/6/2005	11,4	1,256	6,85	0,21500	1,268	1,009	111,585	16,290	0,0350	0,00030
48	5/12/2005	91,2	11,952	66,66	0,81000	11,642	0,974	80,530	1,208	0,0350	0,00030
49	7/6/2006	133,0	39,787	112,57	0,31700	39,648	0,997	1061,366	9,428	0,0350	0,00030
50	21/6/2006	32,8	4,359	33,95	0,01950	4,418	1,013	20,103	0,592	0,0350	0,00030

Tabela A23 - Validação cruzada do parâmetro médio Kr e a da sub-bacia 1 na sub-bacia 2 - WESP

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Ns m	Lc mm	Lc/Lo	Ec kg/ha.	Ec/Eo	kr	a
1	13/3/1987	52.0	8,009		0,46800	8,051	1,005	1287,969		0,0150	0,00020
2	15/3/1987	16.0	1,431		0,06280	1,400	0,978	0,989		0,0150	0,00020
3	23/3/1987	13.0	0,510		0,12500	0,533	1,046	0,643		0,0150	0,00020
4	28/3/1987	26.0	4,160		0,07870	4,158	0,999	61,116		0,0150	0,00020
5	16/2/1988	62.2	28,913		0,00001	26,320	0,910	20236,840		0,0150	0,00020
6	23/2/1988	28.0	6,309		0,05900	6,309	1,000	243,442		0,0150	0,00020
7	9/3/1988	40.0	1,438		0,70000	1,445	1,005	2,116		0,0150	0,00020
8	14/3/1988	20.5	1,300		0,16400	1,310	1,008	10,516		0,0150	0,00020
9	13/4/1988	55.0	16,170		0,43700	16,189	1,001	109,607		0,0150	0,00020
10	15/4/1988	142.0	86,590		0,38300	86,560	1,000	15966,560		0,0150	0,00020
11	19/4/1988	30.0	4,902		0,32800	4,940	1,008	20,281		0,0150	0,00020
12	21/4/1988	12.5	0,895		0,48500	0,864	0,965	6,899		0,0150	0,00020
13	22/4/1988	51.0	7,681		0,36000	7,635	0,994	23,541		0,0150	0,00020
14	8/4/1989	74.4	14,542		0,35000	14,542	1,000	77,860		0,0150	0,00020
15	29/4/1989	11.1	0,159		0,20500	0,137	0,863	0,015		0,0150	0,00020
16	10/5/1989	6.4	0,203		0,07000	0,251	1,236	0,079		0,0150	0,00020
17	7/7/1989	10.3	0,338		0,04280	0,337	0,998	0,111		0,0150	0,00020
18	26/2/1990	18.4	2,759		0,10000	2,636	0,955	22,964		0,0150	0,00020
19	27/1/1992	54.5	2,630		0,09100	2,623	0,997	4,483		0,0150	0,00020
20	28/1/1992	97.7	71,878		0,13000	71,910	1,000	612,837		0,0150	0,00020
21	10/2/1992	26.0	6,592		0,17700	6,584	0,999	33,397		0,0150	0,00020
22	17/2/1992	9.2	5,858		0,00550	5,874	1,003	1431,667		0,0150	0,00020
23	2/4/1992	44.4	1,765		0,11000	1,529	0,866	2,180		0,0150	0,00020
24	3/4/1992	53.0	2,025		0,05000	2,201	1,087	4,783		0,0150	0,00020
25	4/4/1992	27.0	4,728		0,34000	4,939	1,045	28,340		0,0150	0,00020
26	5/4/1992	24.5	2,353		0,04500	2,472	1,051	9,298		0,0150	0,00020
27	5/5/1994	11.2	0,109		0,04750	0,101	0,929	0,053		0,0150	0,00020
28	15/5/1994	15.4	3,324		0,36000	3,398	1,022	10,716		0,0150	0,00020
29	18/5/1994	13.5	0,507		0,00750	0,544	1,073	0,226		0,0150	0,00020
30	19/5/1994	4.2	0,680		0,01470	0,680	1,000	1,286		0,0150	0,00020
31	20/5/1994	11.4	2,696		0,02760	2,645	0,981	5,698		0,0150	0,00020

Continuação											
32	21/5/1994	8,0	0,535		0,04600	0,555	1,038	0,200		0,0150	0,00020
33	5/6/1994	12,5	2,586		0,14300	2,558	0,989	3,307		0,0150	0,00020
34	25/3/1995	51,4	5,023		0,27500	5,001	0,995	12,702		0,0150	0,00020
35	31/3/1995	13,6	1,038		0,28000	1,090	1,050	4,599		0,0150	0,00020
36	8/4/1995	15,2	1,572		0,13000	1,486	0,945	1,859		0,0150	0,00020
37	22/1/1996	61,4	20,727		0,69900	20,920	1,009	47887,270		0,0150	0,00020
38	11/3/1996	75,0	13,529		0,50500	13,508	0,998	72,674		0,0150	0,00020
39	18/4/1996	27,9	0,694		0,56500	0,660	0,951	1,293		0,0150	0,00020
40	28/4/1996	37,0	18,380		0,33500	18,338	0,998	514668,100		0,0150	0,00020
41	23/2/2000	2,8	0,956		0,00500	0,879	0,920	2,840		0,0150	0,00020
42	25/1/2004	61,6	6,612	23,20	0,95000	7,916	1,197	23,531	1,027	0,0150	0,00020
43	28/1/2004	14,8	1,421	5,21	0,36000	1,416	0,997	1,247	0,239	0,0150	0,00020
44	5/2/2004	29,2	1,729	3,44	0,82500	1,730	1,001	2,471	0,719	0,0150	0,00020
45	27/2/2004	17,0	3,475	5,36	0,60000	3,581	1,030	11,322	2,207	0,0150	0,00020
46	29/3/2005	28,4	0,869	5,33	0,14900	0,873	1,004	1,802	0,338	0,0150	0,00020
47	18/6/2005	11,4	1,256	6,85	0,21500	1,268	1,009	4,518	0,660	0,0150	0,00020
48	5/12/2005	91,2	11,952	66,66	0,81000	11,642	0,974	53,686	0,805	0,0150	0,00020
49	7/6/2006	133,0	39,787	112,57	0,31700	39,648	0,997	267,848	2,379	0,0150	0,00020
50	21/6/2006	32,8	4,359	33,95	0,01950	4,418	1,013	13,402	0,395	0,0150	0,00020

Tabela A24 – Produção de sedimento para discretização 2 da sub-bacia 1 com declividades normal e alterada - WESP

