



UFSM

Dissertação de Mestrado

**APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO
AGNPS2001 UTILIZANDO DADOS OBSERVADOS NA
BACIA DO ARROIO VACACAÍ-MIRIM**

Janaína Rios Dias

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2003

**APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO
AGNPS2001 UTILIZANDO DADOS OBSERVADOS NA
BACIA DO ARROIO VACACAÍ-MIRIM**

**por
Janaína Rios Dias**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2003

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO
AGNPS2001 UTILIZANDO DADOS OBSERVADOS NA
BACIA DO ARROIO VACACAÍ-MIRIM**

elaborada por
Janáina Rios Dias

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva
(Presidente/ Orientadora)

André Luiz Lopes da Silveira

João Batista Dias de Paiva

Santa Maria, 27 de junho de 2003.

***O aprendizado é longo, mas
existe em toda parte,
dentro e fora de nós.
Carlos***

Aos meus pais João e Maria Jurema,
com muito carinho.

AGRADECIMENTOS

A Professora Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva, com carinho, pela orientação, amizade e incentivos durante a realização deste trabalho.

Ao Professor João Batista Dias de Paiva, pela orientação e amizade.

A amiga e colega Raquel Maldaner Paranhos pela atenção, compreensão, e amizade.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica e amigos José Astério e Alcides, pelo apoio e amizade.

Aos colegas de curso Adalberto e Kerllen pelo auxílio, amizade e compreensão no decorrer do trabalho.

Ao bolsista de iniciação científica Thiago Fiori Trevisan pelo auxílio no trabalho de digitalização dos mapas.

Aos bolsistas de iniciação científica Lucas e Fabiana pelo auxílio e amizade.

Aos meus Pais por tudo o que hoje sou, muitíssimo obrigada.

A meu querido Anderson pela compreensão, apoio e carinho dedicado a mim durante esta importante etapa de nossas vidas.

A minha irmã Letícia, pela sua amizade e ajuda com os textos em inglês.

A aqueles que aqui não cito, mas que de alguma forma me apoiaram, muito obrigada.

Ao projeto RECOPE/REHIDRO pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

A CAPES/CNPq pela bolsa de mestrado concedida.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
LISTA DE ANEXOS	xx
RESUMO	xxi
ABSTRACT	xxiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Introdução	4
2.2 Cargas Poluentes e Escoamento Superficial	7
2.3 O Sistema de Informações Geográficas como Ferramenta na Aplicação de Modelos Hidrológicos:	8
2.4 Exemplos de Modelos Hidrológicos	10
a) AGNPS (<i>Agricultural Non-Point Source Model</i>)	10
b) SWRRB-WQ (<i>Simulator for Water Resources in Rural Basins- Water Quality</i>).....	11
c) WEPP (<i>Water Erosion Prediction Project</i>).....	12
d) EPIC (<i>Erosion-Productivity Impact Calculator</i>).....	13
e) SWAT (<i>Soil and Water Assessment Tool</i>)	14
f) ANSWERS-2000 (<i>Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation</i>).....	15
g) AnnAGNPS (<i>Annualized Agricultural Non-Point Source Model</i>)	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 AGNPS2001.....	21
3.1.1 AnnAGNPS (<i>Annualized Agricultural Nonpoint Source Model</i>).....	22
3.1.2 Os Arquivos de Entrada	25
3.1.2.1. AnnAGNPS.inp	25
3.1.2.2. Dados Climatológicos	31

3.1.3	Os Arquivos de Saída	32
3.2	A BACIA HIDROGRÁFICA – Características físicas e monitoramento	33
3.2.1	Localização	33
3.2.2	Modelo Digital do Terreno	34
3.2.3	Solos	35
3.2.4	Uso do Solo.....	37
3.2.5	Dados Climatológicos, Vazão e Sedimentos.....	39
3.3	A Aplicação do Modelo na Bacia.....	40
3.3.1	Análise de Sensibilidade	46
4	RESULTADOS	47
4.1	A Discretização da Bacia	47
4.2	Informações de Entrada para o Modelo	52
4.3	As Simulações	57
4.4	Análise de Sensibilidade	69
4.5	Análise dos Resultados.....	72
5	CONCLUSÃO	76
6	BIBLIOGRAFIA	79
	ANEXOS	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Áreas correspondentes aos tipos de solos na sub-bacia Menino Deus I.....	36
TABELA 2 – Áreas correspondentes aos usos do solo na Sub-bacia Menino Deus I.....	38
TABELA 3 – Resumo dos valores utilizados. Categoria: “Simulation Period Data”.....	42
TABELA 4 – Resumo valores utilizados. Categoria: “Soil Data”.	43
TABELA 5 – Tipo e Uso do Solo nas células. Discretização: 5 sub-bacias.	52
TABELA 6 – Tipo e Uso do Solo nas células. Discretização: 29 sub-bacias.	53
TABELA 7 – Áreas por tipo de solo.....	54
TABELA 8 – Áreas por uso do solo.....	55
TABELA 9 – Classificação de uso x tipo de solo para 5 sub-bacias.	56
TABELA 10 – Classificação de uso x tipo de solo para 29 sub-bacias. ..	56
TABELA 11 – Valores de CN para as duas discretizações.....	56
TABELA 12 – Valores observados em campo e simulados pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.....	58
TABELA 13 – Valores estimados e simulados pelo no AnnAGNPS para as duas discretizações.....	65
TABELA 14 – Análise de sensibilidade – valores e as respectivas variações em porcentagem para os parâmetros analisados.....	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Esquema da organização das células, trechos e componentes no AGNPS2001	23
FIGURA 2 – Fluxograma do sistema AGNPS2001.....	26
FIGURA 3 – Lista das categorias – Menu “Data (A-N)” ·	27
FIGURA 4 – Lista das categorias – Menu “Data (O-Z)” ·	28
FIGURA 5 – Exemplo de tela de entrada de dados - descrição das células	28
FIGURA 6 – Fluxograma TopAGNPS.....	31
FIGURA 7 – Localização da Bacia Hidrográfica	33
FIGURA 8 – Modelo Digital de Elevação da Sub-bacia Menino Deus I... 34	
FIGURA 9 – Solos na sub-bacia Menino Deus I.	36
FIGURA 10 – Uso do Solo na Sub-bacia Menino Deus I.....	38
FIGURA 11 – Precipitações e as cotas registradas entre 07/08/1996 e 31/12/1997.....	41
FIGURA 12 – Sub-bacias correspondentes as 13 células obtidas considerando-se valor único de CSA/MSCL=200ha/100m para toda a bacia	48
FIGURA 13 – Células obtidas ao se considerar valor único de CSA/MSCL=200ha/100m para toda a bacia.....	48
FIGURA 14 – Distribuição dos valores de CSA/MSCL na bacia hidrográfica	49

FIGURA 15 – Sub-bacias correspondentes as 72 células obtidas quando foram considerados diferentes valores de CSA/MSCL na bacia.....	50
FIGURA 16 – Bacia hidrográfica dividida em 72 células. Discretização obtida considerando diferentes valores de CSA/MSCL na bacia.....	50
FIGURA 17 – Exemplo visualização no Flownet - sub-bacia 27.....	51
FIGURA 18 – Volumes observados em campo e calculados pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.....	59
FIGURA 19 – Relação entre os volumes observados e calculados pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias	59
FIGURA 20 – Relação entre os volumes observados e calculados pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias	60
FIGURA 21 – Vazões de pico observadas em campo e calculadas pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.....	60
FIGURA 22 – Relação entre as vazões de pico observadas e calculadas pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias	61
FIGURA 23 – Relação entre as vazões de pico observadas e calculadas pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias	61
FIGURA 24 – Produção de sedimentos observada em campo e calculado pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.....	62
FIGURA 25 – Relação entre as produções de sedimentos observadas e calculadas pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.....	62
FIGURA 26 – Relação entre as produções de sedimentos observadas e calculadas pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias.....	63
FIGURA 27 – Volumes estimados e simulados pelo AnnAGNPS para as duas discretizações	64
FIGURA 28 – Relação entre os volumes estimados e simulados pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.	64

FIGURA 29 – Relação entre os volumes estimados e simulados pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias	66
FIGURA 30 – Vazões de pico observadas estimadas e simuladas pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.....	66
FIGURA 31 – Relação entre as vazões de pico estimadas e simulados pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.	67
FIGURA 32 – Relação entre as vazões de pico estimadas e simuladas pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias.....	67
FIGURA 33 – Produção de sedimentos estimada e simulada pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.....	68
FIGURA 34 – Relação entre as produções de sedimentos estimadas e simuladas pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.	68
FIGURA 35 – Relação entre as produções de estimadas e simuladas pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias	69
FIGURA 36 – Variação do volume escoado, produção de sedimentos e vazão de pico em relação ao CN	71
FIGURA 37 – Variação do volume escoado, produção de sedimentos e vazão de pico em relação à capacidade de campo	71
FIGURA 38 – Variação do volume escoado, produção de sedimentos e vazão de pico em relação à condutividade hidráulica saturada.....	72
FIGURA 39 – Forma geral do curso d'água na célula - Seção composta....	98
FIGURA 40 – Esquema das categorias utilizadas na construção do arquivo de entrada AnnAGNPS.inp	109

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ΔL – comprimento do canal do segmento do trecho para os processos na célula;

A – coeficiente em função do tipo de distribuição da chuva;

a, b, c, d, e, f – coeficientes de regressão da vazão de pico unitária para um dado Ia/P_{24} e tipo de distribuição de chuva;

A_E – constante de Einstein de proporcionalidade, para qualquer escoamento e tamanho de partícula, entre a concentração de sedimentos em suspensão na profundidade média e a concentração na subcamada laminar plana;

AGNPS – Agricultural Non-Point Source Model;

A_H – área de escoamento, m^2 ;

AnnAGNPS – Annualized Agricultural Non-Point Source Model;

ANSWERS-2000 – Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation;

ASCE – Water Resources Engineering Divisions Water Quality Committee;

B – expoente em função do tipo de distribuição da chuva;

C – fator de uso e manejo do solo;

CN – Curva Número;

CREAMS – Chemicals, Runoff, Erosion from Agricultural Management Systems;

C_s – concentração de sedimentos;

CSA – Critical Source Area;

CSREES – Cooperative States Research Education and Extension Service;

D_a – área de drenagem total (ha);

d_b – profundidade das seções do canal principal;

d_c – profundidade das seções do canal total;

DEM – Digital Elevation Model;

d_f – profundidade das seções do canal de transbordamento;

D_r – taxa de entrega do local "1" para o "2";

d_T – profundidade total do escoamento, ft;

d_w – profundidade hidráulica (m);

e – pressão de vapor real (kPa);

EPIC – Erosion-Productivity Impact Calculator;

EPIS – Erosion Prediction Information System;

e_{sat} – pressão de vapor na saturação (kPa);

ETP – evapotranspiração potencial (mm);

ET_t – evapotranspiração potencial, no tempo t (mm);

f – porosidade;

FCMWP(1) – capacidade de campo menos o ponto de murchamento para a primeira camada de solo;

FCMWP(2) – capacidade de campo menos o ponto de murchamento para a segunda camada de solo;

F_s – sinuosidade (m/m);

FSDEPTH(1) – profundidades da primeira camada de solo, afetando a fração de saturação para o cálculo do CN, (mm);

