



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM REGIÕES DE
CABECEIRA DO PANTANAL MATO-GROSSENSE UTILIZANDO
MODELO HIDROSEDIMENTOLÓGICO**

LUZIEL ARRUDA MIGUEL AHY

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre, Julho de 1997.

À

Luiz Miguel Ahy Filho e

Marc Pierre Bordas

in memoriam.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação da Professora Ana Luiza de Oliveira Borges e se insere nas linhas de pesquisa de Erosão e Sedimentação na Área da Engenharia de Sedimentos.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela bolsa de estudos concedida e ao PCBAP por ter cedidos os dados utilizados neste estudo.

Aos funcionários do IPH/UFRGS pela amizade e apoio proporcionados durante a realização deste trabalho; especialmente à Elizabete, Dona Ligia, Olívia e Nadir.

Aos professores do IPH o meu reconhecimento pelo apoio e conhecimentos transmitidos durante o transcorrer do curso, especialmente aos professores Alfonso Rizzo e Rogério Maestri.

À todos os colegas do IPH e da Casa do Estudante. Aos colegas Adolfo, Esaúl, Jaildo e Sandro, pelo apoio computacional.

À minha família pelo apoio de sempre e, em especial, durante a realização deste trabalho e a Eng^a Gírlene Rodrigues Leite pelo carinho e afeto demonstrado nas horas mais difíceis.

Um agradecimento especial a amiga e orientadora Ana Luiza de Oliveira Borges, a qual muito contribuiu não só no que diz respeito a este trabalho e ao incentivo, como também em diversos aspectos de ordem profissional.

RESUMO

Este estudo propõe a validação de um modelo hidrossedimentológico, com a finalidade de avaliar o comportamento do sistema fluvial de uma pequena sub-bacia pertencente à Bacia do rio São Lourenço, conhecendo deste modo, a dinâmica dos sedimentos ao longo da rede de drenagem. Trata-se da bacia do rio Jurigue, que é uma das maiores produtoras de sedimento das regiões de cabeceira do Pantanal Mato-Grossense (cerca de 1,15 t/dia/km²), sujeita a chuvas com erosividade elevada, atingindo valores da ordem de 800 tm.mm/h/ha.ano.

O modelo proposto utiliza o ambiente do sistema hidrológico IPHS1, no qual introduz metodologias de produção de sedimentos nas vertentes e avaliação da capacidade de transporte do escoamento.

Os principais parâmetros de entrada do modelo IPHS1-MEERC são: o hietograma de chuva, a topografia da bacia e de sua rede de drenagem e as características do sedimento. Os dados de saída são: o hidrograma e o sedimentograma num ponto qualquer na bacia de drenagem.

O modelo permite a discretização da bacia em sub-bacias e canais, de acordo com a complexidade da mesma. A saída de cada sub-bacia torna-se a entrada do trecho de canal.

A produção de sedimentos das vertentes é determinada através da Equação Universal de Perda de Solos Modificada - MUSLE em cada sub-bacia, e a propagação dos sedimentos em cada trecho de canal utiliza as metodologias de Meyer Peter and Müller (1949) e Einstein (1950).

Finalmente, após serem efetuadas todas as operações hidrológicas, o sedimento produzido no intervalo final do evento é comparado com a descarga sólida medida na saída da bacia.

ABSTRACT

The purpose of this study is to validate a hydrosedimentological model in order to establish the behavior of the river system of a small sub-basin of the São Lourenço river with respect to the sediment dynamics along the drainage system. The basin in question is the basin of the Jurigue river, which is one of the great sources of sediment on the region upstream of Pantanal Mato-grossense (about 1,15 t/day/km²), it receives rain that has high erosivity, up to 800 mm/h/ha.year.

The model used is IPHS1 which includes descriptions of sediment yield on headwater slopes and evaluation of the transport capacity of runoff.

The main input parameters of the IPHS1-MEERC model are: rain hyetograph, basin topography and its drainage network and sediment characteristics. The output data are: hydrograph and the curve giving sediment yield at any point of the draining basin.

The model allows discretization of the basin in sub-basin and channels, depending on its complexity. The output of each sub-basin becomes the input to the channel reach.

The sediment yield on hillslopes is determined through the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) in each sub-basin and the propagation of sediments in each channel uses the methodology of Meyer Peter and Müller (1949) and Einstein (1950).

Finally, after all the hydrological operators have been performed, the sediment produced at the end of the event is compared with the measured solid discharges at the basin outlet.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

RESUMO

ABSTRACT

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	GENERALIDADES	2
1.2	OBJETIVOS	4
2.	MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA	5
2.1.	MODELOS HIDROLÓGICOS	7
	2.1.1 Modelagem do Escoamento.....	7
	2.1.2 Modelos de Transformação “Precipitação - Vazão”	8
2.2	MODELOS DE EROSIÃO	10
	2.2.1 Modelos Empíricos	10
	2.2.2 Modelos Conceituais.....	12
	2.2.3 Modelos Semi Conceituais.....	15
2.3	MODELOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	17
3.	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	20
3.1	CONCEITOS	21
3.2	MODELO NUMÉRICO DO TERRENO (MNT)	23
3.3	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	25

4	METODOLOGIAS UTILIZADAS	27
4.1	INTRODUÇÃO	28
4.2	ESTRUTURA DO MODELO IPHS1	29
4.3	ESTRUTURA DO MODELO PROPOSTO	32
4.4	EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS MODIFICADA	36
4.5	CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE MATERIAL DE FUNDO.....	39
	4.5.1 Metodologia de Meyer Peter e Müller (1948)	39
	4.5.2 Metodologia de Einstein (1950)	39
4.6	DADOS DE ENTRADA E SAÍDA DO MODELO	42
4.7	HIPÓTESES E LIMITAÇÕES DO MODELO.....	44
5	APLICAÇÃO.....	45
5.1	DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	46
5.2	DADOS DISPONÍVEIS.....	49
5.3	OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO	52
	5.3.1 Obtenção do Modelo Numérico do Terreno e do Sistema de de Drenagem	52
	5.3.2 Discretização da Bacia Hidrográfica	55
	5.3.3 Obtenção dos Parâmetros da MUSLE.....	58
5.4	SEQUÊNCIA COMPUTACIONAL DE CÁLCULO DO MODELO	68
5.5	SELEÇÃO DE EVENTOS PARA SIMULAÇÃO.....	71
5.6	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	72
	5.6.1 Componente Hidrológica	72
	5.6.2 Componente Sedimentológica	78
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	82
6.1	Quanto ao uso do SIG para a estimativa de parâmetros	83
6.2	Quanto à componente hidrológica	83
6.3	Quanto à componente sedimentológica	84
6.4	Quanto ao modelo proposto	85
6.5	Recomendações	86

7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
8	ANEXOS.....	97
	ANEXO 1 - Dados de Entrada do Modelo	98
	ANEXO 2 - Exemplo do Arquivo de Entrada de Dados	103
	ANEXO 3 - Exemplo do Arquivo de Saída de Dados	107
	ANEXO 4 - Descarga Sólida Diária para os Eventos em Estudo	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação do processo de modelagem	6
Figura 2.2 - Esquema de MEYER & WISCHMEIER (1969) para representar o fenômeno da erosão do solo pela água	13
Figura 3.1 - As funções de um Sistema de Informações Geográficas (Extraída de SENDRA (1992)	22
Figura 3.2 - Esquema ilustrativo da estimativa da erosão através da USLE	26
Figura 4.1 - Esquematização do modelo proposto: IPHS1-MEERC.....	29
Figura 4.2 - Fluxograma do modelo IPHS1	31
Figura 4.3 - Esquematização do modelo proposto	33
Figura 4.4 - Esquema representativo do balanço de sedimentos efetuado em um trecho de canal	34
Figura 4.5 - Estrutura Computacional do modelo proposto	35
Figura 4.6 - Função de carga de fundo de Einstein (Extraída de CHANG, 1988)	41
Figura 5.1 - Localização da Bacia do rio Jurigue	46
Figura 5.2 - Regime de vazões da bacia do rio Jurigue no período de 1979-1981	48
Figura 5.3 - Valores médios mensais do índice de erosividade e da precipitação	48
Figura 5.4 - Localização dos postos de medição de chuva, descarga líquida e sólida utilizados	49
Figura 5.5 - Descargas sólidas da bacia do Rio Jurigue - 1979 a 1982	50
Figura 5.6 - Isolinhas de altitude da região da bacia do rio São Lourenço.....	52
Figura 5.7 - Modelo tridimensional da altimetria da região da Bacia do rio São Lourenço	53
Figura 5.8 - Esquema de funcionamento do algoritmo proposto por MARK (1984).....	54
Figura 5.9 - Sistema de drenagem da região da bacia do rio São Lourenço.....	55
Figura 5.10 - Modelo Numérico do Terreno da bacia do rio Jurigue	56
Figura 5.11 - Discretização da bacia do rio Jurigue em Pedra Preta	57
Figura 5.12 - Mapa de solos da bacia do rio Jurigue	59

Figura 5.13 - Ajuste da equação de regressão entre a descarga líquida (Q) e a descarga sólida (Q_s) medidos	64
Figura 5.14 - Exemplo do hidrograma do evento n.º 3 para obtenção da vazão de pico (Q_p) e do volume escoado (Q_t)	66
Figura 5.15 - Exemplo do Sedimentograma do evento n.º 3 para obtenção da produção total de sedimentos (Y)	66
Figura 5.16 - Ajuste dos coeficientes de regressão da MUSLE	68
Figura 5.17 - Esquema representativo dos elementos que compõem a bacia do rio Jurigue	69
Figura 5.18 - Hidrogramas calculados e observados dos eventos 1 a 6	73
Figura 5.19 - Verificação da componente hidrológica do modelo para os eventos 7 a 9	75
Figura 5.20 - Relação entre o volume escoado calculado pelo modelo e o volume observado	77
Figura 5.21 - Relação entre a vazão de pico calculada pelo modelo e a vazão de pico observada	77
Figura 5.22 - Comparação entre as descargas sólidas instantâneas calculadas pelo modelo e a descarga sólida medida (curva chave de sedimentos)	79
Figura 5.23 - Produção de sedimentos medida e a calculada por MEYER (1949)	80
Figura 5.24 - Produção de sedimentos medida e a calculada por EINSTEIN (1950)	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características dos modelos de erosão	14
Tabela 2.2 - Comparação entre a MUSLE e a USLE em relação à porcentagem de erro médio anual (Extraída de WILLIAMS, 1972)	16
Tabela 2.3 - Fórmulas de cálculo da descarga de arrasto (Extraída de CARVALHO, 1994) ..	19
Tabela 4.1 - Dados de entrada do modelo	42
Tabela 4.2 - Dados de saída do modelo	43
Tabela 5.1 - Postos de medição utilizados no estudo.....	50
Tabela 5.2 - Resumo de Medição de Descarga Sólida no rio Jurigue em Pedra Preta	51
Tabela 5.3 - Informações fisiográficas das sub-bacias e interfúvios	58
Tabela 5.4 - Informações fisiográficas dos trechos de canal	58
Tabela 5.5 - Classes e áreas de abrangência dos solos da bacia do Jurigue	60
Tabela 5.6 - Índices de Erodibilidade segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1985)	61
Tabela 5.7 - Valores ponderados do fator K para cada sub-bacia do rio Jurigue	62
Tabela 5.8 - Fator topográfico (LS) médio	62
Tabela 5.9 - Valores finais dos parâmetros da MUSLE para cada sub-bacia	63
Tabela 5.10 - Valores dos parâmetros da MUSLE usados para regressão	67
Tabela 5.11 - Operações hidrológicas resultantes da discretização da bacia do rio Jurigue	70
Tabela 5.12 - Eventos selecionados para a simulação do modelo	71
Tabela 5.13 - Valores dos parâmetros de ajuste da componente hidrológica do modelo	74
Tabela 5.14 - Valores médios dos parâmetros de ajuste da componente hidrológica para verificação do modelo, agrupados segundo eventos de estiagem e cheia	75
Tabela 5.15 - Estatística dos eventos utilizados para verificação dos parâmetros do modelo	76
Tabela 5.16 - Parâmetros finais de ajuste da fase sedimentológica	78
Tabela 6.1 - Parâmetros finais da fase sedimentológica do modelo proposto	85

LISTA DE SÍMBOLOS

Θ	parâmetro adimensional de cisalhamento
Δ	rugosidade aparente da superfície do leito,
χ	distância na direção longitudinal
Φ_*	intensidade de transporte,
Ψ_*	intensidade de atrito,
ξ, Z e X	fatores de correção,
Φ_B	parâmetro adimensional do transporte sólido
Δt	intervalo de tempo em dias.
A	área da seção transversal,
α e β	coeficientes de regressão da MUSLE ajustados por otimização
A_* , B_* e η_0	constantes universais determinadas experimentalmente,
C	fator de uso e manejo do solo,
C_i	fator de uso e manejo do solo para cultura i ,
d	diâmetro do grão da fração considerada.
DA	área total da superfície da bacia,
DA_i	fração de área considerada dentro da bacia,
f	fator de atrito,
g	aceleração da gravidade,
γ	peso específico do fluido,
γ_s	peso específico do sedimento,
H	profundidade média do rio,
I	declividade do rio,
i_B e i_b	percentual de material de determinado diâmetro que compõe o leito e a carga sólida respectivamente,
K	fator de erodibilidade do solo,
K_i	fator de erodibilidade do solo i
K_s / K_r	coeficiente de correção da rugosidade do grão e da forma de fundo
LS	fator topográfico
m	expoente relacionado a declividade da vertente
n	número total de solos presentes na bacia.
P	fator de práticas de conservação do solo.
Q	descarga líquida,
q	vazão por unidade de largura
Q_p	vazão de pico do hidrograma de cheia (m^3/s)
q_s	descarga sólida do leito,
Q_s/Q	coeficiente de correção do efeito das paredes,

Q_{si}	produção de sedimentos no intervalo i ;
Q_t	volume escoado superficialmente (m^3),
Q_{ti}	volume escoado no intervalo i ;
R	fator de energia cinética da chuva,
$R'h$	raio hidráulico do leito associado à rugosidade dos grãos,
RH	raio hidráulico,
s	gradiente da vertente
SDR	taxa de entrega de sedimentos
S_f	declividade da linha de energia,
S_o	declividade de fundo,
SR	área cultivada com fileira reta,
$SRWW$	área cultivada com fileira reta com canal vegetado,
t	tempo,
T	área da bacia que é terraceada,
τ	tensão de cisalhamento,
τ_c	tensão de cisalhamento crítica,
ν	viscosidade cinemática do fluido
u_*	velocidade de cisalhamento
V_m	velocidade média do escoamento,
x	comprimento de vertente em metros
y	profundidade,
Y	produção total de sedimentos;

1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

Constantemente a superfície da Terra é modelada através da ação erosiva da chuva, do vento, da temperatura e do gelo. O efeito desses agentes, todavia, torna-se quase imperceptível em áreas cobertas de vegetação onde o meio ambiente não sofreu alteração provocada pelo homem, sendo reconhecível somente com o decorrer de longos períodos de atividade, caracterizando a ocorrência da erosão geológica ou natural.

A problemática do processo erosivo torna-se mais pronunciada quando o homem destrói os anteparos naturais, acelerando tal processo. O processo erosivo manifesta-se principalmente através da erosão nas nascentes ou cabeceiras, sendo mais acelerada pelo uso intensivo de práticas agropastoris, pelo desmatamento, pela impermeabilização do solo decorrente da urbanização e pela drenagem de estradas vicinais, concorrendo para o empobrecimento do solo, causado pela lavagem da superfície bem como pela erosão em sulcos, dificultando sobremaneira seu manejo.

A ação antrópica está presente também na própria calha do rio, através da retirada de areia, da ação garimpeira, da retificação do leito e, de modo geral, das obras hidráulicas construídas, influenciando assim a capacidade de transporte do escoamento e provocando erosão concentrada.

O processo erosivo é caracterizado pela desagregação do solo superficial, através do impacto da chuva e posterior transporte pelo escoamento superficial, podendo o sedimento depositar-se no leito dos rios ou ser carregado pela correnteza rio abaixo. Quando o aporte de material sólido das vertentes é igual à capacidade de transporte do curso de água, estabelece-se um estado de equilíbrio. Caso contrário, processa-se a erosão do leito do rio ou o depósito.

Outra consequência decorrente da perda de solo, que atualmente muito tem preocupado os profissionais afins, é a poluição hídrica. Os sedimentos podem se comportar como vetores de transmissão de poluentes químicos até o curso d'água.

Nos Estados Unidos foi estimado que aproximadamente 880.000t de sedimentos provenientes da agricultura são depositadas em reservatórios anualmente. Os prejuízos para o resto da economia, oriundos da erosão do solo, excedem \$10 bilhões de dólares por ano. Aproximadamente 36% dessa quantidade é proveniente da erosão agrícola (WRI, 1992).

Embora, quantitativamente, o Brasil seja um país privilegiado em termos de terras agricultáveis, sob o ponto de vista de sua qualidade, sua colocação não é das melhores, pois o

clima tropical e subtropical, aliado, em muitas áreas, às más condições de origem geológica ou a terrenos de topografia acidentada, faz com que grande parte dos solos brasileiros seja de efêmera fertilidade e de difícil cultivo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Além desses condicionantes impostos pela natureza, segundo MARQUES (1966) apud BERTONI e LOMBARDI NETO (1985), há uma tendência geral dos agricultores brasileiros em considerar como inesgotáveis as riquezas e a fertilidade original de suas terras. Isso tem feito com que eles conduzam a agricultura como uma atividade extrativista.

Investigações feitas em 1989 pelo Instituto Agrônomo de Campinas mostram que a perda de terras agricultáveis no Brasil dobrou em relação à mesma avaliação efetuada em 1984. Este valor chega a 1 bilhão de toneladas anuais (CARVALHO, 1994).

Portanto, conhecer a quantidade de sedimentos que é produzida por uma bacia, bem como a quantidade de sedimentos que é transportada pelos rios, é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos de uma região. Para isso deve existir maior investimento na coleta de dados hidrossedimentológicos, pois estes são de fundamental importância na validação dos modelos. De acordo com as recomendações da OMM (Organização Meteorológica Mundial), o Brasil conta com um déficit de 6.000 estações pluviométricas. Quanto à rede fluviométrica, excetuando-se as bacias do rio Paraná e do Atlântico Sul - Trecho Sudeste, nas demais bacias hidrográficas há um déficit de 1.519 estações. No que diz respeito à rede sedimentométrica, é mais precário ainda. Para um mínimo recomendado de 667 estações, o Brasil conta com apenas 303 estações (CPRM, 1993).

O problema do assoreamento dos rios pode ser solucionado minimizando-se a produção de sedimentos nas vertentes pelo emprego de técnicas conservacionistas no uso e ocupação dos solos. A diminuição da produção de sedimentos depende da elaboração de leis e normas de uso e ocupação do solo, o que nem sempre se consegue a curto prazo, já que depende de um processo de conscientização das partes envolvidas no problema: administradores públicos e comunidade.

1.2 OBJETIVOS

Um caso particular das ações antrópicas citadas no item anterior vem ocorrendo nas regiões de cabeceira da Bacia do Alto Paraguai, Pantanal Mato-grossense.

A região tem sido profundamente alterada pela substituição da vegetação nativa (matas e cerrado), pelos campos de agricultura e pastagens. Isto vem causando o aumento do aporte de sedimentos, que, por sua vez, tem resultado na instabilidade das calhas dos rios a jusante, principalmente quando o rio adentra o leque da depressão pantaneira.

Estudos realizados por TUCCI e BORDAS (1996), sobre as zonas de erosão e depósito de sedimentos na bacia do Alto Paraguai, objeto desse estudo, indicam que, em nível anual, a produção específica de sedimentos na bacia do rio Jurigue foi a que apresentou os maiores valores, cerca de 450 t/km²/ano.

A ação do homem, aliada à falta de planejamento no uso dos recursos naturais dessa região, pode provocar conseqüências que, a médio e a longo prazo, poderão deixar um grande prejuízo para a Administração Pública, para a população local e principalmente para a população de jusante. Isto já vem acontecendo no presente momento, sendo a pecuária extensiva uma das grandes prejudicadas, pois nas épocas de águas altas são registradas grandes perdas de rebanho bovino nas regiões de planície, causando consideráveis prejuízos a esta atividade.

Portanto o entendimento da dinâmica dos processos hidrossedimentológicos é de grande importância no planejamento dos recursos naturais. Compor hidrogramas e sedimentogramas a partir de modelos que necessitem de poucos dados de entrada, em regiões carente de dados, se faz necessário.

Este estudo propõe a validação de um modelo hidrossedimentológico, com a finalidade de avaliar o comportamento do sistema fluvial de uma pequena sub-bacia pertencente à bacia do rio São Lourenço, conhecendo deste modo, a dinâmica dos sedimentos ao longo da rede de drenagem.

2

MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA

2. MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA

Um modelo matemático é simplesmente uma expressão quantitativa de um processo ou fenômeno que está sendo observado, analisado ou estimado (OVERTON, 1976).

A modelagem matemática permite que se separem os complexos fenômenos físicos, químicos e biológicos, para estudá-los como subsistemas mais simples e, posteriormente reagrupá-los. Desse modo, resultados de diferentes situações de um mesmo sistema ou de diferentes sistemas podem ser obtidos com facilidade (KAUARK LEITE, 1986).

A simulação de qualquer parte do ciclo hidrológico está sempre limitada pela dificuldade de representar o sistema, uma vez que a bacia hidrográfica é fisicamente heterogênea, tornando quase impossível a sua discretização espacial para cada fenômeno. Essas dificuldades propiciaram o desenvolvimento de um grande número de modelos, que se diferenciam em função do objetivo do estudo em que é aplicado ou da precisão que se deseja para cada processo. Estes modelos estarão sempre limitados pela quantidade e qualidade dos dados históricos, pela dificuldade de formular matematicamente alguns fenômenos e pela simplificação da distribuição espacial de variáveis como a precipitação e a capacidade de infiltração (TUCCI, 1986).

Na figura 2.1 é apresentado um esquema do processo de modelagem proposto por OVERTON (1976), que enfoca os principais elementos na elaboração de modelos para simulação.

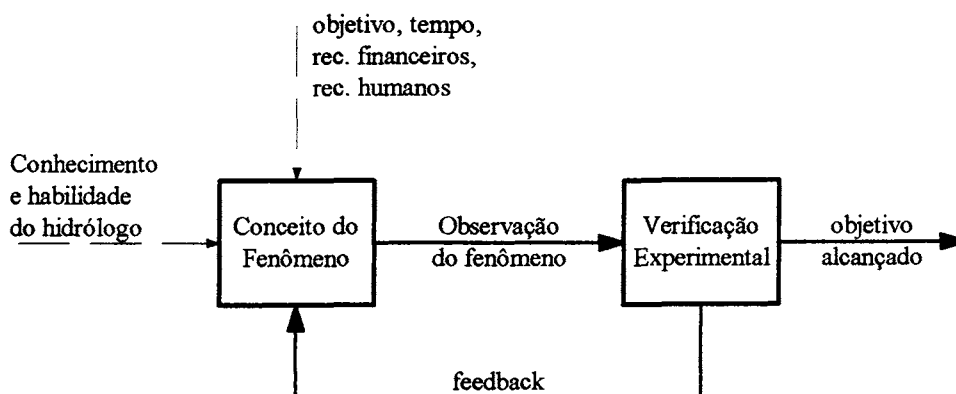


Figura 2.1 - Representação do processo de modelagem.

Os modelos matemáticos são utilizados para representar os fenômenos hidrológicos e, em consequência, extrair o máximo de informações dos dados hidrológicos. Deve-se lembrar ainda que um modelo não resolve os problemas, mas permite o estudo das alternativas que

possam vir a solucionar esses problemas, com base em resultados mais confiáveis. Portanto, seus resultados são imperfeitos, devendo-se ter critérios no uso dos valores obtidos, bem como a possibilidade de se coletar dados de campo para a posterior verificação.

2.1 MODELOS HIDROLÓGICOS

2.1.1 Modelagem do Escoamento

As equações da Continuidade e da Quantidade de Movimento desenvolvidas por *Saint Venant* são a base do desenvolvimento dos modelos de escoamento utilizados para representar o escoamento superficial em bacias e o escoamento em rios (TUCCI, 1986).

A equação da Continuidade é expressa matematicamente por:

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

onde:

Q	é a vazão,
A	é a área da seção transversal,
x	é a distância na direção longitudinal,
t	é o tempo,
q	é a entrada ou a saída de vazão por unidade de largura

A equação da Quantidade de Movimento é obtida levando em conta as principais forças envolvidas no escoamento em rios e canais: inércia, gravidade, energia e pressão. É expressa por:

$$\underbrace{\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x}}_{\text{inercia}} + \underbrace{g A \frac{\partial y}{\partial x}}_{\text{pressao}} = \underbrace{\frac{g A (S_o - S_f)}{\text{gravidade}}}_{\text{energia}} \quad (2.2)$$

onde:

y	é a profundidade,
S _o	é a declividade de fundo,
S _f	é a declividade da linha de energia,
g	é a aceleração da gravidade,

As principais simplificações adotadas na dedução das equações 2.1 e 2.2 são as seguintes:

- fluido incompressível e homogêneo,

- pressão hidrostática na vertical,
- aproximação na declividade de fundo,
- escoamento unidimensional,
- variação gradual da forma das seções transversais,
- declividade da linha de energia obtida por equações do movimento uniforme.

Os modelos são classificados segundo os termos das equações de *Saint Venant* (equações 2.1 e 2.2). Os modelos podem ser do tipo armazenamento, onda cinemática, difusão e dinâmico (TUCCI, 1987).

O tratamento do escoamento na bacia é idealizado por planos de fluxo, onde o escoamento possui largura semi infinita e uma pequena profundidade.

O Hidrograma Unitário foi um dos primeiros modelos apresentados para representar o escoamento superficial na bacia. (TUCCI, 1986). Esta metodologia transforma a precipitação efetiva em escoamento superficial através de um método linear. A metodologia de estimativa das ordenadas do hidrograma unitário identificará se o modelo será conceitual ou empírico.

O tratamento do escoamento dentro da calha do rio admite como conhecidos: o hidrograma de entrada, a contribuição lateral e o hidrograma de saída nas fases de ajuste¹ e verificação² e apenas os dois primeiros na fase de previsão³.

2.1.2 Modelos de Transformação “Precipitação - Vazão”

Os modelos conceituais chuva-vazão são uma expressão matemática das complexas inter-relações entre os vários fenômenos físicos que compõem o ciclo hidrológico, permitindo, para uma dada região, um conhecimento mais claro do movimento da água sob o ponto de vista hidrológico (MAGALHÃES, 1989).

Os dados de entrada normalmente usados nos modelos chuva-vazão são as séries temporais de chuva e de evaporação potencial e os dados relativos à bacia hidrográfica. Através da precipitação conhecida na bacia hidrográfica, o modelo tenta representar a vazão na seção principal. Estes modelos utilizam intervalos de tempo de acordo com o tempo de resposta da bacia hidrográfica, para melhor representar o desenvolvimento do fluxo.

¹ Fase da simulação onde os parâmetros devem ser determinados.

² Simulação do modelo com os parâmetros estimados onde se verifica a validade do ajuste realizado.

³ Simulação do sistema pelo modelo com parâmetros ajustados para quantificação de sua resposta a diferentes entradas

Em relação aos dados relativos à bacia hidrográfica estão incluídos: a área de drenagem, declividades, as características dos solos, a cobertura vegetal, das redes de drenagem, etc. Os dados de saída são as séries temporais de vazões e volume escoado no exutório da área de drenagem em questão.

As séries advindas do sistema real são as vazões observadas no leito do rio, enquanto que as provenientes do sistema simplificado são as vazões que o modelo chuva-vazão é capaz de produzir com as informações fornecidas e com os valores alocados aos parâmetros do modelo. Esses parâmetros aparecem nas equações que procuram descrever os fenômenos físicos do ciclo hidrológico.

Pela comparação entre a resposta do modelo e a resposta do sistema real, os parâmetros do modelo são modificados até que haja uma adequada semelhança entre eles. A partir daí, o sistema simplificado é tido como representativo do sistema real para os objetivos segundo os quais esse sistema simplificado foi concebido e calibrado.

O uso da técnica de simulação com os modelos chuva-vazão pressupõe quatro fases distintas: escolha do modelo, ajuste de seus parâmetros, verificação do modelo ajustado e aplicação.

Um modelo chuva-vazão pode ser usado, dentro de certos limites, para: simular vazões que ocorreram no passado sem registro ou que ocorrerão no futuro breve; estimar como se comporta uma bacia hidrográfica sob um determinado regime de chuva, ou sob novas condições de cobertura vegetal e urbanização.

A modelagem requer o conhecimento detalhado da região onde será aplicada, da estrutura do modelo escolhido e da qualidade dos dados disponíveis.

Os modelos concentrados trabalham com informações que representam valores médios em relação à bacia, ou seja, nenhuma dessas informações apresenta variação espacial. Apenas a variação temporal, se houver, é considerada. Essa hipótese de invariância no espaço não é verdadeira, motivo pelo qual aparecem os modelos distribuídos, onde se considera a variação espacial de algumas informações, discretizando a bacia em segmentos. A maioria dos modelos chuva-vazão são do tipo concentrado e, para levar em conta a variação espacial de algumas informações, usa-se o artifício de subdividir a bacia em várias sub-bacias (MAGALHÃES, 1989).

Cada informação que varie no espaço exigirá do usuário uma subdivisão diferente, levando em conta as informações mais relevantes. Embora o processo de subdivisão da bacia

permita uma representação mais real da região, o modelo ficará com a calibração e a operação mais trabalhosa.

Existe na literatura uma grande quantidade de modelos, que são construídos a partir de componentes (algoritmos) que representam diversos processos envolvidos na modelagem hidrológica, tais como: interceptação da cobertura vegetal, infiltração, propagação da água na superfície e dentro do canal, escoamento subsuperficial, escoamento subterrâneo, etc. A combinação destes algoritmos pode gerar um número infinito de modelos. Cada autor procura estabelecer uma componente em função da sua familiaridade com cada algoritmo de seu conhecimento, sobre os parâmetros e conforme o tipo específico de problema a ser enfrentado. Este problema vai desde a carência de dados até a necessidade de se procurar contemplar de forma diversa um processo que não estivesse bem representado nos modelos disponíveis. (GOLDENFUM, 1991).

2.2 MODELOS DE EROSÃO

A produção de sedimentos depende dos processos hidrológicos e sedimentológicos desenvolvidos na bacia.

Os principais processos hidrológicos envolvem componentes do ciclo hidrológico, tais como a precipitação, a interceptação vegetal, a infiltração e o escoamento superficial na bacia.

Em relação aos processos sedimentológicos, o fenômeno da produção de sedimento é geralmente dividida em duas grandes categorias: a fase vertente e a fase canal (BENNETT, 1974). A fase vertente está intimamente ligada a eventos de precipitação isolada, enquanto que a fase canal é gerida pela interação entre as características hidráulicas do escoamento e pelas propriedades do sedimento.

Existem diversos modelos para avaliar a erosão produzida por uma bacia hidrográfica, dentro de uma escala de tempo pré-determinada. Estes modelos apresentam características e objetivos distintos, o que acarreta maior ou menor nível de precisão nos resultados e nos dados de entrada. Na modelagem do processo de erosão, os modelos podem ser caracterizados nos seguintes tipos: os empíricos, os conceituais e os semi-conceituais.

2.2.1 Modelos Empíricos

Estes modelos correspondem aos modelos do tipo “caixa preta”, onde as funções utilizadas não levam em consideração os processos físicos internos do sistema, contentando-se

em estabelecer relações diretas entre as variáveis de entrada e as de saída. Normalmente, esses modelos indicam a produção anual de sedimento.

A maior parte dos modelos empíricos é composta por equações locais ou regionais, desenvolvidas a partir de um conjunto de dados de uma região; portanto, não podem ser usados além da sua base de dados.