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Discretização 2 - 20 elementos (sub-bacia 1)									
					Ns m	Lc mm	Lc/Lo	Declividade topográfica		Declividade ajustada		kr	a	Variação %
								Ec	Ec/Eo kg/ha.	Ec	Ec/Eo kg/ha.			
1	11/3/1987	32,0	4,742		0,19600	4,741	1,000	16,272		16,214		0,015	0,0002	-0,359
2	13/3/1987	52,0	11,480		0,31200	11,426	0,995	497,919		497,903		0,015	0,0002	-0,003
3	15/3/1987	16,0	0,764		0,04970	0,768	1,005	0,282		0,314		0,015	0,0002	11,269
4	23/3/1987	13,0	0,791		0,11200	0,787	0,995	1,218		1,217		0,015	0,0002	-0,099
5	28/3/1987	26,0	5,142		0,06600	5,151	1,002	22,731		22,677		0,015	0,0002	-0,239
6	16/2/1988	78,0	13,699		0,01480	13,681	0,999	379,227		379,221		0,015	0,0002	-0,001
7	23/2/1988	28,0	3,924		0,06600	3,907	0,996	21,587		21,550		0,015	0,0002	-0,172
8	25/2/1988	33,0	7,648		0,95000	13,518	1,768	7543,374		7509,372		0,015	0,0002	-0,451
9	9/3/1988	40,0	6,564		0,45500	6,551	0,998	101,234		101,196		0,015	0,0002	-0,038
10	14/3/1988	33,5	5,249		0,06500	5,250	1,000	137,468		136,647		0,015	0,0002	-0,597
11	13/4/1988	55,0	13,211		0,49000	13,263	1,004	1595,232		1597,840		0,015	0,0002	0,163
12	19/4/1988	30,0	2,356		0,43000	2,372	1,007	9,480		9,349		0,015	0,0002	-1,387
13	21/4/1988	12,5	0,553		0,46500	0,546	0,986	11,876		1,043		0,015	0,0002	-91,220
14	22/4/1988	51,0	15,450		0,20000	15,333	0,992	241,243		241,973		0,015	0,0002	0,303
15	28/3/1989	47,5	8,858		0,95000	10,486	1,184	3010,587		2972,718		0,015	0,0002	-1,258
16	8/4/1989	74,4	16,697		0,27000	16,724	1,002	1540,525		1540,508		0,015	0,0002	-0,001
17	10/4/1989	18,4	3,242		0,06400	3,224	0,994	20,100		20,090		0,015	0,0002	-0,050
18	18/4/1989	47,0	7,660		0,35000	7,697	1,005	125,460		125,439		0,015	0,0002	-0,017
19	29/4/1989	11,4	0,370		0,18000	0,381	1,029	0,068		0,080		0,015	0,0002	18,074
20	1/5/1989	7,0	0,328		0,28500	0,325	0,993	0,043		0,051		0,015	0,0002	19,906
21	10/5/1989	8,8	0,816		0,05700	0,849	1,041	0,434		0,462		0,015	0,0002	6,481
22	13/6/1989	16,3	1,468		0,13350	1,464	0,997	2,017		2,058		0,015	0,0002	2,053
23	7/7/1989	10,3	0,631		0,03500	0,605	0,960	0,302		0,330		0,015	0,0002	9,133

Continuação														
24	8/7/1989	10,3	0,471		0,00750	0,465	0,986	0,077		0,089		0,015	0,0002	15,605
25	26/2/1990	24,6	5,142		0,03700	5,146	1,001	4263,437		4263,442		0,015	0,0002	0,000
26	14/3/1991	15,3	3,036		0,01950	3,032	0,998	3,667		3,681		0,015	0,0002	0,404
27	15/3/1991	41,2	10,070		0,35500	10,015	0,994	423,561		423,519		0,015	0,0002	-0,010
28	16/3/1991	43,7	15,137		0,04400	15,169	1,002	1138,822		1138,808		0,015	0,0002	-0,001
29	27/1/1992	53,4	18,384		0,00280	18,366	0,999	307,410		307,379		0,015	0,0002	-0,010
30	28/1/1992	97,7	29,832		0,54000	29,831	1,000	2435,770		2435,688		0,015	0,0002	-0,003
31	29/1/1992	12,0	0,842		0,07530	0,844	1,002	0,391		0,421		0,015	0,0002	7,724
32	10/2/1992	29,0	4,947		0,20700	4,951	1,001	107,613		107,595		0,015	0,0002	-0,017
33	19/5/1994	17,7	3,894		0,00013	3,939	1,012	38,540		38,516		0,015	0,0002	-0,062
34	21/5/1994	8,0	2,603		0,01700	2,663	1,023	11,393		11,410		0,015	0,0002	0,149
35	5/6/1994	11,4	1,216		0,16500	1,249	1,027	50,940		0,567		0,015	0,0002	-98,887
36	17/2/1995	26,8	4,134		0,62500	4,139	1,001	65,753		68,144		0,015	0,0002	3,637
37	15/3/1995	39,2	3,442		0,03900	3,456	1,004	9,015		9,023		0,015	0,0002	0,089
38	8/4/1995	15,2	3,111		0,09700	3,115	1,001	12,108		12,481		0,015	0,0002	3,081
39	2/7/1995	22,9	0,289		0,11650	0,287	0,990	0,016		0,020		0,015	0,0002	26,708
40	17/1/1996	29,9	5,177		0,32500	5,195	1,004	59,423		59,402		0,015	0,0002	-0,036
41	11/3/1996	65,2	22,110		0,33000	22,108	1,000	2189,652		2189,627		0,015	0,0002	-0,001
42	12/3/1996	75,0	2,657		0,03900	2,655	0,999	10,961		10,936		0,015	0,0002	-0,227
43	18/4/1996	28,1	7,202		0,21600	7,253	1,007	833,119		833,122		0,015	0,0002	0,000
44	21/4/1996	11,0	0,597		0,01170	0,584	0,978	2,311		2,306		0,015	0,0002	-0,203
45	23/4/1996	28,7	6,904		0,00153	6,920	1,002	52,451		52,443		0,015	0,0002	-0,016
46	11/3/2001	41,6	5,541		0,00260	5,587	1,008	60,220		60,202		0,015	0,0002	-0,030
47	25/1/2004	64,8	12,515	21,824	0,77000	12,596	1,007	110,736	5,074	110,675	5,071	0,015	0,0002	-0,055
48	31/1/2004	12,1	1,138	0,606	0,04100	1,102	0,999	0,448	0,739	0,497	0,820	0,015	0,0002	10,938
49	27/2/2004	17,0	1,746	3,521	0,74400	1,727	0,989	3,720	1,057	3,698	1,050	0,015	0,0002	-0,583
50	28/2/2004	6,4	0,697	0,606	0,00540	0,698	1,002	0,549	0,906	0,574	0,947	0,015	0,0002	4,534