FSDEPTH(2) – profundidades da segunda camada de solo, afetando a fração de saturação para o cálculo do CN, (mm);

FS_t – é a fração de saturação do sistema de duas camadas do solo no início do dia t ;

GLEAMS – Groundwater Loading Effects from Agricultural Management Systems;

h – cota (m);

HUSLE – Hydro-Geomorphic Universal Soil Loss Equation;

H_v – calor latente de vaporização (MJ/kg);

Ia/P_{24} – taxa de abstração inicial para precipitação efetiva de 24h incluindo fusão de neve e irrigação, não considerando a ocorrência de neve;

K – fator de erodibilidade do solo;

KSAT – condutividade hidráulica saturada;

L – comprimento total do percurso do escoamento de todos os segmentos dentro da célula;

L_2 – distância entre x_1 e x_2 (m);

L_{cf} – comprimento do escoamento concentrado;

L_{ov} – comprimento do percurso do escoamento para o segmento de escoamento superficial;

L_{ov_max} – máximo comprimento do escoamento para o segmento de escoamento superficial;

LS – fator conjunto de comprimento e declividade;

m – razão entre a erosão causada pelo escoamento superficial e a erosão causada pelo impacto das cotas de chuva;

MSCL – Minimum Source Channel Length;

MUSLE – Modified Universal Soil-Loss Equation;

n – rugosidade de Manning;

n_c – rugosidade de Manning para a seção do canal;

N_d – número de deposição;

n_f – rugosidade de Manning para a seção de inundação;

n_{ov} – rugosidade de Manning para o escoamento superficial;

NRCS – Serviço de Conservação dos Recursos Naturais;

NTS – número de intervalos;

P – fator de práticas conservacionistas;

P_2 – precipitação com período de retorno de dois anos;

P_{24} – chuva efetiva de 24h sobre a área total de drenagem (mm);

P_e – precipitação (in);

$PERC_t$ – percolação de água para cada camada de solo, (mm);

POMWP – porosidade do solo menos ponto de murchamento para cada camada de solo (%);

Q – escoamento superficial (mm);

Q_b – vazão no canal principal cheio;

Q_c – vazão no canal;

q_c – vazões unitária da seção do canal ($m^3/s/m$);

Q_f – vazão na área de inundação;
 q_f – vazões unitária da seção de extravasamento ($m^3/s/m$);
 Q_h – vazão (m^3/s);
 Q_{lat} – escoamento subsuperficial lateral, (mm);
 Q_p – vazão de pico (m^3/s);
 q_p – vazão de pico unitária ($m^3/s/m$);
 q_{p1} – vazão de pico do escoamento superficial no local "1" (mm/s);
 q_{p2} – vazão de pico do escoamento superficial no local "2" (mm/s);
 q_{ps} – vazão de pico do escoamento superficial (mm/s);
 q_s – descarga de sedimentos unitária (Mg/s/m);
 Q_s – escoamento superficial (m^3);
 q_{s1} – descarga de montante unitária em x_1 , mg/s/m;
 q_{s2} – descarga de jusante unitária em x_2 , mg/s/m;
 q_{sc} – capacidade de transporte de sedimentos unitária, mg/s/m;
 Q_t – escoamento superficial, no tempo t (mm);
 Q_T – vazão total, m^3/s ;
 q_T – vazão unitária total, $m^3/s/m$;
 Q_{tile} – escoamento drenado, (mm);
 Q_w – a vazão total de água;
 q_w – descarga líquida unitária em qualquer momento (Mg/s/m);
 Q_w – vazão em função do tempo;
 q_w – vazão unitária ($m^3/s/m$);
 R – radiação efetiva (MJ/m^2);
 R_h – raio hidráulico (m);
 RH – umidade relativa;
 R_Q – volume de escoamento superficial proveniente da área de drenagem de montante (mm);
 $RUSLE$ – Revised Universal Soil Loss Equation;
 S – variável de retenção (mm);
 $S1$ – valor de S correspondente a $CN1$, mm;
 $S3$ – parâmetro de retenção associado ao $CN3$ (mm);

SCS NEH-4 – Soil Conservation Service National Engineering Handbook
– Section 4, Hydrology;

SIG – Sistema de Informações Geográficas;

S_m – massa de sedimentos (Mg);

SM(1) – quantidade de água para a primeira camada de solo, no início do período, (%);

SM(2) – quantidade de água para a segunda camada de solo, no início do período, (%);

SMCX – quantidade máxima de água que pode ser retida pelo sistema das duas camadas de solo, (mm);

SM_t – umidade para cada camada de solo no início do período de tempo, (%);

SM_{t+1} – umidade para cada camada de solo no final do período de tempo, (%);

S_o – declividade do canal, m/m;

S_{ov} – declividade do escoamento superficial;

SWAT – Soil and Water Assessment Tool;

SWRRB-WQ – Simulator for Water Resources in Rural Basins-Water Quality;

S_y – produção de sedimentos (Mg/ha);

S_{y1} – produção de sedimentos no local "1" (Mh/ha);

S_{y2} – produção de sedimentos no local "2", respectivamente (Mh/ha);

t – período de tempo;

T – temperatura do ar média em um dia, média das temperaturas máxima e mínima do dia;

t_b – tempo de base (s);

T_c – tempo de concentração (h);

$T_{c, in-cell}$ – tempo de concentração para a contribuição proveniente dos processos na célula (h);

$T_{c, reach_in}$ – tempo de concentração do canal ou célula de montante;

$T_{c, reach_out}$ – tempo de concentração no trecho de saída;

T_o – temperatura do dia corrente;

TOPAZ – Topographic Parameterization;

$T_{t,cf}$ – tempo de percurso para o período do escoamento concentrado na célula (h);

$T_{t,ov}$ – tempo de percurso para o período de escoamento superficial (h);

$T_{t,reach}$ – tempo de percurso ao longo do segmento do trecho;

$T_{t,scf}$ – tempo de percurso para o período de escoamento laminar (h);

U – velocidade do vento (m/s), a 2m do solo;

US EPA – Environmental Protection Agency United States;

USDA-ARS – United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service;

USDA-SCS – United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service;

V – velocidade, m/s;

V_c – velocidade da seção do canal;

V_{cf} – velocidade do escoamento para o segmento de escoamento concentrado (m/s);

V_f – velocidade da seção da área de inundação;

v_f – velocidade de queda da partícula (m/s);

V_{reach} – velocidade de escoamento através do trecho;

V_{scf} – velocidade do escoamento para o segmento de escoamento raso (m/s);

v_w – velocidade da água;

W – largura do canal;

$W1, W2$ – pesos para a atualização diária da variável de retenção S ;

W_b – largura do topo da seção cheia;

WEPP – Water Erosion Prediction Project;

W_f – largura do topo da seção de inundação;

W_H – largura (m);

WI – água de entrada para o solo (mm);

WI_t – precipitação ou degelo da neve, somada a água de irrigação (mm);

W_m – massa de água proveniente da área de drenagem de montante, (Mg);

WP(1) – ponto de murchamento para primeira camada de solo, (%);

WP(2) – ponto de murchamento para segunda camada de solo, (%);

W_v – função de vento;

Y – produção de sedimentos por evento (t);

Z – declividade do talude do canal trapezoidal, m/m;

Z_s – espessura da camada de solo, (mm);

Δ – inclinação da curva de saturação pressão de vapor - temperatura (kPa/°C);

γ – constante psicrométrica (kPa/°C);

η – fator de transporte efetivo;

κ – fator de capacidade de transporte;

λ – projeção horizontal da rampa;

θ – ângulo de inclinação da rampa;

τ – tensão de cisalhamento do fundo, mg/m²;

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – O Modelo AnnAGNPS	90
ANEXO B – Categorias para Entrada de Dados	109
ANEXO C – Resultados Ensaio dos Solos	115

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO AGNPS2001 UTILIZANDO DADOS OBSERVADOS NA BACIA DO ARROIO VACACAÍ-MIRIM

Autora: Janaína Rios Dias

Orientadora: Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de junho de 2003.

Uma das preocupações da sociedade no momento é a preservação e recuperação do meio ambiente, que ao longo do desenvolvimento industrial e agrícola do país serviu apenas como fonte de recursos e destino dos resíduos do ciclo de produção e consumo. Os projetos de monitoramento hidrossedimentométrico e da qualidade da água de uma bacia hidrográfica funcionam como importante fonte de informação sobre as características da bacia e proporcionam a formulação e aplicação de modelos hidrológicos que auxiliam o planejamento da mesma. Estes modelos permitem a avaliação das respostas hidrológicas da bacia frente a diferentes cenários que poderiam ocorrer dentro de seus limites e as conseqüências para a região em que estiver inserida. Neste trabalho foi aplicado o modelo distribuído AGNPS2001 à sub-bacia Menino Deus I, do Arroio Vacacaí-Mirim, monitorada entre 07/08/1996 e 05/01/1998, pelo projeto “Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentométrica e da Qualidade da Água da Bacia do Arroio Vacacaí-Mirim”, inserido no projeto RECOPE/REHIDRO da FINEP e CNPq. A sub-bacia tem área de 18 km², e corresponde a 62% da área de contribuição ao reservatório do Vacacaí-Mirim, responsável por 40% do abastecimento de água da cidade de Santa Maria – RS. O modelo AGNPS2001 foi projetado para análise de bacias sem dados e simula o escoamento superficial, a produção de sedimentos e o transporte de nutrientes e pesticidas provenientes de bacias hidrográficas rurais. Neste trabalho foram aplicados os módulos relativos à estimativa do escoamento superficial e da produção de sedimentos para duas discretizações obtidas utilizando-se o aplicativo TopAGNPS. Sendo as discretizações em cinco sub-bacias, com áreas entre 0,43km² e 7,64km², e em vinte e nove sub-bacias, com áreas entre 0,0036km² e 1,7km². Para a discretização em cinco sub-bacias obtiveram-se os seguintes resultados: a) em relação a nove eventos com dados observados em campo, três eventos variaram $\pm 20\%$ quanto ao volume e dois eventos variaram $\pm 30\%$ quanto à produção de sedimentos; b) em relação a valores estimados a partir de curvas-chave construídas para a bacia para dez eventos, cinco eventos variaram $\pm 20\%$ quanto ao volume e sete eventos variaram $\pm 50\%$ quanto à produção de sedimentos. Para a discretização em vinte e nove sub-bacias obtiveram-se os seguintes resultados: a) em relação a nove eventos com dados observados, dois eventos variaram $\pm 20\%$ quanto ao volume e dois eventos variaram $\pm 30\%$ quanto à produção de sedimentos; b) em relação aos dez eventos estimados, quatro eventos variaram $\pm 20\%$ quanto ao volume e sete

eventos variaram $\pm 50\%$ quanto à produção de sedimentos. A representação dos eventos isolados ficou prejudicada pelo uso da precipitação diária. A vazão de pico foi a principal evidência desta dificuldade de representação, não apresentando bom ajuste para nenhuma das discretizações. Em termos de análise de períodos de tempos maiores, os valores simulados em relação aos valores estimados para o volume escoado ficaram entre 74% e 108% e para a produção de sedimentos entre 87% a 96%, considerando as duas discretizações.