Equações deste tipo são geralmente desenvolvidas utilizando técnicas de regressão múltipla e, portanto, apresentam as limitações estatísticas inerentes a essas técnicas, o que inclui a dificuldade de se interpretar fisicamente os coeficientes de regressão e a exigência de que elas sejam aplicadas estritamente dentro das condições para as quais foram desenvolvidas. Mesmo assim, elas têm, além do seu valor histórico, uma grande importância na definição dos fatores climáticos e físicos de maior influência nos processos hidrossedimentológicos.

Inicialmente, os modelos foram desenvolvidos de maneira a descrever a perda de solos usando uma única variável. Este tipo de modelo só poderia funcionar em local onde os demais fatores agindo no processo de produção de sedimentos se mantivessem relativamente constantes.

Diversas formulações foram desenvolvidas, sendo que HADLEY et al. (1985) destacam as equações de Flaxman, desenvolvida em 1974, para o oeste de EUA; a de Hindall, apresentada em 1976, para o estado de Wisconsin, nos EUA; de Dendy e Bolton, descrita em 1976 - EUA; de Demmak, descrita em 1982, para o Norte da Argélia; e a metodologia do PSIAC ("Pacific Southwest Inter-Agency Committee") apresentada em 1982. Um dos modelos mais usados hoje em dia para estimar a perda de solos, a Equação Universal de Perda de Solos (USLE-Universal Soil Loss Equation) foi desenvolvida por Wischmeier e Smith da década de 50, no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. A USLE pode ser usada para: prever as perdas de solo por erosão; selecionar práticas de conservação do solo de tal forma que sejam mantidas as perdas dentro dos limites aceitáveis; determinar os declives máximos que podem ser cultivados sob determinados manejos e tipos de solo; além de outros.

A Equação Universal de Perda de Solos é expressa matematicamente da seguinte maneira:

$$Y = R \cdot K \cdot LS \cdot CP \quad (2.3)$$

onde:

- Y é a perda de solo anual,
- R é o fator de energia cinética da chuva,
- K é o fator de erodibilidade do solo,

- LS é o fator topográfico,
C é o fator de manejo dos cultivos,
P é o fator de práticas de conservação do solo.

Vários tipos de combinações entre os fatores da equação podem ser feitos para estimar a taxa média de erosão do solo, ou seja, combinações de práticas de manejo associada a um tipo específico de solo, a padrões de chuva e topografia. Quando estas perdas estimadas são comparadas à dada tolerância de perda de solos, elas fornecem diretrizes para efetuar o controle da erosão dentro de limites específicos.

Esta metodologia fornece um valor médio anual da erosão ocorrida, porém não leva em conta os processos de deposição do solo erodido no interior da bacia. Quando se deseja aplicar essa equação a bacias hidrográficas, deve ser levado em consideração o conceito de taxa de retenção de sedimentos, porque, a exemplo da água, os sedimentos sofrem efeitos de retenção e armazenamento no seu percurso (ROEHL, 1962). Assim, a taxa de remoção de sedimentos (“Sediment Delivery Ratio”) é definida por:

$$\text{SDR} = \text{Produção Efetiva} / \text{Produção Bruta} \quad (2.4)$$

onde:

- | | |
|------------------|--|
| Produção Efetiva | representa os sedimentos produzidos pela erosão que chegam até a seção de referência da bacia, |
| Produção Bruta | a erosão total ocorrida na bacia. |

Entretanto, a estimativa da SDR apresenta problemas devido à sua grande variabilidade com as características físicas da bacia (HADLEY et al, 1985).

2.2.2 Modelos Conceituais

Estes modelos são baseados em conceitos e teorias sobre a dinâmica do processo de erosão e fornecem maiores informações sobre a variabilidade da erosão e da carga de sedimentos, no espaço e no tempo, durante um evento, em relação aos outros tipos de modelos (FOSTER, 1972 apud HUSSEIN, 1982).

A importância dos princípios físicos no processo da erosão foi estudado desde 1930. Em 1940, Ellison apresentou várias análises dos sub-processos da erosão, as quais foram de grande valia para a modelagem da erosão. MEYER e WISCHMEYER (1969) apud HAAN (1982) seguindo os conceitos de Ellison, propuseram conceitos mais recentes na modelagem da

erosão nas vertentes (figura 2.2), capaz de descrever sua evolução ao longo da vertente em determinado tempo.

Segundo os conceitos de MEYER e WISCHMEYER, a quantidade de sedimentos que passa na saída da bacia é o resultado da interação entre a capacidade do solo ser arrancado e ser transportado. Esse conceito considera as quatro fases principais do processo de erosão:

- 1) arrancamento devido a chuva;
- 2) transporte devido a chuva;
- 3) arrancamento devido ao escoamento;
- 4) transporte devido ao escoamento.

Atualmente, existe um grande número de modelos para simular os processos de produção e transporte de água e sedimentos em bacias hidrográficas. Na tabela 2.1 são apresentadas de forma resumida as características de alguns modelos de erosão mais conhecidos.

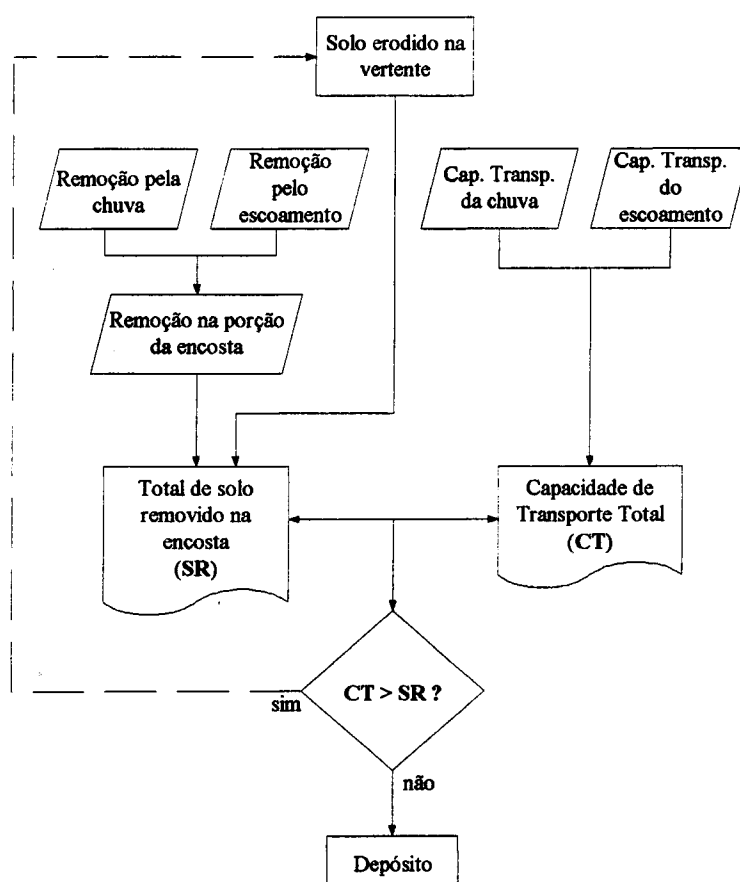


Figura 2.2 - Esquema de MEYER & WISCHMEIER (1969) para representar o fenômeno da erosão do solo pela água.

Tabela 2.1 - Características dos modelos de erosão.

Modelo	Componente Hidrológica	Componente Erosão	Bacia	Canal	Escala Espacial	Escala Temporal
ACTMO (1975)	USDAHL - 74 - infiltração - percolação - esc. superficial - esc. hipodérmico; base	USLE (Onstad & Foster) - erosão em sulcos e entre sulcos - distribuição granulométrica partic. erodidas - erosão ao longo da vertente - material em suspensão	dividida em: - vertente - calha	propagação de vazão: - equação continuidade - função armazenamento	concentrado	dia
CSU (1977)	- infiltração - interceptação - escoamento superficial	- Transporte sedimento p/ cada tipo de partícula; - Cap. transporte: suspensão (Meyer - Peter and Muller) e arraste (Einstein Modificado)	dividida em: - vertente - calha	- propagação de vazões - propagação de sedimento	distribuído	15 min.
ARM (1978)	SWM (1966) - percolação - escoamento superficial - esc. hipodérmico; base	NEGEV - destacamento pelas gotas de chuva e escoamento - material em suspensão	- dividida em 5 tipos de ocupação - perfil solo dividido 4 zonas - área < 5km ²	?	concentrado	5 - 15 min.
CREAMS (1980)	SCSCN - percolação - escoamento superficial - infiltração (Green Ampt)	USLE (Onstad & Foster) - destacamento (Yalin); capacidade transporte - erosão ao longo da vertente - material em suspensão	- homogênea - um só tipo de cultura - um só tipo de prática agrícola	?	?	dia
ANSWERS (1980)	- infiltração (Holtan) - interceptação - escoamento superficial	Meyer & Wischmeier (1969) Foster & Meyer (1972)	dividida em: - vertente - calha	propagação vazão (onda cinemática) e sedimento	distribuído	15 min.
SWRRB (1985)	SCSCN - percolação - esc. superficial - esc. hipodérmico; base	MUSLE (Williams) - produção de sedimento - transporte de sedimento - material em suspensão	dividida em: - sub - bacias - calha	- propagação de vazões - propagação de sedimento	distribuído	dia
MULTISED (19xx)	- infiltração (Green Ampt) - interceptação.	- produção de sedimento (cada faixa granulométrica) - transporte de sedimento - material em suspensão	- "Open Book": sub-bacias, planos, - reservatórios, calha.	- propagação de vazões - cap. de Transporte (Meyer) - mat. suspensão (Einstein)	distribuído	15 min.
RUSLE (19xx)	- Redução de R em declividades baixas - Precipitação relacionada coeficiente de rugosidade	USLE - erosão em sulcos e entre sulcos - K varia sazonalmente - fragmentos de rocha incorporados - modelo de decomposição de resíduos			concentrado	15 dias
WEPP (1992)	SWRRB (1985) - Gerador Climático - infiltração (Green Ampt) - balanço hídrico - esc. sup., evapotranspiração - profundidade percolada	Meyer & Wischmeier (1969) - erosão em sulcos e entre sulcos ao longo da vertente - capacidade de transporte	versão Vertente versão Bacia versão Grade: implementação de Sistema informações geográficas	capacidade de transporte em sulcos por uma aproximação da equação de Yalin (1963)	distribuído	dia

Os modelos conceituais têm muitas vantagens sobre as equações empíricas: possuem geralmente como base a física do processo e, conseqüentemente, podem ser extrapolados com maior segurança; podem representar o processo com fidelidade e são mais precisos para eventos individuais; podem considerar áreas mais complexas e o processo de erosão e deposição em cursos d'água (FOSTER, 1990).

Por outro lado, seu uso fica restrito a condições que permitam o controle da maioria das variáveis e, em geral, necessitam de calibragem de parâmetros com dados observados, o que limita muito o seu uso em regiões com ausência de medições de taxas de erosão. Apesar disto, são vistos como ferramentas cada vez mais importantes, à medida que pesquisas forem fornecendo valores desses parâmetros para diferentes regiões.

2.2.3 Modelos Semi Conceituais

Os modelos semi conceituais são aqueles que procuram representar o processo físico do sistema, porém com um certo grau de empirismo nos parâmetros das equações envolvidas. Pode ser citado como exemplo desse tipo de modelo a Equação Universal de Perda de Solos Modificada (MUSLE).

A MUSLE difere da Equação Universal de Perda de Solos (USLE) pela substituição do fator de erosividade da precipitação por um fator de escoamento, sendo que os fatores K, LS, C e P são ponderados para cada sub-bacia. O fator de erosividade da precipitação representa a energia utilizada apenas para o arrancamento das partículas, enquanto que o fator de escoamento representa a energia utilizada para o arrancamento e transporte de sedimentos. Leva em consideração os processos de deposição dos solos erodidos no interior da bacia e a erosão na própria calha do rio (WILLIAMS e BERNDT, 1977).

A MUSLE é mais precisa para grandes eventos chuvosos do que para os pequenos. Essa característica é considerada na equação pelo processo de otimização, pois os coeficientes A e B são ajustados de maneira a minimizar o erro. Como a magnitude do erro é muito maior para grandes eventos, os grandes eventos influenciam mais os coeficientes da equação. Por esta razão, a equação pode superestimar a produção de sedimentos para pequenas bacias. (WILLIAMS, 1972).

WILLIAMS (1972) comparou a precisão da MUSLE com a USLE utilizando dados de onze pequenas bacias (considerando a SDR e o fator P igual a 1, e os fatores K, LS e C mantidos constantes). A MUSLE explicou 82% e a USLE explicou 47% da variação na produção de sedimentos.

As duas equações foram também comparadas para cinco grandes bacias situadas no Texas. A porcentagem anual média de erro para cada bacia é apresentada na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Comparação entre a MUSLE e a USLE em relação a porcentagem de erro médio anual. (Extraída de WILLIAMS, 1972).

Sub-bacia	Área (km ²)	Porcentagem de erro	
		USLE	MUSLE
1	17,72	43	15
2	4,50	66	37
3	0,71	62	15
4	1,25	59	13
5	0,53	73	24

Segundo WILLIAMS (1975), a USLE superestima a produção média de sedimentos em anos com baixos índices de precipitação e subestima a produção de sedimentos para anos com altos índices de precipitação.

Com o objetivo de atualizar a USLE foi desenvolvida a Equação Universal de Perda de Solos Revisada - RUSLE (RENARD et al, 1991). Esta atualização baseia-se:

- em uma grande revisão de seus parâmetros;
- na complementação de sua base de dados, incluindo a análise de dados não presentes na USLE;
- na análise da base teórica que descreve os processos fundamentais: hidrológicos e de erosão.
- na ampliação da quantidade de parcelas experimentais, com a finalidade de melhorar a representatividade de diferentes faixas de condições climáticas, de solo e de vegetação.

A RUSLE é apresentada sob a forma de programa computacional, necessitando de informações detalhadas sobre a área estudada, o que nem sempre está disponível. Em síntese, os melhoramentos efetuados nesta nova formulação são os seguintes:

- incorporação da variabilidade do fator K ao longo do ano em função do teor de umidade do solo;

- consideração do comprimento da vertente como determinante da formação dos sulcos;
- quantificação da influência da biomassa do sistema radicular na proteção do solo.

Se a RUSLE for corretamente aplicada devem-se obter taxas de erosão mais reais que as da USLE, porém, deve ser considerado o caráter empírico de ambas versões e um relativo grau de incerteza nos resultados obtidos, quando não se dispõe de dados de campo para sua validação (RENARD et al, 1991).

2.3 MODELOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A quantidade de material transportado ou depositado no rio sob uma dada condição é o resultado da interação de dois grupos de variáveis. O primeiro grupo são as variáveis que influenciam a quantidade e qualidade do sedimento existente naquela seção do rio: tamanho, velocidade de sedimentação, peso específico, forma, resistência ao desgaste, estado de dispersão e coesão. O segundo grupo são variáveis que influenciam a capacidade do rio para transportar um dado sedimento:

- Propriedades geométricas do canal: profundidade, largura, forma e alinhamento;
- Propriedades hidráulicas do canal: declividade, rugosidade, raio hidráulico, vazão, velocidade, distribuição da velocidade, turbulência, força de tração, propriedades do fluido e uniformidade da vazão.

A interação entre o escoamento e a partícula de sedimento em relação aos modelos de capacidade de transporte é estabelecida de acordo com os tipos de movimento do sedimento ao longo do canal, podendo ser por: rolamento ou escorregamento no leito, por saltação e suspensão. Essa diferença é importante, pois cada modalidade de transporte hidráulico segue leis diferentes, existindo, portanto, modelos que contemplam cada uma delas, bem como modelos que contemplam todas elas.

1. Existem dois métodos para obtenção da descarga sólida de arraste⁴ ou de material do leito:

- Método Direto: a partir da medição da concentração de sedimentos em suspensão, das características hidráulicas da seção ou trecho do rio e das características do material de fundo.

⁴ Quantidade de carga do leito que passa em uma seção transversal numa unidade de tempo.

- Método Indireto: a partir dos parâmetros hidráulicos da corrente em uma seção ou trecho de rio e das características do material de fundo.

A descarga sólida de arraste representa a menor parte da descarga sólida total. Normalmente corresponde de 5 a 10%, podendo, no entanto, igualar ou superar o valor da descarga em suspensão, no caso de rios que possuam grande largura e pequena profundidade, com sedimento aluvionar (CARVALHO, 1994).

Método Indireto de Estimativa da Descarga Sólida de Arraste

Segundo CHANG (1988) existem várias formulações do transporte de sedimentos sendo que as mesmas podem ser divididas de acordo com as seguintes abordagens:

1. Determinística: é a mais antiga de todas e envolvem a formulação ($\tau-\tau_c$). Aditem que existe uma correlação constante entre variáveis dependentes e independentes. Podem ser citadas as formulações de Du Boys em 1879, Shields de 1936/38, Meyer-Peter e Müller em 1948.
2. Probabilística: baseia-se na previsão do movimento do sedimento; é analisado o comportamento de cada partícula. Ex.: Einstein de 1942/50 e Kalinske em 1947.
3. Potência do Escoamento: relaciona trabalho ou energia gastos por um curso de água e a quantidade de sedimentos transportado pelo escoamento. Ex.: Bagnold em 1966, Engelund-Hansen em 1967, Yalin em 1963.
4. Análise de Regressão: Essa formulação é baseada na otimização computacional de dados observados, usando vários parâmetros adimensionais. Parte do estabelecimento de relações empíricas entre valores de descarga do leito, parâmetros de escoamento e características do sedimento. Esta abordagem possui a desvantagem de mascarar o entendimento físico do processo e, uma vez determinada, só pode ser aplicada em condições semelhantes às quais foram estabelecidas. Ex.: Ackers e White em 1973.

Selecionar a formulação mais adequada é muito importante para a precisão nos cálculos da descarga sólida. Segundo STEVENS e YANG (1989) apud CARVALHO (1994), as seguintes regras podem ser seguidas na seleção de uma fórmula:

- a) determinar o tipo de dados de campo, disponíveis ou mensuráveis, dentro das limitações de tempo, recursos financeiros e de pessoal;

- b) examinar toda a experiência e dados de campo usados para desenvolver e confirmar cada fórmula, fazendo a seleção baseada nas variáveis independentes determinadas segundo o item a;
- c) comparar a condição de campo e as limitações das fórmulas selecionadas segundo o item b. Se mais de uma fórmula pode ser usada, calcular o valor da descarga sólida por cada uma delas e em seguida comparar os resultados;
- d) decidir quais as fórmulas que melhor se ajustam à descarga sólida medida, usando essas fórmulas para o cálculo dentro das condições de escoamento que não são medidas.

A avaliação da qualidade de uma metodologia não só depende da sua formulação, como também no fato de que o transporte de sedimentos na natureza é extremamente difícil de se medir com precisão.

A tabela 2.3 mostra um resumo das principais fórmulas para cálculo da descarga de arraste.

Tabela 2.3 - Fórmulas de cálculo da descarga de arraste (Extraída de CARVALHO, 1994)

Fórmula	Data	Obs. (1)	Tipo de Fórmula (2)	Tipo de Sedimento (3)	Granulometria (4)
Ackers e White	1973	BM	D	S	S, G
Colby	1964	BM	D	S	S
Einstein (carga do leito)	1950	B	P	M	S, G
Einstein (material do leito)	1950	BM	P	M	S
Engelund e Hansen	1967	BM	D	S	S
Kalinske	1947	B	D	M	S
Laursen	1958	BM	D	M	S
Meyer-Peter e Müller	1948	B	D	S	S, G
Rottner	1959	B	D	S	S
Schoklitsh	1934	B	D	M	S, G
Toffaleti	1968	BM	D	M	S
Yang (areia)	1973	BM	D	O	S
Yang (pedregulho)	1984	BM	D	O	G

- (1) Movimento da Carga Sólida (B) ou Características do Material (BM)
- (2) Determinística (D) ou Probabilística (P),
- (3) Fração Granulométrica (S), Composição ou mistura (M) ou Opcional (O),
- (4) Areia (S) ou Pedregulho (G),

3.1 CONCEITOS

Um sistema de informações geográficas é um conjunto de ferramentas para a obtenção, armazenamento, recuperação, transformação e edição de dados espacialmente distribuídos (BURROUGH, 1986).

Segundo o NACIONAL CENTER FOR GEOGRAPHIC INFORMATION AND ANALYSIS (1990) apud SENDRA (1992), um sistema de informações geográficas (SIG) é um sistema de “hardware”, “software” e procedimentos elaborados para facilitar a obtenção, gestão, manipulação, análise, modelagem, representação e saída de dados espacialmente referenciados, a fim de auxiliar na resolução de problemas complexos de planejamento e gestão.

Um SIG é, entre outras coisas, um programa computacional com funções específicas, que podem ser resumidas nos seguintes subsistemas ou componentes lógicos (figura 3.1):

- Funções de entrada de informação: procedimentos que permitem converter a informação geográfica do formato analógico, proveniente do mundo real (em especial na forma de mapas), em formato digital, de modo que possam ser manejadas através do computador;
- Funções para a saída, representação gráfica e cartográfica da informação: atividades que servem para mostrar ao usuário os próprios dados incorporados na base de dados do SIG e os resultados das operações analíticas realizadas sobre eles. Permite obter mapas, gráficos, tabelas numéricas, entre outros;
- Funções de gestão da informação espacial: permitem obter, a partir da base de dados, as informações que interessam a cada momento, sendo possível reorganizar todos os dados armazenados de diversas maneiras.
- Funções analíticas: são os elementos mais característicos de um SIG. É possível obter um maior número de informações através da manipulação das informações armazenadas, utilizando funções específicas, tais como: superposição, reclassificação, funções estatísticas, etc.. Mediante a combinação apropriada das informações armazenadas, podem ser construídos os “modelos cartográficos”, os quais permitem resolver grande número de questões problemáticas de caráter espacial.

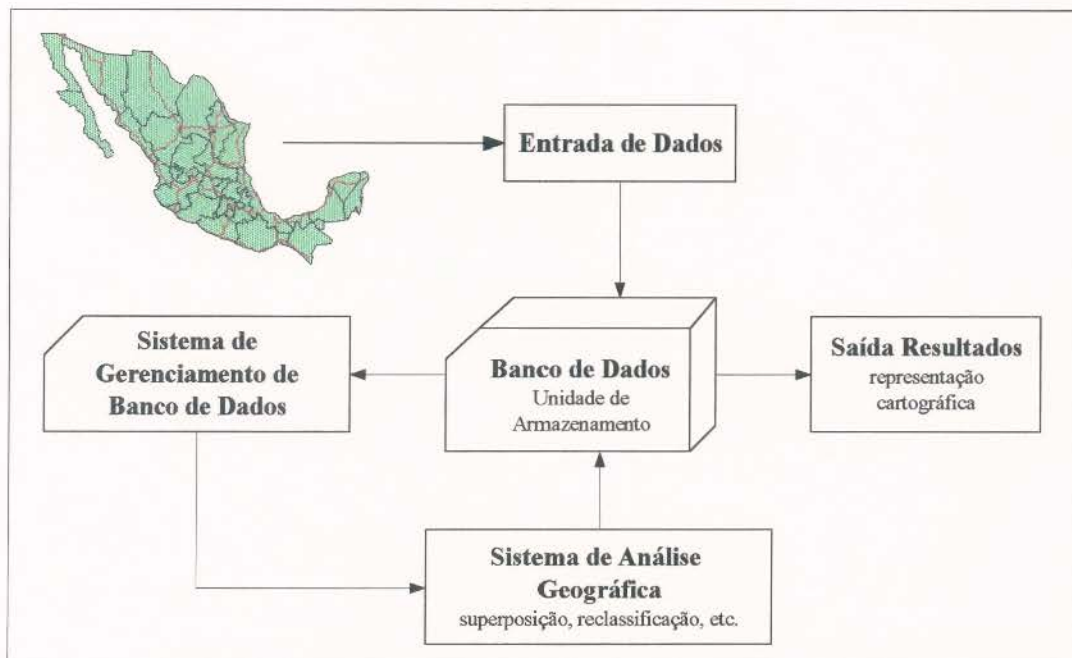


Figura 3.1 - As funções de um Sistema de Informações Geográficas (Extraída de SENDRA, 1992).

Existem dois tipos de formatos usados para a codificação e armazenamento de dados: a representação “raster” e a representação “vetorial”.

A representação “raster” (ou varredura) consiste de um conjunto de células localizadas em coordenadas contíguas implementadas como uma matriz bi-dimensional. Cada célula, também denominada pixel, é referenciada por índices de linha e coluna, contendo um número representando o valor do atributo mapeado. Este formato é utilizado nas operações de superposição e comparação de vários conjunto de dados ou informações.

A representação “vetorial” é, em geral, o resultado da digitalização manual de mapas. Consiste, normalmente, de listas de coordenadas bi-dimensionadas, isto é, pares (x,y) que delimitam regiões temáticas ou representam redes. A representação vetorial de um objeto é uma tentativa de representá-lo tão fielmente quanto possível, procurando definir precisamente todas as posições, comprimentos e dimensões das entidades geográficas. Este tipo de representação de dados faz uso dos seguintes elementos básicos: ponto, arco, nó e polígono.

A representação vetorial possui grande precisão gráfica e necessita de pouco espaço de armazenamento na memória do computador. A representação raster, por possuir estrutura de dados simples, permite alterações com maior facilidade, pois só implica em apagar alguns valores da grade e substituí-los pelos novos valores, enquanto que na vetorial as coordenadas e conexões terão de ser substituídas. A principal vantagem do formato raster é a possibilidade de

cruzamentos, com a sobreposição e combinação dos dados obtidos por satélite, de forma facilitada.

Em muitas aplicações práticas, é necessária a superposição de vários mapas temáticos, contendo diferentes tipos de informação (topografia, tipo de solo, rede de drenagem, etc.). A forma mais eficiente de fazer essa superposição é trabalhar com uma base de dados em formato raster. Portanto, se a informação original está no formato vetorial, será preciso fazer a conversão para o formato raster. No processo de conversão, o tamanho da célula da representação raster (pixel), é um fator importante, pois ele deve ser pequeno em relação à resolução espacial dos temas dos mapas, especialmente em áreas pequenas.

3.2 MODELO NUMÉRICO DO TERRENO (MNT)

Qualquer representação numérica do relevo de uma superfície por meio de pontos individuais pode ser chamada de Modelo Numérico do Terreno - MNT. (BURROUGH, 1986).

Um MNT geralmente representa a topografia do terreno, porém, na realidade, se pode criar um MNT de qualquer fenômeno ou grandeza, desde que cumpra características mínimas, quais sejam, essencialmente, a continuidade espacial da variação, sem que existam saltos bruscos do valor do fenômeno estudado. Deste modo, muitos outros aspectos físicos/naturais, tais como precipitação, temperatura, composição litológica ou mineral, acidez ou basicidade dos solos, podem ser representados e analisados em um MNT (CEBRIÁN e MARK, 1986 apud SENDRA, 1992).

Segundo BURROUGH (1986), podemos descrever as informações referentes ao relevo de uma superfície através de modelos matemáticos ou por modelos discretizados em pontos e/ou linhas.

Os métodos usados para capturar e armazenar os dados de altitude podem ser agrupados de quatro maneiras básicas: grade regular, contornos, perfis e rede irregular triangular. Os dados do MNT são gerados a partir de mapas de contorno existentes, através de medições diretas sobre pares estereoscópicos de fotografias aéreas e, mais recentemente, por análise automática de dados de satélite.

Os dados de um MNT são comumente fornecidos no formato grade, no qual o valor pontual da altitude é armazenada em cada célula (formato raster). Outro método utilizado é o de pontos de altitude irregularmente espaçados, que representa a topografia através de uma rede de superfícies triangulares. Neste tipo de representação, os dados de altitude podem ser armazenados e manipulados usando a representação vetorial.

A rede irregular triangular (TIN) é baseada em um conjunto de pontos de altitude irregularmente espaçados, sendo que conjunto de superfícies é ajustado a esses pontos. Os pontos que formam os vértices de cada superfície triangular são usados para calcular parâmetros como a declividade e outros.

A superfície topográfica também pode ser representada por perfis longitudinais, mostrando a altitude dos pontos ao longo de uma série de linhas paralelas e, por último, as curvas de nível digitalizadas (contornos). Nesta metodologia, a superfície topográfica é representada por uma série de pontos tomados ao longo dos contornos individuais; estes podem ser digitalizados de um mapa topográfico ou através de pares estereoscópicos de fotografias aéreas.

Embora os dados de altitude possam ser convertidos de um formato a outro, neste processo pode haver alguma perda de informação, reduzindo desta maneira os detalhes da superfície topográfica (CARTER, 1988a, b apud ARONOF, 1989).

Quando os dados obtidos por qualquer um dos processos citados anteriormente estão irregularmente espaçados, a estimativa dos valores em locais sem dados é feita através do processo de interpolação, obtendo-se, desse modo, uma matriz regular de altitudes. Existem diversos métodos de interpolação, cada um mais adequado a uma determinada finalidade. Em se tratando de modelagem de altitudes de superfície, o interpolador mais apropriado é o de variação espacial gradual (RISSO, 1993). Este método de interpolação pode ser dividido em métodos de ajuste global e local.

Nos métodos de ajuste global, o modelo é construído utilizando-se toda a amostra disponível. Este tipo de interpolador é mais indicado para a modelagem de fenômenos com grande intervalo de variação do fenômeno estudado, enquanto que os métodos de ajuste local são mais indicados para o estudo de fenômenos com pequeno intervalo de variação (por exemplo: modelo de altimetria), pois analisam a informação referente aos dados localizados na vizinhança do ponto a ser interpolado.

3.3 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas que analisam e gerenciam os dados espaciais. Estas ferramentas foram originalmente desenvolvidas para facilitar a cartografia. Hoje elas estão sendo usadas por gerenciadores, pesquisadores, engenheiros civis e ambientalistas para análise de inventários, estimativas, planejamento e modelagem. A modelagem hidrológica superficial inclui processos como: produção e propagação de vazão, de sedimentos e de poluentes em bacias hidrográficas. Esses processos possuem grande complexidade e variabilidade; contudo, através do uso dos SIG, tais processos tem sido tratados com grande precisão e rapidez.

Vários estudos tem sido realizados utilizando os SIG. DE SÁ (1995) propôs metodologia de integração do modelo distribuído ANSWERS com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para auxiliar na determinação das características físicas e entrada de dados do modelo nas bacias do rio Forquetinha e Potiribú, no Rio Grande do Sul. Os resultados mostraram que os procedimentos usados oferecem flexibilidade para a enorme quantidade de informações produzidas pelo modelo. O modelo distribuído mostrou-se aceitável na estimativa do volume e pico de eventos em algumas pequenas bacias rurais, considerando-se a estimativa de seus parâmetros com base apenas em dados físicos.

RISSO (1993) propôs metodologia para estimar o potencial de erosão do solo em pequenas bacias. A USLE e MUSLE foram implementadas em um SIG, usando como dados de entrada, informações colhidas de diversas fontes, incluindo imagens digitais de satélite. Os resultados mostraram que a metodologia proposta é uma eficiente ferramenta para a estimativa da produção de sedimentos em bacias hidrográficas.

HRISSANTHOU (1988) apresentou um modelo de simulação para o cálculo da produção de sedimentos em vertentes e canais, utilizando eventos diários. O modelo utiliza: componente hidrológica para estimar os parâmetros de escoamento da USLE, fator de erosividade da chuva, capacidade de transporte nas vertentes e no canal. O modelo foi aplicado em uma bacia de 1500 km², situada na Alemanha. A bacia foi discretizada em 88 sub-bacias. Os valores estimados pelo modelo foram comparados com um outro estudo realizado pelo mesmo autor em 1986, na mesma área. HRISSANTHOU (1986) utilizou a mesma metodologia, porém sem propagação no canal. Neste estudo, a bacia foi dividida em 85 elementos, utilizando grades quadradas de 25 km² (5km x 5km).

HRISSANTHOU (1988) encontrou resultados muito melhores discretizando a bacia em elementos independentes e utilizando o conceito de capacidade de transporte do sedimento no canal. Segundo o autor, a simetria geométrica utilizando grades quadradas facilita o cálculo do modelo, porém não representa a realidade do sistema natural da bacia.