Continuação														
51	15/7/2004	45,7	4,471	0,606	0,37400	4,425	0,990	20,547	33,893	20,532	33,868	0,015	0,0002	-0,075
52	25/3/2005	22,6	0,426	3,031	0,02550	0,423	0,994	1,379	0,455	1,376	0,454	0,015	0,0002	-0,174
53	29/3/2005	36,0	3,684	5,214	0,11000	3,673	0,997	31,900	6,119	32,002	6,138	0,015	0,0002	0,320
54	18/6/2005	10,5	1,204	8,801	0,21000	1,222	1,015	0,994	0,113	1,028	0,117	0,015	0,0002	3,389
55	7/6/2006	133,0	24,264	92,510	0,47650	24,194	0,997	2053,013	22,192	2052,937	22,192	0,015	0,0002	-0,004
56	21/6/2006	32,8	4,221	26,430	0,01800	4,290	1,016	19,936	0,754	19,945	0,755	0,015	0,0002	0,047

Tabela A25 - Validação cruzada do parâmetro médio *Kr* e *a* da sub-bacia 2 na sub-bacia 1 – WESP

Cheia	DATA	Chuva mm	L _o mm	E _o kg/ha.	Discretização 01 87 elementos							Discretização 02 20 elementos						
					N _s	L _c	L _c /L _o	E _c	E _c /E _o	kr	a	N _s	L _c	L _c /L _o	E _c	E _c /E _o	kr	a
					m	mm		kg/ha				m	mm		kg/ha			
1	11/3/1987	32,0	4,742		0,19500	4,710	0,993	13,826		0,0350	0,00030	0,19600	4,741	15802,333	16,214		0,0350	0,00030
2	13/3/1987	52,0	11,480		0,31000	11,258	0,981	205,785		0,0350	0,00030	0,31200	11,426	38085,000	497,903		0,0350	0,00030
3	15/3/1987	16,0	0,764		0,04980	0,765	1,000	0,382		0,0350	0,00030	0,04970	0,768	2561,000	0,314		0,0350	0,00030
4	23/3/1987	13,0	0,791		0,11350	0,796	1,006	1,352		0,0350	0,00030	0,11200	0,787	2622,000	1,217		0,0350	0,00030
5	28/3/1987	26,0	5,142		0,06500	5,132	0,998	17,571		0,0350	0,00030	0,06600	5,151	17171,333	22,677		0,0350	0,00030
6	16/2/1988	78,0	13,699		0,01480	13,681	0,999	173,197		0,0350	0,00030	0,01480	13,681	45603,000	379,221		0,0350	0,00030
7	23/2/1988	28,0	3,924		0,07680	3,897	0,993	8,898		0,0350	0,00030	0,06600	3,907	13023,000	21,550		0,0350	0,00030
8	25/2/1988	33,0	7,648		0,95000	13,217	1,728	1914,785		0,0350	0,00030	0,95000	13,518	45060,000	7509,372		0,0350	0,00030
9	9/3/1988	40,0	6,564		0,45000	6,529	0,995	53,336		0,0350	0,00030	0,45500	6,551	21836,000	101,210		0,0350	0,00030
10	14/3/1988	33,5	5,249		0,06200	5,221	0,995	80,811		0,0350	0,00030	0,06500	5,250	17500,667	137,452		0,0350	0,00030
11	13/4/1988	55,0	13,211		0,48000	13,490	1,021	502,509		0,0350	0,00030	0,49000	13,263	44211,333	1595,205		0,0350	0,00030
12	19/4/1988	30,0	2,356		0,43000	2,381	1,011	8,129		0,0350	0,00030	0,43000	2,372	7908,000	9,457		0,0350	0,00030
13	21/4/1988	12,5	0,553		0,48000	0,533	0,963	0,866		0,0350	0,00030	0,46500	0,546	1818,667	11,804		0,0350	0,00030
14	22/4/1988	51,0	15,450		0,19000	15,500	1,003	135,107		0,0350	0,00030	0,20000	15,333	51109,000	241,163		0,0350	0,00030
15	28/3/1989	47,5	8,858		0,95000	10,340	1,167	950,500		0,0350	0,00030	0,95000	10,486	34953,667	3010,582		0,0350	0,00030
16	8/4/1989	74,4	16,697		0,27000	16,620	0,995	510,118		0,0350	0,00030	0,27000	16,724	55746,667	1540,508		0,0350	0,00030
17	10/4/1989	18,4	3,242		0,06400	3,249	1,002	14,643		0,0350	0,00030	0,06400	3,224	10746,667	20,090		0,0350	0,00030
18	18/4/1989	47,0	7,660		0,35000	7,509	0,980	68,502		0,0350	0,00030	0,35000	7,697	25655,667	125,439		0,0350	0,00030
19	29/4/1989	11,4	0,370		0,18000	0,363	0,980	0,986		0,0350	0,00030	0,18000	0,381	1269,667	0,080		0,0350	0,00030
20	1/5/1989	7,0	0,328		0,28500	0,320	0,976	0,063		0,0350	0,00030	0,28500	0,325	1084,333	0,051		0,0350	0,00030
21	10/5/1989	8,8	0,816		0,05800	0,851	1,043	0,497		0,0350	0,00030	0,05700	0,849	2831,000	0,462		0,0350	0,00030
22	13/6/1989	16,3	1,468		0,13350	1,465	0,998	2,305		0,0350	0,00030	0,13350	1,464	4881,000	2,058		0,0350	0,00030
23	7/7/1989	10,3	0,631		0,03500	0,651	1,032	0,429		0,0350	0,00030	0,03500	0,605	2017,000	0,330		0,0350	0,00030
24	8/7/1989	10,3	0,471		0,00770	0,478	1,014	0,169		0,0350	0,00030	0,00750	0,465	1548,667	0,089		0,0350	0,00030
25	26/2/1990	24,6	5,142		0,05300	5,120	0,996	878,601		0,0350	0,00030	0,03700	5,146	17151,667	4267,712		0,0350	0,00030
26	14/3/1991	15,3	3,036		0,01700	3,462	1,140	6,028		0,0350	0,00030	0,01950	3,032	10105,333	3,681		0,0350	0,00030
27	15/3/1991	41,2	10,070		0,35000	10,044	0,997	175,190		0,0350	0,00030	0,35500	10,015	33382,667	423,519		0,0350	0,00030
28	16/3/1991	43,7	15,137		0,04000	15,370	1,015	406,312		0,0350	0,00030	0,04400	15,169	50562,000	1138,808		0,0350	0,00030
29	27/1/1992	53,4	18,384		0,00300	18,280	0,994	153,902		0,0350	0,00030	0,00280	18,366	61219,667	307,379		0,0350	0,00030