ABSTRACT

M. S. Dissertation
Postgraduation Program in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO AGNPS2001 UTILIZANDO DADOS OBSERVADOS NA BACIA DO ARROIO VACACAÍ-MIRIM (APPLICATION OF THE AGNPS2001 UTILIZING OBSERVED DATA IN THE VACACAÍ-MIRIM RIVER WATERSHED)

Author: Janaína Rios Dias

Advisor: Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Date and Local: Santa Maria, 27 de junho de 2003.

Nowadays, one of the concerns of the society is the preservation and recovery of the environment, that it just served as source of resources and destiny of the residues of the production cycle and consumption along the industrial and agricultural development of the country. The monitoring projects of water-sediment and water quality in a watershed work as important source of information on the characteristics of the basin, and they provide the formulation and application of hidrological models that aid the planning of the same. These models allow the evaluation of the hidrologicals answers of the basin front to different sceneries that could happen inside of its limits, and the consequences for the area in that be inserted. In this work the distributed model AGNPS2001 was applied to the sub-basin Menino Deus I, of the Arroio Vacacaí-Mirim, monitored between 07/08/1996 and 05/01/1998, for the project "Monitoring and Modeling of the Water-Sediment and of the Water Quality of Vacacaí-Mirim River Watershed", inserted in the project RECOPE/REHIDRO of FINEP and CNPq. The sub-basin has area of 18 km², and it corresponds at 62% of the contribution area to the reservoir of Vacacaí-Mirim, responsible for 40% of the provisioning of water of Santa Maria city - RS. The AGNPS2001 was projected for analysis of basins without data, and it simulates the runoff, production of sediments and the transport of nutrients and coming pesticides from rural basins. In this work they were applied the modules to estimate the runoff and the production of sediments for two discretizations obtained from the TopAGNPS. The discretizations are: five sub-basins, with areas between 0,43km² and 7,64km²; and twenty-nine sub-basins, with areas between 0,0036km² and 1,7km². With the discretization in five sub-basins was obtained the following results: a) in relation to nine events with data observed in field: three events varied $\pm 20\%$ with relationship to the volume, and two of the events varied $\pm 30\%$, with relationship to the production of sediments; b) in relation to ten events estimated from stage-discharge relations for the basin: five events varied $\pm 20\%$ with relationship to the volume, and seven events varied $\pm 50\%$, with relationship to the production of sediments. For the discretização in twenty-nine sub-basins were obtained the following results: a) in relation to nine events with observed data: two events varied $\pm 20\%$ with relationship to the volume, and two events varied $\pm 30\%$, with relationship to the production of sediments; b) in relation to the ten estimated events: four events

varied $\pm 20\%$ with relationship to the volume, and seven events varied $\pm 50\%$, with relationship to the production of sediments. The representation of the isolated events was harmed by the use of the daily precipitation. The peak ratio was the main evidence of this representation difficulty, not presenting good adjustment for none of the discretizations. In terms of analysis of periods of larger times, the values simulated in relation to the values esteemed for the runoff were between 74% and 108%, and for the production of sediments among 87% to 96%, considering the two discretizations.

1. INTRODUÇÃO

Uma das preocupações da sociedade no momento é a preservação e recuperação do meio ambiente, que ao longo do desenvolvimento industrial e agrícola do país serviu apenas como fonte de recursos e destino dos resíduos do ciclo de produção e consumo.

Hoje se busca a conformação entre a exploração da natureza e a sua manutenção visando à garantia de vida em tempos futuros. Ou seja, o uso de maneira sustentável dos recursos naturais atualmente disponíveis de maneira a evitar sua exaustão, sendo a água o mais importante dentre esses recursos naturais.

A água movimenta-se através de um ciclo que pode levar milhares de anos para retornar ao ponto inicial, o chamado ciclo hidrológico. No entanto, ao chegar no continente sob forma de precipitação, sofre significativas alterações em sua qualidade. Quando escoar nas ruas e calçadas de grandes cidades e/ou ao lavar o solo de áreas cultivadas, leva consigo até os rios resíduos químicos, sedimentos, microorganismos, que por fim causam a poluição dos mananciais e chegam muitas vezes aos oceanos.

Projetos de monitoramento hidrossedimentométrico e da qualidade da água de uma bacia hidrográfica funcionam como importante fonte de informação sobre as características da bacia. Proporcionam, ainda, a formulação e aplicação de modelos hidrológicos que auxiliam o planejamento da mesma. Estes permitem a avaliação das respostas hidrológicas da bacia frente a cenários diversos que poderiam ocorrer dentro de seus limites e as conseqüências para a região em que estiver inserida.

Os modelos hidrológicos receberam incrementos importantes com a evolução da tecnologia computacional. Os sistemas de informações alimentam o banco de dados dos modelos em tempo real ou com muito

pouco tempo de diferença, como o que acontece no monitoramento das precipitações e do nível dos rios. As informações obtidas pela interpretação de imagens de satélites também fazem parte dessa contribuição do avanço tecnológico aos estudos do nosso meio ambiente, pois ao modelador são dadas as condições para se identificar a cobertura vegetação ou as características do relevo em pontos distantes na bacia hidrográfica.

Em Santa Maria, Rio Grande do Sul, foi realizado o projeto de “Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentométrica e da Qualidade da Água da Bacia do Arroio Vacacaí-Mirim”, inserido no projeto RECOPE/REHIDRO da FINEP e CNPq, entre os anos de 1996 e 2002. A área da bacia compreende em 50 km², sendo que 29 km² contribuem para o reservatório do Vacacaí-Mirim, que é responsável por 40% do abastecimento da população da cidade (Paiva *et al.*, 2001).

Como acontece em muitas cidades brasileiras, a bacia sofreu nos últimos anos uma ocupação urbana de forma desorganizada, que está resultando na aceleração do processo de assoreamento do reservatório, segundo Dill (2001) em 29 anos o reservatório perdeu 29,45% de seu volume útil.

A aplicação de um modelo hidrológico pode permitir a realização de simulações de diferentes cenários de uso da bacia. Podendo, assim, constituir importante contribuição para o planejamento pelo respectivo comitê da bacia, onde alternativas de uso poderão ser simuladas e medidas para a preservação da bacia poderão ser determinadas previamente.

No entanto, a análise de uma ferramenta como esta só é possível pela existência de um projeto de monitoramento, pois é a partir deste que são obtidas as informações que alimentam o banco de dados que o modelo utiliza para a realização das suas simulações.

Neste trabalho o sistema AGNPS2001 (USDA ARS/NRCS, 2001) foi aplicado a esta bacia, sendo este um sistema projetado para análise de

pequenas bacias rurais, sem dados. Simula o escoamento superficial, a produção de sedimentos e o transporte de nutrientes e pesticidas da bacia hidrográfica. Permite a representação da bacia por células que podem ser definidas a partir da topografia e/ou da combinação tipo e uso do solo.

1.1 Objetivo:

O objetivo deste trabalho é estudar o modelo distribuído AGNPS2001, aplicando-o na sub-bacia Menino Deus I, afluente do Arroio Vacacaí-Mirim, monitorada no período de 1996 a 1997, com área de 18 km², correspondente a 62% da área de contribuição ao reservatório do Arroio Vacacaí-Mirim, em Santa Maria – RS.

O modelo será avaliado através da análise comparativa dos seus resultados em relação aos dados de vazão e produção de sedimentos observados em campo. Será aplicado o módulo de estimativa do volume de escoamento superficial e produção de sedimentos, considerando-se o uso de duas diferentes discretizações da área. Os dados observados são os disponibilizados pelo projeto de monitoramento realizado na bacia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Introdução:

Os modelos matemáticos têm a finalidade de representar, o mais próximo possível da realidade, a estrutura e funcionamento dos sistemas ambientais, considerando as relações entre seus fatores físicos, biológicos e socioeconômicos (Braga et al, 2002).

Tucci (1998) coloca que o modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência desenvolveu para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. Utilizado para antecipação de eventos de modo a permitir que medidas preventivas sejam tomadas. No entanto, ressalta que nenhuma metodologia poderá aumentar as informações fornecidas pelos dados e que não se deve deixar de usá-los na aferição dos parâmetros, na tentativa de reduzir as incertezas dos mesmos na estimativa das variáveis hidrológicas.

Os modelos são classificados como determinísticos ou não determinísticos. Os primeiros consideram que para cada ação existe uma resposta, dividindo-se em empíricos ou conceituais. Se for considerada a natureza aleatória das variáveis envolvidas, tem-se um modelo não determinístico ou estatístico (Tucci, 1998; Quintela & Portela, 2002).

Nos modelos determinísticos conceituais as características físicas da bacia são informações fundamentais. Conforme permitiam a análise da variabilidade espacial da variável de entrada são ditos concentrados ou distribuídos (Tucci, 1998). Podem ser contínuos ou discretos de acordo com o intervalo de tempo considerado na simulação.

No modelo distribuído as variáveis e parâmetros dependem do espaço e/ou do tempo, sendo o grau de detalhamento ligado diretamente

às informações disponíveis e à precisão desejada para representar a bacia.

No entanto, segundo Tucci (1998), na prática não existem modelos puramente distribuídos, pois muitas vezes são utilizadas discretizações numéricas que, de alguma forma, torna o modelo distribuído em modelo concentrado numa pequena subdivisão da bacia, caracterizando-se assim o modelo hidrológico semi-distribuído. E, segundo Lacroix (2002), a discretização determinará a incorporação da variação espacial das características hidrológicamente significantes dentro da bacia hidrográfica.

Braga et al (2002) diz que “os modelos de simulação são versáteis na comparação de alternativas, permitem projeções temporais, promovem a comunicação interdisciplinar e incorporam as relações de variáveis, algumas vezes de extrema complexidade”.

A tendência mundial, segundo Campana (1997), em nível de pesquisa em hidrologia tem se voltado principalmente para estudos envolvendo a compreensão dos mecanismos físicos que regem os fenômenos, e, neste aspecto, não só interessa a entrada (precipitação) e a saída (vazão líquida e sólida, e qualidade), mas também características dos fenômenos controladores do processo.

Algumas desvantagens são colocadas por Braga et al (2002) na aplicação de modelos de simulação, são elas: dificuldade de encontrar dados disponíveis e representativos para o desenvolvimento e calibração do modelo; ou então, o emprego de relações simplificadas entre as variáveis intervenientes, em função da complexidade dos fenômenos representados, ou pelo pouco conhecimento destes, ou, ainda por limitações computacionais; difícil incorporação de fatores, como os sociais, por exemplo; e ainda, a possibilidade de induzir o processo de decisão.

Os principais objetos de interesse desses modelos são a estimativa da quantidade de água que escoar em uma bacia e sua qualidade. Surgindo assim os modelos que trazem associadas à simulação do

escoamento, a partir da precipitação registrada, a carga de poluição que este terá conforme o uso do solo da bacia.

A facilidade que um SIG oferece à manipulação e análise dos dados de interesse, sob forma digital, permite que o comportamento hidrossedimentológico de determinada região seja avaliado com rapidez, precisão e relativo baixo custo (Risso, 1993).

Segundo Thomas *et al.* (1998) em função do número de modelos existentes e suas várias possibilidades de aplicação é preciso que sejam realizadas avaliações consistentes e compreensivas destes modelos. Acrescentado que mesmo as novas aplicações não atendem todas as necessidades dos estudantes, pesquisadores, consultores, organizações de planejamento e grupos ambientais, pois a maioria é projetada para uma aplicação em particular.