O Modelo Numérico do Terreno aliado às técnicas de Sensoriamento Remoto são metodologias já consagradas e se constituem em ferramentas extremamente úteis e poderosas para a identificação rápida das características não mutáveis (morfologia e pedologia) e mutáveis (cobertura vegetal e uso do solo) de uma bacia contribuinte as quais condicionam os aportes de água e sedimentos a um local de interesse.

O SIG possibilita a sobreposição de vários parâmetros, como por exemplo os parâmetros da USLE, armazenados em diferentes planos de informação. Este tipo de sobreposição de informação permite a aplicação de operadores lógicos ou matemáticos entre os diferentes planos de informação. Dessa forma para estimar as diferentes zonas de erosão superficial na bacia utilizando a USLE, basta sobrepor os planos de informação, referentes a erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), morfologia do terreno (fator LS) e cobertura do solo (fator CP) da USLE, conforme é apresentado na figura 3.2.

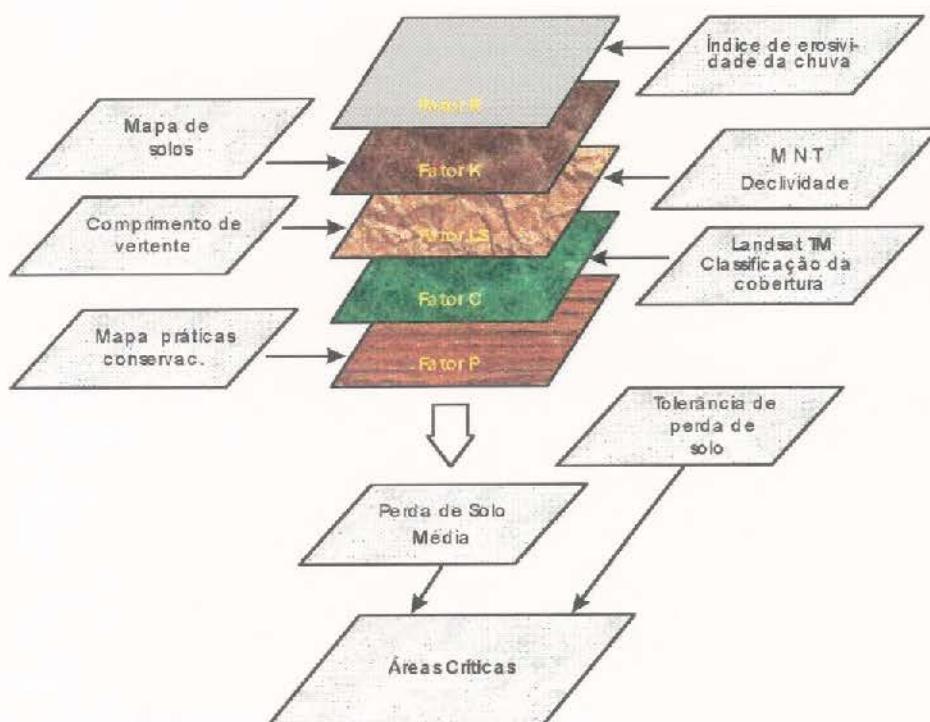


Figura 3.2 - Esquema ilustrativo da estimativa da erosão através da USLE.

4

METODOLOGIAS UTILIZADAS

4. METODOLOGIAS UTILIZADAS

4.1 INTRODUÇÃO

No processo da produção de sedimentos em bacias hidrográficas é sabido que somente uma fração do sedimento erodido nas vertentes encontrará o caminho da saída da bacia. Depósitos e armazenamentos permanentes ou temporais podem ocorrer na vertente, particularmente quando os gradientes diminuem na base das mesmas, ou no próprio canal. A magnitude desta perda tende a aumentar com o aumento da área da bacia. Deste modo a quantificação do processo de erosão pode ser efetuado mais precisamente se for aplicado em pequenas áreas.

Há necessidade de pesquisas que busquem um melhor entendimento do processo de erosão e sedimentação envolvidos desde o momento em que a partícula de sedimento deixa a área na qual foi produzida até alcançar o sistema de drenagem.

Partindo dessa premissa, o estudo busca validar um modelo de produção de sedimentos para a área estudada. Para isso, serão implementadas metodologias para a avaliação da produção de sedimentos dentro do modelo IPHS1, o qual permite a discretização da bacia em sub-bacias e trechos de canal.

O item 4.2 apresenta resumidamente a metodologia adotada pelo modelo de simulação Precipitação-Vazão IPHS1, cuja descrição e conceitos relacionados às metodologias citadas em cada módulo podem ser encontradas em TUCCI et al (1989).

O modelo proposto recebeu o nome de IPHS1-MEERC (Modelo de Estimativa da Erosão em Regiões de Cabeceira) e, assim como o modelo IPHS1, utiliza a linguagem FORTRAN.

O modelo IPHS1-MEERC é do tipo semi-conceitual e foi elaborado para determinar a produção de água e sedimentos em bacias hidrográficas durante um evento chuvoso. Os principais parâmetros de entrada são: o hietograma de chuva, a geometria da bacia e de sua rede de drenagem e as características do sedimento. Os dados de saída são: o hidrograma e o sedimentograma num ponto qualquer na bacia de drenagem.

O modelo permite a discretização da bacia em sub-bacias e canais. A saída da sub-bacia torna-se a entrada do trecho de canal. A produção de sedimentos da bacia inteira é determinada através da composição da perda de solo em cada sub-bacia e da propagação dos sedimentos em cada trecho de canal simulado. A figura 4.1 apresenta uma esquematização do modelo proposto.

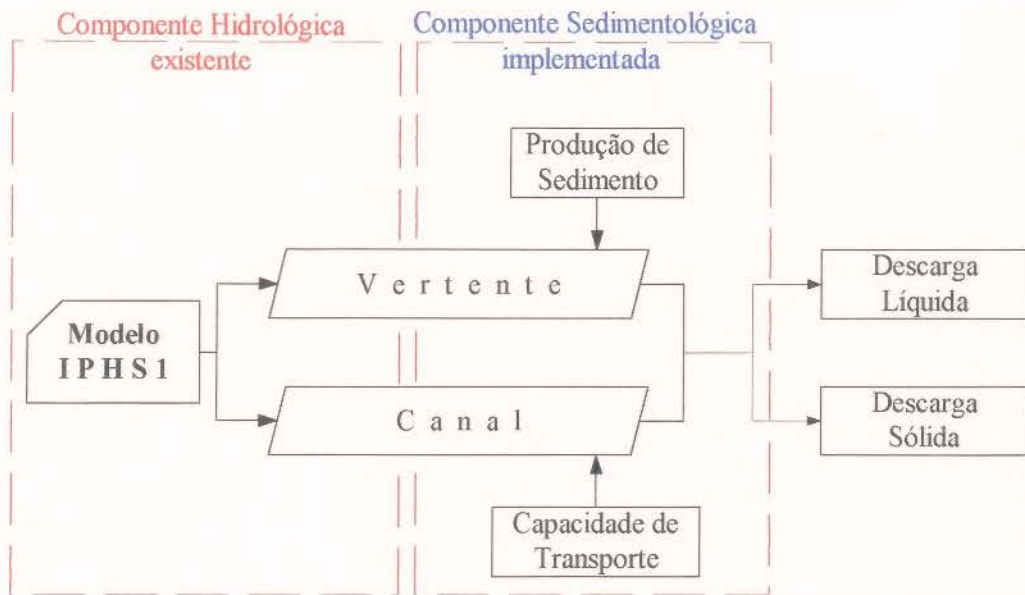


Figura 4.1 - Esquemática do modelo proposto: IPHS1-MEERC

A metodologia proposta neste trabalho é adaptada dentro de um modelo hidrológico já disponível, o qual utiliza metodologias hidrológicas já consagradas. No item 4.3 são apresentadas com mais detalhe as componentes do modelo proposto.

4.2 ESTRUTURA DO MODELO IPHS1

Este modelo, feito em linguagem FORTRAN, permite representar a discretização do sistema em dois módulos: bacia e rio. A sua característica modular permite a subdivisão da bacia em um grande número de sub-bacias. O sistema pode efetuar as seguintes operações:

- escoamento em rios,
- propagação em reservatório,
- transformação precipitação-vazão na bacia,
- entrada, soma ou derivação de hidrogramas.

Para cada uma destas opções o usuário deve fornecer as características físicas da bacia e do rio e os dados de chuva e vazão. O modelo compõe os resultados de acordo com a numeração sequencial informada pelo usuário. Cada número identifica o hidrograma resultante no final da bacia ou trecho de canal.

O sistema é formado por três componentes, conforme apresentado na figura 4.2:

- 1ª. Leitura/entrada de dados,
- 2ª. Modelos,

3ª. Impressão e graficação.

A *primeira* componente permite a entrada de informação com a criação de arquivos contendo os parâmetros, os dados hidrológicos e/ou características físicas da bacia.

A *segunda* componente está dividida em dois módulos: bacia e rio. Cada módulo é formado por sub-módulos que realizam operações hidrológicas específicas. Por sua vez, cada sub-módulo apresenta como opções diferentes algoritmos de cálculo. A componente bacia é composta pelos seguintes algoritmos: precipitação, separação de escoamento, escoamento superficial e subterrâneo. A componente rio possui os seguintes algoritmos: escoamento em rios, em reservatórios e em divergências.

A *terceira* e última parte do sistema é a da saída, que tem por finalidade apresentar os dados utilizados e os resultados numéricos e gráficos, quando solicitados.

ENTRADA DE DADOS

Características Físicas da bacia

Dados Hidrológicos

Parâmetros hidrológicos

MODELOS

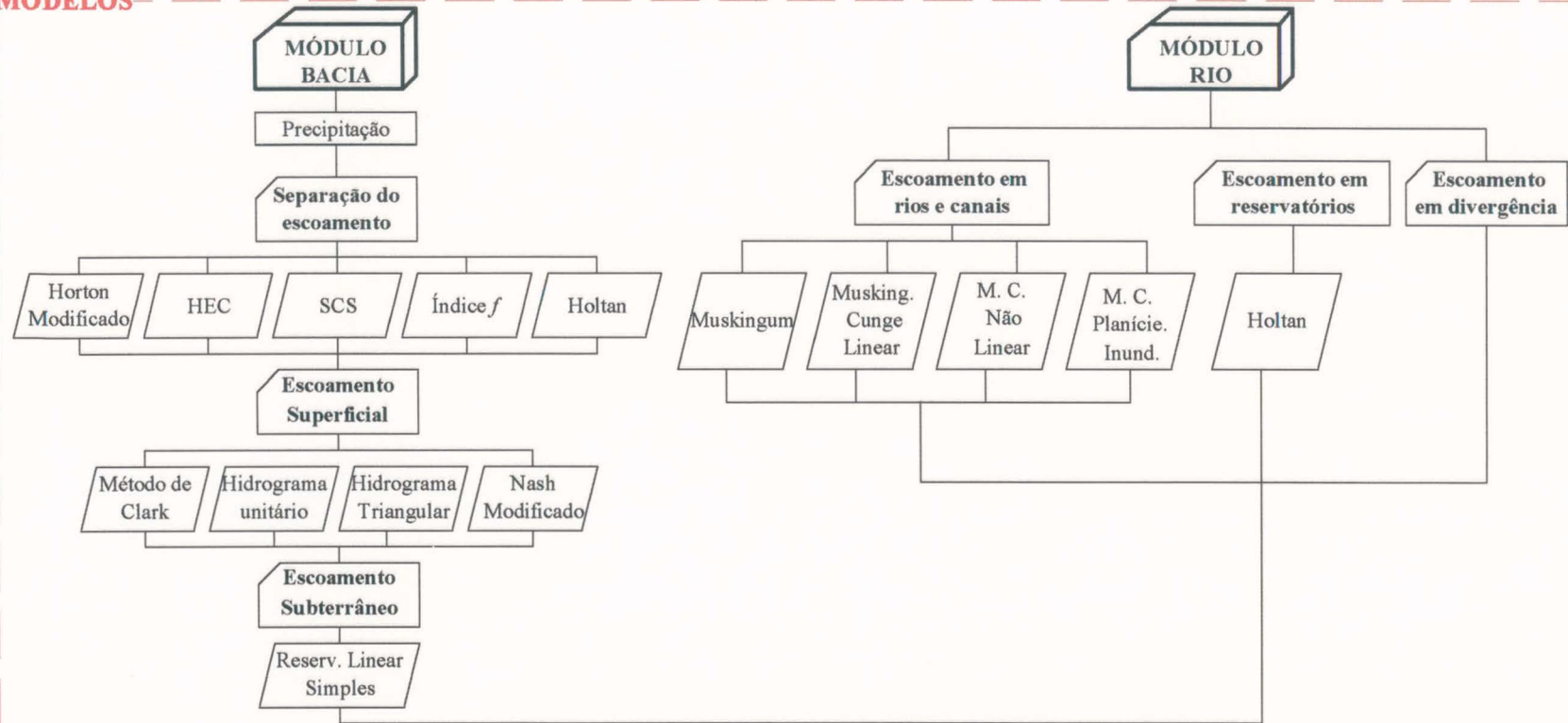


Figura 4.2 - Fluxograma do modelo IPHS1.

4.3 ESTRUTURA DO MODELO PROPOSTO

O modelo contempla duas fases: a fase vertente e a fase canal. Na figura 4.3 é apresentado um esquema das componentes hidrológicas e sedimentológicas implementadas no modelo IPHS1, baseada na figura anterior (figura 4.2).

Maiores detalhes a respeito da metodologia empregada para a transformação chuva-vazão são encontrados em TUCCI et al (1989).

A seguir, são apresentados, detalhadamente, as componentes implementadas em relação a cada fase:

Fase Vertente:

Nesta fase, a produção de sedimentos nas sub-bacias é avaliada através da Equação Universal de Perda de Solos Modificada (MUSLE). Os fatores K, LS e CP são estimados a partir de Técnicas de Geoprocessamento.

Os parâmetros hidrológicos de entrada da MUSLE, vazão de pico e volume escoado, são determinados através da componente hidrológica do modelo IPHS1, partindo de eventos isolados com intervalos de tempo diários.

Os coeficientes α e β da MUSLE foram estimados a partir de leis de regressão baseadas na série histórica das medições de descarga sólida. Este procedimento é descrito no item 5.3.3.

Fase Canal:

Nesta fase, a vazão e o aporte sólido produzidos pela componente vertente são propagados no trecho do rio.

A metodologia utilizada para propagação de vazões é a de Muskingum-Cunge Linear, já existente na fase hidrológica do modelo IPHS1.

O aporte sólido advindo da componente vertente é comparado com valores calculados através de fórmulas de capacidade de transporte de material de fundo, para cada intervalo de tempo do evento. O balanço de sedimentos permite estabelecer o comportamento do trecho do rio durante o evento, ou seja, se ocorre erosão, transporte ou depósito do material disponível. (Figura 4.4).

Para efetuar o balanço de sedimentos foram implementadas duas metodologias: a fórmula de Meyer-Peter e Müller em 1948 e a de Einstein em 1950. Também foram implementadas rotinas para o cálculo das variáveis do escoamento: profundidade média do rio (H), raio hidráulico (RH) e velocidade média (Vm).

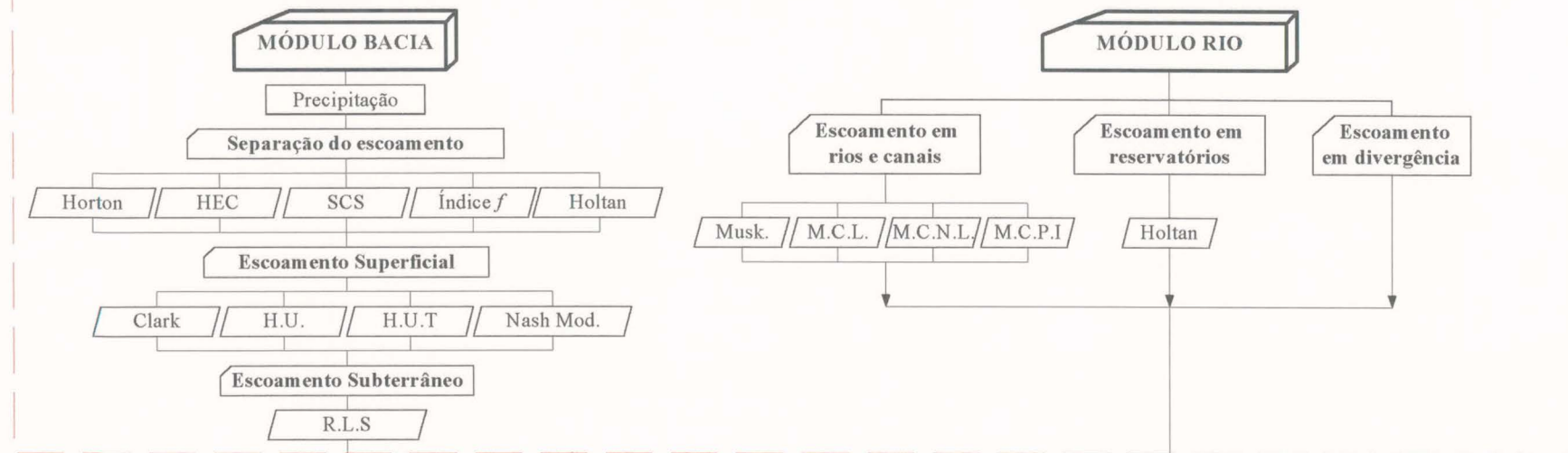
ENTRADA DE DADOS

Características Físicas da bacia

Dados Hidrológicos

Parâmetros hidrológicos e sedimentológicos

COMPONENTE HIDROLÓGICA



COMPONENTE SEDIMENTOLÓGICA



RESULTADOS

Impressão resumida

Impressão extensa

Graficação

Figura 4.3 - Esquematização do modelo proposto.

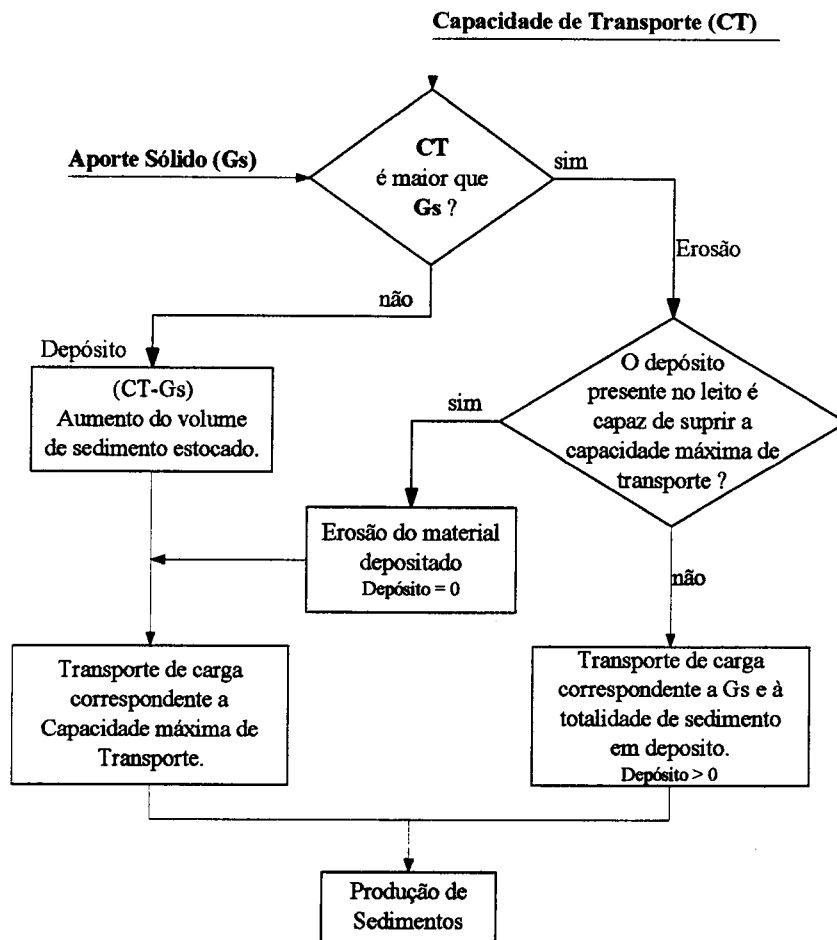


Figura 4.4 - Esquema representativo do balanço de sedimentos efetuado em um trecho de canal.

O aporte de sedimentos em um trecho de canal é o resultado da aplicação da MUSLE às vertentes a montante desse trecho. A fim de podermos avaliar o trânsito desse material na calha fluvial torna-se necessário estimar uma porcentagem de material passível de ser transportado em arraste e outra em suspensão. Para tanto, lançando mão dos registros históricos de descarga sólida medida, estimou-se o percentual da carga sólida em arraste e em suspensão, os quais foram aplicados ao aporte sólido. Desse aporte calculado, a parcela passível de constituir a carga em arraste (%Arra = Y arraste) é comparado com a capacidade de transporte, enquanto que a parcela em suspensão (%Susp = Y suspensão) transitará livre pelo trecho (figura 4.5).

Finalmente, após serem efetuadas todas as operações hidrossedimentológicas, o sedimento produzido por cada evento é comparado com valores medidos na saída da bacia. A figura 4.5 apresenta a estrutura computacional do modelo IPHS1- MEERC e as metodologias utilizadas de acordo com as componentes hidrológicas e sedimentológicas.

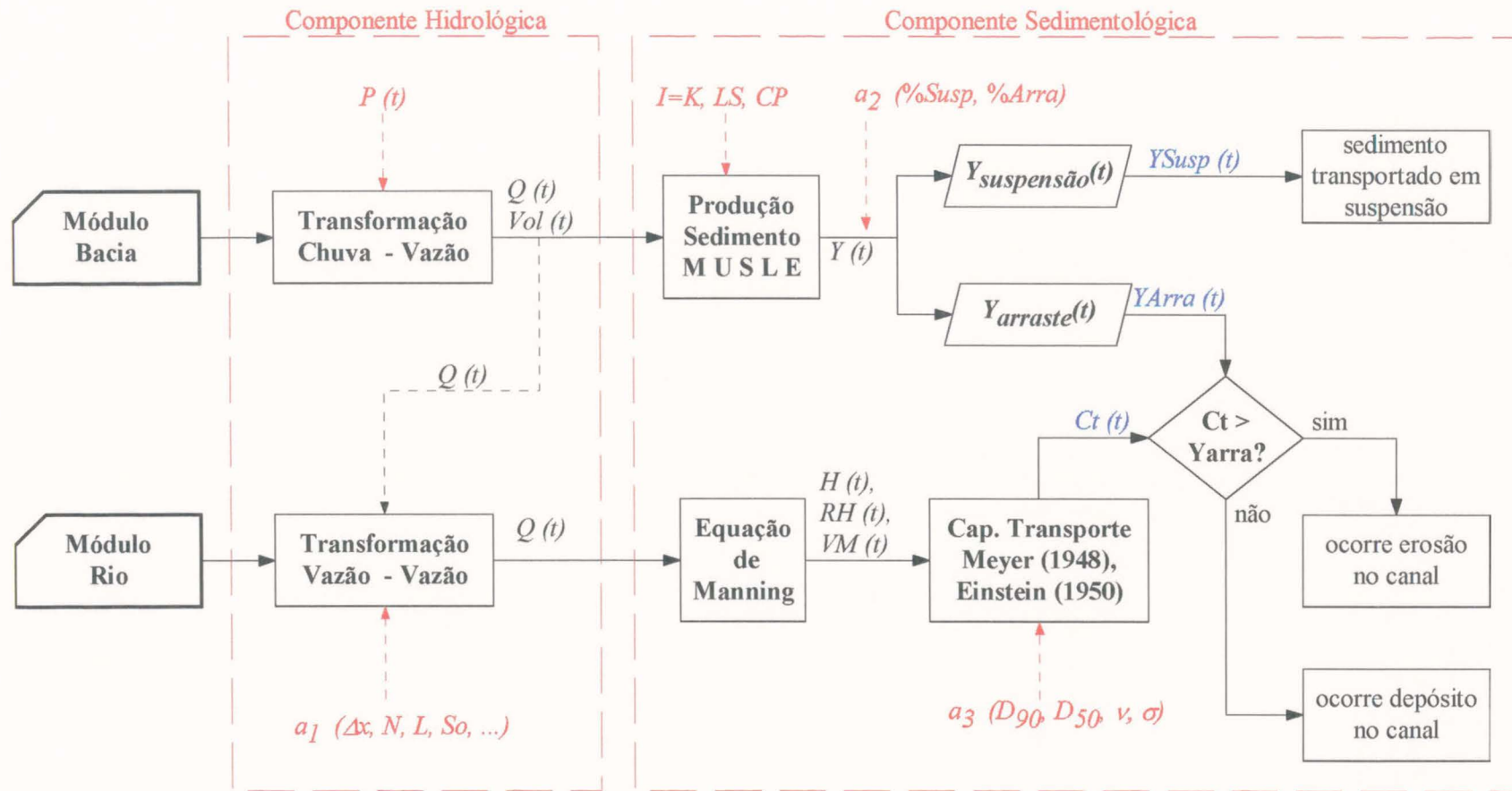


Figura 4.5 - Estrutura Computacional do modelo proposto.

4.4 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS MODIFICADA

A MUSLE é expressa matematicamente por:

$$Y = \alpha \cdot (Q \cdot Q_p)^\beta \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (4.1)$$

onde:

- Y é a produção de sedimentos (ton),
- Q é o volume escoado superficialmente (m³),
- Q_p é a vazão de pico do hidrograma de cheia (m³/s),
- α e β são coeficientes ajustados por otimização.

Segundo WILLIAMS (1975) o valor dos coeficientes α e β, são respectivamente 11,8 e 0,56.

- Fatores Hidrológicos (Q e Q_p)

Podem ser obtidos a partir de observações de campo. Porém, no caso de ocorrer a impossibilidade de realizar-se campanhas de medição, podem ser estimados a partir de modelos que transformam precipitação em escoamento superficial, já que há maior facilidade de medição de chuva do que de vazão, além da rede pluviométrica estar melhor distribuída espacialmente nas bacias hidrográficas.

- Fator de Erodibilidade do solo (K)

Este fator engloba as características intrínsecas de cada tipo de solo face à erosão. Reflete o fato de que diferentes tipos de solos possuem diferentes taxas de erosão, se outros fatores envolvidos nesse processo são mantidos constantes.

O fator K tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expresso, como a perda de solo (Y), por unidade de índice de erodibilidade da chuva (R), quando as condições de relevo e vegetação são consideradas constantes, ou seja, na expressão (4.1) os fatores LS, C e P valem 1.

Este fator aplicado a uma bacia, é estimado pela ponderação dos valores de K para cada um dos tipos de solo nela presente, em função da área coberta pela mancha (tipo) de solo, através da seguinte equação:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot DA_i}{DA} \quad (4.2)$$

onde:

- K é o fator de erodibilidade médio para a bacia,
- K_i é o fator de erodibilidade do solo i ,
- DA_i é a área coberta pela mancha do solo i dentro da bacia,
- DA é a área total da superfície de drenagem da bacia,
- n é o número total de solos presentes na bacia.

- Fator topográfico (LS)

Representa as condições topográficas da vertente. WISCHMEIER e SMITH (1978) definem o comprimento da vertente (L) como sendo a distância entre o ponto onde se origina o escoamento superficial até o ponto onde a declividade decresce o suficiente para que ocorra a deposição de sedimentos ou onde a água entra no sistema de canais de drenagem (naturais ou artificiais). O gradiente de declividade (S) representa a variação da declividade em intervalos da vertente, sendo expresso em porcentagem.

O fator topográfico (LS) é estimado pela equação:

$$LS = \left(\frac{x}{22,13} \right)^m (0,065 + 0,045 s + 0,0065 s^2) \quad (4.3)$$

onde:

- LS é o fator topográfico,
- x é o comprimento de vertente em metros,
- s é o gradiente da vertente em porcentagem.

Os experimentos desenvolvidos por WISCHMEIER e SMITH (1978) sugerem os seguintes valores para o expoente m:

- m = 0,5 se a declividade $\geq 5 \%$;
- m = 0,4 se a declividade 3 % - 5 %;
- m = 0,3 se a declividade 1 % - 3% e
- m = 0,2 se a declividade $< 1 \%$.

- Fator de Uso e Manejo do Solo (C)

Representa a razão entre a perda de solo que ocorre em uma área com uma dada cobertura e aquela que ocorre em uma área mantida continuamente descoberta. Se uma determinada área estiver cultivada, as perdas de solo serão menores do que se a mesma

estiver descoberta. Essa redução depende das combinações da cobertura vegetal, da seqüência de culturas, da prática de manejo, do estágio de crescimento e do desenvolvimento da cultura durante o período de chuvas (BERTONI e LOMBARDI, 1985).

Esse fator é calculado somente em áreas de manejo agrícola e também será ponderado de acordo com a área de abrangência de cada tipo de cultivo dentro da bacia. O fator C é calculado por:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot DA_i}{DA} \quad (4.4)$$

onde:

- C é o fator de uso e manejo do solo,
- C_i é o fator de uso e manejo do solo para cultura i ,
- DA_i é a área de drenagem entre as isolinhas,
- DA é a área de drenagem da bacia.

- Fator Práticas Conservacionistas (P)

Refere-se à influência das práticas de conservação dos solos sobre as taxas de erosão em uma parcela quando se realizam trabalhos culturais: disposição da vegetação seguindo curvas de nível, em faixas ou em terraços, a fim de reduzir o efeito do escoamento superficial. Esse só é aplicável em áreas onde haja cultivo agrícola. Em outras palavras, o fator P é um ponderador do fator C em situações especiais de uso e manejo do solo.

Para determinar o valor P numa bacia, somente a área cultivada é considerada. A área cultivada é dividida em três categorias de acordo com a prática de controle à erosão. As três categorias são: fileira reta, fileira reta com canal vegetado e terraços. A equação para o cálculo do valor de P para uma bacia é:

$$P = (1,0 \cdot SR) + (0,30 \cdot SRWW) + (0,1 \cdot T) \quad (4.5)$$

onde:

- SR é a área cultivada com fileira reta,
- SRWW é a área cultivada com fileira reta com canal vegetado,
- T é a área da bacia que é terraceada.

4.5 CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE MATERIAL DE FUNDO

4.5.1 Metodologia de Meyer Peter e Müller (1948)

A Equação de transporte de sedimento desenvolvida por MEYER-PETER e MÜLLER foi estabelecida a partir de experimentos com partículas de areia, cascalho natural, lignita e barita, com diâmetros variando entre 0,4 e 30 mm.

A equação é do tipo determinística e envolve a formulação $(\tau-\tau_c)$, ou seja, se a tensão de cisalhamento ultrapassar seu limite crítico, as partículas são arrancadas do leito e movimentadas pelo escoamento. Baseia-se na hipótese de que uma parte da energia do escoamento é empregada no transporte sólido e outra parte no transporte líquido (SIMONS & SENTÜRK, 1977).

$$\gamma \frac{Q_s}{Q} \left(\frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} H I = 0,047(\gamma_s - \gamma) d + 0,25 \left(\frac{\gamma}{g} \right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{2/3} q_s^{2/3} \quad (4.6)$$

onde:

Q_s / Q é um coeficiente de correção do efeito das paredes (Se $L > 10h$ pode ser desprezado),

K_s / K_r é um coeficiente de correção da rugosidade do grão e da forma de fundo, sendo calculado por: $\frac{K_s}{K_r} = \frac{v}{u_*} \sqrt{\frac{f}{8}}$,

q_s é a descarga sólida do leito,

d é o diâmetro médio da composição do leito.

4.5.2 Metodologia de Einstein (1950)

EINSTEIN (1950) apud PAIVA (1988) desenvolveu um método para estimar a descarga de material de fundo, para diferentes vazões, a partir dos dados da seção transversal e de amostras de material de fundo, em um trecho selecionado de rio, com escoamento uniforme.

A metodologia está baseada na condição de equilíbrio existente entre as partículas que estão em repouso e as que estão em movimento, ou seja, o número de partículas depositadas por unidade de tempo e por unidade de área do leito, deve ser igual ao número de partículas erodidas por unidade de tempo e de área do leito (CHANG, 1988).