Continuação																		
30	28/1/1992	97,7	29,832		0,53000	29,758	0,998	855,142		0,0350	0,00030	0,54000	29,831	99435,667	2435,688		0,0350	0,00030
31	29/1/1992	12,0	0,842		0,07500	0,843	1,001	0,571		0,0350	0,00030	0,07550	0,844	2812,667	0,421		0,0350	0,00030
32	10/2/1992	29,0	4,947		0,21000	4,676	0,945	55,155		0,0350	0,00030	0,20700	4,951	16502,000	107,595		0,0350	0,00030
33	19/5/1994	17,7	3,894		0,00013	3,809	0,978	26,354		0,0350	0,00030	0,00013	3,939	13129,667	38,516		0,0350	0,00030
34	21/5/1994	8,0	2,603		0,01700	2,596	0,997	9,417		0,0350	0,00030	0,01700	2,663	8877,000	21,914		0,0350	0,00030
35	5/6/1994	11,4	1,216		0,16500	1,283	1,055	0,746		0,0350	0,00030	0,16500	1,249	4163,000	0,964		0,0350	0,00030
36	17/2/1995	26,8	4,134		0,62200	4,114	0,995	44,587		0,0350	0,00030	0,62500	4,139	13795,000	122,118		0,0350	0,00030
37	15/3/1995	39,2	3,442		0,03850	3,451	1,003	8,231		0,0350	0,00030	0,03900	3,456	11520,333	16,670		0,0350	0,00030
38	8/4/1995	15,2	3,111		0,09500	3,190	1,025	9,695		0,0350	0,00030	0,09700	3,115	10381,667	22,057		0,0350	0,00030
39	2/7/1995	22,9	0,289		0,11650	0,284	0,981	0,024		0,0350	0,00030	0,11650	0,287	955,000	0,033		0,0350	0,00030
40	17/1/1996	29,9	5,177		0,33000	5,108	0,987	35,020		0,0350	0,00030	0,32500	5,195	17317,667	105,178		0,0350	0,00030
41	11/3/1996	65,2	22,110		0,29000	21,775	0,985	885,118		0,0350	0,00030	0,33000	22,108	73692,667	3409,908		0,0350	0,00030
42	12/3/1996	75,0	2,657		0,03800	2,693	1,013	8,808		0,0350	0,00030	0,03900	2,655	8851,333	20,495		0,0350	0,00030
43	18/4/1996	28,1	7,202		0,20000	7,890	1,096	332,382		0,0350	0,00030	0,21600	7,253	24176,333	1339,951		0,0350	0,00030
44	21/4/1996	11,0	0,597		0,01500	0,567	0,949	1,486		0,0350	0,00030	0,01170	0,584	1947,000	4,559		0,0350	0,00030
45	23/4/1996	28,7	6,904		0,00148	6,836	0,990	31,447		0,0350	0,00030	0,00153	6,920	23068,000	99,079		0,0350	0,00030
46	11/3/2001	41,6	5,541		0,00250	5,580	1,007	34,113		0,0350	0,00030	0,00260	5,587	18621,667	113,845		0,0350	0,00030
47	25/1/2004	64,8	12,515	21,82	0,77000	12,442	0,994	61,862	2,835	0,0350	0,00030	0,77000	12,596	41987,667	199,373	9,135	0,0350	0,00030
48	31/1/2004	12,1	1,138	0,61	0,04100	1,123	0,987	0,653	1,077	0,0350	0,00030	0,04100	1,102	3673,000	0,832	1,373	0,0350	0,00030
49	27/2/2004	17,0	1,746	3,52	0,74400	1,716	0,983	3,382	0,960	0,0350	0,00030	0,74400	1,727	5755,333	6,758	1,919	0,0350	0,00030
50	28/2/2004	6,4	0,697	0,61	0,00580	0,668	0,959	0,575	0,948	0,0350	0,00030	0,00540	0,698	2326,000	0,989	1,632	0,0350	0,00030
51	15/7/2004	45,7	4,471	0,61	0,37400	4,479	1,002	14,974	24,701	0,0350	0,00030	0,37400	4,425	14749,333	38,595	63,665	0,0350	0,00030
52	25/3/2005	22,6	0,426	3,03	0,03000	0,448	1,051	0,969	0,320	0,0350	0,00030	0,02550	0,423	1411,000	2,698	0,890	0,0350	0,00030
53	29/3/2005	36,0	3,684	5,21	0,11400	3,637	0,987	15,530	2,979	0,0350	0,00030	0,11000	3,673	12242,000	56,130	10,766	0,0350	0,00030
54	18/6/2005	10,5	1,204	8,80	0,21000	1,231	1,022	1,204	0,137	0,0350	0,00030	0,21000	1,222	4072,000	1,726	0,196	0,0350	0,00030
55	7/6/2006	133,0	24,264	92,51	0,47650	24,059	0,992	593,395	6,468	0,0350	0,00030	0,47650	24,194	80646,000	3220,175	34,809	0,0350	0,00030
56	21/6/2006	32,8	4,221	26,43	0,01900	4,314	1,022	15,595	0,514	0,0350	0,00030	0,01800	4,290	14300,667	36,823	1,393	0,0350	0,00030

Tabela A26 – Produção de sedimentos na simulação e validação cruzada na sub-bacia 1 – WESP

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Discretização 01		Discretização 02	
					87 elementos		20 elementos	
					Simulação	Validação cruzada *	Simulação	Validação cruzada*
					Ec kg/ha.	Ec kg/ha.	Ec kg/ha.	Ec kg/ha.
1	11/3/1987	32,0	4,742		13,826	13,826	16,272	16,214
2	13/3/1987	52,0	11,480		205,785	205,785	497,919	497,903
3	15/3/1987	16,0	0,764		0,382	0,382	0,282	0,314
4	23/3/1987	13,0	0,791		1,352	1,352	1,218	1,217
5	28/3/1987	26,0	5,142		17,571	17,571	22,731	22,677
6	16/2/1988	78,0	13,699		173,197	173,197	379,227	379,221
7	23/2/1988	28,0	3,924		8,898	8,898	21,587	21,550
8	25/2/1988	33,0	7,648		1914,785	1914,785	7543,374	7509,372
9	9/3/1988	40,0	6,564		53,336	53,336	101,234	101,210
10	14/3/1988	33,5	5,249		80,811	80,811	137,468	137,452
11	13/4/1988	55,0	13,211		502,509	502,509	1595,232	1595,205
12	19/4/1988	30,0	2,356		8,129	8,129	9,480	9,457
13	21/4/1988	12,5	0,553		0,866	0,866	11,876	11,804
14	22/4/1988	51,0	15,450		134,779	135,107	241,243	241,163
15	28/3/1989	47,5	8,858		961,476	950,500	3010,587	3010,582
16	8/4/1989	74,4	16,697		510,294	510,118	1540,525	1540,508
17	10/4/1989	18,4	3,242		14,597	14,643	20,100	20,090
18	18/4/1989	47,0	7,660		122,795	68,502	125,460	125,439
19	29/4/1989	11,4	0,370		0,117	0,986	0,068	0,080
20	1/5/1989	7,0	0,328		0,065	0,063	0,043	0,051
21	10/5/1989	8,8	0,816		0,508	0,497	0,434	0,462
22	13/6/1989	16,3	1,468		2,355	2,305	2,017	2,058