Nos Estados Unidos, um grupo de membros da ASCE (*ASCE Water Resources Engineering Divisions Water Quality Committee*) e da CSREES (*Cooperative States Research Education and Extension Service*) montaram um programa, conhecido como Projeto S273, para realizar uma revisão dos modelos relacionados à qualidade da água existentes. O objetivo foi de proporcionar ao potencial usuário de um determinado modelo uma análise inicial do modelo conforme sua necessidade, interesse, condições de trabalho e informações disponíveis. Para cada modelo foram agrupadas informações como o histórico da construção do modelo, descrição do modelo, os componentes de simulação, os dados de entrada e informações de saída, características especiais, a disponibilidade, limitações e aplicabilidade. Estas informações foram apresentadas em forma de artigos, estando alguns disponíveis na página da Internet <www3.bae.ncsu.edu/s273/ModelProj/index.html>.

2.2 Cargas Poluentes e Escoamento Superficial:

Segundo Gastaldini & Medonça (2001) os poluentes podem ter origem de fontes pontuais ou difusas. Não existe uma clara divisão entre estas fontes, pois em nível regional, ou mesmo local, as fontes difusas podem resultar de um grande número de fontes pontuais.

A poluição difusa é gerada em áreas extensas e chegam aos corpos d'água conforme a ocorrência das chuvas. Pode ser rural, relacionando-se às atividades agrícolas, como aplicação de fertilizantes e pesticidas, ou urbana (Dalcanale, 2001).

Segundo Mostaghimi et al (1997), a poluição não pontual, resultante das atividades agrícolas e do desenvolvimento urbano, foi identificada como uma fonte significativa de poluição nos Estados Unidos. Sendo os sedimentos, nitrogênio e fósforo os principais poluentes (U. S. EPA, 1983 *apud* Mostaghimi et al, 1997). Identificando os fertilizantes, resíduos da criação de animais e da agricultura como as principais fontes dos componentes químicos que, quando em grandes quantidades, causam a eutrofização de corpos d'água.

Kinnell (2000) comenta que como consequência do aumento da importância da necessidade de se conhecer o impacto do uso do solo, desencadeou-se o desenvolvimento de modelos para estimar a erosão e seu impacto sobre a qualidade da água. Tais modelos seriam potencialmente valiosos no sentido de permitir a identificação de áreas de alto risco associadas com o uso atual e o estudo de usos alternativos.

Na Alemanha, por exemplo, desde 1980 há um esforço crescente para reduzir a poluição por nutrientes das águas superficiais. Medidas foram tomadas em relação aos efluentes industriais e residenciais. Mas, estima-se que 46% de fósforo e 57% de nitrogênio são provenientes da poluição difusa (Werner et al, 1991 *apud* Rode & Frede, 1999). Segundo Rode & Frede (1999), neste caso, um modelo de parâmetros distribuídos

poderia ser aplicado para analisar a variabilidade espacial das características do relevo e suas influências sobre o transporte de água e nutrientes dentro de determinada área.

Kauark Leite & Mouchel (1990) colocam que, em um programa de controle de poluição difusa, é preciso o emprego de “metodologias que levem em conta os múltiplos fatores (agronômicos, climáticos, hidrológicos) que intervêm nos mecanismos de transporte dos poluentes”, de modo a se definir alternativas adequadas. Consideram que uma das metodologias disponíveis seria a aplicação de modelos matemáticos.

Diversos trabalhos relatam a aplicação de modelos de estimativa da poluição difusa em uma bacia hidrográfica, considerando a produção de sedimentos carregados no escoamento superficial e que podem ter associados outros poluentes, como pesticidas e nutrientes, conforme as características agro-pastoris da bacia, que chegarão a um corpo d'água principal, seja um rio ou um reservatório, alterando a sua qualidade. Neste trabalho são citados, em item seguinte, alguns exemplos de modelos e suas aplicações.

2.3 O Sistema de Informações Geográficas como Ferramenta na Aplicação de Modelos Hidrológicos:

Em Rocha (2000) o Sistema de Informações Geográficas é descrito como ferramenta capaz de adquirir, armazenar, tratar, integrar, processar, recuperar, transformar, manipular, modelar, atualizar, analisar e exibir informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas representando os relacionamento entre as entidades, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos. Os dados que o alimentam podem ser obtidos por sensoriamento remoto, mapas, cadastros, entre outros.

Na aplicação dos modelos, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) contribui de diferentes modos. Cita-se, como exemplo: a possibilidade de se obter, através do modelo digital do terreno, as características topográficas da bacia; pela análise das imagens obtidas por sensoriamento remoto, obter-se a localização e disposição espacial de características da bacia, como tipo de solo e seu uso; e ainda, através de superposição de diferentes mapas, permite se delinear áreas com características homogêneas dentro da bacia hidrográfica. Estas propriedades são aplicadas nos trabalhos de Chowdary *et al.* (2001), Wijesekera & Samarakoon (2001), Leon *et al.* (2000), Crosetto *et al.* (2000), Mati *et al.* (2000), Kinnell (2000), Grunwald & Norton (2000), Bacchi *et al.* (2000), Rode & Frede (1999), Cox & Madramootoo (1998), Lenzi & Luzio (1997), entre outros.

Rocha (2000) define o Modelo Digital do Terreno (MDT) como sendo a representação matemática de uma superfície, através das coordenadas X, Y e Z. Pode representar não somente a altimetria de uma região, mas também qualquer outra característica que possa ser representada de forma contínua como, por exemplo, a temperatura, a precipitação e a poluição.

Segundo Grabrech et al. (1999a) como a topografia representa um importante dado na distribuição e fluxo da água e da energia em cenários naturais, a extração automática de parâmetros topográficos a partir do modelo digital do terreno (DEM) é reconhecida como uma alternativa viável.

Lacroix *et al.* (2002) citam que existem muitas vantagens no uso das técnicas de análise automática de modelos digitais do terreno na derivação de parâmetros e variáveis para modelos hidrológicos distribuídos, destacando-se a velocidade e a capacidade de reprodução com a qual a tarefa de parametrização pode ser realizada. Beneficiando, assim, o estudo dos efeitos de escala na modelagem hidrológica.

Garbrechet & Martz (1999a) apresentam um algoritmo para interpretação automática da rede de drenagem a partir de modelos digitais, gerando índices e ordenando os canais conforme o método de Strahler. Martz & Garbrechet (1999) descrevem outros algoritmos para tratamento específico quando ocorrem áreas planas e pequenas depressões no modelo digital do terreno, respectivamente.

Quanto à resolução do modelo digital, esta é normalmente adotada conforme os dados disponíveis, a aplicação de testes, a experiência, incluindo, também, os custos. No caso dos modelos que usam sub-bacias como unidade de área na simulação dos processos hidrológicos, os modelos digitais são usados apenas para extração de parâmetros representativos para toda a sub-bacia, independente da resolução do modelo (Garbrechet & Martz, 1999a).

A determinação do fator topográfico usando modelo digital do terreno para aplicação da RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) é tema dos trabalhos de Wang *et al.* (2001), Van Remortel *et al.* (2001), Stefano *et al.* (2000).

2.4 Exemplos de Modelos Hidrológicos:

Neste item são apresentados alguns modelos hidrológicos com suas principais características e exemplo de aplicações.

a) AGNPS (*Agricultural Non-Point Source Model*):

O AGNPS (*Agricultural Non-Point Source Model*) foi desenvolvido no início dos anos 80 pelo Serviço de Pesquisa Agrícola Americano (ARS) em cooperação com a Agência de Controle da Poluição de Minnesota e com o Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) (Young et

al., 1989 e Young *et al.*, 1995 *appud* Bosh *et al.*, 1998). O AGNPS foi largamente aplicado em todo o mundo na investigação de vários problemas de qualidade da água. (Bosh, 1998)

O AGNPS é um modelo baseado em eventos, os parâmetros são tomados de forma distribuída, onde a bacia é representada por células quadradas. Segundo Grunwald & Norton (2000) o volume escoado é determinado pelo método da Curva Número do SCS. A vazão de pico é calculada para cada célula através de uma equação empírica e a produção de sedimentos é determinada pela MUSLE. Determina, também, a concentração de nitrogênio e fósforo.

Corbett *et al.* (1997), Lenzi & Di Luzio (1997), Mostaghimi *et al.* (1997), Pekarova *et al.* (1999), Rode & Frede (1999), Grunwald & Norton (2000), Kinnell (2000), Chowdary *et al.* (2001) aplicaram o modelo para bacias com áreas entre 0,086 km² e 129 km², utilizando para sua calibração e validação dados observados em períodos até três anos. Associaram, também, técnicas de geoprocessamento e interpretação de imagens de satélite. Alguns destes trabalhos realizaram modificações em alguns módulos que compõem o modelo, como Kinnell (2000) e Grunwald & Norton (2000), no entanto todos consideram o modelo apto na simulação de volume de água escoado e da produção de sedimentos e de nutrientes.

b) SWRRB-WQ (*Simulator for Water Resources in Rural Basins-Water Quality*):

O SWRRB-WQ (*Simulator for Water Resources in Rural Basins-Water Quality*) foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura e Pesquisas Agrícolas dos EUA (USDA-ARS). Aplicado em grandes e complexas bacias rurais, simula a parte hidrológica e o transporte de sedimentos, nutrientes e pesticidas. O modelo permite a subdivisão da

bacia para a representação de diferentes solos, uso do solo, e distribuição da chuva (Gabele, 2002).

É uma adaptação do modelo CREAMS (*Chemicals, Runoff, Erosion from Agricultural Management Systems*. Knisel, 1980 *apud* Byne, 2000). Adotando também outras metodologias como: GLEAMS (*Groundwater Loading Effects from Agricultural Management Systems*), para simulação de pesticidas; do SCS (*Soil Conservation Service*), para estimar a vazão de pico; e, a HUSLE (*Hydro-Geomorphic Universal Soil Loss Equation*) para determinação da taxa de entrega de sedimentos (Byne, 2000).

Maldonado *et al.* (2001) realizou a calibração e validação do SWRRB em uma bacia de 2,67ha na Guatemala. Encontrando em uma análise de regressão linear entre os dados observados e simulados os coeficientes de 0,956, com $R^2=0,989$, e de 0,886, com $R^2=0,931$, na calibração e validação, respectivamente, do escoamento superficial. Com a verificação dos bons coeficientes encontrados, foram gerados diferentes cenários para vinte anos de desenvolvimento na bacia, considerando alternativas para o seu gerenciamento.

c) WEPP (*Water Erosion Prediction Project*):

O WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) é um modelo para pequenas bacias hidrográficas, baseado nos processos hidrológico e de erosão. Utiliza parâmetros distribuídos e simulação contínua, dividindo a bacia em células e canais, possibilitando a determinação espacial e temporal da perda de solos (NSERL, 2002).

O modelo requer as seguintes entradas: quantidade e intensidade de precipitação, textura do solo, parâmetros de crescimento da cultura agrícola, parâmetros da decomposição de resíduos, efeitos dos implementos de arado sobre as propriedades do solo e quantidade de resíduos, orientação, declividade e parâmetros de erodibilidade do solo. As saídas consistem de informação resumida de volume de escoamento e

erosão, as quais podem ser a cada evento, mensal, anual ou média anual. Estimativas integradas no tempo de escoamento, erosão, entrega de sedimentos estão nesta saída, bem como a distribuição espacial da erosão. (Shoemaker et al, 1997 apud Byne, 2000).