Todo método está baseado na probabilidade de remoção das partículas, definida por EINSTEIN (1950) como a fração do tempo durante o qual, em qualquer lugar, a força de

sustentação instantânea excede o peso da partícula, ou seja, a probabilidade da relação entre o peso efetivo da partícula e a força de sustentação instantânea menor que 1 (PAIVA, 1988).

O cálculo da descarga sólida é feito individualmente para cada faixa granulométrica da mistura e totalizado pela soma dos cálculos parciais.

A equação é expressa matematicamente por:

$$1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-B_* \Psi_* - 1/\eta_0}^{+B_* \Psi_* - 1/\eta_0} e^{-t^2} dt = \frac{A_* \Phi_*}{1 - A_* \Phi_*} \quad (4.8)$$

onde:

$$\Phi_* = \frac{i_B}{i_b} \frac{q_s}{\gamma_s \sqrt{\beta - 1} g d^3} \quad (4.9)$$

$$\Psi_* = \xi Z \left[\frac{\log 10,6}{\log \left(10,6 \frac{X}{\Delta} \right)} \right]^2 \beta \frac{d}{R'h} \quad (4.10)$$

onde:

- A_* , B_* e η_0 são constantes universais determinadas experimentalmente,
- i_B e i_b é o percentual de material de determinado diâmetro que compõe o leito e a carga sólida respectivamente,
- ξ , Z e X são fatores de correção,
- Δ e $R'h$ é a rugosidade aparente da superfície do leito e o raio hidráulico do leito associado à rugosidade dos grãos, respectivamente
- Φ_* e Ψ_* é a intensidade de transporte e de atrito respectivamente,
- q_s é a taxa de transporte de fundo em peso por unidade de largura e tempo,
- d é o diâmetro do grão da fração considerada.

A representação gráfica da equação (4.8) é apresentada na figura 4.6. A partir das características do sedimento e das condições de escoamento, determina-se o parâmetro Ψ_* e, através da figura 4.6, o parâmetro de transporte Φ_* . A descarga sólida de fundo (unitária) para um dado tamanho de grão pode ser então determinada a partir do conhecimento de Φ_* .

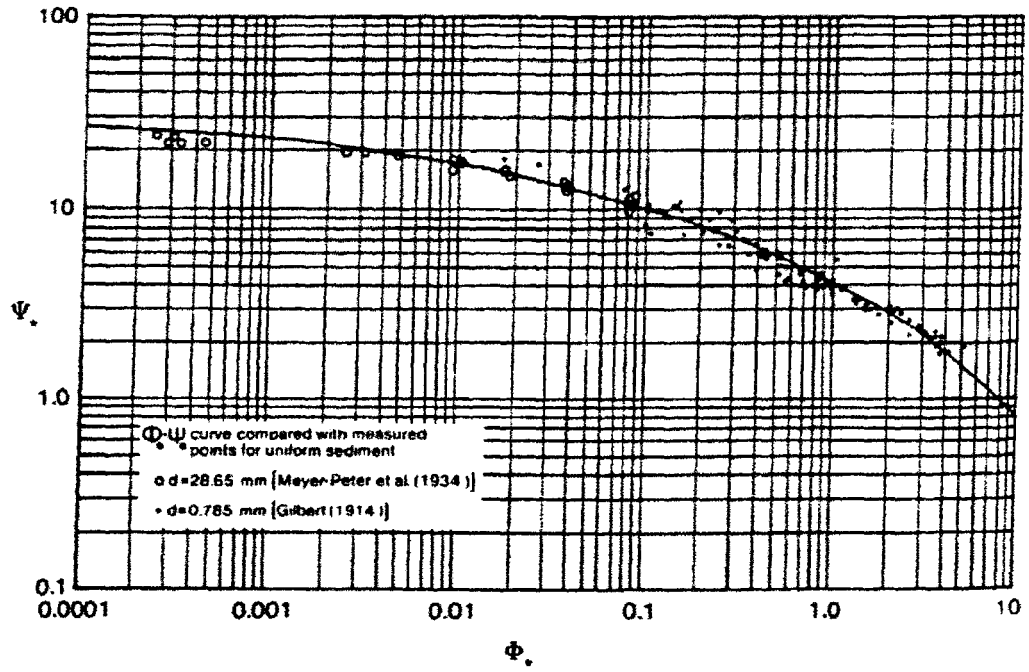


Figura 4.6 - Função de carga de fundo de Einstein (Extraída de CHANG, 1988).

4.6 DADOS DE ENTRADA E SAÍDA DO MODELO

Na tabela 4.1 e 4.2 são apresentados de maneira geral, os dados de entrada e saída do modelo, respectivamente.

Informações mais detalhadas sobre as variáveis de entrada, estrutura dos arquivos de entrada e saída de dados são apresentados nos Anexos 1, 2 e 3.

Tabela 4.1 - Dados de entrada do modelo

-
1. Geral
 - a) número de intervalos de tempo;
 - b) número de operações hidrológicas;
 - c) número de postos de chuva;
 - d) intervalo de tempo da simulação.
 2. Hietograma de Chuva de cada posto
 - a) % de contribuição de cada posto;
 - b) tempo de concentração.
 3. Geometria
 - a) área da bacia;
 - b) largura do canal;
 - c) comprimento do trecho de propagação;
 - d) declividade do fundo do canal;
 - e) rugosidade do trecho.
 4. Produção de Sedimento
 - a) fator topográfico;
 - b) erodibilidade do solo;
 - c) cobertura vegetal;
 - d) práticas de cultivo;
 - e) porcentagem de material que passa em suspensão na saída da bacia;
 - f) porcentagem de material que passa por arraste na saída da bacia.
 5. Capacidade de Transporte do escoamento
 - a) diâmetro D_{90} ;
 - b) diâmetro D_{50} ;
 - c) viscosidade cinemática;
 - d) coeficiente de gradação.
-

Tabela 4.2 - Dados de saída do modelo

1. Componente Hidrológica

- a) área;
- b) total precipitado;
- c) total de perdas;
- d) total de excessos (precipitação efetiva);
- e) hidrograma;
- f) volume escoado.

2. Componente Sedimentológica

- a) total de sedimento produzido por arraste;
 - b) total de sedimento produzido por suspensão;
 - c) capacidade de transporte do escoamento;
 - d) quantidade de sedimento erodido ou depositado para cada intervalo de tempo do evento.
-

4.7 HIPÓTESES E LIMITAÇÕES DO MODELO

A maior limitação encontrada para validação do modelo para a bacia em estudo foi a falta de dados no interior da mesma. Várias hipóteses e limitações são inerentes à concepção do modelo proposto, sendo que algumas das mais importantes são citadas abaixo:

- a componente hidrológica do modelo não contempla perdas por evaporação;
- na fase hidrológica da componente vertente os parâmetros são admitidos uniformes nas sub-bacias, uma vez que as mesmas não possuem dados de medição para calibração;
- a declividade da linha d'água é igual à declividade do fundo do leito do canal;
- o modelo admite que cada trecho de canal em todo o seu comprimento possua geometria, rugosidade e características do sedimento uniformes;
- a componente sedimentológica da fase vertente do modelo admite uniformidade nos parâmetros da MUSLE em cada sub-bacia discretizada;
- o modelo considera que no início do evento a ser simulado a carga de sedimentos que se encontra depositada no canal é nula;
- a componente sedimentológica da fase canal do modelo efetua o balanço dos sedimentos da carga de sedimentos de fundo. É admitido que o escoamento seja capaz de transportar a carga de sedimentos em suspensão sem que haja a possibilidade de deposição das mesmas em nenhum momento;
- a componente sedimentológica da fase canal do modelo admite somente o transporte ou depósito do material disponível das vertentes, sem contemplar a erosão das paredes do canal;

5

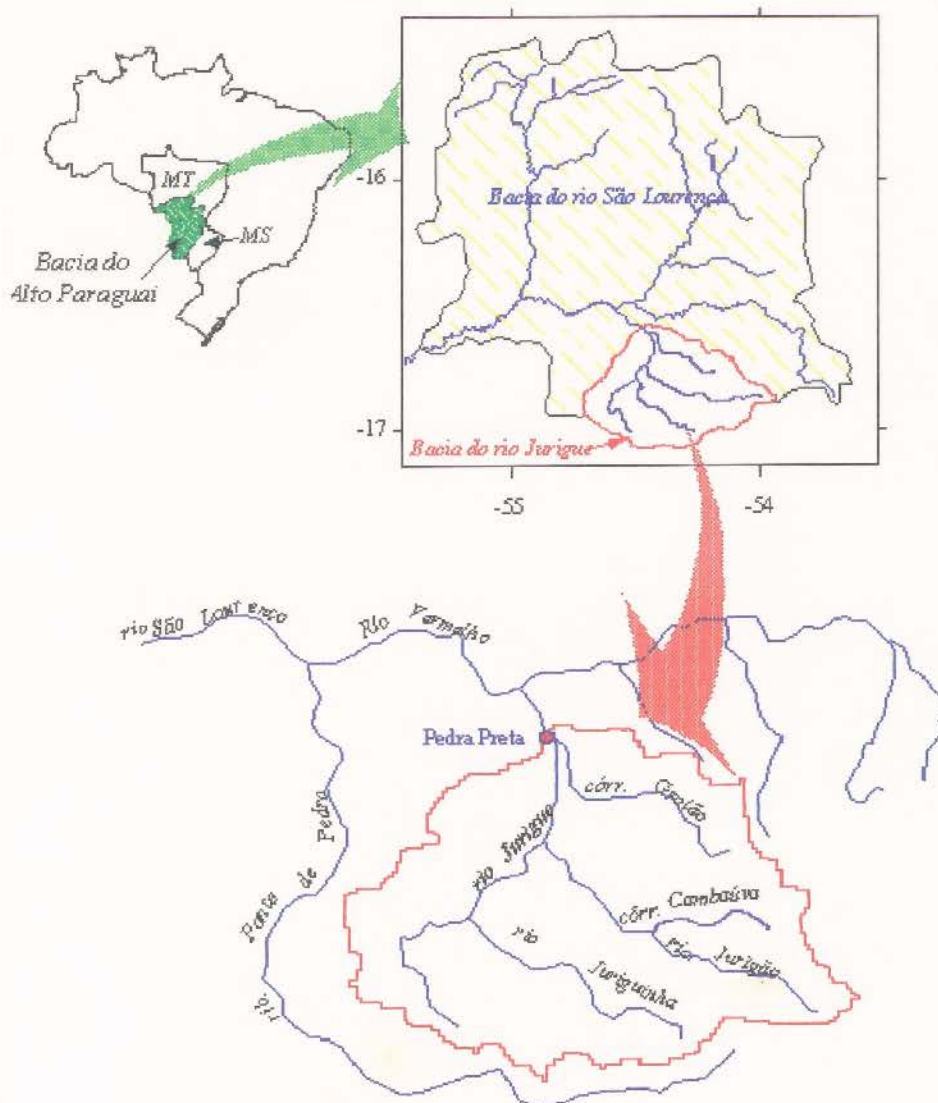
APLICAÇÃO

5. APLICAÇÃO

5.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia escolhida faz parte do sistema hidrológico das regiões de cabeceira da bacia do Alto Paraguai - Pantanal Mato-Grossense. Trata-se da bacia do rio Jurigue, afluente da margem esquerda do rio Vermelho. O rio Vermelho é o principal afluente da bacia do rio São Lourenço, que drena uma área de 21.800 km² (Figura 5.1).

Figura 5.1 - Localização da Bacia do Rio Jurigue



A bacia do rio Jurigue está localizada no estado de Mato Grosso a montante da cidade de Rondonópolis, possui uma área de 2.433 km² e está situada entre as latitudes 16° 60' S e 17° 10' S e longitudes 54° 00' W e 54° 80' W.

Segundo MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (1982), a bacia do rio Jurigue está compreendida nas unidades geomorfológicas do Planalto do Taquari-Itiquira e Planalto dos Guimarães. As partes mais baixas correspondem a unidade fisiomórfica da Planície de Rondonópolis, que possui relevo plano, ondulado ou suavemente ondulado e vegetação do tipo florestas e cerrados.

As regiões de planalto correspondem a unidade dos Planaltos Orientais, representado principalmente pelos sedimentos devonianos e carboníferos da bacia Sedimentar do Paraná.

A seqüência basal que envolve a bacia estudada é a do Grupo Paraná, composta pelas formações Ponta Grossa (devoniana) e Aquidauana (carbonífera). A Formação Ponta Grossa é composta de sedimentos clásticos finos a muito finos, constatando-se na base um predomínio de sedimentos arenosos e no topo, de siltitos, folhelhos silticos e argilosos. É comum encontrar-se bancos de arenitos configurando topos de relevos aplanados.

A Formação Aquidauana é composta predominantemente por sedimentos arenosos vermelho-arroxeados a avermelhados, com intercalações subordinadas de clásticos finos (siltitos e folhelhos) e grosseiros (conglomerados e diamictitos).

Os solos predominantes das partes mais baixas da bacia são os solos Podzólicos vermelho-amarelo, enquanto que nas regiões de cabeceiras são encontrados Latossolos vermelho-escuro, Areias Quartzosas e os solos Litólicos. Estes solos sustentam uma cobertura vegetal predominante de Savana (Cerrado).

O uso do solo nas regiões de planície baseia-se na agropecuária extensiva, enquanto que nas regiões de planalto, na monocultura de cereais, destacando a cultura da soja devido ao clima regional ser extremamente favorável a essa cultura. A agricultura é conduzida por sistema de microbacias hidrográficas (construções de terraços em nível).

Segundo MINISTÉRIO DO INTERIOR (1979), as bacias dos rios São Lourenço e Vermelho possuem de 30 a 35% do total de áreas desmatadas das regiões de cabeceira da Bacia do Alto Paraguai.

A região possui temperaturas que variam de 19° a 25°C e índice pluviométrico médio anual da ordem de 1500 mm. O regime das chuvas é uniforme, sendo que o período mais chuvoso se concentra nos meses de novembro à março, os quais representam quase 75% das precipitações anuais. Os meses de junho, julho e agosto são quase completamente secos, e representam aproximadamente 2,8 % da precipitação anual.

O regime de vazões é bem definido, com pode ser visto na figura 5.2. O período de cheias concentra-se nos meses de dezembro a maio, com vazões médias de 35 m³/s e vazões

máximas da ordem de 160 m³/s. O período seco concentra-se nos meses de junho a novembro, com vazões mínimas da ordem de 10 m³/s.

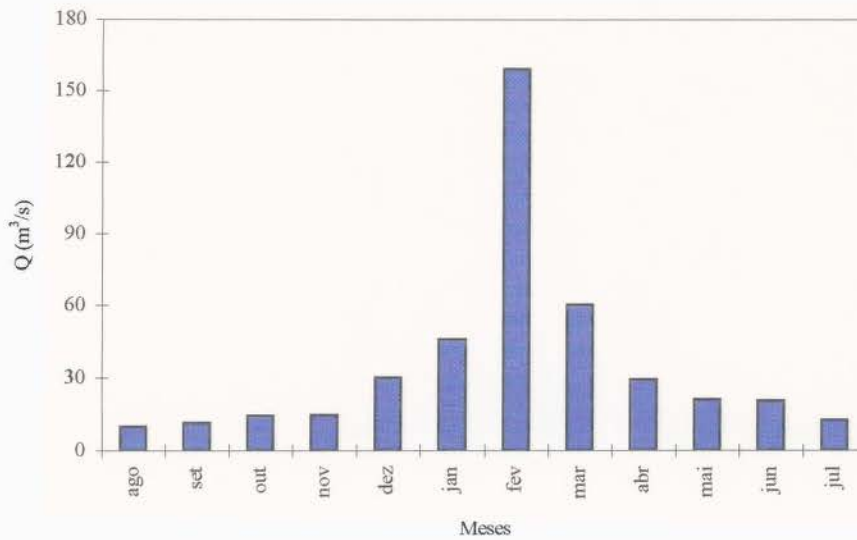


Figura 5.2 - Regime de vazões da bacia do rio Jurigue no período de 1979-1981.

A declividade da bacia varia entre 1,7 e 4,2 % e a densidade de drenagem é de 0,34 km/km². Os rios possuem gradiente de declividade médio variando de 0,12 a 0,34 %.

Esta região é bastante exposta à ação erosiva das chuvas, sendo classificada como uma zona de erosividade elevada, com valores de erosividade anual da ordem de 800 tm.mm/h/ha.ano. Na figura 5.3 é apresentado a variabilidade mensal da precipitação média e da erosividade média mensal na área, de acordo com o índice de LOMBARDI NETO, conforme estudos realizados por TUCCI & BORDAS (1996).

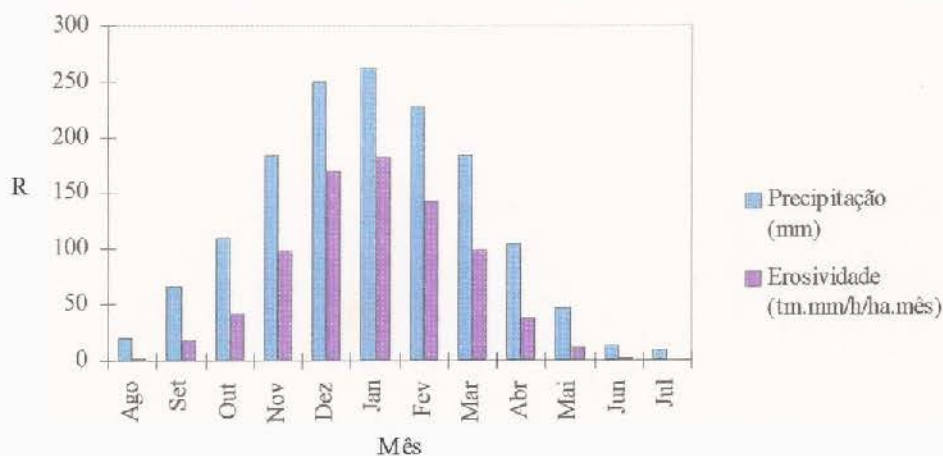


Figura 5.3 - Valores médios mensais do índice de erosividade e da precipitação.

5.2 DADOS DISPONÍVEIS

Na figura 5.4 é apresentada a localização dos postos de medição utilizados neste estudo. Constata-se que a bacia é bastante carente de informação, pois existem apenas dois postos pluviométricos situados nos limites da bacia, dois situados fora dos limites e um posto fluviométrico no exutório da bacia.

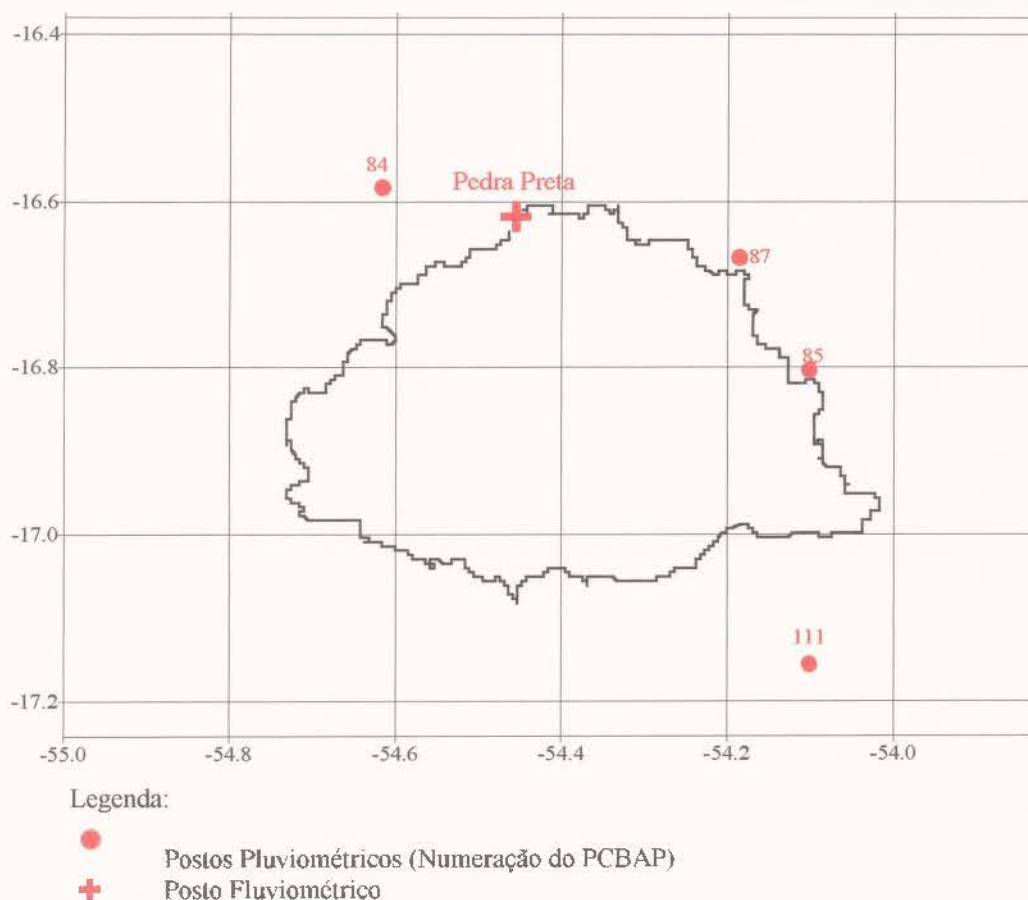


Figura 5.4 - Localização dos postos de medição de chuva, descarga líquida e sólida utilizados.

Apesar da falta de postos dentro da bacia e da grande distância entre os postos disponíveis, foram verificados, através da consistência dos dados, excelentes correlações entre os mesmos ($r^2 = 0,99$), mostrando a inexistência de grandes variações da distribuição espacial da chuva nesta região.

Na tabela 5.1 são apresentados os postos de medição utilizados no estudo. Os postos estão identificados pelo código do DNAEE e pelo código adotado pelo IPH na execução do PCBAP (Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai).

Tabela 5.1 - Postos de medição utilizados no estudo.

Código		Nome da Estação	Entida- de	Alt (m)	Coordenadas	
DNAEE	PCBAP				Lat	Long
01654000	84	Rondonópolis	DNAEE	200	-16°59	-54°59
01654001	85	Santa Terezinha	DNOS	662	-16°56	-54°18
01654004	87	Santa Escolástica	DNOS	719	-16°58	-54°09
01754000	111	Itiquira- DNPVN	DNAEE	520	-17°12	-54°08
66440000	(+)	Jurigue-Pedra Preta	DNAEE	240	-16°62	-54°45

(+) Posto Fluviossedimentométrico

A série de dados de descargas sólidas utilizada no estudo refere-se ao período de outubro de 1979 a março de 1982. Durante este período, o DNOS efetuou coletas mensais de material em suspensão e, através do método modificado de Einstein e Frijling-Kalinske, foram determinadas as descargas sólidas em suspensão, arraste e carga total (tabela 5.2). A partir dos registros de descarga sólida, verifica-se que, em nível de distribuição mensal de sedimentos, o período de janeiro a março produz cerca de 84% da carga sólida que transita nessa região. (figura 5.5).

Foram utilizados os diâmetros D_{50} e D_{90} da curva granulométrica da estação de medição do rio Vermelho em Rondonópolis, devido a inexistência destes dados na estação de Pedra Preta.

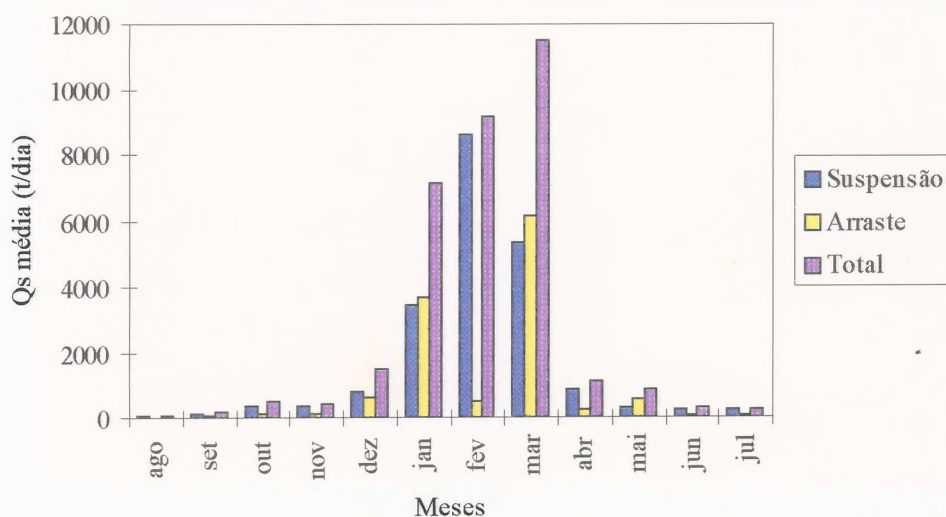


Figura 5.5 - Descargas sólidas da bacia do Rio Jurigue - 1979 a 1982.

Tabela 5.2 - Resumo de Medição de Descarga Sólida no rio Jurigue em Pedra Preta

(Fonte: Medições de descarga sólida em suspensão do DNOS em 1977/82)

Medição Nº	Data	Cota (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Pm ⁽¹⁾ (m)	Vm ⁽²⁾ (m/s)	Q ⁽³⁾ (m ³ /s)	Q _{SS} ⁽⁴⁾ (t/dia)	Q _{SA} ⁽⁵⁾ (t/dia)	Qt ⁽⁶⁾ (t/dia)
1	17/10/79	1.61	36.80	21.45	0.58	0.59	12.6	506.4	225.6	732.0
2	06/12/79	1.59	36.50	20.26	0.55	0.60	12.1	305.9	318.1	624.0
3	11/01/80	2.66	38.30	64.74	1.69	1.34	86.6	7596.5	9688.5	17.285.0
4	09/02/80	2.75	40.30	63.59	1.57	1.55	98.3	15306.9	631.1	15.938.0
5	14/03/80	2.88	44.70	67.81	1.51	0.89	60.7	2512.0	2204.0	4.716.0
6	12/04/80	2.58	44.30	51.82	1.16	0.78	40.2	890.8	263.2	1.154.0
7	05/05/80	2.22	42.80	32.80	0.76	0.70	22.9	248.4	1035.6	1.284.0
8	07/06/80	2.07	42.40	23.19	0.54	0.63	14.6	268.8	47.2	316.0
9	07/07/80	2.05	42.70	22.13	0.51	0.60	13.2	129.3	40.7	170.0
10	11/08/80	1.97	42.40	21.58	0.50	0.49	10.6	39.7	15.3	55.0
11	08/09/80	1.97	42.30	16.41	0.38	0.59	9.7	125.6	46.4	172.0
12	15/10/80	2.00	42.50	19.74	0.46	0.54	10.8	175.7	29.3	205.0
13	07/11/80	2.04	42.70	19.06	0.44	0.64	12.2	467.0	63.0	530.0
14	06/12/80	2.31	43.30	33.18	0.76	0.67	22.2	1349.8	974.2	2.324.0
15	11/01/81	2.23	43.70	36.34	0.83	0.67	24.5	1039.8	192.2	1.232.0
16	08/02/81	2.55	44.00	52.26	1.18	0.72	37.7	1983.1	411.9	2.395.0
17	17/03/81	2.71	44.15	57.36	1.29	0.95	54.5	4688.0	1339.0	6.027.0
18	11/04/81	2.25	43.60	40.70	0.93	0.68	27.8	856.4	257.6	1.114.0
19	04/05/81	2.03	42.80	28.03	0.65	0.63	17.7	418.0	62.0	480.0
20	06/07/81	1.92	42.80	25.66	0.59	0.56	14.4	324.0	24.0	348.0
21	04/09/81	1.77	42.60	19.32	0.45	0.48	9.3	89.3	115.7	205.0
22	08/11/81	1.87	42.50	20.86	0.49	0.57	11.8	216.2	159.8	376.0
23	18/01/82	2.64	44.30	49.48	1.11	1.38	68.3	1750.7	1179.3	2.930.0
24	09/03/82	3.79	46.30	102.41	2.21	1.67	171.4	8936.4	14894.6	23.831.0

- (1) Profundidade média.
- (2) Velocidade média.
- (3) Descarga líquida.
- (4) Descarga sólida em suspensão.
- (5) Descarga sólida de arraste.
- (6) Descarga sólida total.

5.3 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO

5.3.1 Obtenção do Modelo Numérico do Terreno e do Sistema de Drenagem

Foi gerada uma matriz de altitudes georreferenciada para a região da bacia do rio São Lourenço, na qual a bacia do rio Jurigue está inserida, a partir da digitalização de curvas de nível em cartas topográficas do Serviço Cartográfico do Exército em escala 1:100.000, formando desta maneira, um conjunto de valores (X,Y,Z) distribuídos espacialmente de forma irregular.

As curvas altimétricas digitalizadas foram interpoladas utilizando rotinas presentes no sistema Surfer for Windows versão 6.01, obtendo desse modo uma grade regular de altitudes (MNT). O método de interpolação utilizado foi o de ponderação do semivariograma KRIGING, que analisa os dados localizados na vizinhança do ponto a ser interpolado. Este tipo de método de gradeamento é um dos mais recomendados e tem sido amplamente utilizado em vários campos de pesquisa (GOLDEN SOFTWARE INC, 1994).

A grade altimétrica gerada possui 159 linhas por 212 colunas e resolução espacial de 600 x 600 metros. As figuras 5.6 e 5.7 apresentam respectivamente a grade regular altimétrica e o modelo tridimensional altimétrico da região em que se encontra a bacia do rio Jurigue.

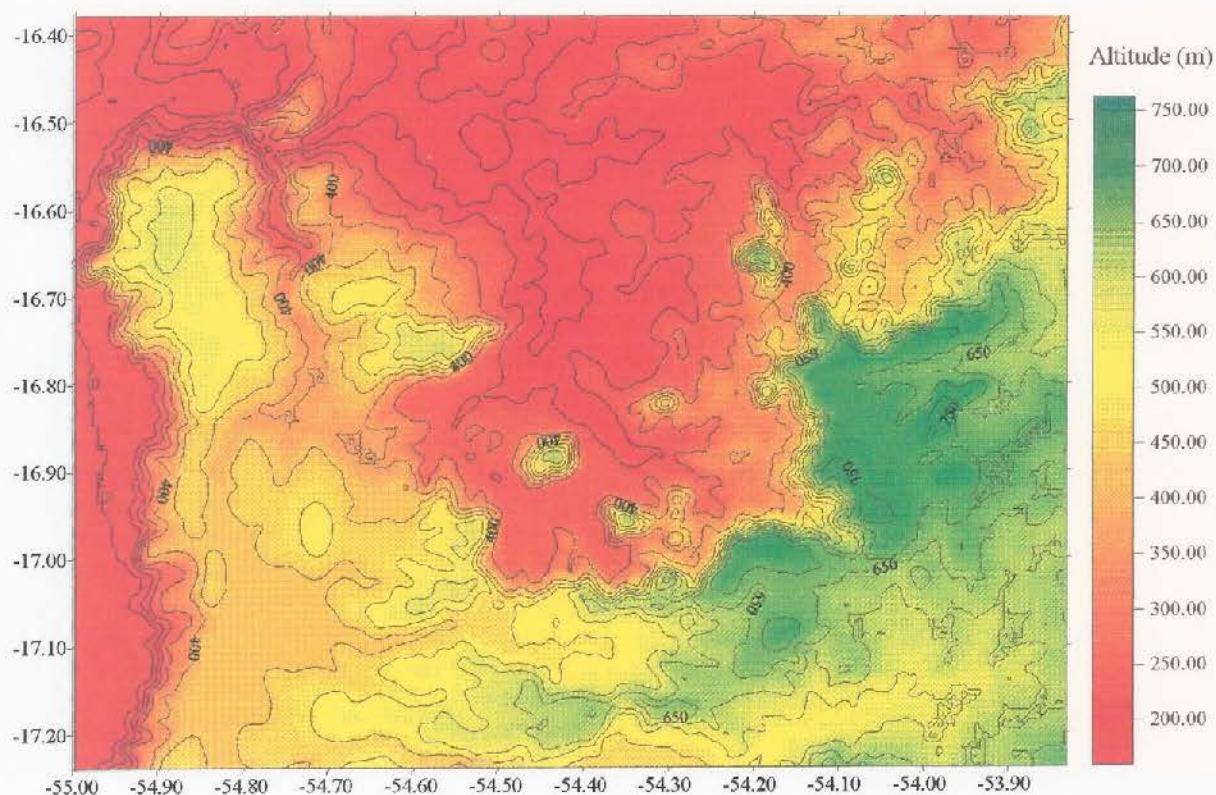


Figura 5.6 - Isolinhas de altitude da região da bacia do rio São Lourenço.