Continuação								
23	7/7/1989	10,3	0,631		0,462	0,429	0,302	0,330
24	8/7/1989	10,3	0,471		0,177	0,169	0,077	0,089
25	26/2/1990	24,6	5,142		879,990	878,601	4263,437	4267,712
26	14/3/1991	15,3	3,036		6,028	6,028	3,667	3,681
27	15/3/1991	41,2	10,070		175,190	175,190	423,561	423,519
28	16/3/1991	43,7	15,137		406,319	406,312	1138,822	1138,808
29	27/1/1992	53,4	18,384		153,902	153,902	307,410	307,379
30	28/1/1992	97,7	29,832		855,142	855,142	2435,770	2435,688
31	29/1/1992	12,0	0,842		0,571	0,571	0,391	0,421
32	10/2/1992	29,0	4,947		55,155	55,155	107,613	107,595
33	19/5/1994	17,7	3,894		26,118	26,354	38,540	38,516
34	21/5/1994	8,0	2,603		9,417	9,417	11,393	21,914
35	5/6/1994	11,4	1,216		0,745	0,746	50,940	0,964
36	17/2/1995	26,8	4,134		44,587	44,587	65,753	122,118
37	15/3/1995	39,2	3,442		8,231	8,231	9,015	16,670
38	8/4/1995	15,2	3,111		9,695	9,695	12,108	22,057
39	2/7/1995	22,9	0,289		0,239	0,024	0,016	0,033
40	17/1/1996	29,9	5,177		32,625	35,020	59,423	105,178
41	11/3/1996	65,2	22,110		707,171	885,118	2189,652	3409,908
42	12/3/1996	75,0	2,657		9,817	8,808	10,961	20,495
43	18/4/1996	28,1	7,202		339,323	332,382	833,119	1339,951
44	21/4/1996	11,0	0,597		1,484	1,486	2,311	4,559
45	23/4/1996	28,7	6,904		31,453	31,447	52,451	99,079
46	11/3/2001	41,6	5,541		34,113	34,113	60,220	113,845
47	25/1/2004	64,8	12,515	21,824	62,115	61,862	110,736	199,373
48	31/1/2004	12,1	1,138	0,606	0,632	0,653	0,448	0,832
49	27/2/2004	17,0	1,746	3,521	3,698	3,382	3,720	6,758

Continuação								
50	28/2/2004	6,4	0,697	0,606	0,575	0,575	0,549	0,989
51	15/7/2004	45,7	4,471	0,606	15,044	14,974	20,547	38,595
52	25/3/2005	22,6	0,426	3,031	0,972	0,969	1,179	2,698
53	29/3/2005	36,0	3,684	5,214	15,406	15,530	31,900	56,130
54	18/6/2005	10,5	1,204	8,801	1,225	1,204	0,494	1,726
55	7/6/2006	133,0	24,264	92,510	598,296	598,395	2055,013	3220,175
56	21/6/2006	32,8	4,221	26,430	13,602	13,595	19,936	36,823
Valores médios					9227,950	9334,233	29568,546	32808,634

Tabela A27 – Produção de sedimentos na simulação e validação cruzada na sub-bacia 2
– WESP

Cheia	DATA	Chuva mm	Lo mm	Eo kg/ha.	Discretização 1	
					54 elementos	
					simulação Ec kg/ha.	validação cruzada Ec kg/ha.
1	13/3/1987	52,0	8,009		56,186	1287,969
2	15/3/1987	16,0	1,431		2,700	0,989
3	23/3/1987	13,0	0,510		0,964	0,643
4	28/3/1987	26,0	4,160		15,272	61,116
5	16/2/1988	62,2	28,913		296,627	20236,840
6	23/2/1988	28,0	6,309		37,721	243,442
7	9/3/1988	40,0	1,438		3,175	2,116
8	14/3/1988	20,5	1,300		2,199	10,516
9	13/4/1988	55,0	16,170		562,224	109,607
10	15/4/1988	142,0	86,590		98266,390	15966,560
11	19/4/1988	30,0	4,902		30,520	20,281
12	21/4/1988	12,5	0,895		3,079	6,899
13	22/4/1988	51,0	7,681		38,393	23,541
14	8/4/1989	74,4	14,542		123,131	77,860
15	29/4/1989	11,1	0,159		0,030	0,015
16	10/5/1989	6,4	0,203		0,127	0,079
17	7/7/1989	10,3	0,338		0,178	0,111
18	26/2/1990	18,4	2,759		105,282	22,964
19	27/1/1992	54,5	2,630		8,882	4,483
20	28/1/1992	97,7	71,878		4991,324	612,837
21	10/2/1992	26,0	6,592		50,371	33,397
22	17/2/1992	9,2	5,858		33,607	1431,667
23	2/4/1992	44,4	1,765		3,270	2,180
24	3/4/1992	53,0	2,025		7,174	4,783
25	4/4/1992	27,0	4,728		15,326	28,340
26	5/4/1992	24,5	2,353		13,532	9,298
27	5/5/1994	11,2	0,109		0,075	0,053
28	15/5/1994	15,4	3,324		15,010	10,716
29	18/5/1994	13,5	0,507		0,387	0,226
30	19/5/1994	4,2	0,680		29,889	1,286
31	20/5/1994	11,4	2,696		8,150	5,698
32	21/5/1994	8,0	0,535		0,272	0,200
33	5/6/1994	12,5	2,586		4,711	3,307
34	25/3/1995	51,4	5,023		18,738	12,702
35	31/3/1995	13,6	1,038		1,251	4,599
36	8/4/1995	15,2	1,572		2,143	1,859
37	22/1/1996	61,4	20,727		704,714	47887,270
38	11/3/1996	75,0	13,529		110,113	72,674
39	18/4/1996	27,9	0,694		2,042	1,293

Continuação						
40	28/4/1996	37,0	18.380		7671,296	314668,100
41	23/2/2000	2,8	0,956		3,985	2,840
42	25/1/2004	61,6	6,612	23,202	35,747	23,831
43	28/1/2004	14,8	1,421	5,210	1,870	1,247
44	5/2/2004	29,2	1,729	3,439	3,707	2,471
45	27/2/2004	17,0	3,475	5,356	17,733	11,822
46	29/3/2005	28,4	0,869	5,330	2,703	1,802
47	18/6/2005	11,4	1,256	6,850	111,585	4,518
48	5/12/2005	91,2	11,952	66,660	80,530	53,686
49	7/6/2006	133,0	39,787	112,570	1061,366	267,848
50	21/6/2006	32,8	4,359	33,950	20,103	13,402
Valores médios					2291,516	8065,040