Bhuyan *et al.* (2002) realizaram uma comparação entre os modelos WEPP, EPIC e ANSWERS quanto à capacidade de estimativa da perda de solos considerando diferentes técnicas de cultivo. Foram medidos dados de erosão de solo e de escoamento superficial para um lote experimental construído na Universidade do Estado do Kansas, nos Estados Unidos. O modelo mostrou melhores resultados em relação aos outros modelos, indicando que pode estimar muito bem a perda de solo para as três técnicas de plantio.

d) EPIC (*Erosion-Productivity Impact Calculator*):

O EPIC (*Erosion-Productivity Impact Calculator*) foi desenvolvido em 1984 para avaliar o efeito da erosão na produtividade do solo. A partir desta proposta a sua aplicação foi expandida e refinada para permitir a simulação dos processos importantes no gerenciamento agrícola. O modelo pode ser usado para determinar o efeito das estratégias de manejo na produção agrícola e nos recursos hídricos e no solo (Mitchell *et al.*, 1997)

A área de drenagem considerada pelo EPIC é, normalmente, uma área superior a 100ha, para a qual o clima, o solo e sistemas de manejo são tomados como homogêneos. Os principais componentes no EPIC são a simulação do clima, hidrologia, erosão-sedimentação, ciclo de nutrientes, pesticidas, crescimento das plantas, temperatura do solo, colheitas e controle ambiental da planta, usando como unidade de tempo um dia.

Na região dos Pampas na Argentina, Bernardos *et al.* (2001) realizaram a calibração e a validação do EPIC com a intenção de usar o

modelo para descrever, comparar e interpretar mudanças funcionais dos agro-sistemas durante um período de 93 anos para a região de estudo. A simulação foi dividida em sete períodos buscando representar significantes combinações de clima, uso do solo e tecnologias utilizadas. Em termos históricos, os distúrbios ecológicos de grande escala que ocorreram no período foram satisfatoriamente representados pelo modelo. Obtiveram, também, uma boa validação do modelo para os períodos mais recentes, quando havia maior quantidade de registro de dados disponível. Por fim, os autores consideraram o modelo uma ferramenta útil para se fazer interpretações ecológicas seguras e para se testar as aplicações dos princípios ecológicos na atividade rural.

e) SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*):

SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é um modelo de simulação capaz de estimar a produção de sedimentos, nutrientes e pesticidas provenientes de bacias rurais. Este modelo usa uma versão modificada do método da Curva Número do SCS (USDA–SCS, 1972 *appud* FitzHugh & Mackay, 2000) para estimar o volume do escoamento. A vazão de pico é calculada pela equação Racional e a produção de sedimentos é estimada pela aplicação da MUSLE (Williams e Berndt, 1977 *appud* FitzHugh & Mackay, 2000).

FitzHugh & Mackay (2000) analisaram a influência da subdivisão da bacia sobre os resultados fornecidos pelo modelo. Foram estudadas oito diferentes subdivisões da bacia. Cada subdivisão pode ser dividida em áreas menores chamadas unitárias de resposta hidrológica (HRU). A estimativa da produção de sedimentos nas sub-bacias foi bastante afetada pela sensibilidade dos termos da MUSLE em relação à área da sub-bacia. No entanto, as estimativas do volume escoado e de sedimentos na saída da bacia não apresentaram muitas variações em relação ao tamanho das sub-bacias. Esta pouca variação dos sedimentos

na saída da bacia, segundo os pesquisadores, é devida às características da bacia em que os canais da parte baixa têm pequena capacidade de transporte. Mostrando a importância dos parâmetros dos canais na determinação do comportamento das estimativas de produção de sedimentos do modelo.

f) ANSWERS-2000 (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*):

O ANSWERS-2000 (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*) é um modelo distribuído, conceitual, simulação contínua, em escala de pequenas áreas ou em bacias, desenvolvido para avaliar a eficiência das práticas de manejo em áreas agrícolas e urbanas na redução da produção de sedimentos e nutrientes levados aos cursos d'água pelo escoamento superficial (Dillaha *et al.*, 1998).

Foi projetado para uso por planejadores em bacias não monitoradas, ou seja, onde não há disponibilidade de dados para calibração do modelo. O intervalo de simulação adotado pelo modelo é de trinta segundos durante o evento e de um dia entre os eventos. São simulados a interceptação, retenção/detenção superficial, infiltração, percolação, destacamento e transporte de sedimentos e nutrientes. Tem uma interface com o ArcInfo que facilita a criação do arquivo de entrada dos dados. (Byne, 2000).

Niu *et al.* (2001) aplicaram e testaram o ANSWERS-2000 para modelar a erosão do solo em duas pequenas bacias na área do reservatório de Três Gargantas, no sul da China. Para representação das características da região, como o cultivo do arroz em terraços, algumas modificações foram realizadas nos algoritmos originais.

A avaliação do modelo foi considerada satisfatória, mesmo que o volume de escoamento tenha sido superestimado entre 5,2% e 5,8% em termos de valores acumulados para dois anos de simulação, com uma

variação entre 100% e -39,5% para períodos secos, para as duas bacias; e superestimando a produção de sedimentos, em torno de 7,2% para as duas bacias. O modelo simulou melhor os períodos úmidos do que os secos. A análise de sensibilidade realizada no trabalho mostrou que o fator de rugosidade de Manning, a porosidade total e a capacidade de campo do solo são os parâmetros mais sensíveis.

g) AnnAGNPS (*Annualized Agricultural Non-Point Source Model*):

O AnnAGNPS foi criado a partir do modelo AGNPS (*Agricultural Nonpoint Source Model*, Young *et al.*, 1989 *appud* Bingner & Theurer, 2001), acrescentado-se as características necessárias a uma simulação contínua. Integra um sistema de programas conhecido por AGNPS2001, que permite a simulação de nutrientes, pesticidas e análise do meio biótico, entre outros, através da integração de outros modelos. Projetado para análise de bacias sem dados, simula o escoamento superficial, a produção de sedimentos e o transporte de nutrientes e pesticidas provenientes de bacias hidrográficas rurais. Permite a representação da bacia por células que podem ser definidas a partir da topografia e/ou da combinação tipo e uso do solo.

Tien & Martinez (2001) aplicaram o AnnAGNPS em um área de 32,37ha, localizada no sul da Flórida, Estados Unidos, caracterizada pela presença de pastagens, para a simulação do escoamento superficial, da produção de sedimentos e de nutrientes, utilizando um período de dois anos de dados (1998 e 1999) para calibração, verificação e análise de sensibilidade de alguns parâmetros do modelo. Para o período dos dados foram identificadas as datas das práticas de manejo adotadas no local, como a presença de animais, aplicação de fertilizante e realização de queimadas.

Para calibração do modelo quanto ao escoamento superficial foram determinados os valores adequados do CN do escoamento, a capacidade

de campo e a condutividade hidráulica saturada do solo. Estes parâmetros foram variados buscando concordância com o volume de escoamento acumulado para o ano de 1998. E, em segundo momento, buscando ajuste com os eventos individuais. Para o volume acumulado, obtiveram volume estimado 4,4% menor que o observado. Quanto aos eventos, houve períodos em que o modelo superestimou entre 1,86% e 39,7%, e em outros apresentou volume 47,7% menor que o observado. Na verificação para o ano seguinte, os autores encontraram grande discrepância nos resultados, com estimativa de volume acumulado 95,3% maior que o observado.

Na simulação da produção de sedimentos, mesmo sem dados observados, os autores mencionam ser baixo o valor apresentado ao considerar a ocorrência de grandes precipitações no ano de 1999. Para os nutrientes foram analisados o nitrogênio e o fósforo, calibrando-se o modelo para 1998, com valores 0,81% e 0,30% maiores, respectivamente, em relação ao observado. Na verificação para o ano 1999, obtiveram uma superestimativa de 17,43% para o nitrogênio, e uma subestimativa de 46,58% para o fósforo.

A análise de sensibilidade apresentou que o volume estimado pelo modelo é mais sensível ao CN, seguido pela capacidade de campo e pela condutividade hidráulica. O modelo não se demonstrou sensível à rugosidade de Manning e a declividade.

Bingner & Yuan (2000) usaram o modelo para estimar o escoamento e a produção de sedimentos em uma bacia com área de 11,30ha, monitorada pelo projeto de avaliação dos sistemas de gerenciamento no Delta do Mississippi (*Mississippi Delta Management Systems Evaluation Area*). É uma área plana, próxima a um lago, onde são produzidos algodão e soja em diferentes épocas do ano.

Os resultados mostraram que o AnnAGNPS forneceu uma estimativa em torno de 15% maior ou menor em relação ao volume escoado e a produção de sedimentos mensal e anual sem calibração. A

opção pela não calibração dos dados foi na intenção de verificar a aplicação do modelo para uma bacia sem dados. Ressaltam que o volume escoado é sensível ao valor de CN selecionado e, a estimativa dos sedimentos é sensível aos parâmetros relativos as operações aplicadas na lavoura. Na conclusão mencionam que, para eventos individuais, o modelo não fornece resultados tão bons quanto os anuais pelo fato que muitos dos parâmetros foram derivados de valores médios de um longo período.

Suttles *et al.* (2001) estimaram nitrogênio, fósforo, sedimentos, escoamento e vazão de pico em uma bacia no sul do estado da Georgia, nos Estados Unidos, cuja área é de 390 km². Sendo, aproximadamente, um terço da área cultivada e o restante constituído de áreas de criação de suínos, gado leiteiro e de corte, e ainda, oito açudes. O TOPAGNPS foi usado para a obtenção das sub-bacias e das características topográficas a partir do modelo digital do terreno. Foram adotados 933 sub-bacias e 403 trechos de canais. O comprimento, profundidade e largura dos cursos d'água foram estimados em função da área de drenagem. O uso do solo foi obtido através de imagem de satélite com verificação em campo, atribuindo-se a célula o uso com maior porcentagem de ocorrência.

Os resultados da simulação foram comparados com quatro anos de monitoramento em sete locais diferentes. Na conclusão os autores não trazem muito claro, em termos de valores, os resultados obtidos na simulação. Apenas comentam que o modelo estimou que o escoamento superficial representaria cerca de 38% da precipitação anual na bacia, enquanto que, conforme informações, em uma bacia próxima, o escoamento seria de 10% da precipitação anual. Levantam, ainda, a questão do modelo não trabalhar o escoamento subterrâneo, o que teria grande contribuição para a bacia estudada. Outro fator importante questionado foi a atribuição dos usos às células, por exemplo, a agricultura, para toda a bacia, representa 34% da área, mas adotando-se

o uso predominante, teve-se como valor final uma área de 52%, o que poderia contribuir para a superestimativa do escoamento pelo modelo.

Para grandes bacias a preparação dos dados e a análise das saídas podem ser demoradas e cansativas. Tsou *et al.* (2002) desenvolveram uma interface do modelo AnnAGNPS com um sistema de informações geográficas, o ESRI ArcView, e um gerenciador de banco de dados, o Microsoft Access para facilitar a preparação, manipulação, análise e visualização da composição dos dados e dos resultados da simulação.