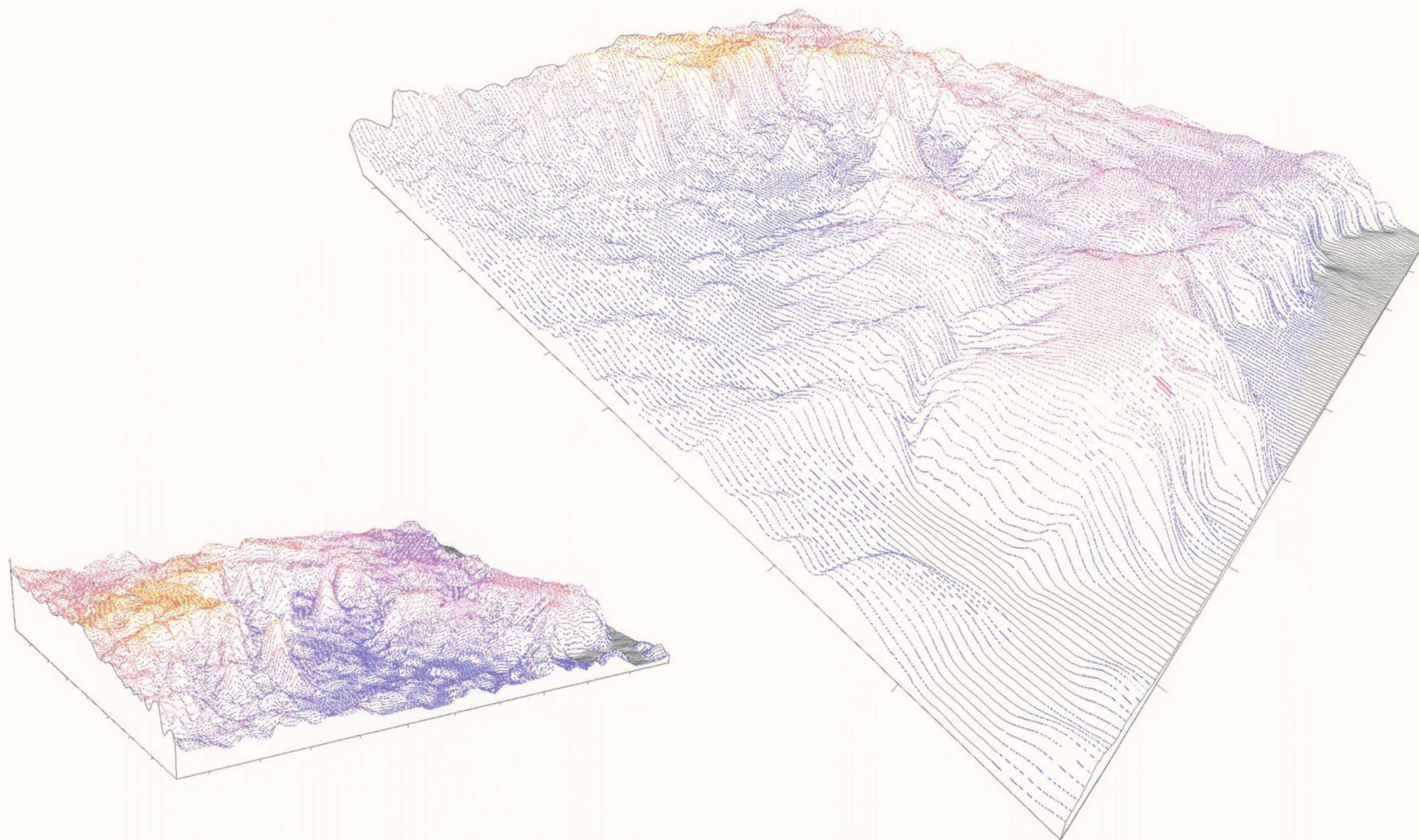
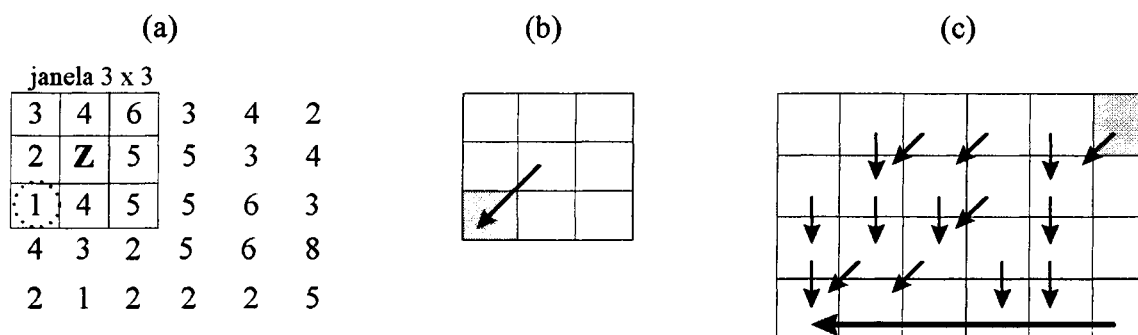


Figura 5.7 - Modelo tridimensional da altimetria da região da Bacia do rio São Lourenço.

Através da grade regular gerada podem ser obtidos, automaticamente, os parâmetros topográficos e geomorfológicos referentes aos modelos de produção de escoamento e de sedimentos, tais como: índices de declividade da vertente e do rio, comprimento da vertente e do rio, a rede de drenagem e os divisores de águas das sub-bacias. Para isto serão utilizados um conjunto de rotinas desenvolvidas por RISSO (1993), que seguem as proposições feitas por MARK (1984) e simulam o escoamento das águas sobre um MNT.

O algoritmo proposto por MARK (1984) faz a varredura da matriz de altitudes através de uma janela de 3 x 3 células (Figura 5.8a). Para cada célula, a altitude (Z) é comparada com a de seus oito vizinhos mais próximos dentro da janela de 3 x 3 e, então, é estimada a máxima declividade. O vizinho com o menor valor de altitude (maior inclinação) é marcado e o valor do acúmulo de água⁵ é atribuído à célula em questão (Figura 5.8b). A janela então é movida para o vizinho de menor cota e o processo é repetido para as i linhas e j colunas da matriz de altitude (Figura 5.8c).



- a) matriz de altitude (i linhas x j colunas);
- b) direcionamento do escoamento para a célula que possui o menor valor da janela 3 x 3;
- c) direcionamento do escoamento para uma matriz de i linhas x j colunas.

Figura 5.8 - Esquema de funcionamento do algoritmo proposto por MARK (1984).

Com o algoritmo proposto por MARK (1984) foi possível definir a tendência do escoamento em cada célula da matriz altimétrica, obtendo dessa maneira a rede de drenagem da região. A figura 5.9 apresenta o sistema de drenagem da região da bacia do rio São Lourenço destacando a bacia do rio Jurigue, já identificada na grade altimétrica da região. O item 5.3.2 apresenta o procedimento de como foi isolada a bacia do rio Jurigue a partir da grade altimétrica do quadrante na qual está inserida.

⁵ O acúmulo de água é expresso como uma função do número de células percorridas e a área de cada célula.

A partir da manipulação dos planos de informação da cada sub-bacia e de cada trecho de canal efetuada dentro do sistema Idrisi for Windows versão 1.0, foi possível obter informações fisiográficas desses elementos. Os resultados são apresentados nas tabelas 5.3 e 5.4.

Tabela 5.3 - Informações fisiográficas das sub-bacias e interfúvios.

Sub-bacia	Área (km ²)	Declividades (%)	
		Bacia	Rio
B1	498,14	4,2	0,90
B2	488,27	4,2	0,56
B3	292,61	1,7	0,45
B45	205,53	2,9	-
B67	257,36	2,5	-
B8	204,12	2,1	0,56
B9	487,57	1,8	0,21

Tabela 5.4 - Informações fisiográficas dos trechos de canal.

Trecho	Comprimento (km)	Largura (m)	Declividade (%)	D ₉₀ (mm) *	D ₅₀ (mm) *	Rugosidade **
AC	23	18,0	0,22	0,65	0,30	0,032
BC	18	12,0	0,34	0,65	0,30	0,032
CD	17	42,5	0,12	0,65	0,30	0,032

(*) obtidos a partir de dados de campo.

(**) calculada através da fórmula de Strickler: $K = 26/D_{90}^{(1/6)}$

5.3.3 Obtenção dos Parâmetros da MUSLE

Os parâmetros da MUSLE foram obtidos a partir da utilização de técnicas de geoprocessamento. Tais parâmetros foram mapeados e implementados em planos de informação (PI) geocodificados, devido à maior facilidade de obtenção dos mesmos e à maior precisão dos resultados obtidos. Este tipo de procedimento permitiu que fossem extraídas informações referentes a cada parâmetro em cada sub-bacia, através de manipulações efetuadas dentro do sistema Idrisi for Windows versão 1.0.

Nos próximos itens são apresentados os procedimentos de obtenção de cada parâmetro.

Tabela 5.5 - Classes e áreas de abrangência dos solos da bacia do Jurigue.

Tipo de solo	Bases	Símbolo	Área (km ²)	Porcentagem de Abrangência
Solos litólicos	eutrófico	R	295	12
Areias quartzosas	álico	AQ	400	16
Latossolo vermelho-escuro	álico	LE	300	13
Podzólico vermelho-amarelo	eutrófico	PE	1.438	59

Segundo MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (1982) os solos da região possuem as seguintes características:

- Podzólico vermelho amarelo (PE): são solos minerais, não hidromórficos, com sequência de horizontes A, Bt e C, sendo que o horizonte B textural apresenta saturação com bases superior a 50%, acumulação de argila decorrente de processos de iluviação de argila ou argila + silte, evidenciada pela alta relação textural. São em suma na maioria utilizados como pastagens, sendo que as culturas nele existentes apresentam excelente produtividade.
- Latossolo vermelho escuro (LE): são solos minerais, não hidromórficos altamente intemperizados, com predominância de argilas do tipo 1:1. Apresentam sequência de horizontes A, B e C. O horizonte A é do tipo moderado em todos os casos encontrados, com transição difusa ou gradual para o horizonte B. Os álicos ocorrem mais expressivamente e apresentam saturação com bases inferior a 50% e com alumínio superior a 50%.

São recomendados para uso agrícola desde que sejam processadas adubações e calagens, necessárias ao surgimento de base e à correção da acidez, pois estão localizados em áreas de relevo plano e suave ondulado que, aliado às suas boas condições físicas, permitem a mecanização e práticas agrícolas desenvolvidas.

Os solos dessa classe são muito usados com soja, arroz e café, principalmente os de textura argilosa. Os de textura média, além de serem utilizados para essas culturas, nas sua maior parte são utilizados com pastagens.

- Areia quartzosa (AQ): são solos minerais, profundos e pouco profundos, com sequência de horizontes A, AC e C, com pouca diferenciação entre os horizontes, sendo formados em sua totalidade por minerais dificilmente intemperizáveis, na sua

maioria quartzo. São permeáveis, porosos, não plásticos e não pegajosos, sem estrutura desenvolvida, sendo constituídos em todos os casos por grãos simples.

São quase que totalmente utilizados para pastagem, sendo a gramínea que melhor se adapta a esse tipo de solo é a *Brachiaria sp.*, já amplamente difundida na região.

- Solos litólicos (R): apresentam seqüência de horizontes dos tipos A, R ou A, C e R, com profundidades inferiores a 50 cm. As características físicas são muito diversificadas, ocorrendo solos com textura desde arenosa a muito argilosa, com e sem cascalhos, concrecionários e sem concreções. Este solo apresenta uma série de limitações naturais, como posicionamento topográfico desfavorável para mecanização, pequena profundidade e em muitos casos presença excessiva de cascalhos e/ou concreções, que funcionam como impedimento do desenvolvimento de raízes. Em virtude de ocorrerem em relevo movimentado, estes solos são altamente suscetíveis a erosão, principalmente os de textura arenosa e média. Isto faz com que a sua utilização seja mais aconselhável como pastagem, principalmente no caso dos eutróficos, para aproveitamento da fertilidade natural, ou então à preservação da vegetação nativa.

O mapa da distribuição espacial dos solos da bacia em formato raster (apresentado na figura 5.12) foi reclassificado, atribuindo a cada classe correspondente ao tipo de solo, o valor de K. Devido à falta de dados de erodibilidade dos solos na bacia estudada, optou-se pelo uso dos índices encontrados por BERTONI e LOMBARDI NETO (1985) para os solos da região de São Paulo, os quais são apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Índices de Erodibilidade segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1985).

Tipo de solo	Fator K
Solos litólicos	0,50
Areias quartzosas	0,47
Latossolo vermelho escuro	0,16
Podzólico vermelho amarelo	0,32

O valor final da erodibilidade para cada sub-bacia foi calculado pela média ponderada de K para cada tipo de solo presente na sub-bacia, sendo apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Valores ponderados do fator K para cada sub-bacia do rio Jurigue.

Sub-bacia	Área (km ²)	Fator K
B1	498,14	0,42
B2	488,27	0,35
B3	292,61	0,30
B45	205,53	0,33
B67	257,36	0,32
B8	204,12	0,27
B9	487,57	0,34

Obtenção do Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) foi estimado para cada célula do MNT, a partir da matriz de orientação do escoamento superficial, utilizando rotinas desenvolvidas por RISSO (1993), conforme é explicado no item 5.3.1 e figura 5.8. O valor médio de LS para cada sub-bacia é apresentado na tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Fator topográfico (LS) médio.

Sub-bacia	Área (km ²)	Fator LS
B1	498,14	2,48
B2	488,27	2,73
B3	292,61	0,50
B45	205,53	1,00
B67	257,36	1,58
B8	204,12	0,87
B9	487,57	0,63

Obtenção do fator de cobertura e manejo (CP)

Devido à falta de informações detalhadas sobre as principais culturas, do período de preparo, plantio e colheita das mesmas, além do desconhecimento das práticas conservacionistas utilizadas nas áreas agrícolas da região bacía, o valor do fator CP foi considerado igual a 1. Desse modo, estaremos estabelecendo a erosão potencial na bacía, pois contemplaremos a pior situação para a perda de solo, qual seja, fator de cobertura mínimo ou, em outras palavras, vegetação e práticas de manejo inexistentes.

Obtenção do Fator I

O fator I foi obtido a partir da multiplicação dos fatores da MUSLE (item 5.3.3) e tem por objetivo simplificar o arquivo de entrada de dados do modelo. Deste modo o fator I é expresso por:

$$I = K \cdot LS \cdot CP \quad (5.1)$$

Vale lembrar que os parâmetros hidrológicos da MUSLE: vazão de pico (Q_p) e volume escoado (Q) serão obtidos a partir da componente hidrológica do modelo, conforme é abordado no item 4.2.

A tabela 5.9 apresenta os valores finais do fator I para cada sub-bacía.

Tabela 5.9 - Valores finais dos parâmetros da MUSLE para cada sub-bacía

Sub-bacía	Fator K	Fator LS	Fator CP	Parâmetro I
B1	0,42	2,48	1,00	1,04
B2	0,35	2,73	1,00	0,95
B3	0,30	0,50	1,00	0,15
B45	0,33	1,00	1,00	0,33
B67	0,32	1,58	1,00	0,51
B8	0,27	0,87	1,00	0,23
B9	0,34	0,63	1,00	0,21

Média = 0,49

Obtenção dos Coeficientes de Regressão

WILLIAMS (1975) estimou os valores dos coeficientes α e β (equação 4.1) a partir de um conjunto de 778 eventos em 18 pequenas bacias dos Estados Unidos. Porém, quando esses valores foram aplicados em regiões com características diferentes, mostraram uma tendência em superestimar a produção de sedimentos (GOLDENFUM, 1991; KAUARK LEITE e MOUCHEL, 1990).

Neste estudo optou-se pelo ajuste dos referidos coeficientes, utilizando a série histórica de medições de descarga sólida no período de 1979 a 1982 do posto fluviométrico situado em Pedra Preta. Para isso foram seguidos os seguintes passos:

1. Ajuste de uma lei do tipo: $Q_s = a Q^b$ a partir dos registros da série histórica (apresentados na tabela 5.2). A relação encontrada entre os valores da descarga sólida (Q_s) e descarga líquida (Q), com um coeficiente de determinação (r) igual a 0,90 foi:

$$Q_s = 25,15 Q^{1,35} \quad (5.2)$$

A figura 5.13 apresenta o ajuste da equação (5.2) com nível de significância de 95%.

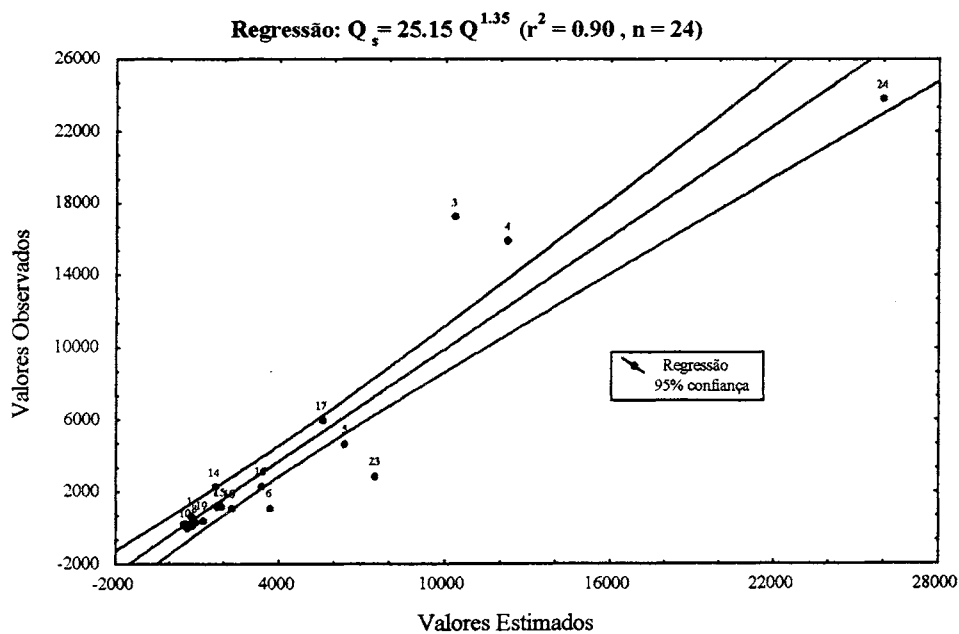


Figura 5.13 - Ajuste da equação de regressão entre a descarga líquida (Q) e a descarga sólida (Q_s) medidos.

2. Através da equação (5.2) foram reconstituídos os valores da descarga sólida (Q_s) que seriam gerados pelas descargas líquidas (Q) dos 18 eventos selecionados dentro do período de 1979 a 1982. Deste modo, através dos hidrogramas medidos dos eventos escolhidos, foram gerados seus sedimentogramas correspondentes, estimando-se a produção de sedimentos (Y) para cada evento. A vazão de pico (Q_p) foi obtida diretamente do hidrograma do evento; o volume total escoado para o evento foi obtido através da equação 5.3, que é apresentada a seguir:

$$Q_t = \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t \quad (5.3)$$

onde:

- Q_t volume total escoado;
- Q_i volume escoado no intervalo i ;
- n número de dias do evento;
- Δt intervalo de tempo em dias.

O valor da produção total de sedimentos do evento foi estimada através do somatório das descargas sólidas, reconstituídas pela equação 5.2, correspondentes a cada uma das vazões que compõem o hidrograma:

$$Y = \sum_{i=1}^n Q_{si} \quad (5.4)$$

onde:

- Y produção total de sedimentos;
- Q_{si} produção de sedimentos no intervalo i ;
- n número de dias do evento.

Nas figuras 5.14 e 5.15 são apresentados, respectivamente, um exemplo da aplicação ao evento número 3 do procedimento de estimativa do volume escoado e do sedimentograma. Na tabela 5.10 são apresentados os valores de Q_t , Q_p e Y obtidos para os 18 eventos selecionados.

Tabela 5.10 - Valores dos parâmetros da MUSLE usados para regressão.

Evento N.º	Data dos Eventos	Y (ton) *	Qt (m ³) **	Qp (m ³ /s) ***
1	07-14/Set/79	23124.12	22300000.0	62.60
2	22-28/Set/79	5093.69	7270000.0	14.90
3	11-23/Out/79	8704.00	12600000.0	15.50
4	07-14/Dez/79	22311.67	21700000.0	55.30
5	20-29/Dez/79	32416.68	29800000.0	64.80
6	06-19/Abr/80	39559.50	37300000.0	41.20
7	01-15/Mai/80	19260.09	20800000.0	21.60
8	20-03/Mai/80	29572.17	29400000.0	33.70
9	27-10/Set/80	12755.29	16900000.0	18.20
10	17-25/Out/80	9479.90	12300000.0	19.70
11	07-13/Nov/80	6788.12	10100000.0	13.10
12	02-10/Jan/81	50939.05	41400000.0	89.80
13	06-10/Feb/81	3387.26	4860000.0	15.50
14	17-26/Mar/81	137027.04	89500000.0	160.00
15	26-05/Mar/81	107409.85	77600000.0	121.00
16	24-04/Sep/81	6336.17	8590000.0	15.40
17	31-07/Out/81	7172.88	9740000.0	16.10
18	09-20/Dez/81	14706.36	18400000.0	21.00

(*) Produção de sedimento reconstituída a partir do somatório das descargas sólidas (Qs) pela equação 5.2,

(**) Volume escoado calculado através da equação 5.3,

(***) Vazão de pico obtida diretamente do hidrograma do evento.

3. Com os valores de Y, Qt e Qp e expressando os demais termos da equação da perda em solo pela letra I ($I=K.LS.CP$), foram determinados através de regressão os coeficientes α e β da MUSLE:

$$Y = \alpha (Qt Qp)^\beta I \quad (5.5)$$

onde:

Y produção de sedimento de cada evento;

Qt volume total escoado de cada evento;

Qp vazão de pico observada do evento;

I = K.LS.CP: valor fixado em 0,49 para todos os eventos.

O valor final dos coeficientes α e β da MUSLE, ajustados para os dados apresentados na tabela 5.10 com um coeficiente de determinação $r^2 = 0.99$ são respectivamente 0,06 e 0,65. Assim a equação 5.5 assume a seguinte forma:

$$Y = 0,06 (Qt Qp)^{0,65} I \quad (5.6)$$

Os valores dos coeficientes da MUSLE estimados para a bacia em estudo serão fornecidos ao modelo proposto IPHS1-MEERC para a modelagem da produção de erosão nas vertentes.

A figura 5.16 apresenta o ajuste da equação (5.6) com nível de significância de 95%.

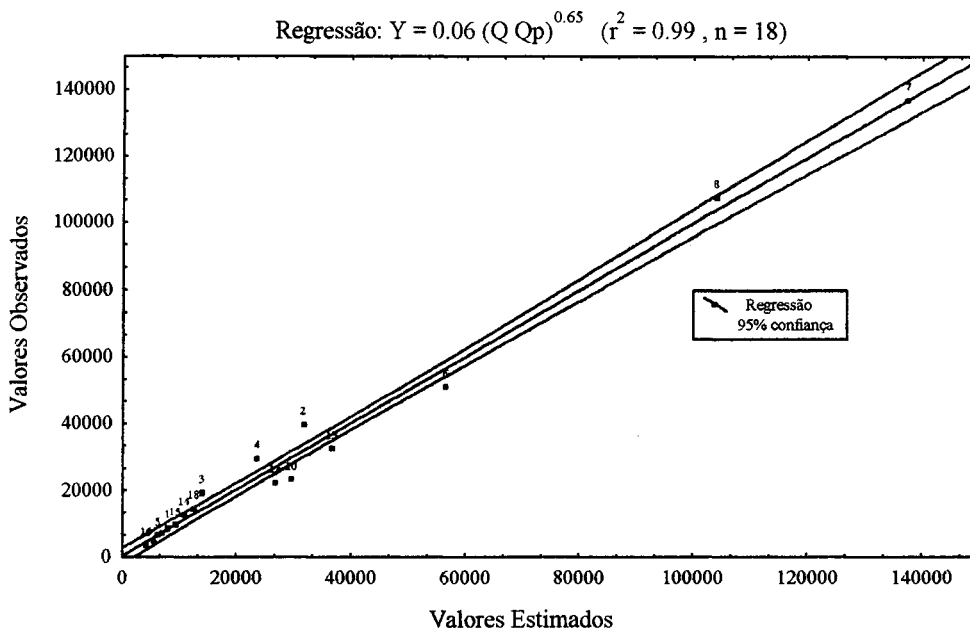


Figura 5.16 - Ajuste dos coeficiente de regressão da MUSLE.

5.4 SEQUÊNCIA COMPUTACIONAL DE CÁLCULO DO MODELO

Os arquivos de dados de entrada para a aplicação do modelo devem ser montados respeitando a seqüência computacional dos elementos que compõem o sistema a ser modelado (sub-bacias, interflúvios e trechos de canal). Não existe uma seqüência computacional preestabelecida, porém este procedimento deve seguir uma ordem lógica, de modo que seja mantida a seqüência natural dos processos envolvidos, ou seja, o padrão de escoamento de montante à jusante deverá ser mantido quando todos os elementos forem associados. (COROLEY II, 1980)

Este passo foi minuciosamente analisado e, com a finalidade de auxiliar a construção da seqüência de funcionamento do sistema, evitando erros, foi gerado um esquema representativo dos elementos que compõem a bacia (figura 5.17) tomando-se como base a figura 5.11.

Com o auxílio da figura 5.17, foi montada a seqüência computacional final para a bacia do rio Jurigue (tabela 5.11), com operações de cálculo escolhidas entre as opções disponíveis no modelo.

Tabela 5.11 - Operações hidrológicas resultantes da discretização da bacia do rio Jurigue.

N.º Hid	N.º Seção	Tipo Operação	Elementos envolvidos na operação	Observação
H1	1	TCV	B1	entra concentrado em AC
H2	3	TCV	B45	entra distribuído em AC
H3	2	ΣS	B1 + B45	H1 + H2
H4	4	PVV	AC	concentrado = H1, distribuído = H2
H5	5	TCV	B2	entra concentrado em BC
H6	6	TCV	B3	entra concentrado em BC
H7	8	TCV	B67	entra distribuído em BC
H8	7	ΣS	B2 + B3 + B67	H5 + H6 + H7
H9	7	ΣH	B2 + B3	H5 + H6
H10	9	PVV	BC	concentrado = H9, distribuído = H7
H11	10	ΣH	AC + BC	H4 + H10
H12	10	ΣS	B1+B45+B2+B3+B67	H4 + H8
H13	11	TCV	B8	entra distribuído em CD
H14	10	ΣS	B1+B45+B2+B3+B67+B8	H12 + H13
H15	13	PVV	CD	concentrado = H11, distribuído = H13
H16	12	TCV	B9	entra concentrado em D
H17	14	ΣS	B1+B45+B2+B3+B67+B8+B9	H15 + H16
H18	14	ΣH	CD + B9	soma: H15 + H16
H19	-	HL	-	-
H20	-	GC	H18 x H19	-

Legenda:

<i>B_i</i>	sub-bacia contribuinte
<i>B_{ii}</i>	interflúvio contribuinte
<i>XX</i>	trecho de propagação de vazão e sedimento
TCV	operação hidrológica de transformação “Chuva - Vazão”
PVV	operação hidrológica de propagação “Vazão - Vazão”
ΣS	soma de sedimentogramas
ΣH	soma de hidrogramas
HL	hidrograma lido na saída da bacia
GC	plota os hidrogramas observado e calculado
<i>H_i</i>	hidrograma calculado

De acordo com as operações apresentadas na tabela 5.11, foram criados os arquivos de dados de entrada do modelo. O anexo 2 apresenta um exemplo do arquivo de entrada de dados do evento 1.

5.5 SELEÇÃO DE EVENTOS PARA SIMULAÇÃO

O período utilizado para escolha dos eventos a serem simulados se refere ao mesmo período da série de dados medidos pelo DNOS no período de 1979 a 1982 (tabela 5.2).

No processo de escolha dos eventos foram estabelecidos os seguintes critérios:

- identificar eventos que possuíssem ondas de cheia bem definidas, ou seja, hidrogramas com pouco escoamento de base e respostas rápidas ao escoamento resultante dos eventos chuvosos;
- devido à falta de estações de medição dentro da bacia, outro critério adotado foi verificar, no hietograma de cada evento, a correspondência entre a ocorrência da precipitação de cada estação pluviométrica e a ocorrência da onda de cheia observada na estação de medição situada no exutório da bacia;
- procurou-se, também, escolher eventos que representassem toda a faixa de dados de descarga líquida da série histórica, ou seja, as vazões máximas, médias e mínimas.

Devido à falta de postos no interior da bacia estudada, houve grande dificuldade para a seleção de eventos a serem simulados, uma vez que a maioria dos eventos apresentaram nos hietogramas falta de correspondência entre a ocorrência da precipitação (em cada estação pluviométrica) e a ocorrência da onda de cheia observada na estação de medição, situada no exutório da bacia.

Com base nos critérios citados acima, foram selecionados 9 (nove) eventos, sendo que 6 (seis) eventos foram utilizados para o ajuste e 3 (três) eventos para a verificação da componente hidrológica do modelo, os quais são apresentados na tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Eventos selecionados para a simulação do modelo.

Evento	Data	N.º Dias
Ajuste		
1	11 - 23/Out/79	13
2	06/Abr - 19/Mai/80	14
3	01 - 15 / Mai/80	15
4	20/Mai - 03/Jun/80	15
5	02/Jan - 10/Fev/81	09
6	24/Set - 04/Out/81	11
Verificação		
7	07 - 13 / Nov/80	07
8	17 - 26 / Mar/81	10
9	26/Mar - 05/Abr/81	11

5.6 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A simulação e análise dos resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto aos eventos selecionados serão apresentadas para as componentes hidrológicas e sedimentológicas em separado.

5.6.1 Componente Hidrológica

Esta componente foi calibrada pelo método da tentativa e erro, buscando sempre um melhor ajuste da vazão máxima e do volume escoado, uma vez que essas grandezas são fundamentais na definição do aporte sólido através da MUSLE (componente sedimentológica do modelo).

A qualidade dos ajustes de cada evento simulado foi avaliada da seguinte maneira:

- visualmente, através da plotagem dos hidrogramas observado e calculado;
- através do erro relativo entre os parâmetros Q_t e Q_p dos hidrogramas calculado e observado;
- pelo coeficiente de determinação dos valores observados e calculados pelo modelo.

Dentre as metodologias disponíveis na componente hidrológica do modelo, as que foram utilizadas para representar o processo de transformação da chuva em vazão na saída da bacia em estudo foram os seguintes:

- separação do escoamento: método de Horton Modificado;
- escoamento superficial: método de Clark;
- escoamento subterrâneo: método do Reservatório Linear Simples,
- propagação da vazão no canal: Muskingum Cunge Linear.

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas fases de ajuste e verificação do modelo:

De acordo com a figura 5.18, verifica-se um bom ajuste entre os hidrogramas observados e os calculados pelo modelo.

O pior ajuste foi obtido com o evento 4, onde se nota que houve uma elevação muito rápida do ramo de ascensão do hidrograma observado. Admite-se que esse tipo de anomalia possa estar associada a uma falha no registro da série histórica ou mesmo, à ocorrência de uma precipitação localizada nas regiões do exutório da bacia.

Nota-se ainda que, em alguns eventos, o modelo não conseguiu representar as pequenas variações de vazão, como por exemplo a região de recessão do evento 3 (13° ao 15° dia) e do evento 4 (9° ao 13° dia). É aceitável que o modelo não consiga representar com fidelidade as variações mais bruscas dos hidrogramas observados, uma vez que, não existe nenhuma estação de medição de chuva e vazão no interior da bacia estudada. Mesmo com essas imperfeições, os resultados dos ajustes foram bastante satisfatórios, dentro das condições expostas anteriormente.