Tabela A28 – Calibração do parâmetro S_i e simulação de K_i para a discretização 1 da sub-bacia 1 – Modelo WEPP

Cheia	$K_i = 10^4 - K_e = 0,0001 - K_s = 4,0 - \text{Tensão} = 20 - 2 \text{ camadas de solo}$									
	Data	Chuva	Lo (mm)	Eo (t/ha)	Eo (kg/ha)	Lc (mm)	S_i	Lc/Lo	E (ton/ha)	E (kg/ha)
1	11/03/87	32,0	4,742			4.737	26,000	0,999	0,000	0,000
2	13/03/87	52,0	11,480			18,881	14,280	1,645	0,200	200,000
3	15/03/87	16,0	0,764			0,797	81,000	1,043	0,000	0,000
4	23/03/87	13,0	0,791			0,818	95,000	1,034	0,000	0,000
5	28/03/87	26,0	5,142			5,131	73,000	0,998	0,000	0,000
6	14/02/88	40,5	12,333			12,076	56,000	0,979	0,100	100,000
7	23/02/88	28,0	3,924			3,824	44,000	0,974	0,000	0,000
8	25/02/88	33,0	7,648			7,646	54,000	1,000	0,100	100,000
9	09/03/88	40,0	6,564			7,325	14,280	1,116	0,100	100,000
10	14/03/88	33,5	5,249			5,290	25,000	1,008	0,000	0,000
11	13/04/88	55,0	13,211			21,719	14,280	1,644	0,300	300,000
12	19/04/88	30,0	2,356			2,875	14,280	1,220	0,000	0,000
13	20/04/88	24,0	1,682			1,625	56,000	0,966	0,000	0,000
14	21/04/88	12,5	0,553			0,525	92,000	0,949	0,000	0,000
15	22/04/88	51,0	15,450			15,059	18,000	0,975	0,200	200,000
16	28/03/89	47,5	8,858			8,747	59,000	0,987	0,100	100,000
17	10/04/89	18,4	3,242			3,300	80,000	1,018	0,000	0,000
18	18/04/89	47,0	7,660			14,420	14,280	1,883	0,200	200,000
19	13/06/89	16,3	1,468			1,463	89,000	0,996	0,000	0,000
20	26/02/90	24,6	5,142			5,102	48,000	0,992	0,000	0,000
21	14/03/91	15,3	3,036			2,310	95,000	0,761	0,000	0,000
22	15/03/91	41,2	10,070			10,397	14,280	1,032	0,100	100,000
23	16/03/91	43,7	15,137			15,276	62,000	1,009	0,200	200,000
24	29/03/91	21,7	1,542			1,559	72,000	1,011	0,000	0,000

Continuação										
25	27/01/92	53,4	18.384			18,203	19,000	0,990	0,200	200,000
26	28/01/92	97,7	29.832			55,907	14,280	1,874	0,700	700,000
27	29/01/92	12,0	0.842			0,490	95,000	0,582	0,000	0,000
28	10/02/92	29,0	4.947			4,820	46,000	0,974	0,000	0,000
29	19/05/94	17,7	3.894			3,985	78,000	1,023	0,000	0,000
30	05/06/94	11,4	1.216			0,566	95,000	0,465	0,000	0,000
31	17/02/95	26,8	4.134			4,458	93,100	1,078	0,000	0,000
32	15/03/95	39,2	3.442			3,725	69,000	1,082	0,000	0,000
33	02/07/95	22,9	0.289			0,346	64,000	1,195	0,000	0,000
34	17/01/96	29,9	5.177			5,100	39,000	0,985	0,000	0,000
35	11/03/96	65,2	22.110			22,166	32,000	1,003	0,300	300,000
36	12/03/96	75,0	26.570			26,595	33,000	1,001	0,300	300,000
37	18/04/96	28,1	7.202			7,829	63,000	1,087	0,100	100,000
38	21/04/96	11,0	0.597			0,319	95,000	0,534	0,000	0,000
39	23/04/96	28,7	6.904			6,849	23,000	0,992	0,100	100,000
40	11/03/01	41,6	5.541			8,073	14,280	1,457	0,100	100,000
41	25/01/04	64,8	12.515	0,02182	21,82	24,275	14,280	1,940	0,300	300,000
42	31/01/04	12,1	1.138	0,00061	0,61	1,144	92,500	1,006	0,000	0,000
43	27/02/04	17,0	1.746	0,00352	3,52	1,792	86,500	1,026	0,000	0,000
44	15/07/04	45,7	4.471	0,00061	0,61	4,600	23,000	1,029	0,000	0,000
45	17/02/05	9,6	0.105	0,00116	1,16	0,058	95,000	0,553	0,000	0,000
46	25/03/05	22,6	0.426	0,00303	3,03	0,461	25,000	1,083	0,000	0,000
47	29/03/05	36,0	3.684	0,00521	5,21	6,103	14,280	1,657	0,100	100,000
48	28/04/05	38,4	6.551	0,01697	16,97	6,854	14,280	1,046	0,100	100,000
49	24/04/06	9,3	0.398	0,00559	5,59	0,131	95,000	0,329	0,000	0,000
50	27/04/06	12,1	3.304	0,00400	4,00	1,593	95,000	0,482	0,000	0,000
51	13/05/06	15,8	0.894	0,01222	12,22	0,803	90,100	0,898	0,000	0,000

Continuação											
52	21/06/06	32,8	4,221	0,02643	26,43	4,010	18,000	0,950	0,000	0,000	
Valores médios							52,813				

Tabela A29 – Calibração do parâmetro S_i e simulação de K_i para a discretização 2 da sub-bacia 1– Modelo WEPP