Na bacia hidrográfica do Lago Cheney, com área aproximada de 2561 km², Tsou *et al.* (2002) realizaram o modelamento com AnnAGNPS como uma ferramenta para o planejamento e busca de alternativas de ações de recuperação e preservação do reservatório. Com o auxílio da *interface* desenvolvida, foi facilitada a identificação de áreas críticas das fontes de sedimentos e de poluição difusa, permitindo, também a construção de cenários alternativos de manejo.

Localizado no estado de Kansas, nos Estados Unidos, o lago é responsável por cerca de 60% da água potável consumida pela cidade de Wichita, sendo um dos principais problemas a quantidade de sedimentos neste lago. A calibração do modelo foi realizada em uma das sub-bacias, em função da variabilidade espacial da precipitação na bacia. A verificação foi realizada para período distinto daquele usado na calibração, e em termos de valores mensais acumulados. Na verificação obteve-se uma variação de 10% para o escoamento e de 20% para a produção de sedimentos.

No Brasil, Dalcanale (2001) para a bacia do Rio Ariranha, em Santa Catarina, simulou a contribuição de áreas rurais para as cargas de fósforo e sedimentos após um evento de chuva. Na bacia ocorre a cultura de milho e a criação de suínos. A área da bacia corresponde a 25,02 km² e foi dividida em 32 células homogêneas quanto à direção do escoamento e ao uso e tipo do solo. A calibração foi realizada com base nas concentrações de sedimento, ajustando o fator de precipitação e de

fósforo através da alteração dos índices de adubação e de nutrientes concentrados. Na etapa seguinte do trabalho, foram ensaiadas três alternativas de manejo: uso de plantio direto, obtendo redução de 25% da produção de sedimentos; remoção de esterco, resultando em 40% na concentração de fósforo; e a associação das duas alternativas, obtendo de 35% e 60% respectivamente nas concentrações de sedimento e fósforo.

Cochrane et al. (2002) aplicaram a RUSLE na bacia hidrográfica da Represa da Usina Hidrelétrica de Itaipu, em conjunto com a implantação de um programa de monitoramento, com a instalação de pontos de coleta de dados em diferentes afluentes ao reservatório. Foi determinada a erosão potencial de cada município dentro da bacia. Os resultados fornecidos pelo modelo de estimativa de erosão foram consistentes com os dados de concentração de sedimentos obtidos nos pontos de coleta, ou seja, as áreas indicadas com maior potencial à erosão eram contribuintes aos pontos de coleta que registraram maiores concentrações de sedimentos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 AGNPS2001

O sistema AGNPS2001 é um conjunto de modelos computacionais desenvolvido pelos departamentos americanos de Pesquisa Agrícola (*Agricultural Research Service*) e de Conservação de Recursos Naturais (*Natural Resources Conservation Service*) para avaliar cargas de poluição difusa em bacias agrícolas (USDA ARS/NRCS, 2001). Composto por seis módulos que visam o suporte na avaliação de riscos e custo/benefício de projetos de gerenciamento de bacias predominantemente agrícolas.

O primeiro módulo é o modelo hidrológico AnnAGNPS (*Annualized Agricultural Nonpoint Source Model*), cujo objetivo é a estimativa do volume escoado superficialmente, da produção de sedimentos e da concentração de nutrientes e pesticidas provenientes da bacia. Reúne diferentes metodologias já desenvolvidas e permite a discretização e descrição de características da bacia, como o calendário agrícola e a presença de voçorocas.

Os demais módulos consistem dos modelos: CCHE1D e CONCEPTS projetados para estudos dos canais; SNTMP e SIDO para previsões climáticas e análise do impacto da poluição na vida aquática, respectivamente.

É possível acessar o sistema completo e os respectivos manuais na página <<http://www.sedlab.olemiss.edu/agnps.html>>. Nesta página há um cadastro e endereços eletrônicos de diversos outros pesquisadores que utilizam este modelo em diferentes países além dos Estados Unidos, como Japão, Austrália, Itália e Alemanha, entre outros. Quanto ao suporte técnico o pesquisador interessado pode entrar em contato diretamente como os técnicos que desenvolvem o sistema. É importante ressaltar que este modelo encontra-se em desenvolvimento. Portanto, novas informações e metodologias são adicionadas ou alteradas conforme a

evolução das pesquisas e do surgimento de novas ferramentas aplicadas a modelagem hidrológica.

3.1.1 AnnAGNPS (Annualized Agricultural Nonpoint Source Model):

O AnnAGNPS é um modelo hidrológico de parâmetros distribuídos e de base física, em escala de bacia (Martinez & Tien, 2001). Caracterizando-se por um modelo computacional de processo em lote, de simulação contínua do escoamento superficial e de cargas poluentes. Escrito na linguagem computacional ANSI FORTRAN 90.

O AnnAGNPS foi criado a partir do modelo AGNPS (*Agricultural Nonpoint Source Model*, Young *et al.*, 1989 *appud* Bingner & Theurer, 2001), cuja simulação é por eventos, acrescentado-se as características necessárias a uma simulação contínua. Incorporando, ainda, tecnologias criadas e testadas pelos departamentos envolvidos no projeto, permitindo acesso a um amplo banco de dados já existente para diferentes locais no seu país de origem. Segundo Bingner & Theurer (2001), esta incorporação visou garantir a viabilidade e a aceitação da aplicação do modelo em todo os Estados Unidos.

A partir de dois arquivos de entrada, um que descreve a bacia (AnnAGNPS.inp) e o outro com os dados climatológicos diários para o período a ser simulado (DayClim.inp), são geradas as quantidades de volume de água escoadas resultante da ocorrência de uma precipitação, os sedimentos, nutrientes e pesticidas que deixam as células em direção da rede hidrográfica da bacia. Estes são propagados através dos canais até o exutório da bacia. (Bingner & Theurer, 2001; USDA ARS/NRCS, 2001; Suttles *et al.*, 2001).

O modelo permite que em qualquer ponto da rede hidrográfica seja possível determinar a quantidade de água, a produção de sedimentos

classificados por classe de partículas e fonte, os nutrientes solúveis e anexados (nitrogênio, fósforo e carbono orgânico), bem como os pesticidas provenientes de qualquer ponto na bacia (USDA ARS/NRCS, 2001). Isto possibilita, segundo Bosch *et al.* (1998), a utilização do modelo no estudo das condições atuais ou para comparar os efeitos da aplicação de alternativas de conservação na bacia.

A bacia hidrográfica é representada por células a fim de se reproduzir a variabilidade espacial de suas características. Estas podem ter qualquer formato. A cada uma dessas células são atribuídas características consideradas uniformes como tipo, uso e manejo do solo, podendo ocorrer componentes especiais como: currais, ravinas, fontes pontuais e açudes. A Figura 1 mostra um esquema da organização das células em relação aos trechos, e os componentes que podem ocorrer.

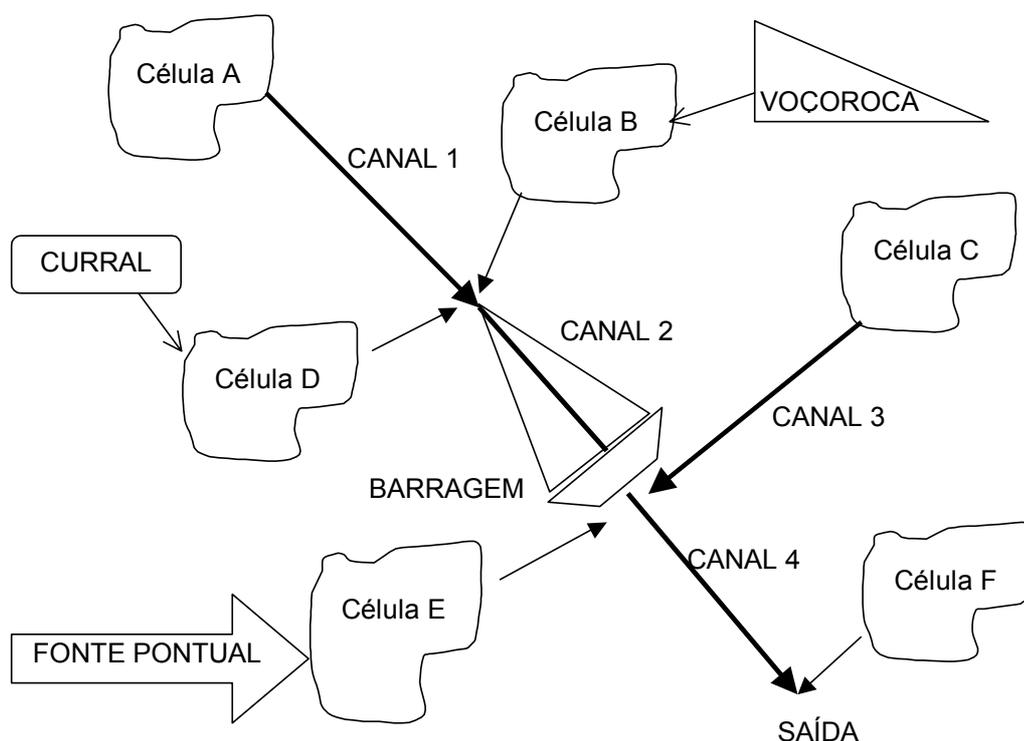


FIGURA 1 – Esquema da organização das células, trechos e componentes no AGNPS2001.

Para determinação do escoamento superficial nas células é utilizado o método da Curva Número conforme SCS NEH-4 (*Soil Conservation Service National Engineering Handbook – Section 4, Hydrology*, SCS 1974). O modelo toma a precipitação diária como uniformemente distribuída sobre toda a bacia. Para representar a influência da umidade do solo no escoamento superficial foi incorporado um algoritmo conceitual apresentado nos modelos EPIC e SWRRB.

A evapotranspiração potencial é determinada pela equação de Penman. A vazão de pico é determinada conforme procedimentos da TR-55 (USDA/NRCS/CED, 1986), que utiliza o tempo de concentração e coeficientes em função do tipo de distribuição da chuva para o local.

O tempo de concentração é determinado para cada célula e para cada trecho do canal, a partir da velocidade calculada utilizando-se a equação de Manning.

A erosão laminar e em sulcos é determinada pela aplicação da RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*, Renard *et al.*, 1997) para cada evento e o valor médio para o período considerado. Cada célula pode ter diferentes parâmetros da RUSLE associados com a operação agrícola fornecendo a variação espacial e temporal das práticas de manejo associadas com o sistema da bacia. A RUSLE aplicada no modelo AnnAGNPS apresenta algumas modificações como a possibilidade para processar múltiplas células e eliminação de cálculos redundantes para células com mesmas características.

A taxa de sedimentos que chega aos canais é obtida pela aplicação da HULSE (*Hydro-geomorphic Universal Soil Loss Equation*, Theurer & Clarke, 1991). E a equação de Bagnold (Bagnold, 1966 *appud* Bingner & Theurer, 2001) é utilizada na determinação da capacidade de transporte de sedimentos do curso d'água.

A descrição técnica dos procedimentos adotados pelo modelo é apresentada no Anexo A.

Neste modelo também são previstas situações características de locais de clima frio como a ocorrência de neve, o congelamento do solo e a fase de derretimento da neve. Como estes casos não ocorrem no Brasil, este assunto não será abordado no presente trabalho.