Os parâmetros do modelo que apresentaram os melhores ajustes são listados na tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Valores dos parâmetros de ajuste da componente hidrológica do modelo.

Evento	Parâmetros do modelo						Estatísticas		
	I _o (mm)	I _b (mm)	H	K _{sup} (h)	K _{sub} (h)	RMáx (mm)	r ²	% Erro Q _t ⁽¹⁾	% Erro Q _p ⁽²⁾
1	41	3,0	0,8	120	168	10	0,94	-1,92	6,26
2	22	1,8	0,7	24	24	3	0,85	2,85	4,15
3	16	0,8	0,7	24	24	3	0,78	4,04	-1,39
4	22	1,8	0,7	48	48	3	0,56	1,04	-1,57
5	24	2,8	0,9	24	72	5	0,88	-1,12	1,61
6	36	2,7	0,9	120	120	10	0,94	-2,80	-0,15

⁽¹⁾ % Erro Q_t = (Q_t calculado - Q_t observado) / Q_t observado . 100

⁽²⁾ % Erro Q_p = (Q_p calculado - Q_p observado) / Q_p observado . 100

Observando a tabela 5.13 verifica-se que o coeficiente de determinação (r²) variou de 0,56 (evento 4) a 0,94 (evento 1), com uma média de 0,83.

O erro relativo associado a vazão de pico (Q_p) foi em média de 1,49%, com variação entre +6,26 e -1,57. Em relação ao volume escoado (Q_t), a média dos erros relativos foi de 0,35%, variando entre +4,04 e -2,80. Vale observar que os valores negativos indicam que o modelo subestimou a grandeza e os positivos superestimaram. Fixando os valores máximos do erro relativo absoluto, nota-se que o modelo representou a transformação chuva-vazão da bacia com erros da ordem de 6% para a vazão de pico e 4% para o volume escoado. Assim pode-se considerar que foram bons os ajustes da fase hidrológica.

De acordo com a figura 5.19 nota-se que a aplicação dos parâmetros ajustados à bacia aos eventos de verificação conduziu a bons resultados. Os eventos 8 e 9, que representam as vazões de cheia, não apresentaram bons resultados na região de recessão dos hidrogramas, gerando vazões sempre abaixo dos valores observados.

Nota-se também uma tendência em superestimar a vazão de pico e reduzir o volume escoado, com exceção do evento 8 onde ele é subestimado.

De acordo com a tabela 5.15 verifica-se que as estatísticas dos eventos utilizados para a verificação não diferem significativamente das utilizadas para o ajuste do modelo. Houve uma menor variação do coeficiente de determinação (de 0,78 a 0,97), com valor médio de 0,84, de mesma ordem de grandeza daquele obtido na fase de ajuste. Quanto ao volume escoado, na fase de verificação teve uma maior variação do que na fase de ajuste, com valor médio de -3%. Já a vazão de pico foi sempre superestimada, com valor médio da ordem de 5%.

Tabela 5.15 - Estatística dos eventos utilizados para verificação dos parâmetros do modelo.

Evento	r^2	% Erro Qt	% Erro Qp
7	0,97	0,90	7,20
8	0,78	-10,00	0,32
9	0,78	0,72	8,72
Média	0,84	-2,79	5,41

Os resultados das estimativas da vazão de pico (Qp) e volume escoado superficialmente (Qt) para cada evento simulado são apresentados nas figuras 5.20 e 5.21.

Comparando os valores de vazão de pico e volume escoado superficialmente estimados pelo modelo e observados, tanto para os eventos de ajuste quanto para os de verificação, nota-se que o modelo reproduz adequadamente os valores observados. Os desvios observados podem estar associados às incertezas nos dados devido à falta de postos pluviométricos no interior da bacia, bem como a peculiaridades das funções adotadas pelo modelo para simular as diferentes etapas da transformação chuva-vazão.

5.6.2 Componente Sedimentológica

Os nove eventos da fase de ajuste e verificação foram simulados utilizando as duas opções disponíveis no modelo para cálculo da capacidade de transporte: a equação de Meyer Peter e Müller (1949) e a equação de Einstein (1950).

Devido à precariedade dos dados sedimentológicos existentes na bacia, a qualificação do ajuste entre a produção de sedimentos gerada pelo modelo e aquela medida só pode ser feita comparando os valores calculados com a nuvem de pontos oriunda das medições do DNOS.

Na figura 5.22 são apresentados os valores de descarga sólida expressos em função da vazão diária. Sobre a nuvem que representa as medições do DNOS foram lançados os dados calculados pelo modelo, tanto pela metodologia de Einstein como pela de Meyer Peter e Müller. Nota-se que os valores calculados situam-se dentro da dispersão dos dados naturais.

Cabe lembrar que a carga sólida calculada pelo modelo exigiu a estimativa de produção de erosão na saída das sub-bacias, a suposição de fração de sedimento em arraste e em suspensão, a propagação das vazões na calha e a avaliação da capacidade de transporte do escoamento. Portanto, se considerarmos todas as suposições e incertezas em cada uma das etapas para a geração de uma carga sólida, podemos considerar que o resultado é satisfatório. Assim sendo, os parâmetros adotados para essa primeira tentativa de ajuste (tabela 5.16) refletem, com boa confiabilidade, a produção de sedimentos da bacia.

Tabela 5.16 - Parâmetros finais de ajuste da fase sedimentológica

α	β	$I = K.LS.CP$	%Arraste	%Suspensão	Rugosidade
0,06	0,65	0,49	31	69	0,032

Caso os parâmetros apresentados na tabela 5.16 não fossem satisfatórios, deveriam ser reavaliados e reajustados até que os pontos calculados tivessem uma variabilidade compatível com aquela observada na natureza.

Além da comparação feita em nível das vazões diárias, pode-se avaliar globalmente o desempenho do modelo considerando a carga sólida total gerada por um evento. Nas figuras 5.23 e 5.24 são apresentadas, em abcissas, a carga sólida de cada evento estimada através da equação 5.2, aqui considerada com carga sólida medida, e, em ordenadas, o somatório das cargas sólidas vinculadas a cada vazão e geradas pelo modelo. No anexo 4 é apresentado o cálculo dessas grandezas.

eventos 8 e 9 apresentaram erros médios relativos da ordem de 47% em relação à metodologia de Meyer Peter e Müller e 42% em relação à metodologia de Einstein.

Isto pode estar associado ao fato de que o modelo admite somente o transporte ou depósito do material disponível das vertentes, sem contemplar a erosão das paredes do canal, além do modelo não considerar que no início dos eventos simulados, já tenha algum material disponível das vertentes a ser transportado.

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve por objetivo validar um modelo hidrossedimentológico em uma bacia na região de cabeceira do Pantanal Mato-grossense, implementando no modelo IPHS1 (transformação chuva-vazão) um módulo sedimentológico (transformação chuva - erosão - produção de sedimentos) avaliando os parâmetros geomorfológicos através de técnicas de Geoprocessamento.

6.1 Quanto ao uso do SIG para a estimativa de parâmetros

A utilização das técnicas de geoprocessamento para a discretização das bacias hidrográficas e avaliação dos parâmetros geomorfológicos mostrou-se altamente satisfatória, considerando a rapidez e a facilidade de obtenção dos resultados.

Os parâmetros do modelo foram estimados a partir de uma grade de resolução de 600 x 600 metros. Optou-se por utilizar esta resolução visto que resoluções maiores requerem maior capacidade computacional.

6.2 Quanto à componente hidrológica

Devido à falta de postos no interior da bacia estudada, houve grande dificuldade para a seleção de eventos a serem simulados, uma vez que a maioria dos eventos apresentaram nos hietogramas falta de correspondência entre a ocorrência da precipitação (em cada estação pluviométrica) e a ocorrência da onda de cheia observada na estação de medição, situada no exutório da bacia.

Deste modo admite-se que o número de eventos utilizados (fase de ajuste = 6 eventos, fase de verificação = 3 eventos) sejam suficientes para a validação do modelo.

Fase de Ajuste

Foram obtidos bons ajustes entre os hidrogramas observados e calculados pelo modelo utilizando a combinação das metodologias de Horton Modificado (separação do escoamento - chuva efetiva), Clark (escoamento superficial - histograma tempo-área), Reservatório Linear Simples (escoamento subterrâneo) e Muskingun Cunge Linear (propagação de escoamento na calha do rio).

O modelo representou a transformação da chuva em vazão na saída da bacia com um coeficiente de determinação médio da ordem de 0,83 e erros máximos absolutos da ordem de 6% para a vazão de pico e de 4% para o volume escoado.

Fase de Verificação

A aplicação dos parâmetros médios de ajuste aos eventos de verificação conduziu a bons resultados, apresentando um coeficiente de determinação médio da ordem de 0,84.

Observou-se, em relação à fase de ajuste, uma maior variação do volume escoado, com erro máximo absoluto da ordem de 10%. Por outro lado, a reprodução da vazão de pico não variou significativamente, apresentando um erro médio da ordem de 8%.

Em síntese, a componente da simulação hidrológica, baseada no modelo IPHS1, apresentou bons resultados em todas as faixas de vazões (cheia e estiagem), exceto em alguns eventos que apresentaram variações bruscas nos hidrogramas observados, podendo estes estarem associados a uma falha no registro da série histórica ou devido a precipitações localizadas. O modelo não conseguiu representar esse tipo de comportamento, devido à carência de postos de medição de chuva e vazão no interior da bacia, bem como devido a própria concepção das metodologias utilizadas para simular as diferentes etapas da transformação da chuva em vazão.

6.3 Quanto à componente sedimentológica

Produção de Sedimentos nas vertentes utilizando a MUSLE.

Foram ajustados os coeficientes α e β da MUSLE para a região estudada a partir dos dados de medição de descarga sólida efetuados pelo DNOS no período de 1979 a 1982. Os coeficientes α e β encontrados são 0,06 e 0,65, conduzindo a um coeficiente de determinação igual a 0,99, sendo a equação expressa por:

$$Y = 0,06 (Q_t Q_p)^{0,65} K.LS.CP$$

Propagação de sedimento no canal.

Para efetuar o balanço de sedimentos no trecho de canal foram implementadas duas metodologias de avaliação da capacidade de transporte do escoamento: a formulação de Meyer Peter e Müller (1949) e a de Einstein (1950).

Não houve diferença significativa entre os resultados das metodologias implementadas no modelo, uma vez que o sedimento produzido na saída do trecho é proveniente somente do material produzido nas vertentes.

Estimativa dos parâmetros do modelo.

Os parâmetros ajustados na fase sedimentológica foram:

Tabela 6.1 - Parâmetros finais da fase sedimentológica do modelo proposto

α	β	$I = K.LS.CP$	%Arraste	%Suspensão	Rugosidade
0,06	0,65	0,49	31	69	0,032

Os parâmetros obtidos neste estudo são preliminares e devem ser consideradas apenas como uma primeira aproximação da estimativa da produção de sedimentos na região.

6.4 Quanto ao modelo proposto

Considerando a complexidade e a variabilidade natural do processo de erosão, somado às suposições e incertezas inerentes a cada uma das metodologias utilizadas na produção de sedimentos na saída da bacia, podemos considerar que os resultados foram satisfatórios.

A nível de vazões diárias, o modelo subestimou a produção de sedimentos para a faixa de vazões máximas ($Q > 70 \text{ m}^3/\text{s}$) e superestimou a produção de sedimentos para a faixa de vazões mínimas ($Q < 15 \text{ m}^3/\text{s}$). O modelo obteve melhores ajustes para a faixa de vazões médias ($15 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 70 \text{ m}^3/\text{s}$).

A nível de produção total de sedimentos para um evento, considerando a contribuição de todas as vazões que constituem o hidrograma, o modelo subestimou a produção de sedimentos. Isto pode estar associado ao fato de que o modelo admite somente o transporte ou depósito do material disponível das vertentes, sem contemplar a erosão das paredes do canal, além do modelo não considerar que no início dos eventos simulados, já tenha algum material disponível das vertentes a ser transportado.

Esse aspecto é bastante significativo na bacia estudada, pois nas regiões mais altas são encontrados solos arenosos, que associados às altas velocidades do escoamento podem levar a erosão das paredes do canal. Esse processo é majorado nas épocas de cheia onde as vazões são maiores.

6.5 Recomendações

A carência de informações e limitações inerentes às metodologias utilizadas nesse estudo obrigaram a adoção de várias hipóteses e simplificações. Com o intuito de diminuir os efeitos das simplificações em trabalhos futuros, visando a continuidade desta linha de pesquisa, recomenda-se:

- fazer novos ajustes dos parâmetros do modelo, com as seguintes sugestões:
 - fazer ensaios de campo para a determinação do fator de erodibilidade K da MUSLE, uma vez que neste estudo foram usados índices estabelecidos para solos do estado de São Paulo.
 - obter informações detalhadas sobre o período de preparo, plantio e colheita das principais culturas presentes na região e das práticas conservacionistas utilizadas.
 - fazer medições de descarga sólida na saída dos trechos de canal, para comparação dos valores calculados pelo modelo e verificação dos percentuais de material que passam em suspensão e arraste, definindo melhor a importância que essas modalidades de transporte têm durante as épocas de cheia e estiagem.
 - fazer levantamentos de campo detalhados dos trechos de canal, com a finalidade de se obter a curva granulométrica, rugosidade e declividades. Comparar a declividade obtida em campo com a obtida pelo MNT.
- implementar metodologia computacional de integração do modelo IPHS1-MEERC com as técnicas de geoprocessamento para auxiliar na determinação das características físicas e na criação de arquivos de entrada de dados.
- utilizar outras metodologias disponíveis dentro da componente hidrológica do modelo para comparação dos resultados.
- implementar metodologias de propagação de sedimentos em reservatórios na componente hidrológica do modelo.

7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, C. V.; NEIBLING, W. H.; FOSTER, G. R. Estimating Sediment Transport Capacity in Watershed Modeling. Transactions of the ASAE, p. 1211-1226, 1981.
- ALONSO, J. A.; GARCÍA, R. A.; REQUEJO, A. S. Métodos de Estimación de la Erosion Hídrica. Editora Agrícola Espanhola, S. A., Madrid - Espanha, 1994.
- ARONOF, Stan. Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications, Ottawa - Canada, 1989.
- BAND, L. Topographic Partition of watersheds with digital elevation models. Water Resources Research, v. 22, no.1, p. 15-24. 1986.
- BEASLEY, D. B.; HUGGINS, L. F.; MONKE, E. J. ANSWERS: A Model for Watershed Planning. Transactions of the ASAE- p. 938-945, 1980.
- BEER, C. E.; FARNHAM, C. W.; HEINEMANN, H. G. Evaluating Sedimentation Prediction Techniques in Western Iowa. Transactions of the ASAE- p. 828-833, 1966.
- BENNETT, J. P. Concepts of Mathematical Modeling of Sediment Yield. Water Resources Research, Vol. 10, No. 3, June, 1974.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação de Solo. Piracicaba, Livroceres, 1985. 392p.
- BEVEN, K. J.; MOORE, I. D. Terrain Analysis and Distributed Modelling in Hydrology. Advances in Hydrological Processes. Wiley, Great Britain, 1992.
- BHASKAR, N. R., JAMES, W. P., DEVULAPALLI, R. S. Hydrologic Parameter Estimation Using Geographic Information System. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 118, n.º 5, Sept/Oct. ASCE, pg. 492-512, 1992.
- BHASKAR, N. R.; JAMES, W. P.; DEVULAPALLI, R. S. Hydrologic Parameter Estimation Using Geographic Information System. 2Th National Conference on Civil Engineering Applications of Remote Sensing and GIS. Washington, D. C., 1991.
- BORGES, A. L. de O. Modelisation de L'erosion Sur Deux Bassins Versants Experimentaux des Alpes du Sud. Tese de Doutorado pela Universidade Joseph Fourier. Grenoble, França, 1993.
- BULHÕES MENDES, C. A. Modelling of Pollutant Distribution in Surface Runoff in Ungauged Catchments Using Geographic Information Systems. Tese de Doutorado. Bristol - England, 1994.
- BURROUGH, P. A. Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, Claredon Press, 1986.
- CAMPANA, Nestor Aldo. Estimativa de Parâmetros Físicos de Bacias utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informações Geográficas. Dissertação de Mestrado - IPH - UFRGS, 1992.

- CANALI, G.E. Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais, feito das características das chuvas, da declividade das vertentes e do uso do solo. Dissertação de mestrado IPH - UFRGS, Porto Alegre, 1981.
- CARVALHO, N. de O. & MONTEIRO, A. E. G. de C. Sistema de Alerta e Previsão de Cheias do Pantanal. Rio de Janeiro, Novembro - 1991.
- CARVALHO, N. de O. Hidrossedimentologia Prática. CPRM, Rio de Janeiro, 1994.
- CENTENO, J. A. SILVA; KISHI, R. T. Planejamento dos Recursos Hídricos Através de Técnicas de Sistemas de Informações Geográficas. I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Recife, 25 a 27 de Novembro, 1992.
- CHANG, H. H. Fluvial Processes in River Engineering. Willy Inter Science. USA, 1988.
- CHAVES, H. M. L. Modelagem Matemática da Erosão Hídrica: Passado, Presente e Futuro. XXV Congresso Brasileiro da Ciência do Solo. Viçosa, julho de 1995.
- CHOW, V. T. Open-Chanel Hydraulics. International Student Edition - McGrall Hill Kogakusha, 1959.
- COELHO SILVA, J. R. Fatores da Equação Universal de Perdas de Solo e sua Conversão para o Sistema Métrico Internacional. s.l.: s. ed., s.d.
- COLLINS, S. H. Terrains Parameters Directly From Digital Terrain Model. The Canadian Surveyor, v.29, p. 507-518, 1975.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. A Água em Revista. Revista Técnica e Informativa da CPRM. Ano I - Número 1 - Novembro, 1993.
- COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS. Suplemento das Águas - Maio, 1996.
- COROLEY II, T. E. A Micro-Hydrology Computation Ordering Algoritm. Journal of Hydrology - No. 48 - p. 221-236. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Printed in the Netherlands, 1980.
- DE LLANO, F. L. C.; BARO, A. P. S. Metodologia Integrada para la Evaluacion de Cuencas. Seminario Sobre Erosion y Sedimentation en Cuencas de Montaña - Area 6. Secretaria de Recursos Hídricos, República Argentina, 1983.
- DE MORAES NOVO, E. M. L. Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações. Edgard Blucher, p.307, 1989.
- DE MORAIS, L. F. B.; da SILVA, V. Índice EI₃₀ e sua Relação com o Coeficiente de Chuva do Sudoeste do Mato Grosso. Revista Brasileira da Ciência do Solo, 15:339-344, 1991.
- DE MORAIS, L. F. B.; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Índices de Erosividade Correlacionados com Perdas de Solo no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira da Ciência do Solo, 12:281-284, 1988.
- DE ROO, A. P. J.; OFFERMANS R. J. E.; CREMERS, H. D. T. LISEM: A Single-Event Physical Based Hydrological and Soil Erosion Model for Drainage Basins. II: Sensitivity Analysis, Validation and Application. Hydrological Processes, Vol. 10, 1119-1126, 1996.

- DE ROO, A. P. J.; WESSELING, C. G.; RITSEMA, C. J. LISEM: A Single-Event Physical Based Hydrological and Soil Erosion Model for Drainage Basins. I: Theory, Input and Output. Hydrological Processes, Vol. 10, 1107-1117, 1996.
- DE SÁ, J. F. Integração de Modelo Distribuído e Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado - IPH - UFRGS, 1995.
- DEL TÁNAGO, M. G. La Ecuacion Universal de Perdidas de Suelo. Pasado, Presente y Futuro. Revista Ecologia, No. 5, pp. 13-50, 1991.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Controle de Erosão - IPT 2a. edição, S.P. Jan/1990.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Águas e Energia Elétrica. Ano 5 - Número 16, 1989.
- DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P.; CLARK, D. J. A Delivery Ratio Approach for Seasonal Transport of Sediment. In: Drainage Basin Sediment Delivery -Symposium Albuquerque, Mew Mexico, 4-8 August, No. 159 - p. 237-252, 1986.
- FAN, Y.; BRAS, R. L. On the Concept of a Representative Elementary Area in Catchment Runoff. In: Hydrological Processes, Vol. 9, p. 821-832, 1995.
- FELGUEIRAS, C. 1988. Aplicações de modelos de elevação e integração com imagens digitais. V. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal RN., 1988.
- FLEMING, G. Sediment Erosion-Transport-Deposition Simulation - State of the Art. In: Sediment Yield Workshop. Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. USDA, p. 274-285, 1975.
- FLEMING, G.; KADHIMI, A. A. Sediment Modelling and Data Sources: a Compromise in Assessment. Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield. Proceedings of the Exeter Symposium - IAHS Publication No. 137 - Julho, 1982.
- FOSTER, G. R. Advances in Wind and Water Erosion Prediction. Journal of Soil and Water Conservation. Janeiro-Feveiro, 1991.
- FOSTER, G. R. Process-Based Modelling of Soil Erosion by Water on Agricultural Land. Soil Erosion on Agricultural Land - "British Geomorphological Research Group" Symposium Series, 1990.
- FOSTER, G. R., MEYER, L. D. ONSTAD, C. A. A Runoff Erosivity Factor and Variable Slope Length Exponents for Soil Loss Estimates. Transactions of the ASAE, p. 683-687, 1977.
- FOSTER, G. R.; LANE, L. J.; NOWLIN, J. D. Estimating Erosion Sediment Yield on Field-Sized Areas. Transactions of the ASAE- p. 1253-1261, 1981.
- FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K. RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of Universal Soil Loss Equation do SI Metric Units. Journal of Soil Water Conservation, November-December, 1981.
- FRONZA, D. Avaliação de Modelos Matemáticos Precipitação-Vazão na Bacia Hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, 1995.

- GALVÃO, C. O. Modelagem do Escoamento Superficial e da erosão do solo em Microbacias, Campina Grande, PB; Diss. de Mestrado, 1990.
- GARCIA, E. P. Contribuição à Previsão da Capacidade de Transporte em Canais a Fundo Fixo e Móvel. Dissertação de mestrado - IPH - UFRGS, 1983.
- GOLDEN SOFTWARE INC. Surface Mapping System v 5.0. User's Guide. Colorado, 1994.
- GOLDENFUM, J. A. Simulação Hidrossedimentológica em Pequenas Bacias Rurais. Dissertação de Mestrado, IPH - UFRGS . Porto Alegre, 1991.
- GOLTERMAN, H. L.; SLY, P. G., THOMAS, R. L. Study of the Relationship Between Water Quality and Sediment Transport. A Guide for the Collection and Interpretation of Sediment Quality Data. A Contribution to the International Hydrological Programme. Technical Papers in Hydrology 26, UNESCO, 1981.
- GRAF, W. A. Hydraulics of Sediment Transport. USA, McGrall-Hill, 1971.
- GRECO, M. Erosion Processes at the Hillslope Scale. In: Hydrological Processes, Vol. 10, p. 985-994, 1996.
- HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. Hydrologic Modeling of Small Watersheds. ASAE, USA, 1982.
- HADLEY, R.F.; LAL, R.; ONSTAD, D.E. Recent Developments in Erosion and Sediment Yield Studies. Technical Documents in Hydrology. UNESCO, Paris, 1985.
- HAERTEL, V. Metodologias Visando a Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto para Aplicação ao uso e ocupação do Meio Físico. Relatório Técnico. UFRGS - CEPSRM, Porto Alegre, 1995.
- HOFFER, R. M. Remote Sensing: The quantitative approach. West Lafayette-USA, McGraw-Hill, inc., p.227-288, 1978.
- HRISSANTHOU, V. Mathematical Model for the Computation of Sediment Yield from a Basin. In: Drainage Basin Sediment Delivery Budgets - Of a Symposium held in Albuquerque, New Mexico, USA. IAHS No. 159, 1986.
- HRISSANTHOU, V. Simulation Model for the Computation of Sediment Yield due to Upland and Chanel Erosion from a Large Basin. In: Sediment Budgets - Proc. of the Porto Alegre Symposium. IAHS Publ. No. 174, 1988.
- HUSSEIN, M. H. Erosion e Sediment Prediction on Farm Fields. West Lafayette, Purdue University, 276f. Tese Ph.D, 1982.
- HUTCHINSON, M. F. A New procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology, 106, p. 211-232, 1988.
- IBGE - SEPLAN-MS. Susceptibilidade à erosão da macroregião da bacia do Paraná-MS. Convênio de Cooperação Técnico Científica entre IBGE - SEPLAN-MS., 1992.
- JACKSON, L. W.; GEBHARDT, K.; VAN HAVEREN, B. P. Use of the Modified Universal Soil Loss Equation for Average Annual Sediment Yield Estimates on Small Rangeland Drainage Basins. Drainage Basin Sediment Delivery - Albuquerque Symposium, IAHS, No. 159, 1986.

- JENSON, S.K. E DOMINGUE, D.O. Extrating Topographic Structures from Digital Elevation Data, for Geographic Information Analysis - Photogrammetric Engennering & Remote Sensing, v.11, 1988.
- JULIEN, P. Y. Erosion and Sedimentation. Cambrige University Press, USA, 1995.
- JULIEN, P. Y.; FRENETE, M. Scale Effects in Predicting Soil Erosion. In: Drainage Basin Sediment Delivery - Proc. Of a Symposium held in Albuquerque, New Mexico, USA. IAHS No. 159, 1986.
- KAUARK LEITE, L. A. Contribution de la Modélisation à L'étude Des Pollutions Diffuses D'origine Agricole: Étude Comparative Des Principaux Models Evaluant L'Impact de Ces Pollutions sur les eaux Superficielles Continentales. Université Paris - Val de Marne. Ecole Nationale de Ponts et Cahaussés, 1986.
- KAUARK LEITE, L. A.; MOUCHEL, J. M. Contribuição á Modelagem da Poluição Difusa de Origem Agrícola: Transporte de Sólidos em Suspensão e de Nitrogênio em Pequenas Bacias Hidrográficas. RBE - Vol. 8-No. 1, 1990.
- KIRKBY, M. J. Hillslope Hydrology. John Wiley and Sons Ltd. Grã Betanha, 1978.
- KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. Soil Erosion. John Wiley and Sons Ltd, 1980.
- LAFLEN, J. M.; ELLIOT, W. J.; SIMANTON, J. R. WEPP - Soil Erodibility Experiments for Rangeland and Cropland Soils. Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 46- Number 1, Janeiro-Fevereiro, 1991.
- LANDGREBE, D. A. The Quantitative Approach: Concept and Rationale. In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. ed. Remote Sensing: The Quantitative Approach. New York: McGraw-Hill. 396p. ch-1, p.1-20, 1978.
- LANE, J. L. & NEARING, M. A. USDA - Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation. NSERL Report No. 2. USDA-ARS National Soil Erosion Research Labratory. Indiana, 1989.
- LANE, L. J.; SCHERTZ, D. L.; ALBERTS, E. E. The US National Project to Develop Improved Erosion Prediction Technology to Replace the USLE. Sediment Budgets - Proceedings of the Porto Alegre Symposium - IAHS Publications No. 174, Dezembro, 1988.
- LANE, L.J., et all. The US National Project to Develop Improved Erosion Prediction Technology to Repalce the USLE. Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium). IAHS Pub. n. 174. Porto Alegre - 1988.
- LO, K. F. A.; CHIANG, S. H.; TSAI, B. W. Erosion Evaluation and Prediction in Mountain Regions of Taiwan. Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions - Proccedings of the Chengdu Symposium, July, 1992. IAHS Publications No. 209, 1992.
- MAGALHÃES, P. C. Hidrologia Superficial. In: RAMOS et al. Engenharia Hidrológica. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. São Paulo, Nobel. ABRH, 1989.
- MAHMOOD, Khalid & PONCE, V. Miguel. Computer Programs for Sediment Transport. Colorado State University - Engineering Research Center. Fort Colins, Colorado, 1975.

- MARK, D. M. Automated detection of drainage networks from digital elevation models. Cartographica, v.21, p. 168-178, 1984.
- MARKS, D., DOZIER, J. E FREW. Automated basin delinention from digital elevation data. Geoprocessing 2, p. 299-311, 1984.
- MEIJERE, J. C., MARDANUS, B. e VAN DE KASTEELE, A.M. Land use modelling for the upper Komerling watershed. ITC Publication, no. 7, p. 91-95. 1988.
- MENDES, C. A. B.. Sensoriamento Remoto, Sistema de Informações Geográficas e modelo hidrológicos. Boletim ABRH, no. 51 - agosto/dezembro, 1994.
- MEYER, L. D. Evolution of the Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation, Março-Abril, 1984.
- MEYER, L. D. Soil Erosion by Water on Upland Areas. In: SHEN, H. W. River Mechanics. Fort Colins, V. 2, cap. 27, 1971.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Projeto RADAM BRASIL. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso potencial do solo. Folha SE-21 (Corumbá) Rio de Janeiro, 1982.
- MINISTÉRIO DO INTERIOR. Estudo de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai - EDIBAP. Superintendência do Desenvolvimento da Região Centro Oeste (SUDECO) - Relatório de 1a Fase - Convênio: Governo Brasileiro - UNDP - OEA. Brasília, Nov/1979.
- MITCHELL, J.B. E BUBENZER, G. D. Soil Loss Estimation. Soil Erosion. Interscience Publication. p. 17-56, 1980.
- MOORE, I. D.; WILSON, J. P. Length-Slope Factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified Method of Estimation. Journal of Soil and Water Conservation - 45 (5): 423-428, 1979.
- NAKATO, T. Tests of Selected Sediment - Transport Formulas. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 116, No. 3, March, 1990.
- OVERTON, D. E. Stormwater Modeling. Academic Press, Inc. NY. EUA, 1976.
- PAIVA, J. B. D. Avaliação dos Modelos Matemáticos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, SP., 1988.
- PAIVA, J. B. D.; LAGO, N. TSR -1.0 - Software para o Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios. Produção de Sedimentos. II Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Rio de Janeiro, 24 a 27 de setembro, 1996.
- PONCE, V. M. Engineering Hydrology - Principles and Pratices. San Diego State University. Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- RAUDKIVI, A. J. Sedimentation - Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water. IAHR-AIRH. Hydraulic Structures Design Manual, n.º 6, 1993.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A. Revised Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation. Janeiro-Fevereiro, 1991.

- RISSE, L. M.; NEARING, M. A.; NICKS, A. D. Error Assessment in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society American Journal, 57: 825-833 (Maio-Junho), 1993.
- RISSO, A. Obtenção e Manipulação dos Parâmetros da Equação Universal de Perda de Solos Através de Técnicas de Geoprocessamento. Dissertação de mestrado, IPH - UFRGS, Porto Alegre, janeiro/1993.
- RISSO, A.; CHEVALLIER, P. Uso de Modelo Numérico do Terreno para a obtenção dos Parâmetros topográficos da Equação Universal de Perda de Solo Modificada. V Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,. Anais, ABRH/APRH, 4.v, v1, p.487-493, Rio de Janeiro, 1991.
- ROEHL, J. N. Sediment Sources Areas, Delivery Ratios and Influencing Morphological Factors. Publications 58, IAHS, 1983.
- ROSE, C. W. Erosion and Sedimentation. Hydrology and Water Management in the Humid Tropics Hydrological Research Issues and Strategies for Water Management. UNESCO, Cambridge - University Press, 1993.
- ROSS, B. B.; SHANHOLTZ, V. O.; CONTRACTOR, D. N. A Spatially Responsive Hydrologic Model to Predict Erosion and Sediment Transport. Water Resources Bulletin - American Water Resources Association, Vol. 16, No. 3, Junho, 1980.
- SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing. New York. Academic Press, 1993.
- SEMMELMAN, F. R.; BORDAS, M. P. SILVEIRA, R. L. Contribuição para o Conhecimento da Influência do Uso do Solo sobre os Regimes Hidrológico e Sedimentológico. VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Simpósio Internacional de Recursos Hídricos em Regiões Metropolitanas. Anais - São Paulo, 11 a 14 de Nov. de 1985.
- SENDRA, J. B. Sistemas de Información Geográfica. Ed. Rialp, S.A.- Madrid, España, 1992.
- SILVEIRA, G. L. . Erosão de solo na região da encosta do planalto no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado, IPH - UFRGS (D. 93). Porto Alegre, agosto-1982.
- SIMONS, D. B.; SENTÜRK, F. Sediment Transport Technology. Water Resources Publications, Colorado - USA, 1977.
- SINGH, V. P. Applied Modeling in Catchment Hydrology. Water Resources Publications, USA, 1982.
- SIVERTUM, A., REINELT, L. CASTENSSON, R. A. Gis Method to aid non-point Source Critical Area analysis. International Journal Geographical Information System, v. 2, no. 4, p.365-378, 1988.
- STOKING, M. A working model for the estimation fo soil loss suitable for underdeveloped areas. Development Studies Occasional Paper, n.15. University of East Anglia. UK., 1981.
- STUEBE, M.; JOHNSTON, D.M. Runoff volume estimation using GIS techniques. Water Resources Bulletin. Vol.26, no.4, p. 611-620, 1990.
- SWAIN, P.H. Remote Sensing: the quantitative approach. West Lafayette-USA, Mc Graw-Hill, inc., pp.137-185, 1978.