Cheia	$K_i = 10^4 - K_e = 0,0001 - K_s = 4,0 - \text{Tensão} = 20 - 2 \text{ camadas de solo}$									
	Data	Chuva	Lo (mm)	Eo (t/ha)	Eo (kg/ha)	Lc (mm)	S_i	Lc/Lo	E (ton/ha)	E (kg/ha)
1	11/03/87	32,0	4,742			4,790	43.000	1,010	0,000	0,000
2	13/03/87	52,0	11,480			18,303	14.280	1,594	0,200	200,000
3	15/03/87	16,0	0,764			0,798	88.000	1,044	0,000	0,000
4	23/03/87	13,0	0,791			0,193	95.000	0,244	0,000	0,000
5	28/03/87	26,0	5,142			5,269	78.000	1,025	0,000	0,000
6	14/02/88	40,5	12,333			12,676	58.000	1,028	0,100	100,000
7	23/02/88	28,0	3,924			3,315	49.000	0,845	0,000	0,000
8	25/02/88	33,0	7,648			7,625	65.000	0,997	0,100	100,000
9	09/03/88	40,0	6,564			7,095	18.000	1,081	0,100	100,000
10	14/03/88	33,5	5,249			5,220	40.000	0,994	0,000	0,000
11	13/04/88	55,0	13,211			19,320	14.280	1,462	0,200	200,000
12	19/04/88	30,0	2,356			2,429	30.000	1,031	0,000	0,000
13	20/04/88	24,0	1,682			1,761	60.000	1,047	0,000	0,000
14	21/04/88	12,5	0,553			0,898	94.000	1,623	0,000	0,000
15	22/04/88	51,0	15,450			15,612	23.000	1,010	0,200	200,000
16	28/03/89	47,5	8,858			8,929	67.000	1,008	0,100	100,000
17	10/04/89	18,4	3,242			3,305	84.000	1,019	0,000	0,000
18	18/04/89	47,0	7,660			14,276	14.280	1,864	0,100	100,000
19	13/06/89	16,3	1,468			1,453	92.000	0,990	0,000	0,000
20	26/02/90	24,6	5,142			5,180	62.000	1,007	0,000	0,000
21	14/03/91	15,3	3,036			1,703	95.000	0,561	0,000	0,000
22	15/03/91	41,2	10,070			10,088	30.000	1,002	0,100	100,000
23	16/03/91	43,7	15,137			15,527	65.000	1,026	0,200	200,000
24	29/03/91	21,7	1,542			1,622	78.000	1,052	0,000	0,000

Continuação										
25	27/01/92	53,4	18,384			18,539	46,000	1,008	0,200	200,000
26	28/01/92	97,7	29,832			55,827	14,280	1,871	0,600	600,000
27	29/01/92	12,0	0,842			0,005	95,000	0,006	0,000	0,000
28	10/02/92	29,0	4,947			4,834	62,000	0,977	0,000	0,000
29	19/05/94	17,7	3,894			3,790	83,000	0,973	0,000	0,000
30	05/06/94	11,4	1,216			0,005	95,000	0,004	0,000	0,000
31	17/02/95	26,8	4,134			3,107	93,000	0,752	0,000	0,000
32	15/03/95	39,2	3,442			3,688	68,000	1,072	0,000	0,000
33	02/07/95	22,9	0,289			0,247	70,000	0,853	0,000	0,000
34	17/01/96	29,9	5,177			5,242	55,000	1,013	0,000	0,000
35	11/03/96	65,2	22,110			21,951	50,000	0,993	0,200	200,000
36	12/03/96	75,0	26,570			26,907	35,000	1,013	0,300	300,000
37	18/04/96	28,1	7,202			7,139	65,000	0,991	0,100	100,000
38	21/04/96	11,0	0,597			0,000	95,000	0,000	0,000	0,000
39	23/04/96	28,7	6,904			6,924	47,000	1,003	0,100	100,000
40	11/03/01	41,6	5,541			7,908	14,280	1,427	0,100	100,000
41	25/01/04	64,8	12,515	0,02182	21,82	23,681	14,280	1,892	0,200	200,000
42	31/01/04	12,1	1,138	0,00061	0,61	1,093	95,000	0,961	0,000	0,000
43	27/02/04	17,0	1,746	0,00352	3,52	1,971	92,000	1,129	0,000	0,000
44	15/07/04	45,7	4,471	0,00061	0,61	4,966	26,000	1,111	0,000	0,000
45	17/02/05	9,6	0,105	0,00116	1,16	0,000	95,000	0,000	0,000	0,000
46	25/03/05	22,6	0,426	0,00303	3,03	0,473	54,000	1,111	0,000	0,000
47	29/03/05	36,0	3,684	0,00521	5,21	4,692	14,280	1,274	0,000	0,000
48	28/04/05	38,4	6,551	0,01697	16,97	6,656	28,000	1,016	0,100	100,000
49	24/04/06	9,3	0,398	0,00559	5,59	0,000	95,000	0,000	0,000	0,000
50	27/04/06	12,1	3,304	0,00400	4,00	1,012	95,000	0,306	0,000	0,000
51	13/05/06	15,8	0,894	0,01222	12,22	0,929	92,000	1,039	0,000	0,000

Continuação										
52	21/06/06	32.8	4,221	0.02643	26,43	4,369	35,000	1,035	0,000	0,000
Valores médios							59,230			

Tabela A30 – Produção de sedimento para discretização 2 da sub-bacia 1 com declividades normal e alterada – WEPP

Cheia	Ki = 10 ⁴ - Ke = 0,0001 - Ks = 4,0 - Tensão = 20 - 2 camadas de solo								Declividade normal		Declividade alterada		Variação (%)
	Data	Chuva	Lo (mm)	Eo (t/ha)	Eo (kg/ha)	Lc (mm)	Si	Lc/Lo	E (ton/ha)	E (kg/ha)	E (ton/ha)	E (kg/ha)	
1	11/03/87	32,0	4,742			4,790	43,000	1,010	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
2	13/03/87	52,0	11,480			18,303	14,280	1,594	0,400	400,000	0,200	200,000	-50,000
3	15/03/87	16,0	0,764			0,798	88,000	1,044	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
4	23/03/87	13,0	0,791			0,193	95,000	0,244	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
5	28/03/87	26,0	5,142			5,269	78,000	1,025	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
6	14/02/88	40,5	12,333			12,676	58,000	1,028	0,300	300,000	0,100	100,000	-66,667
7	23/02/88	28,0	3,924			3,315	49,000	0,845	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
8	25/02/88	33,0	7,648			7,625	65,000	0,997	0,200	200,000	0,100	100,000	-50,000
9	09/03/88	40,0	6,564			7,095	18,000	1,081	0,300	300,000	0,100	100,000	-66,667
10	14/03/88	33,5	5,249			5,220	40,000	0,994	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
11	13/04/88	55,0	13,211			19,320	14,280	1,462	0,300	300,000	0,200	200,000	-33,333
12	19/04/88	30,0	2,356			2,429	30,000	1,031	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
13	20/04/88	24,0	1,682			1,761	60,000	1,047	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
14	21/04/88	12,5	0,553			0,898	94,000	1,623	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
15	22/04/88	51,0	15,450			15,612	23,000	1,010	0,500	500,000	0,200	200,000	-60,000
16	28/03/89	47,5	8,858			8,929	67,000	1,008	0,300	300,000	0,100	100,000	-66,667
17	10/04/89	18,4	3,242			3,305	84,000	1,019	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
18	18/04/89	47,0	7,660			14,276	14,280	1,864	0,200	200,000	0,100	100,000	-50,000
19	13/06/89	16,3	1,468			1,453	92,000	0,990	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
20	26/02/90	24,6	5,142			5,180	62,000	1,007	0,300	300,000	0,000	0,000	-100,000
21	14/03/91	15,3	3,036			1,703	95,000	0,561	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
22	15/03/91	41,2	10,070			10,088	30,000	1,002	0,200	200,000	0,100	100,000	-50,000
23	16/03/91	43,7	15,137			15,527	65,000	1,026	0,400	400,000	0,200	200,000	-50,000
24	29/03/91	21,7	1,542			1,622	78,000	1,052	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000