3.1.2 Os Arquivos de Entrada:

Para auxílio na organização dos dados que descrevem a bacia foram disponibilizados quatro aplicativos. Iniciando pelos dados relativos à topografia da bacia hidrográfica a ser modelada, o sistema AGNPS2001 apresenta os aplicativos: TopAGNPS, AgFlow e VBFlownet. Estes são descritos no item 3.2.1.1. Para a entrada dos demais dados, uma interface gráfica, aplicativo chamado "*Input Editor*", auxilia o usuário na construção do arquivo de dados que descreve a bacia, o AnnAGNPS.inp. A seqüência destes aplicativos pode ser visualizada na Figura 2.

3.1.2.1 AnnAGNPS.inp:

Através do "Input Editor" todos os dados que descrevem a bacia são fornecidos e colocados no arquivo "AnnAGNPS.inp", já no formato exigido pelo modelo. As informações podem ser colhidas por digitação, por importação dos arquivos de saída do aplicativo "AgFlow", descrito a seguir, ou a partir de banco de dados pré-existentes.

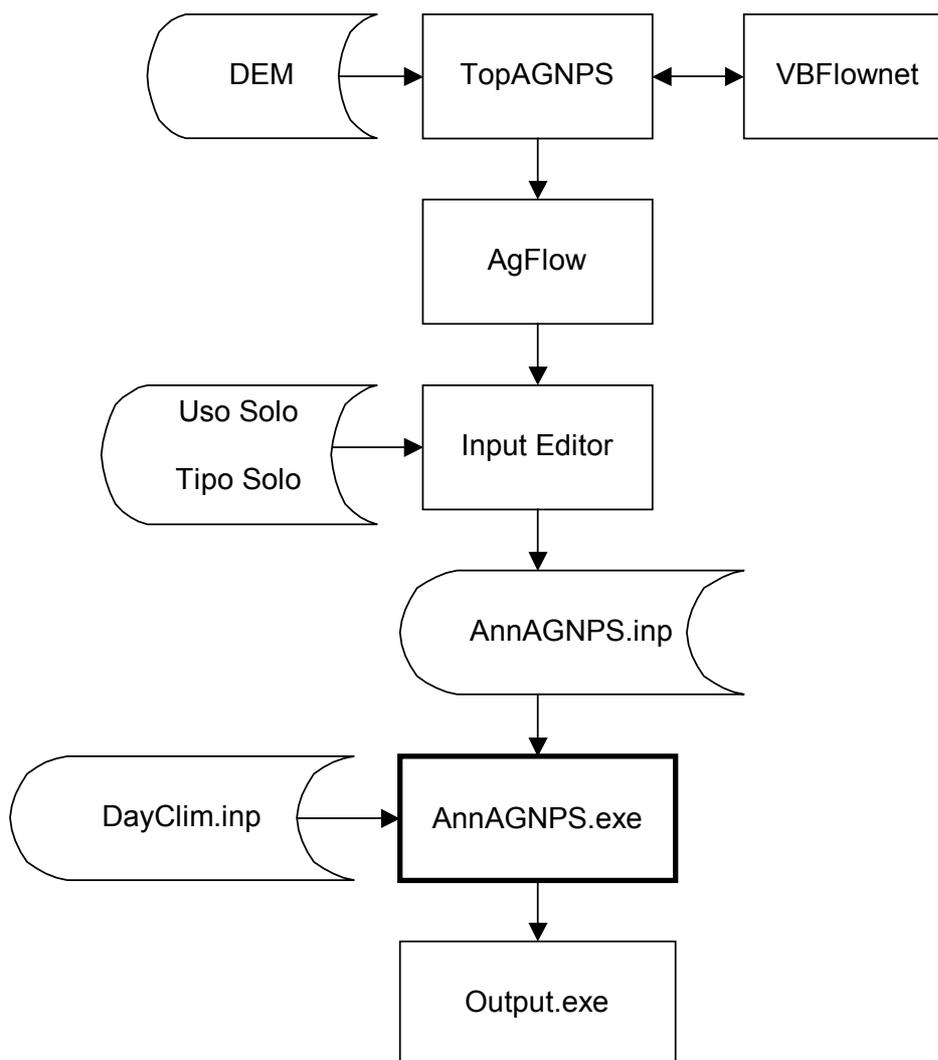


FIGURA 2 – Fluxograma do sistema AGNPS2001.

Esse arquivo descreve as características físicas da bacia; as práticas de manejo realizadas na bacia; o calendário de operações nas áreas de agricultura detalhando-se o plantio, a colheita, a aplicação de produtos químicos e irrigação; e a operação das áreas de criação de animais, como a indicação das taxas de produção de estrume (Bingner & Yuan, 2001; USDA ARS/NRCS, 2001).

São trinta e quatro categorias diferentes de dados, mostradas nas Figuras 3 e 4. No entanto, em uma aplicação não são necessárias todas

as categorias, no Anexo B é apresentado um esquema das categorias utilizadas neste trabalho, seguido de breve descrição destas categorias. A Figura 5 mostra uma das janelas para entrada de dados, no caso para descrição das células.

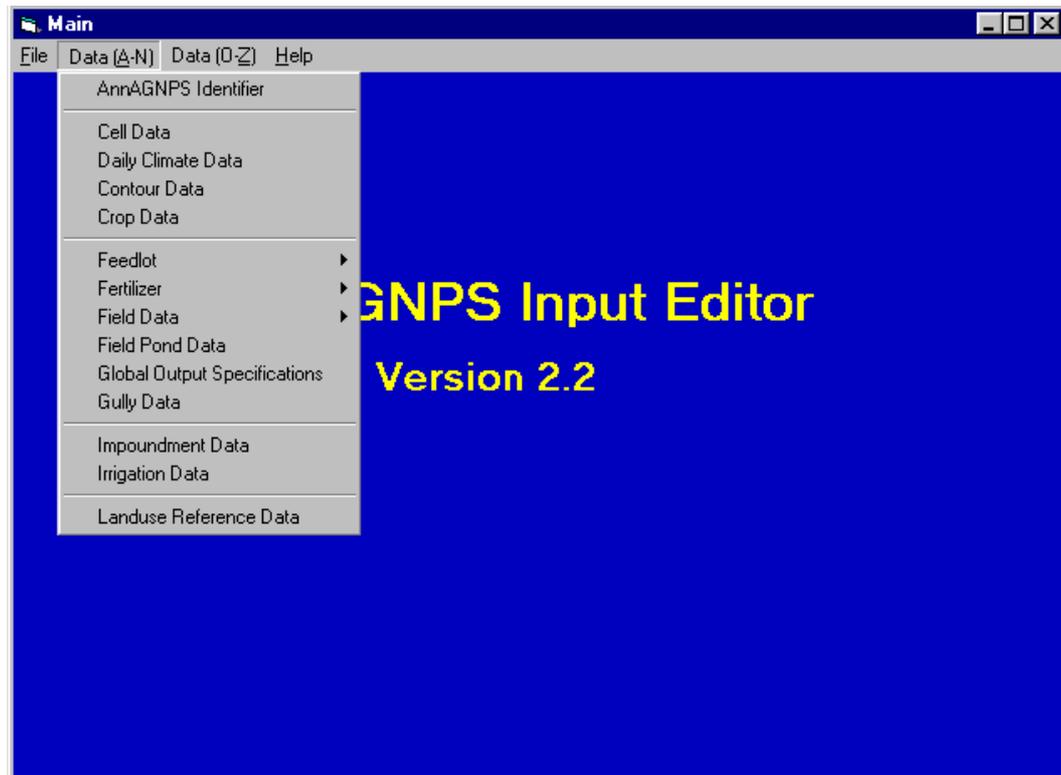


FIGURA 3 – Lista das categorias – Menu “Data (A-N)”.

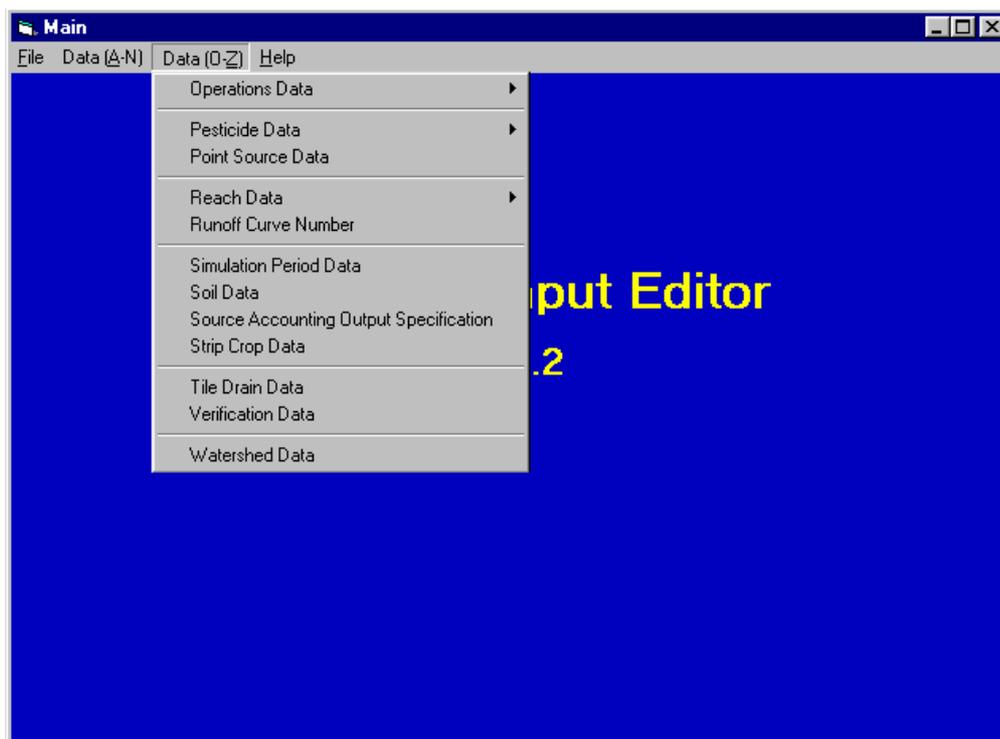


FIGURA 4 – Lista das categorias – Menu “Data (O-Z)”.

Watershed: No. Cells:

The following three field sets repeat for the number of cells (specified above). For cells with a Cell-Field identifier of WATER, only the following field set is used.

Cell identifier:
 Cell-Soil identifier:
 Cell-Field identifier:
 Cell-Reach identifier:
 Reach Location code:
 Cell Area:
 Cell time of conc:
 Cell average elevation:

The following field set is needed for all cells except those designated with a Cell-Field identifier of WATER.

Cell average land slope:
 Cell aspect:
 RUSLE/USLE 'Is' factor:

Sheet flow Manning's 'n':
 Sheet flow slope:
 Sheet flow length:
 Shallow Conc. flow slope:
 Shallow Conc. flow length:
 Conc. flow slope:
 Conc. flow length:
 Concentrated flow bottom width:
 Concentrated flow side slope:
 Concentrated flow hydraulic depth:
 Concentrated flow Manning's "n":

Current Cell:

Previous Next
 Insert Replicate Delete
 Delete ALL Forget Accept

FIGURA 5 – Exemplo de tela de entrada de dados - descrição das células.