- TASK COMMITTEE. Sediment Sources and Sediment Yields. Journal of Hydraulics Division - Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Vol. 96, No. HY6, Junho, 1970.
- TASK COMMITTEE. Sediment Transportation Mechanics: Nature of Sedimentation Problems. Journal of Hydraulics Division - Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Vol. 91, No. HY2, March, 1965.
- TORRI, D.; BORSELLI, L. Overland Flow and Soil Erosion: Some Processes and Their Interactions. Catena Supplement 19, p. 129-137, Alemanha, 1991.
- TUCCI, C. E. M. Modelos Matemáticos em Hidrologia e Hidráulica. Revista Brasileira de Engenharia. Tomo 1, 2 e 3, 1986 .
- TUCCI, C. E. M. Modelos para Gerenciamento dos Recursos Hídricos. COLEÇÃO ABRH DE RECURSOS HÍDRICOS. São Paulo, Nobel. ABRH, 1987.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.
- TUCCI, C. E. M.; SANCHEZ, J.; LOPES, M. S. Modelo Matemático Precipitação - Vazão IPH II. Recursos Hídricos, Publicação 3, 64p., 1982.
- TUCCI, C. E. M.; ZAMANILLO, E. A.; PASINATO, H. D. Sistema de Simulação Precipitação-Vazão IPHS1. Recursos Hídricos - Publicação 20, 1989.
- TUCCI, C. E.; BORDAS, M. P., Coord. Hidrossedimentologia do Alto Paraguai: Versão Preliminar. Porto Alegre: IPH/UFRGS. Vol. 1, 1996.
- UNESCO. Hydrological studies of the Upper Paraguay River Basin (Pantanal) 1966-1972. Technical Report. Paris, junho de 1973.
- VANONI, V. A. Sedimentation Engineering. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 54, 1977.
- WALLING, D. E. The Sediment Delivery Problem. In: RODRIGUEZ-ITURBE e GUPTA. Scale Problems in Hydrology. Journal of Hydrology, 65: 209-237, 1983.
- WIGDOR, Y.; LOPES, V. L.; FFOLIOTT, P. F. Comparation of Sediment Discharge Predictions for Small Watersheds in the Southwestern United States. International Journal of Sediment Research, Vol. 11, No. 1, April, 1996.
- WILLIAMS, J. R.; HILER, E. A.; BRAID, R. W. Prediction of Sediment Yields from Small Watersheds. Transactions of the ASAE, p. 1157-1162, 1971.
- WILLIAMS, J.R. Sediment-Yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Source. Proceedings of the Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi, Novembro, 28-30, 1972.
- WILLIAMS, J.R. & BERNDT, H.D. Sediment Yield Computed With Universal Equation. Journal of the Hydraulics Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers., New York, v.98, no.12, p.2087-2099.Dez/1972.

- WILLIAMS, J.R. Sediment Routing for Agricultural Watersheds. Water Resources Bulletin. American Resources Association. 10, v. 2, n.5, p.965-974, 1975.
- WILLIAMS, J.R. & BERNDT, H.D. Sediment yield prediction on watershed hydrology. Transaction of ASCE, Saint Joseph. p.1100-1104, 1977.
- WILLIAMS, J.R. Sediment Delivery ratios determined with sediment and runoff models. In: Paris Symposium - Erosion and solid mater transport in inland waters. Wallington: IAHS. 352p., p. 168-179, 1977.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH,D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions American Geophysical Union, Washington, D.C., v. 39, no.2, p.285-291, 1958.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Science Society of America Journal, Madison, V.23, p.246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH,D.D. A Universal Soil-Loss Equation to Guide Conservation Farm Planning. In: 7Th, International Congress of Soil Science. Madison, Wisconsin, USA, 1960.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites. Journal of Soil and Water Conservation. Setembro-Outubro, V. 26, No. 5, 1971
- WISCHMEIER, W. H. Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation. Janeiro-Fevereiro, V. 31, No. 1, 1976.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH,D.D. Predicting rainfall-erosion losses, a guide to conservation planning. USDA - Agricultural Handbook, No. 537. Washington, 1978.
- WRI. World Resources 1992-1993. Tile World Resources Institute, Oxford University Press, p. 385, 1992.

8

ANEXOS

ANEXO 1

A seguir são apresentados as descrições de cada um dos registros que deram origem ao arquivo de entrada de dados do modelo. A descrição inclui o nome das variáveis, a descrição e as unidades das mesmas.

DADOS DE ENTRADA DO MODELO

VARIÁVEIS CORRESPONDENTES AOS COMENTÁRIOS INICIAIS, OPERAÇÕES DE SOMA DE HIDROGRAMAS, SOMA DE SEDIMENTOGRAMAS, E IMPRESSÃO DOS RESULTADOS

COMENTARIOS INICIAIS DO ARQUIVO DE ENTRADA

Variáveis	Descrição	Unidades
CABE	Comentários Gerais	-
NT	Número de Intervalos de Tempo de Simulação	-
NS	Número de Operações Hidrológicas	-
NPCH	Número de Postos de Chuvas	-
NTT	Número de Intervalos de Tempo com Chuva	-
AT	Intervalo de Tempo (em segundos)	-

VARIÁVEIS INICIAIS CORRESPONDENTES A CADA OPERAÇÃO HIDROLÓGICA

Variáveis	Descrição	Unidades
CA	Comentário para cada operação hidrológica	-
NCOD	Número do código da operação desejada = 1 Propagação em rio = 2 Transformação chuva - vazão = 3 Hidrograma lido = 4 Soma de hidrogramas = 5 Impressão final (graficação conjunta) = 6 Soma do aporte de sedimentos	-
IPP	=0 Impressão resumida do algoritmo de perdas =1 Imprime tabela de escoamento de perdas	-
IPR	=0 Não grafica hidrograma resultante =1 Grafica hidrograma resultante	-
ILIST	=0 Não imprime tabela do hidrograma	-

	=1 Imprime tabela do hidrograma	
IS	N.º Armazenamento do hidrograma de saída	-
IE	N.º Armazenamento do hidrograma de entrada	-
IOBS	= 0 Não possui dados observados	-
	= 1 Possui dados observados	
ISED	Deseja efetuar cálculo da Capacidade de Transporte de Sedimentos no canal?	
	= 0 Não	-
	= 1 Sim	
IHENT (se NCOD=1)	= 1 Cálculo da Capacidade de Transporte por Meyer Peter and Müller	-
	= 2 Cálculo da Capacidade de Transporte por Einstein	
ISENT	N.º de armazenamento do sedimentograma para comparação	-
QMAX	Vazão máxima p/ plotagem de gráfico (p/ IPR > 0)	m ³ /s
QMIN	Vazão mínima p/ plotagem de gráfico (p/ IPR > 0)	m ³ /s
PMAX	Precipitação máxima p/ plotagem. de Gráfico (p/ IPR > 0)	mm

SOMA DE HIDROGRAMAS

Variáveis	Descrição	Unidades
NSUM	Número de Hidrogramas a serem Somados	-
ISM	Número de Armazenamento dos Hidrogramas a serem somados	-

SOMA DE SEDIMENTOGRAMAS

Variáveis	Descrição	Unidades
NYSOMA	Numero de Bacias Produtoras de Sedimento a serem somadas	-
HYSOMA	Bacias a serem somadas	-

IMPRESSÃO DOS RESULTADOS

Variáveis	Descrição	Unidades
NPL	Quantidade de seções com graficação conjunta	-
IPL	Número de hidrogramas com graficação conjunta	-

VARIÁVEIS CORRESPONDENTES A COMPONENTE HIDROLÓGICA

PROPAGAÇÃO EM RIO

MUSKINGUM-CUNGE LINEAR

Variáveis	Descrição	Unidades
QREF	Vazão de Referência	m ³ /s
B	Largura do Canal	m
ALONG	Comprimento do Trecho de Propagação	m
SO	Declividade do Fundo do Canal	m/m
DTCAL	Intervalo de Tempo de Cálculo	s
NTRECH	Número de Sub-trechos	-
RUG	Rugosidade do Trecho	-
ILAT	Número de Armazenamento do Hidrograma de contribuição Lateral - existe quando se deseja que um hidrograma contribua de forma distribuída	-

TRANSFORMAÇÃO CHUVA - VAZÃO

CARACTERÍSTICAS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Variáveis	Descrição	Unidades
NTPU	N.º postos pluviométricos empregados na sub-bacia	-
LCHUVA	= 0 Não Reordena a Tormenta de Projeto = 1 Reordena a Tormenta de Projeto Obs.: só aplicável qdo. a tormenta de Projeto é obtida de relações I-D-F	-
NPU(i) i=1,NTPU	N.º dos postos empregados(em ordem crescente)	-
COTH(i); i=1,NTPU	Coefficiente dos polígonos de Thiessen	-

SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO - MÉTODO DE HORTON MODIFICADO

Variáveis	Descrição	Unidades
XIO	Taxa de infiltração inicial, I_0 ($t = 0$)	mm/h
XIB	Taxa de infiltração mínima, I_b	mm/h
H	$h = \exp(-K)$, onde K é um parâmetro empírico relacionado ao tipo de solo	1/h
RMAX		mm
RT1	Vazão de Base Específica ao Início da chuva	$m^3/s/km^2$
AINP	Porcentagem de Área Impermeável	0 - 1

ESCOAMENTO SUPERFICIAL - MÉTODO DE CLARK

Variáveis	Descrição	Unidades
XK	Parâmetro KS - retardo do reservatório linear simples	h
TC	Tempo de concentração da bacia	h
XN	Parâmetro XN - forma do histograma Tempo-Área	-
AREA	Área da Sub-bacia	km^2

ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO - MÉTODO DO RESERVATÓRIO LINEAR SIMPLS

Variáveis	Descrição	Unidades
AREA	Área da Sub-bacia	km^2
XKSUB	Parâmetro do Reservatório Linear Simpl	h
QSUB0	Vazão Base Inicial	m^3/s

VARIÁVEIS CORRESPONDENTES A COMPONENTE SEDIMENTOLÓGICA

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Variáveis	Descrição	Unidades
FATORI	Produto dos parâmetros K, LS e CP da MUSLE	-
ALFA	Coefficiente α , de regressão da MUSLE	-
BETA	Coefficiente β , de regressão da MUSLE	-
PRSUSP	Porcentagem de material que é transportado em suspensão	-
PRARRA	Porcentagem de material que é transportado por arraste	-

CAPACIDADE DE TRANSPORTE DO ESCOAMENTO

Variáveis	Descrição	Unidades
<i>MÉTODO DE MEYER - PETER AND MÜLLER (1949)</i>		
D ₉₀	Diâmetro para 90% de material fino	m
DM	Diâmetro Médio de material fino	m
<i>MÉTODO DE EINSTEIN (1950)</i>		
NDA	N.º de dados de entrada	
VISC	Viscosidade Cinemática	m ² /s
D ₅₀ M	Diâmetro do material de fundo D ₅₀	mm
SIGMA	Coefficiente de gradação, dado por: $0,5 [(D_{84}/D_{50}) + (D_{50}/D_{16})]$	-

ANEXO 2

A seguir é apresentado um exemplo do arquivo de entrada de dados do evento 1 utilizando a metodologia de Einstein (1950).

EXEMPLO DO ARQUIVO DE ENTRADA DE DADOS

```

EVENTO 1 - JORIGUE (11/OUT - 23/OUT/79 - 13dias) EINSTEIN (1950)
  13      20      4      05      86400.0
  1      1
  0.0    0.0    0.0    0.0    16.1
  2      1
  0.0    0.0    0.0    37.0    5.0
  3      1
  0.0    0.0    0.0    50.0    0.0
  4      1
  12.4   0.0    33.2   0.0    0.0
P -> Q em Bacia 1 -> H1
  2      1      1      1      1      0      0
0
  010.0  0.0    20.0
  4      0
  1      2      3      4
  .10    .35    .40    .15
  1
  41.0   3.00   .80    005.00   .0057   .00
  3      1
  216.20 024.10   1.5    498.14
  498.14 216.3   1.5
  1.04   .060    .650   .69     .31
P -> Q em Bacia 45 -> H2
  2      1      1      1      2      0      0
0
  006.0  0.0    20.0
  4      0
  1      2      3      4
  .1     .35    .4     .15
  1
  41.0   3.00   .80    005.00   .0057   .00
  3      1
  216.20 024.10   1.5    205.53
  205.53 216.3   1.0
  .330   .060    .650   .69     .31
Soma de Sedimentos S1 + S45 -> (SA) H3
  6      0      1      1      3      0      0
0
  015.0  0.0
  2
  1      2
Propag. Q -> Q na Secao AC -> H4
  1      0      1      1      4      1      0
1
  2      3
  010.0  0.0
  2
  
```

	10.0						
	18.0	23000.0	.0022	21600.0	4	.0320	2
	.00065	.0003					
	1	.0000011	0.30	1.36			
P -> Q em Bacia 2 -> H5							
	2	0	1	1	5	0	0
1							
	010.0	0.0	20.0				
	4	0					
	1	2	3	4			
	.1	.35	.4	.15			
	1						
	41.0	3.00	.80	005.00	.0057	.00	
	3	1					
	216.20	024.10	1.5	488.27			
	488.27	216.3	1.5				
	.95	.060	.650	.69	.31		
P -> Q em Bacia 3 -> H6							
	2	0	1	1	6	0	0
0							
	010.0	0.0	20.0				
	4	0					
	1	2	3	4			
	.1	.35	.4	.15			
	1						
	41.0	3.00	.80	005.00	.0057	.00	
	3	1					
	216.20	024.10	1.5	292.61			
	292.61	216.3	1.0				
	.150	.060	.650	.69	.31		
P -> Q em Bacia 67 -> H7							
	2	0	1	1	7	0	0
0							
	010.0	0.0	20.0				
	4	0					
	1	2	3	4			
	.1	.35	.4	.15			
	1						
	41.0	3.00	.80	005.00	.0057	.00	
	3	1					
	216.20	024.10	1.5	257.36			
	257.36	216.3	1.0				
	.510	.060	.650	.69	.31		
Soma de Sedimentos S5 + S6 + S7 -> SB (H8)							
	6	0	1	1	8	0	0
0							
	015.0	0.0					
	3						
	5	6	7				
Soma de Hidrogramas H5 + H6 -> H9							
	4	0	1	0	9	0	0
0							
	025.0	0.0					
	2						
	5	6					
Propag. Q -> Q na Secao BC -> H10							
	1	0	1	1	10	9	0
1							
	2	8					
	015.0	0.0					
	2						
	05.0						
	12.0	18000.0	.00340	28800.0	3	.0320	7
	.00065	.0003					

	1	.0000011	0.30	1.36			
	Soma de Hidrogramas: H4 + H10 -> H11						
	4	0	1	0	11	0	0
0							
	0025.0	0.0					
	2						
	4	10					
	Soma de Sedimentos SAC + SBC -> SC H12						
	6	0	1	0	12	0	0
0							
	015.0	0.0					
	2						
	4	10					
	P -> Q em Bacia 8 -> H13						
	2	0	1	1	13	0	0
0							
	006.0	0.0	20.0				
	4	0					
	1	2	3	4			
	.1	.35	.4	.15			
	1						
	41.0	3.00	.80	005.00	.0057	.00	
	3	1					
	216.20	024.10	1.5	204.12			
	204.12	216.3	0.5				
	.232	.060	.650	.69	.31		
	Soma de Sedimentos SC + S8 -> SCD H14						
	6	0	1	0	14	0	0
0							
	015.0	0.0					
	2						
	12	13					
	Propag. Q -> Q na Secao CD -> H15						
	1	0	1	1	15	11	0
1							
	2	14					
	0020.0	0.0					
	2						
	10.0						
	42.5	17000.0	.00120	28800.0	3	.0320	13
	.00065	.0003					
	1	.0000011	0.30	1.36			
	P -> Q em Bacia 9 -> H16						
	2	0	1	1	16	0	0
0							
	010.0	0.0	20.0				
	4	0					
	1	2	3	4			
	.1	.35	.4	.15			
	1						
	41.0	3.00	.80	005.00	.0057	.00	
	3	1					
	216.20	024.10	1.5	487.57			
	487.57	216.3	1.0				
	.214	.060	.650	.69	.31		
	Soma de Sedimentos SCD + S9 -> SD H17						
	6	0	1	0	17	0	0
0							
	015.0	0.0					
	2						
	15	16					

Soma de Hidrogramas: H15 + H16 -> H18

0	4	0	1	0	18	0	0
	030.0	0.0					
	2						
	15	16					

Hidrograma Lido em P. Gomes - H19

0	3	0	1	0	19	0	0
	040.0	0.0					
13.6	6.5	7.8	11.6	14.9	15.5	14.2	13.6
	11.0	10.3	09.7	09.1	08.4		

Graficacao conjunta c/ dados de P. Gomes - H15

0	5	0	1	0	20	0	0
	020.0	005.0					
	2						
	18	19					

ANEXO 3

EXEMPLO DO ARQUIVO DE SAÍDA DE DADOS

```

*****
*
*   INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS
*   UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
*   MODELO IPHS1 - MEERC
*
*****
*****

```

EVENTO 1 - JORIGUE (11/OUT-23/OUT/79 - 13dias) EINSTEIN (1950)

```

NÚMERO DE INTERVALOS DE TEMPO :      13
NÚMERO DE OPERAÇÕES HIDROLOGICAS:      20
NÚMERO DE POSTOS DE CHUVA      :        4
NÚMERO DE INTERVALOS COM CHUVA :        5

```

DURAÇÃO DO INTERVALO DE TEMPO: 86400. SEG.

Número DE POSTOS COM CHUVA: 4

INT	POSTO			
TEMPO	1	2	3	4
1	.00	.00	.00	12.40
2	.00	.00	.00	.00
3	.00	.00	.00	33.20
4	.00	37.00	50.00	.00
5	16.10	5.00	.00	.00

```

*****
*
*   OPERACAO NRO      1
*
*****

```

P -> Q em Bacia 1 -> H1

NCOD= 2 IPP= 1 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 1 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

METODO IPHII

```

AIO =      41.0 MM/H
AIB =       3.0 MM/H
HK   =       .80
ST   =     30.41 MM
RMAX=       5.0 MM

```

INT	PRECIP (MM)	PACUM (MM)	PERD (MM)	PEFCT (MM)
1	1.86	1.86	1.86	.00
2	.00	1.86	.00	.00
3	4.98	6.84	4.98	.00
4	32.95	39.79	31.18	1.77
5	3.36	43.15	3.36	.00

TOTAL PRECIPITADO 43.15 MM
 TOTAL DE PERDAS 41.38 MM
 TOTAL DE EXCESOS 1.77 MM

PARAMETROS DA BACIA - METODO DE CLARK

AREA KM2	INTERVALO DE TEMPO MINUTOS	TEMPO DE CONCENTRACAO HORAS	RET. RES. LINEAR HORAS
498.1	1440.	24.10	216.20

HISTOGRAMA TEMPO-AREA

I ORDENADA
 1 1.00

V BASE INIC: 1.50 M3/SEG
 KSUB : 216.30 HORAS

AT	Vazão	0	2	4	6	8	10
		+-----+-----+-----+-----+-----+					
1	1.64	.	*	.	.	.	I
2	1.76	.	*	.	.	.	I
3	1.87	.	*	.	.	.	I
4	3.21	.	.	*	.	.	III
5	3.49	.	.	*	.	.	I
6	3.12	.	.	*	.	.	I
7	2.80	.	.	*	.	.	I
8	2.50	.	*	.	.	.	I
9	2.24	.	*	.	.	.	I
10	2.00	+-----+-----+-----+-----+-----+					
11	1.79	.	*	.	.	.	I
12	1.60	.	*	.	.	.	I
13	1.44	.	*	.	.	.	I

C Á L C U L O D O A P O R T E D E S E D I M E N T O S E M: 1

Fator I (K.LS.CP)= 1.040

Coef. Regres. MUSLE A = .060 e B = .650

% Estimada do Mat. que passa em Suspensão: .69

% Estimada do Mat. que passa por Arraste: .31

Prod. Sedimentos em 13 dias: 2050.60 Ton

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	Vol Esc (Dam3)	Y(K) (Ton)	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)
1	1.64	141753.60	114.15	78.76	35.39
2	1.76	152213.60	122.57	84.57	38.00
3	1.87	161944.00	130.40	89.98	40.43
4	3.21	277383.10	223.36	154.12	69.24
5	3.49	301523.50	242.80	167.53	75.27
6	3.12	269852.80	217.30	149.93	67.36
7	2.80	241508.70	194.47	134.19	60.29
8	2.50	216141.80	174.05	120.09	53.95
9	2.24	193439.20	155.76	107.48	48.29
10	2.00	173121.20	139.40	96.19	43.22
11	1.79	154937.40	124.76	86.09	38.68
12	1.60	138663.50	111.66	77.04	34.61
13	1.44	124098.90	99.93	68.95	30.98

3.49 2546581.00

 * *
 * OPERACAO NRO 2 *
 * *

P -> Q em Bacia 45 -> H2

NCOD= 2 IPP= 1 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 2 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

METODO IPHII

AIO = 41.0 MM/H
 AIB = 3.0 MM/H
 HK = .80
 ST = 30.41 MM
 RMAX= 5.0 MM

INT	PRECIP (MM)	PACUM (MM)	PERD (MM)	PEFCT (MM)
1	1.86	1.86	1.86	.00
2	.00	1.86	.00	.00
3	4.98	6.84	4.98	.00
4	32.95	39.79	31.18	1.77
5	3.36	43.15	3.36	.00

TOTAL PRECIPITADO 43.15 MM
 TOTAL DE PERDAS 41.38 MM
 TOTAL DE EXCESOS 1.77 MM

PARAMETROS DA BACIA - METODO DE CLARK

AREA KM2	INTERVALO DE TEMPO MINUTOS	TEMPO DE CONCENTRACAO HORAS	RET. RES. LINEAR HORAS
205.5	1440.	24.10	216.20

HISTOGRAMA TEMPO-AREA

I ORDENADA
 1 1.00

V BASE INIC: 1.00 M3/SEG
 KSUB : 216.30 HORAS

AT	Vazão	0	1	2	3	4	6
1	1.02	.	* .	.	.	.	I
2	1.03	.	* .	.	.	.	I
3	1.05	.	* .	.	.	.	I
4	1.57	.	.	*	.	.	III
5	1.66	.	.	*	.	.	I
6	1.48	.	.	*	.	.	I
7	1.33	.	.	*	.	.	I
8	1.19	.	*	.	.	.	I
9	1.06	.	*	.	.	.	I
10	.95	+	+	+	+	+	I
11	.85	.	*	.	.	.	I
12	.76	.	*	.	.	.	I
13	.68	.	*	.	.	.	I

C Á L C U L O D O A P O R T E D E S E D I M E N T O S E M: 2

Fator I (K.LS.CP)= .330

Coef. Regres. MUSLE A = .060 e B = .650

% Estimada do Mat. que passa em Suspensão: .69

% Estimada do Mat. que passa por Arraste: .31

Prod. Sedimentos em 13 dias: 254.61 Ton

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	Vol Esc (Dam3)	Y(K) (Ton)	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)
1	1.02	87956.37	17.70	12.22	5.49
2	1.03	89177.15	17.95	12.38	5.56
3	1.05	90421.92	18.20	12.56	5.64
4	1.57	135572.50	27.29	18.83	8.46
5	1.66	143314.00	28.85	19.90	8.94
6	1.48	128261.20	25.82	17.81	8.00
7	1.33	114789.40	23.10	15.94	7.16
8	1.19	102732.60	20.68	14.27	6.41
9	1.06	91942.25	18.51	12.77	5.74
10	.95	82285.22	16.56	11.43	5.13
11	.85	73642.49	14.82	10.23	4.59
12	.76	65907.55	13.27	9.15	4.11
13	.68	58985.03	11.87	8.19	3.68

1.66 1264988.00

 * *
 * OPERACAO NRO 3 *
 * *

Soma de Sedimentos S1 + S45 -> (SA) H3

NCOD= 6 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 3 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

SOMATÓRIO DE Y-SUSP. E Y-ARRA. EM: 2 SUB-BACIAS

APORTE EM: 1 2

Int. Tempo	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)	Sub.Tot. (Ton)
1	90.98	40.87	131.85
2	96.96	43.56	140.52
3	102.54	46.07	148.60
4	172.95	77.70	250.65
5	187.43	84.21	271.64
6	167.75	75.36	243.11
7	150.13	67.45	217.58
8	134.36	60.36	194.72
9	120.25	54.02	174.27
10	107.62	48.35	155.97
11	96.31	43.27	139.58
12	86.20	38.73	124.92
13	77.14	34.66	111.80

1590.60 714.62 2305.21

 * *
 * OPERACAO NRO 4 *
 * *

Propag. Q -> Q na Secao AC -> H4

NCOD= 1 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 4 IE= 1 IOBS= 0 ISED= 1

PARAMETROS

AX	N	LARGURA	DECLIVIDADE	INT. TEMPO	NTRECH
m		m	m/m	seg	
5750.0	.032	18.0	.00220	21600.	4

AT	Vazão	0	2	4	6	8	10
1	1.64	.	*	.	.	.	.
2	2.86	.	.	*	.	.	.
3	2.84	.	.	*	.	.	.
4	4.43	.	.	.	*	.	.
5	5.16	.	.	.	.	*	.
6	4.74	.	.	.	*	.	.
7	4.21	.	.	.	*	.	.
8	3.78	.	.	*	.	.	.
9	3.38	.	.	*	.	.	.
10	3.02	.	.	*	.	.	.
11	2.70	.	*	.	.	.	.
12	2.42	.	*	.	.	.	.
13	2.16	.	*	.	.	.	.

CÁLCULO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	H CALC (m)	RH (m)	VM (m/s)	CAP. TRANSPORTE (t/d)
1	1.64	.19	.19	.48	105.18
2	2.86	.27	.26	.60	285.55
3	2.84	.27	.26	.59	282.45
4	4.43	.35	.34	.71	571.01
5	5.16	.38	.37	.75	708.51
6	4.74	.36	.35	.73	628.70
7	4.21	.34	.33	.69	529.77
8	3.78	.32	.31	.66	443.83
9	3.38	.30	.29	.64	371.19
10	3.02	.28	.27	.61	312.62
11	2.70	.26	.25	.58	262.40
12	2.42	.24	.23	.56	217.87
13	2.16	.23	.22	.53	178.86

CÁLCULO DO BALANÇO DE SEDIMENTOS EM: 3 4 USANDO EINSTEIN

D50= .300(mm) Sigma= 1.36

Tempo (d)	Vazao (m3/s)	Aporte (t/d)	C.Tran. (t/d)	Pr.Sed. (t/d)	B A L A N C O		Deposito Acumul.
					Erosao	Depos.	
1	1.64	40.87	105.18	40.87	64.31	.00	.00
2	2.86	43.56	285.55	43.56	241.98	.00	.00
3	2.84	46.07	282.45	46.07	236.38	.00	.00
4	4.43	77.70	571.01	77.70	493.31	.00	.00
5	5.16	84.21	708.51	84.21	624.30	.00	.00
6	4.74	75.36	628.70	75.36	553.34	.00	.00
7	4.21	67.45	529.77	67.45	462.32	.00	.00

8	3.78	60.36	443.83	60.36	383.47	.00	.00
9	3.38	54.02	371.19	54.02	317.17	.00	.00
10	3.02	48.35	312.62	48.35	264.27	.00	.00
11	2.70	43.27	262.40	43.27	219.13	.00	.00
12	2.42	38.73	217.87	38.73	179.14	.00	.00
13	2.16	34.66	178.86	34.66	144.20	.00	.00

 * *
 * OPERACAO NRO 5 *
 * *

P -> Q em Bacia 2 -> H5

NCOD= 2 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 5 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 1

METODO IPHII

AIO = 41.0 MM/H
 AIB = 3.0 MM/H
 HK = .80
 ST = 30.41 MM
 RMAX= 5.0 MM

TOTAL PRECIPITADO 43.15 MM
 TOTAL DE PERDAS 41.38 MM
 TOTAL DE EXCESOS 1.77 MM

PARAMETROS DA BACIA - METODO DE CLARK

AREA	INTERVALO DE TEMPO	TEMPO DE CONCENTRACAO	RET. RES. LINEAR
KM2	MINUTOS	HORAS	HORAS
488.3	1440.	24.10	216.20

HISTOGRAMA TEMPO-AREA

I ORDENADA
 1 1.00

V BASE INIC: 1.50 M3/SEG
 KSUB : 216.30 HORAS

AT	Vazão	0	2	4	6	8	10
1	1.63	.	* .	.	.	.	I
2	1.75	.	* .	.	.	.	I
3	1.86	.	* .	.	.	.	I
4	3.17	.	.	* .	.	.	III
5	3.44	.	.	* .	.	.	I
6	3.08	.	.	* .	.	.	I
7	2.75	.	.	* .	.	.	I
8	2.46	.	.	* .	.	.	I
9	2.21	.	.	* .	.	.	I
10	1.97	+	+	+	+	+	I
11	1.77	.	* .	.	.	.	I
12	1.58	.	* .	.	.	.	I
13	1.41	.	* .	.	.	.	I

C Á L C U L O D O A P O R T E D E S E D I M E N T O S E M : 5

Fator I (K.LS.CP)= .950

Coef. Regres. MUSLE A = .060 e B = .650

% Estimada do Mat. que passa em Suspensão: .69

% Estimada do Mat. que passa por Arraste: .31

Prod. Sedimentos em 13 dias: 1838.91 Ton

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	Vol Esc (Dam3)	Y(K) (Ton)	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)
1	1.63	141243.10	103.36	71.32	32.04
2	1.75	151254.50	110.69	76.38	34.31
3	1.86	160576.10	117.51	81.08	36.43
4	3.17	273534.60	200.17	138.12	62.05
5	3.44	297023.60	217.36	149.98	67.38
6	3.08	265825.60	194.53	134.23	60.31
7	2.75	237904.50	174.10	120.13	53.97
8	2.46	212916.20	155.81	107.51	48.30
9	2.21	190552.40	139.45	96.22	43.23
10	1.97	170537.70	124.80	86.11	38.69
11	1.77	152625.20	111.69	77.07	34.62
12	1.58	136594.20	99.96	68.97	30.99
13	1.41	122246.90	89.46	61.73	27.73
3.44		2512835.00			

 * *
 * OPERACAO NRO 6 *
 * *

P -> Q em Bacia 3 -> H6

NCOD= 2 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 6 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