Continuação													
25	27/01/92	53,4	18,384			18,539	46,000	1,008	0,600	600,000	0,200	200,000	-66,667
26	28/01/92	97,7	29,832			55,827	14,280	1,871	1,000	1000,000	0,600	600,000	-40,000
27	29/01/92	12,0	0,842			0,005	95,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
28	10/02/92	29,0	4,947			4,834	62,000	0,977	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
29	19/05/94	17,7	3,894			3,790	83,000	0,973	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
30	05/06/94	11,4	1,216			0,005	95,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
31	17/02/95	26,8	4,134			3,107	93,000	0,752	0,200	200,000	0,000	0,000	-100,000
32	15/03/95	39,2	3,442			3,688	68,000	1,072	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
33	02/07/95	22,9	0,289			0,247	70,000	0,853	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
34	17/01/96	29,9	5,177			5,242	55,000	1,013	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
35	11/03/96	65,2	22,110			21,951	50,000	0,993	0,500	500,000	0,200	200,000	-60,000
36	12/03/96	75,0	26,570			26,907	35,000	1,013	0,800	800,000	0,300	300,000	-62,500
37	18/04/96	28,1	7,202			7,139	65,000	0,991	0,300	300,000	0,100	100,000	-66,667
38	21/04/96	11,0	0,597			0,000	95,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
39	23/04/96	28,7	6,904			6,924	47,000	1,003	0,200	200,000	0,100	100,000	-50,000
40	11/03/01	41,6	5,541			7,908	14,280	1,427	0,200	200,000	0,100	100,000	-50,000
41	25/01/04	64,8	12,515	0,02182	21,82	23,681	14,280	1,892	0,400	400,000	0,200	200,000	-50,000
42	31/01/04	12,1	1,138	0,00061	0,61	1,093	95,000	0,961	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
43	27/02/04	17,0	1,746	0,00352	3,52	1,971	92,000	1,129	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
44	15/07/04	45,7	4,471	0,00061	0,61	4,966	26,000	1,111	0,200	200,000	0,000	0,000	-100,000
45	17/02/05	9,6	0,105	0,00116	1,16	0,000	95,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
46	25/03/05	22,6	0,426	0,00303	3,03	0,473	54,000	1,111	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
47	29/03/05	36,0	3,684	0,00521	5,21	4,692	14,280	1,274	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
48	28/04/05	38,4	6,551	0,01697	16,97	6,656	28,000	1,016	0,300	300,000	0,100	100,000	-66,667
49	24/04/06	9,3	0,398	0,00559	5,59	0,000	95,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
50	27/04/06	12,1	3,304	0,00400	4,00	1,012	95,000	0,306	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
51	13/05/06	15,8	0,894	0,01222	12,22	0,929	92,000	1,039	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx

Continuação													
52	21/06/06	32,8	4,221	0,02643	26,43	4,369	35.000	1,035	0,200	200,000	0,000	0,000	-100,000
Produção total										9400,000		3300,000	-64,894

continuação													
25	27/01/92	53,4	18,384			18,539	46,000	1,008	0,600	600,000	0,200	200,000	-66,667
26	28/01/92	97,7	29,832			55,827	14,280	1,871	1,000	1000,000	0,600	600,000	-40,000
27	29/01/92	12,0	0,842			0,005	95,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
28	10/02/92	29,0	4,947			4,834	62,000	0,977	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
29	19/05/94	17,7	3,894			3,790	83,000	0,973	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
30	05/06/94	11,4	1,216			0,005	95,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
31	17/02/95	26,8	4,134			3,107	93,000	0,752	0,200	200,000	0,000	0,000	-100,000
32	15/03/95	39,2	3,442			3,688	68,000	1,072	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
33	02/07/95	22,9	0,289			0,247	70,000	0,853	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
34	17/01/96	29,9	5,177			5,242	55,000	1,013	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
35	11/03/96	65,2	22,110			21,951	50,000	0,993	0,500	500,000	0,200	200,000	-60,000
36	12/03/96	75,0	26,570			26,907	35,000	1,013	0,800	800,000	0,300	300,000	-62,500
37	18/04/96	28,1	7,202			7,139	65,000	0,991	0,300	300,000	0,100	100,000	-66,667
38	21/04/96	11,0	0,597			0,000	95,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
39	23/04/96	28,7	6,904			6,924	47,000	1,003	0,200	200,000	0,100	100,000	-50,000
40	11/03/01	41,6	5,541			7,908	14,280	1,427	0,200	200,000	0,100	100,000	-50,000
41	25/01/04	64,8	12,515	0,02182	21,82	23,681	14,280	1,892	0,400	400,000	0,200	200,000	-50,000
42	31/01/04	12,1	1,138	0,00061	0,61	1,093	95,000	0,961	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
43	27/02/04	17,0	1,746	0,00352	3,52	1,971	92,000	1,129	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
44	15/07/04	45,7	4,471	0,00061	0,61	4,966	26,000	1,111	0,200	200,000	0,000	0,000	-100,000
45	17/02/05	9,6	0,105	0,00116	1,16	0,000	95,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
46	25/03/05	22,6	0,426	0,00303	3,03	0,473	54,000	1,111	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
47	29/03/05	36,0	3,684	0,00521	5,21	4,692	14,280	1,274	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
48	28/04/05	38,4	6,551	0,01697	16,97	6,656	28,000	1,016	0,300	300,000	0,100	100,000	-66,667
49	24/04/06	9,3	0,398	0,00559	5,59	0,000	95,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx
50	27/04/06	12,1	3,304	0,00400	4,00	1,012	95,000	0,306	0,100	100,000	0,000	0,000	-100,000
51	13/05/06	15,8	0,894	0,01222	12,22	0,929	92,000	1,039	0,000	0,000	0,000	0,000	xxx

Continuação													
52	21/06/06	32,8	4,221	0,02643	26,43	4,369	35.000	1,035	0,200	200,000	0,000	0,000	-100,000
Produção total										9400,000		3300,000	-64,894