METODO IPHII

AIO = 41.0 MM/H
 AIB = 3.0 MM/H
 HK = .80
 ST = 30.41 MM
 RMAX= 5.0 MM

TOTAL PRECIPITADO 43.15 MM
 TOTAL DE PERDAS 41.38 MM
 TOTAL DE EXCESOS 1.77 MM

PARAMETROS DA BACIA - METODO DE CLARK

AREA KM2	INTERVALO DE TEMPO MINUTOS	TEMPO DE CONCENTRACAO HORAS	RET. RES. LINEAR HORAS
292.6	1440.	24.10	216.20

HISTOGRAMA TEMPO-AREA

I ORDENADA
1 1.00

V BASE INIC: 1.00 M3/SEG
KSUB : 216.30 HORAS

AT	Vazão	0	2	4	6	8	10
1	1.07	.	*	.	.	.	I
2	1.13	.	*	.	.	.	I
3	1.19	.	*	.	.	.	I
4	1.96	.	.	*	.	.	III
5	2.12	.	.	*	.	.	I
6	1.90	.	.	*	.	.	I
7	1.70	.	.	*	.	.	I
8	1.52	.	.	*	.	.	I
9	1.36	.	.	*	.	.	I
10	1.22	.	.	*	.	.	I
11	1.09	.	.	*	.	.	I
12	.97	.	.	*	.	.	I
13	.87	.	.	*	.	.	I

C Á L C U L O D O A P O R T E D E S E D I M E N T O S E M : 6

Fator I (K.LS.CP)= .150

Coef. Regres. MUSLE A = .060 e B = .650

% Estimada do Mat. que passa em Suspensão: .69

% Estimada do Mat. que passa por Arraste: .31

Prod. Sedimentos em 13 dias: 155.65 Ton

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	Vol Esc (Dam3)	Y(K) (Ton)	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)
1	1.07	92460.28	9.21	6.35	2.85
2	1.13	97639.02	9.72	6.71	3.01
3	1.19	102490.60	10.21	7.04	3.16
4	1.96	169526.70	16.89	11.65	5.23
5	2.12	183014.70	18.23	12.58	5.65
6	1.90	163791.80	16.31	11.26	5.06
7	1.70	146587.90	14.60	10.07	4.53
8	1.52	131191.00	13.07	9.02	4.05
9	1.36	117411.40	11.69	8.07	3.63
10	1.22	105079.10	10.47	7.22	3.24
11	1.09	94042.09	9.37	6.46	2.90
12	.97	84164.38	8.38	5.78	2.60
13	.87	75324.17	7.50	5.18	2.33

2.12 1562723.00

 * *
 * OPERACAO NRO 7 *
 * *

P -> Q em Bacia 67 -> H7

NCOD= 2 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 7 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

METODO IPHII

AIO = 41.0 MM/H
 AIB = 3.0 MM/H
 HK = .80
 ST = 30.41 MM
 RMAX= 5.0 MM

TOTAL PRECIPITADO 43.15 MM
 TOTAL DE PERDAS 41.38 MM
 TOTAL DE EXCESOS 1.77 MM

PARAMETROS DA BACIA - METODO DE CLARK

AREA	INTERVALO DE TEMPO	TEMPO DE CONCENTRACAO	RET. RES. LINEAR
KM2	MINUTOS	HORAS	HORAS
257.4	1440.	24.10	216.20

HISTOGRAMA TEMPO-AREA

I ORDENADA
 1 1.00

V BASE INIC: 1.00 M3/SEG
 KSUB : 216.30 HORAS

AT	Vazão	0	2	4	6	8	10
1	1.05	.	*	.	.	.	I
2	1.09	.	*	.	.	.	I
3	1.13	.	*	.	.	.	I
4	1.80	.	.	*	.	.	III
5	1.93	.	.	*	.	.	I
6	1.73	.	.	*	.	.	I
7	1.55	.	.	*	.	.	I
8	1.39	.	.	*	.	.	I
9	1.24	.	.	*	.	.	I
10	1.11	+	+	+	+	+	I
11	.99	.	*	.	.	.	I
12	.89	.	*	.	.	.	I
13	.80	.	*	.	.	.	I

C Á L C U L O D O A P O R T E D E S E D I M E N T O S E M: 7

Fator I (K.LS.CP)= .510

Coef. Regres. MUSLE A = .060 e B = .650

% Estimada do Mat. que passa em Suspensão: .69

% Estimada do Mat. que passa por Arraste: .31

Prod. Sedimentos em 13 dias: 473.18 Ton

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	Vol Esc (Dam3)	Y(K) (Ton)	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)
1	1.05	90637.09	29.74	20.52	9.22
2	1.09	94213.64	30.91	21.33	9.58
3	1.13	97605.18	32.02	22.10	9.93
4	1.80	155782.00	51.11	35.27	15.84
5	1.93	166943.80	54.77	37.79	16.98
6	1.73	149409.00	49.02	33.82	15.20
7	1.55	133715.90	43.87	30.27	13.60
8	1.39	119671.10	39.26	27.09	12.17
9	1.24	107101.50	35.14	24.25	10.89
10	1.11	95852.11	31.45	21.70	9.75
11	.99	85784.33	28.15	19.42	8.73
12	.89	76774.01	25.19	17.38	7.81
13	.80	68710.09	22.54	15.55	6.99

1.93 1442200.00

 * *
 * OPERACAO NRO 8 *
 * *

Soma de Sedimentos S5 + S6 + S7 -> SB (H8)

NCOD= 6 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 8 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

SOMATÓRIO DE Y-SUSP. E Y-ARRA. EM: 3 SUB-BACIAS

Int. Tempo	APORTE EM:			Sub.Tot. (Ton)
	5	6	7	
	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)		
1	98.19	44.12		142.31
2	104.41	46.91		151.33
3	110.22	49.52		159.74
4	185.04	83.13		268.17
5	200.35	90.01		290.37
6	179.31	80.56		259.87
7	160.47	72.10		232.57
8	143.62	64.52		208.14
9	128.53	57.75		186.28
10	115.03	51.68		166.72
11	102.95	46.25		149.20
12	92.14	41.40		133.53
13	82.46	37.05		119.51
	1702.74	765.00		2467.74

```

*****
*
* OPERACAO NRO 9 *
*
*****

```

Soma de Hidrogramas H5 + H6 -> H9

NCOD= 4 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 0 IS= 9 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

SOMA DE 2 HIDROGRAMAS

HIDROGRAMAS SOMADOS: 5 6

AT	Vazão	0	5	10	15	20	25
1	2.70	.	*	.	.	.	.
2	2.88	.	*	.	.	.	.
3	3.04	.	*	.	.	.	.
4	5.13	.	.	*	.	.	.
5	5.56	.	.	*	.	.	.
6	4.97	.	.	*	.	.	.
7	4.45	.	.	*	.	.	.
8	3.98	.	.	*	.	.	.
9	3.56	.	.	*	.	.	.
10	3.19	.	*	.	.	.	.
11	2.85	.	*	.	.	.	.
12	2.56	.	*	.	.	.	.
13	2.29	.	*	.	.	.	.

```

*****
*
* OPERACAO NRO 10 *
*
*****

```

Propag. Q -> Q na Secao BC -> H10

NCOD= 1 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 10 IE= 9 IOBS= 0 ISED= 1

PARAMETROS

AX	N	LARGURA	DECLIVIDADE	INT. TEMPO	NTRECH
m		m	m/m	seg	
6000.0	.032	12.0	.00340	28800.	3

AT	Vazão	0	3	6	9	12	15
1	2.70	.	*	.	.	.	.
2	3.87	.	*	*	.	.	.
3	4.27	.	.	*	.	.	.
4	6.52	.	.	*	*	.	.
5	7.30	.	.	*	*	.	.
6	6.92	.	.	*	*	.	.
7	6.08	.	.	*	*	.	.
8	5.47	.	.	*	*	.	.
9	4.89	.	.	*	*	.	.
10	4.37	.	*	.	.	.	.
11	3.92	.	*	.	.	.	.
12	3.50	.	*	.	.	.	.
13	3.14	.	*	.	.	.	.

CÁLCULO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	H CALC (m)	RH (m)	VM (m/s)	CAP. TRANSPORTE (t/d)
1	2.70	.29	.28	.78	683.81
2	3.87	.36	.34	.89	1146.71
3	4.27	.38	.36	.92	1323.43
4	6.52	.50	.46	1.09	2513.64
5	7.30	.54	.49	1.14	2968.95
6	6.92	.52	.48	1.11	2744.85
7	6.08	.48	.44	1.06	2260.49
8	5.47	.45	.42	1.02	1927.44
9	4.89	.42	.39	.97	1625.52
10	4.37	.39	.37	.93	1374.25
11	3.92	.36	.34	.89	1166.24
12	3.50	.34	.32	.86	993.49
13	3.14	.32	.30	.82	846.81

CÁLCULO DO BALANÇO DE SEDIMENTOS EM: 8 10 USANDO EINSTEIN

D50= .300(mm) Sigma= 1.36

Tempo (d)	Vazão (m3/s)	Aporte (t/d)	C.Tran. (t/d)	Pr.Sed. (t/d)	B A L A N C O		Deposito Acumul.
					Erosao	Depos.	
1	2.70	44.12	683.81	44.12	639.70	.00	.00
2	3.87	46.91	1146.71	46.91	1099.79	.00	.00
3	4.27	49.52	1323.43	49.52	1273.90	.00	.00
4	6.52	83.13	2513.64	83.13	2430.50	.00	.00
5	7.30	90.01	2968.95	90.01	2878.94	.00	.00
6	6.92	80.56	2744.85	80.56	2664.30	.00	.00
7	6.08	72.10	2260.49	72.10	2188.39	.00	.00
8	5.47	64.52	1927.44	64.52	1862.92	.00	.00
9	4.89	57.75	1625.52	57.75	1567.77	.00	.00
10	4.37	51.68	1374.25	51.68	1322.57	.00	.00
11	3.92	46.25	1166.24	46.25	1119.99	.00	.00
12	3.50	41.40	993.49	41.40	952.09	.00	.00
13	3.14	37.05	846.81	37.05	809.76	.00	.00

 * *
 * OPERACAO NRO 11 *
 * *

Soma de Hidrogramas: H4 + H10 -> H11

NCOD= 4 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 0 IS= 11 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

SOMA DE 2 HIDROGRAMAS

HIDROGRAMAS SOMADOS: 4 10

AT	Vazão	0	5	10	15	20	25
1	4.35	.	*	.	.	.	.
2	6.73	.	.	*	.	.	.
3	7.10	.	.	*	.	.	.
4	10.95	.	.	.	*	.	.
5	12.46	.	.	.	.	*	.
6	11.66	.	.	.	*	.	.
7	10.28	.	.	*	.	.	.
8	9.24	.	.	*	.	.	.

9	8.27	.	.	*	.	.	.	.
10	7.40	+	-----+	*-----+	-----+	-----+	-----+	-----+
11	6.62	.	.	*	.	.	.	.
12	5.92	.	.	*	.	.	.	.
13	5.30	.	.	*	.	.	.	.

 * OPERACAO NRO 12 *

Soma de Sedimentos SAC + SBC -> SC H12

NCOD= 6 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 0 IS= 12 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

SOMATÓRIO DE Y-SUSP. E Y-ARRA. EM: 2 SUB-BACIAS

APORTE EM: 4 10

Int. Tempo	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)	Sub.Tot. (Ton)
1	189.17	84.99	274.16
2	201.37	90.47	291.84
3	212.76	95.59	308.35
4	357.98	160.83	518.82
5	387.79	174.22	562.01
6	347.06	155.92	502.98
7	310.60	139.55	450.15
8	277.98	124.89	402.87
9	248.78	111.77	360.55
10	222.65	100.03	322.68
11	199.26	89.52	288.79
12	178.33	80.12	258.46
13	159.60	71.71	231.31

3293.34 1479.62 4772.95

 * OPERACAO NRO 13 *

P -> Q em Bacia 8 -> H13

NCOD= 2 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 13 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

METODO IPHII

AIO = 41.0 MM/H
 AIB = 3.0 MM/H
 HK = .80
 ST = 30.41 MM
 RMAX= 5.0 MM

TOTAL PRECIPITADO 43.15 MM
 TOTAL DE PERDAS 41.38 MM
 TOTAL DE EXCESOS 1.77 MM

PARAMETROS DA BACIA - METODO DE CLARK

AREA	INTERVALO DE TEMPO	TEMPO DE CONCENTRACAO	RET. RES. LINEAR
KM2	MINUTOS	HORAS	HORAS
204.1	1440.	24.10	216.20

HISTOGRAMA TEMPO-AREA

I ORDENADA
1 1.00

V BASE INIC: .50 M3/SEG
KSUB : 216.30 HORAS

AT	Vazão	0	1	2	3	4	6	
		+-----+-----+-----+-----+						
1	.57	.	*	.	.	.	I	
2	.63	.	*	.	.	.	I	
3	.69	.	*	.	.	.	I	
4	1.24	.	.	*	.	.	III	
5	1.36	.	.	*	.	.	I	
6	1.22	.	.	*	.	.	I	
7	1.09	.	.	*	.	.	I	
8	.98	.	.	*	.	.	I	
9	.88	.	*	.	.	.	I	
10	.78	+-----+-----+-----+-----+						I
11	.70	.	*	.	.	.	I	
12	.63	.	*	.	.	.	I	
13	.56	.	*	.	.	.	I	

C Á L C U L O D O A P O R T E D E S E D I M E N T O S E M : 13

Fator I (K.LS.CP)= .232

Coef. Regres. MUSLE A = .060 e B = .650

% Estimada do Mat. que passa em Suspensão: .69

% Estimada do Mat. que passa por Arraste: .31

Prod. Sedimentos em 13 dias: 133.45 Ton

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	Vol Esc (Dam3)	Y(K) (Ton)	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)
1	.57	49220.42	6.71	4.63	2.08
2	.63	54437.60	7.42	5.12	2.30
3	.69	59258.04	8.08	5.57	2.50
4	1.24	107306.60	14.63	10.09	4.53
5	1.36	117865.90	16.07	11.09	4.98
6	1.22	105485.70	14.38	9.92	4.46
7	1.09	94405.91	12.87	8.88	3.99
8	.98	84489.89	11.52	7.95	3.57
9	.88	75615.41	10.31	7.11	3.20
10	.78	67673.07	9.22	6.36	2.86
11	.70	60564.96	8.26	5.70	2.56
12	.63	54203.45	7.39	5.10	2.29
13	.56	48510.14	6.61	4.56	2.05

1.36 979037.00

 * *
 * OPERACAO NRO 14 *
 * *

Soma de Sedimentos SC + S8 -> SCD H14

NCOD= 6 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 0 IS= 14 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

SOMATÓRIO DE Y-SUSP. E Y-ARRA. EM: 2 SUB-BACIAS

APORTE EM: 12 13

Int. Tempo	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)	Sub.Tot. (Ton)
1	193.80	87.07	280.87
2	206.49	92.77	299.26
3	218.33	98.09	316.42
4	368.08	165.37	533.44
5	398.87	179.20	578.08
6	356.98	160.38	517.36
7	319.48	143.54	463.02
8	285.92	128.46	414.38
9	255.89	114.97	370.86
10	229.01	102.89	331.91
11	204.96	92.08	297.04
12	183.43	82.41	265.84
13	164.17	73.76	237.92

3385.42 1520.99 4906.41

 * *
 * OPERACAO NRO 15 *
 * *

Propag. Q -> Q na Secao CD - > H15

NCOD= 1 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 15 IE= 11 IOBS= 0 ISED= 1

PARAMETROS

AX	N	LARGURA	DECLIVIDADE	INT. TEMPO	NTRECH
m		m	m/m	seg	
5666.7	.032	42.5	.00120	28800.	3

AT	Vazão	0	4	8	12	16	20
+-----+-----+-----+-----+-----+							
1	4.35	.	*	.	.	.	.
2	6.85	.	.	*	.	.	.
3	7.64	.	.	*	.	.	.
4	11.40	.	.	.	*	.	.
5	13.43	.	.	.	.	*	.
6	12.93	.	.	.	*	.	.
7	11.75	.	.	.	*	.	.
8	10.45	.	.	.	*	.	.
9	9.38	.	.	*	.	.	.

10	8.38	+-----+-----*-----+-----+
11	7.51 *
12	6.71 *
13	6.01 *

CÁLCULO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	H CALC (m)	RH (m)	VM (m/s)	CAP. TRANSPORTE (t/d)
1	4.35	.24	.24	.42	75.32
2	6.85	.32	.32	.50	186.24
3	7.64	.34	.34	.52	234.19
4	11.40	.44	.43	.61	503.66
5	13.43	.48	.47	.66	661.06
6	12.93	.47	.46	.65	623.09
7	11.75	.44	.44	.62	530.25
8	10.45	.41	.41	.59	431.25
9	9.38	.39	.38	.57	352.67
10	8.38	.36	.36	.54	283.69
11	7.51	.34	.33	.52	226.08
12	6.71	.32	.31	.50	180.22
13	6.01	.30	.29	.48	146.82

CÁLCULO DO BALANÇO DE SEDIMENTOS EM: 14 15 USANDO EINSTEIN

D50= .300 (mm) Sigma= 1.36

Tempo (d)	Vazao (m3/s)	Aporte (t/d)	C.Tran. (t/d)	Pr.Sed. (t/d)	B A L A N C O		Deposito Acumul.
					Erosao	Depos.	
1	4.35	87.07	75.32	75.32	.00	11.75	11.75
2	6.85	92.77	186.24	104.52	93.47	.00	.00
3	7.64	98.09	234.19	98.09	136.10	.00	.00
4	11.40	165.37	503.66	165.37	338.29	.00	.00
5	13.43	179.20	661.06	179.20	481.85	.00	.00
6	12.93	160.38	623.09	160.38	462.71	.00	.00
7	11.75	143.54	530.25	143.54	386.71	.00	.00
8	10.45	128.46	431.25	128.46	302.79	.00	.00
9	9.38	114.97	352.67	114.97	237.70	.00	.00
10	8.38	102.89	283.69	102.89	180.80	.00	.00
11	7.51	92.08	226.08	92.08	134.00	.00	.00
12	6.71	82.41	180.22	82.41	97.80	.00	.00
13	6.01	73.76	146.82	73.76	73.07	.00	.00

```
*****
*
* OPERACAO NRO 16 *
*
*****
```

P -> Q em Bacia 9 -> H16

NCOD= 2 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 1 IS= 16 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

METODO IPHII

AIO = 41.0 MM/H
AIB = 3.0 MM/H
HK = .80
ST = 30.41 MM
RMAX= 5.0 MM

TOTAL PRECIPITADO 43.15 MM
 TOTAL DE PERDAS 41.38 MM
 TOTAL DE EXCESOS 1.77 MM

PARAMETROS DA BACIA - METODO DE CLARK

AREA KM2	INTERVALO DE TEMPO MINUTOS	TEMPO DE CONCENTRACAO HORAS	RET. RES. LINEAR HORAS
487.6	1440.	24.10	216.20

HISTOGRAMA TEMPO-AREA

I ORDENADA
 1 1.00

V BASE INIC: 1.00 M3/SEG
 KSUB : 216.30 HORAS

AT	Vazão	0	2	4	6	8	10
1	1.19	.	*	.	.	.	I
2	1.35	.	*	.	.	.	I
3	1.50	.	*	.	.	.	I
4	2.84	.	.	*	.	.	III
5	3.15	.	.	*	.	.	I
6	2.82	.	.	*	.	.	I
7	2.52	.	.	*	.	.	I
8	2.26	.	.	*	.	.	I
9	2.02	.	.	*	.	.	I
10	1.81	+	+	+	+	+	I
11	1.62	.	*	.	.	.	I
12	1.45	.	*	.	.	.	I
13	1.30	.	*	.	.	.	I

C Á L C U L O D O A P O R T E D E S E D I M E N T O S E M : 16

Fator I (K.LS.CP)= .214

Coef. Regres. MUSLE A = .060 e B = .650

% Estimada do Mat. que passa em Suspensão: .69

% Estimada do Mat. que passa por Arraste: .31

Prod. Sedimentos em 13 dias: 361.83 Ton

Int. Tempo	Vazão (m3/s)	Vol Esc (Dam3)	Y(K) (Ton)	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)
1	1.19	102543.90	16.64	11.48	5.16
2	1.35	116584.00	18.92	13.06	5.87
3	1.50	129510.60	21.02	14.50	6.52
4	2.84	245545.60	39.85	27.50	12.35
5	3.15	271899.20	44.13	30.45	13.68
6	2.82	243339.90	39.50	27.25	12.24
7	2.52	217780.30	35.35	24.39	10.96
8	2.26	194905.40	31.63	21.83	9.81
9	2.02	174433.20	28.31	19.54	8.78
10	1.81	156111.40	25.34	17.48	7.85
11	1.62	139714.00	22.68	15.65	7.03
12	1.45	125038.90	20.29	14.00	6.29
13	1.30	111905.30	18.16	12.53	5.63

3.15 2229312.00

 * *
 * OPERACAO NRO 17 *
 * *

Soma de Sedimentos SCD + S9 -> SD H17

NCOD= 6 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 0 IS= 17 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

SOMATÓRIO DE Y-SUSP. E Y-ARRA. EM: 2 SUB-BACIAS

APORTE EM: 15 16

Int. Tempo	YSusp. (Ton)	YArras. (Ton)	Sub.Tot. (Ton)
1	205.28	80.48	285.76
2	219.55	110.38	329.93
3	232.84	104.61	337.44
4	395.58	177.72	573.30
5	429.32	192.88	622.21
6	384.23	172.62	556.85
7	343.87	154.49	498.36
8	307.75	138.27	446.02
9	275.43	123.74	399.17
10	246.50	110.75	357.24
11	220.61	99.11	319.72
12	197.44	88.70	286.14
13	176.70	79.39	256.08
	3635.08	1633.15	5268.24

 * *
 * OPERACAO NRO 18 *
 * *

Soma de Hidrogramas: H15 + H16 -> H18

NCOD= 4 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 0 IS= 18 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

SOMA DE 2 HIDROGRAMAS

HIDROGRAMAS SOMADOS: 15 16

AT	Vazão	0	6	12	18	24	30
1	5.53	.	*	.	.	.	.
2	8.20	.	.	*	.	.	.
3	9.13	.	.	*	.	.	.
4	14.24	.	.	.	*	.	.
5	16.57	.	.	.	.	*	.
6	15.75	.	.	.	*	.	.
7	14.27	.	.	.	*	.	.
8	12.71	.	.	*	.	.	.
9	11.40	.	.	*	.	.	.
10	10.18	.	.	*	.	.	.
11	9.12	.	.	*	.	.	.
12	8.16	.	*	.	.	.	.
13	7.30	.	*	.	.	.	.

 * *
 * OPERACAO NRO 19 *
 * *

Hidrograma Lido em P. Gomes - H19

NCOD= 3 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 0 IS= 19 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

AT	Vazão	0	8	16	24	32	40
1	6.50	.	*	.	.	.	.
2	7.80	.	*	.	.	.	.
3	11.60	.	.	*	.	.	.
4	14.90	.	.	*	.	.	.
5	15.50	.	.	*	.	.	.
6	14.20	.	.	*	.	.	.
7	13.60	.	.	*	.	.	.
8	13.60	.	.	*	.	.	.
9	11.00	.	*	.	.	.	.
10	10.30	.	*	.	.	.	.
11	9.70	.	*	.	.	.	.
12	9.10	.	*	.	.	.	.
13	8.40	.	*	.	.	.	.

 * *
 * OPERACAO NRO 20 *
 * *

Graficacao conjunta c/ dados de P. Gomes - H15

NCOD= 5 IPP= 0 IPR= 1 ILIST= 0 IS= 20 IE= 0 IOBS= 0 ISED= 0

AT	Vazão	0	3	6	9	12	15
1		.1	2	.	.	.	.
2		.	21	.	.	.	.
3		.	.	1	. 2	.	.
4		.	.	.	1	2	.
5		2	1
6		.	.	.	2	1	.
7		.	.	.	2	1	.
8		.	.	.	1	2	.
9		.	.	21	.	.	.
10		.	.	2	.	.	.
11		.	1	2	.	.	.
12		.	1	2	.	.	.
13		.	1	.2	.	.	.

ANEXO 4

DESCARGA SÓLIDA DIÁRIA PARA OS EVENTOS EM ESTUDO

A seguir são apresentados, evento por evento, o cálculo da descarga sólida produzida por cada uma de suas vazões. Na coluna (1) é apresentada a vazão medida; na coluna (2) a produção de sedimentos calculada pela equação 5.2 ajustada aos dados medidos pelo DNOS; na coluna (3), a vazão calculada pela componente hidrológica do modelo e nas colunas (4) e (5), a quantidade de sedimentos que deixa a bacia hidrográfica após a consideração da capacidade de transporte estimada, respectivamente por Meyer Peter - Müller e Einstein.

Na linha identificada como “Total” são apresentadas as quantidades totais de sedimento produzidas pelo evento: coluna (2), total medido e colunas (4) e (5), calculados pelo modelo segundo a fórmula de capacidade de transporte escolhida. Cabe lembrar que esses resultados estão graficados na figura 5.22.

EVENTO 1

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
6,50	314,75	5,53	283,60	285,76
7,80	402,59	8,20	332,10	329,93
11,60	687,95	9,13	337,44	337,44
14,90	964,58	14,24	573,30	573,30
15,50	1.017,39	16,57	622,21	622,21
14,20	903,91	15,75	556,85	556,85
13,60	852,74	14,27	498,36	498,36
13,60	852,74	12,71	446,02	446,02
11,00	640,35	11,40	399,17	399,17
10,30	585,96	10,18	357,24	357,00
9,70	540,36	9,12	319,72	319,72
9,10	495,73	8,16	286,14	286,14
8,40	444,95	7,30	256,08	256,08
Total	8.704,00	-	5.268,23	5.267,98

EVENTO 2

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
28,80	2.348,11	20,54	1.216,40	1.297,31
30,40	2.525,91	26,79	1.371,01	1.346,50
32,60	2.775,76	28,63	1.414,76	1.359,06
31,00	2.593,44	29,13	1.358,83	1.358,13
30,40	2.525,91	29,12	1.344,68	1.344,68
31,00	2.593,44	30,23	1.410,23	1.410,23
40,10	3.670,99	31,91	1.491,76	1.491,76
41,20	3.807,58	32,38	1.494,32	1.494,32
34,90	3.043,35	43,33	2.155,23	2.155,23
34,90	3.043,35	41,71	1.872,04	1.872,04
34,30	2.972,93	38,73	1.748,98	1.748,98
32,10	2.718,44	37,05	1.686,07	1.686,07
30,40	2.525,91	35,84	1.633,31	1.633,31
29,40	2.414,39	34,76	1.584,77	1.584,77
Total	39.559,50	-	21.782,39	21.782,39

EVENTO 3

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
16,40	1.097,94	11,98	544,80	544,80
15,40	1.008,53	16,75	616,82	616,82
18,20	1.263,67	18,73	644,02	644,02
20,20	1.454,66	19,49	655,20	655,20
21,60	1.592,39	21,28	733,65	733,65
20,60	1.493,68	21,28	703,51	703,51
20,20	1.454,66	20,79	684,05	684,05
19,70	1.406,27	20,28	668,71	668,71
18,70	1.310,76	19,91	655,03	655,03
18,20	1.263,67	19,45	642,14	642,14
17,80	1.226,32	19,12	629,69	629,69
17,30	1.180,05	18,78	620,60	620,60
16,80	1.134,24	18,56	612,85	612,85
16,80	1.134,24	18,25	602,63	602,63
15,90	1.052,99	17,93	591,65	591,65
Total	19.074,09	-	9.605,35	9.605,35

EVENTO 4

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
16,80	1.134,24	15,08	792,68	816,45
17,30	1.180,05	21,92	997,82	974,05
16,40	1.097,94	30,52	1.324,90	1.324,90
33,70	2.902,94	33,10	1.339,87	1.339,87
33,20	2.844,95	31,78	1.246,65	1.246,65
32,60	2.775,76	30,10	1.177,61	1.177,61
31,00	2.593,44	28,71	1.123,60	1.123,60
29,40	2.414,39	27,55	1.079,07	1.079,07
27,80	2.238,71	26,55	1.040,62	1.040,62
30,40	2.525,91	25,66	1.006,19	1.006,19
28,30	2.293,24	24,84	974,52	974,52
24,60	1.898,02	24,08	944,84	944,84
19,20	1.358,30	23,35	916,65	916,65
17,30	1.180,05	22,66	889,68	889,68
16,80	1.134,24	22,00	863,72	863,72
Total	29.572,17	-	15.718,42	15.718,42

EVENTO 5

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
32,60	2.775,76	38,32	3.471,46	3.988,47
85,10	10.137,78	88,28	6.494,11	7.158,11
89,80	10.900,87	91,96	6.225,96	6.662,81
77,50	8.935,02	64,14	4.111,45	4.228,25
59,70	6.282,08	47,50	3.157,75	3.257,28
50,50	5.011,66	39,23	2.725,01	2.844,70
37,10	3.305,16	36,64	2.545,19	2.650,41
24,60	1.898,02	35,04	2.443,84	2.545,13
22,60	1.692,72	33,72	2.373,30	2.478,65
Total	50.939,05	-	33.548,07	35.813,81

EVENTO 6

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
8,90	481,08	5,80	268,87	269,03
8,90	481,08	7,96	291,74	291,57
8,90	481,08	8,60	286,77	286,77
9,90	555,45	8,68	289,48	289,48
11,00	640,35	8,66	291,27	291,27
11,70	695,97	10,05	347,59	347,59
12,70	777,45	12,47	441,66	441,66
13,10	810,69	13,14	443,90	443,90
12,40	752,76	12,97	430,37	430,37
10,60	609,12	11,97	389,03	389,03
9,20	503,10	10,06	318,64	318,64
Total	6.788,12	-	3.799,32	3.799,31

EVENTO 7

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
12,70	777,45	9,09	483,72	499,85
13,60	852,74	12,94	562,79	546,66
15,00	973,33	14,68	601,17	601,17
15,40	1.008,53	15,51	650,22	650,22
15,00	973,33	16,64	688,68	688,68
15,00	973,33	14,48	569,55	569,55
12,70	777,45	11,87	466,53	466,53
Total	6.336,17	-	4.022,66	4.022,66

EVENTO 8

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
55,90	5.748,36	39,28	3.738,71	4.463,73
58,40	6.098,11	55,65	4.125,23	4.587,81
81,40	9.547,31	80,95	6.145,01	6.930,23
108,00	13.984,92	127,01	9.940,70	11.421,87
160,00	23.773,87	162,21	12.218,77	13.967,17
150,00	21.790,20	157,96	11.376,14	12.819,52
137,00	19.280,17	120,58	8.408,98	9.307,06
136,00	19.090,42	87,93	6.111,83	6.701,53
105,00	13.463,05	60,30	4.245,19	4.638,40
44,70	4.250,63	42,54	2.969,21	3.215,95
Total	137.027,04	-	69.279,77	78.053,27

EVENTO 9

Q Medida ⁽¹⁾ (m ³ /s)	Y (Eq. 5.2) ⁽²⁾ (t)	Q Calculada ⁽³⁾ (m ³ /s)	Y Cal. MEYER ⁽⁴⁾ (t)	Y Cal. EINSTEIN ⁽⁵⁾ (t)
44,70	4.250,63	37,39	3.140,66	3.664,10
59,00	6.182,84	61,52	4.200,94	4.592,00
72,90	8.226,60	84,90	5.701,98	6.232,91
101,00	12.775,32	107,13	7.259,97	8.006,74
121,00	16.304,15	125,23	8.364,71	9.215,86
91,10	11.114,45	131,72	8.599,12	9.409,87
104,00	13.290,25	122,47	7.927,90	8.629,11
97,30	12.147,60	91,87	5.667,12	6.000,73
84,30	10.009,33	64,23	3.978,52	4.180,18
70,10	7.802,92	44,53	2.785,06	2.917,07
52,80	5.322,23	31,01	1.950,49	2.039,23
Total	107.426,32	-	59.576,47	64.887,80

A tabela que segue sintetiza os valores de descarga s31ida total produzida pelos eventos considerados e serve de base para a constru313o das figuras 5.23 e 5.24.

Evento N31.	Y (Eq. 5.2) (t)	Y Cal. MEYER (t)	Y Cal. EINSTEIN (t)
1	8.704,00	5.268,23	5.267,98
2	39.559,50	21.782,39	21.782,39
3	19.074,09	9.605,35	9.605,35
4	29.572,17	15.718,42	15.718,42
5	50.939,05	33.548,07	35.813,81
6	6.788,12	3.799,32	3.799,31
7	6.336,17	4.022,66	4.022,66
8	137.027,04	69.279,77	78.053,27
9	107.426,32	59.576,47	64.887,80