O TopAGNPS é uma derivação do TOPAZ (Topographic Parameterization), sistema de três programas (DEDNM, RASPRO e RASFOR) que realiza o processamento numérico do modelo digital do terreno (DEM), fornecendo a delimitação da bacia, a identificação da rede de drenagem e a subdivisão da bacia conforme a topografia e condições fornecidas pelo usuário (Garbrechet & Martz, 1999b). No entanto, estas informações podem ser reunidas por outros métodos. Dalcanale (2001), por exemplo, utilizou a superposição de mapas para obter áreas homogêneas de solo e uso. Na Figura 6 é apresentado um fluxograma para execução do TopAGNPS.

O primeiro programa aplicado é o DEDNM, sua tarefa é ler e realizar um controle da qualidade dos dados de entrada do modelo digital fornecido no arquivo "Dednm.inp"; definir a direção do escoamento conforme a topografia, comparando para cada pixel do modelo digital a sua elevação em relação aos pixels vizinhos. O modelo digital do terreno fornecido pelo usuário deve abranger uma área um pouco maior que a região da bacia hidrográfica de interesse.

O arquivo "Dnmcnt.inp" é composto de informações como a resolução do modelo digital, as coordenadas geográficas da região, e de até cinco combinações de valores de CSA (*Critical Source Area*) e MSCL (*Minimum Source Channel Length*), cuja distribuição espacial é informada no arquivo "Ntgcod.inp". Os valores de CSA e MSCL são parâmetros que definem a discretização que será aplicada na bacia.

A rede de drenagem é definida em três etapas: primeiro, uma rede de drenagem contínua é delineada a partir da delimitação de células com uma área de drenagem maior que o valor informado para início de um canal (CSA); no segundo passo, a rede é simplificada eliminando-se canais com comprimento menor que o especificado (MSCL); no terceiro passo, a rede de drenagem recebe os índices que serão usados para a sua identificação e das células (Garbrechet et al, 2000). São geradas, sub-bacias divididas em células. Estas indicam as contribuições de

cabeceira, direita e esquerda para cada canal definido. A saída deste programa é em formato raster e tabular.

O segundo programa, o RASPRO, obtém as informações espaciais topográficas e parâmetros a partir da base raster produzida pelo DEDNM. O RASFOR realiza a formatação final das informações geradas pelos outros dois programas, podendo produzir o formato ASCII, ou para importação para um sistema de informações geográficas, Idrisi ou ArcInfo.

Com o VBFlownet é possível a análise visual destas saídas. Permite, ainda, a modificação da distribuição espacial dos códigos CSA/MSCL, alterando o arquivo "Ntgcod.inp", conforme o interesse do usuário em modificar a divisão das sub-bacias e células.

O AgFlow realiza o cálculo do fator topográfico (LS) para a equação de perda de solos (RUSLE) e formata as características dos canais e das células geradas pelo TopAGNPS para serem importadas pelo Input Editor. As informações são: as cotas de elevação do terreno, as áreas das células, o comprimento e declividade média dos canais, declividade e comprimento do escoamento na superfície já divididos em trechos, como considerado no cálculo do escoamento superficial.

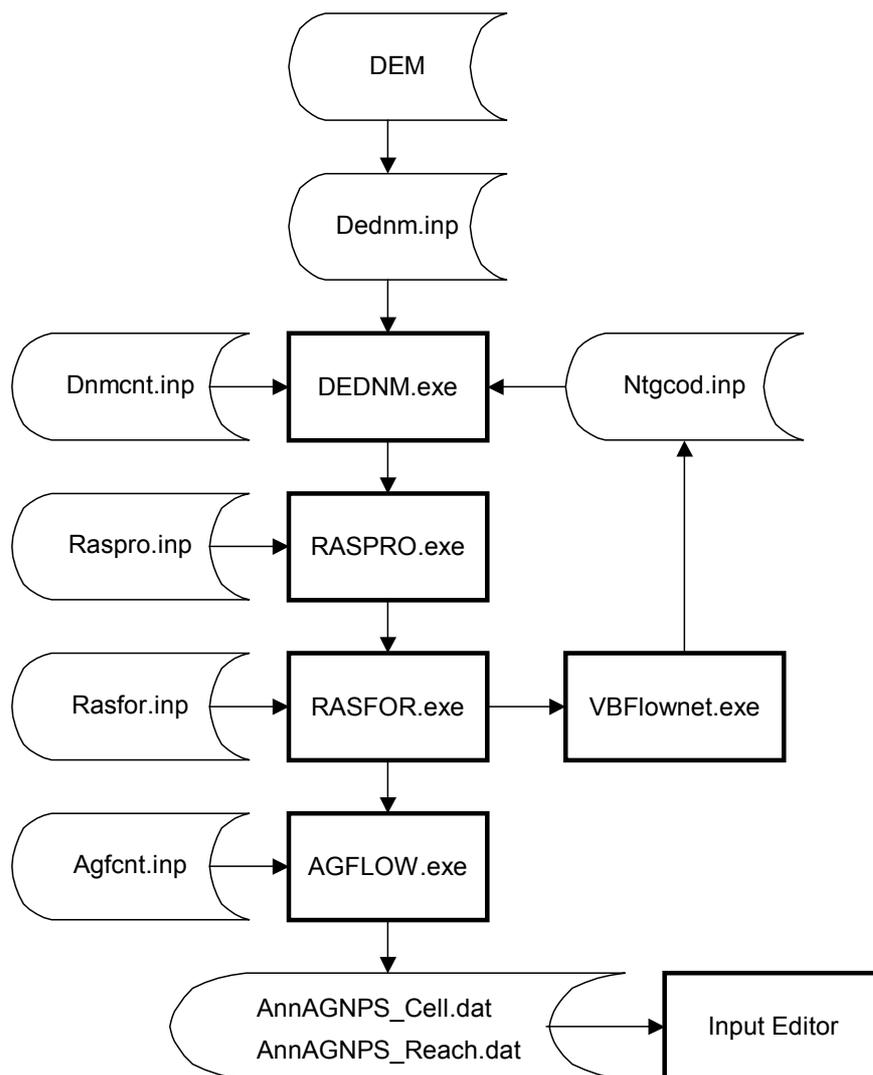


FIGURA 6 – Fluxograma TopAGNPS.

3.1.2.2 Dados Climatológicos:

O arquivo “DayClim.inp” contém as características da estação climatológica e os valores diários de precipitação, em milímetros, das temperaturas (máxima, mínima e de ponto de orvalho, em graus centígrados), da porcentagem de cobertura de nuvens, de velocidade do

vento e da quantidade de precipitação com uma duração de vinte e quatro horas para um período de retorno de dois anos. Os autores sugerem que sejam informados períodos completos para estes dados.

A precipitação diária é uma importante informação para avaliação do ciclo hidrológico, pode ser chuva ou neve. As temperaturas são usadas para definir condições de congelamento, e os demais dados são para o cálculo da evapotranspiração potencial. Os dados podem ser registros históricos, séries sintéticas ou uma combinação dos dois. (Bingner & Theurer, 2001).

3.1.3 Os Arquivos de Saída:

A saída do “AnnAGNPS.exe” consiste de diferentes arquivos: um com informações sobre erros ocorridos durante a simulação; dois arquivos em formato texto (.doc), um com os resultados das informações em termos de valores anuais para cada parâmetro simulado, e outro para eventos maiores que 6,35 mm; e, ainda, um arquivo em formato texto com todos os eventos de escoamento gerados.

O “Output.exe” faz a leitura dos arquivos de saída do “AnnAGNPS.exe” e organiza em formato tabular as informações solicitadas para cada componente (célula, trecho de canal, fonte pontual) solicitado pelo usuário, podendo-se definir as informações como sendo para cada evento simulado (neste caso, apenas os maiores que 1,0 mm), valores mensais ou ainda valores anuais.

3.2 A BACIA HIDROGRÁFICA – Características Físicas e Monitoramento

3.2.1 Localização:

A sub-bacia Menino Deus I, afluente do Arroio Vacacaí Mirim, com área aproximada de 18km², localiza-se a montante do reservatório do Vacacaí Mirim, no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, entre as longitudes de 53°46'30" e 53°49'29" W, e latitudes 29°36'55" e 29°39'50" S. O mapa de localização da bacia é apresentado na Figura 7.

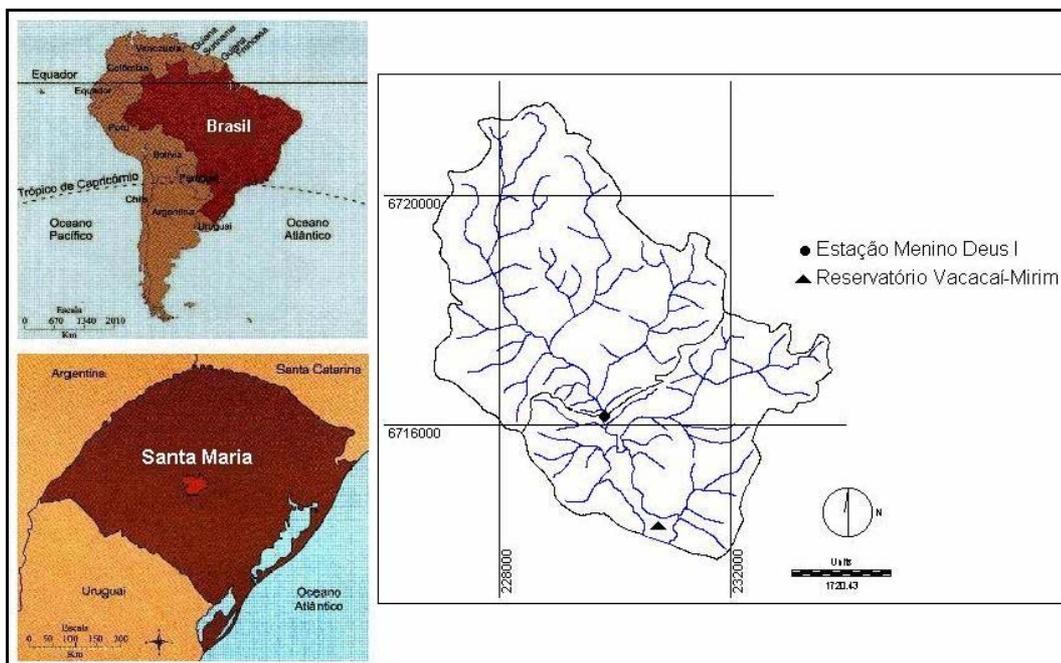


FIGURA 7 – Localização da Bacia Hidrográfica.

3.2.2 Modelo Digital do Terreno:

O modelo digital da elevação do terreno para a área da bacia é mostrado na Figura 8. Foi construído a partir de curvas de nível digitalizadas das cartas topográficas do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, na escala 1:25000. A digitalização foi realizada na mesa digitalizadora Calcomp Drawingboard III, e do programa Spring v3.5, disponibilizado pelo INPE.

O arquivo das curvas digitalizadas, no formato vetorial, foi importado para o software Idrisi, onde foi transformado em formato matricial. E, através do módulo Intercon do mesmo programa, foi gerado o modelo digital de elevação do terreno para a área da bacia. A resolução dos pixels utilizada para o modelo foi de 30m.

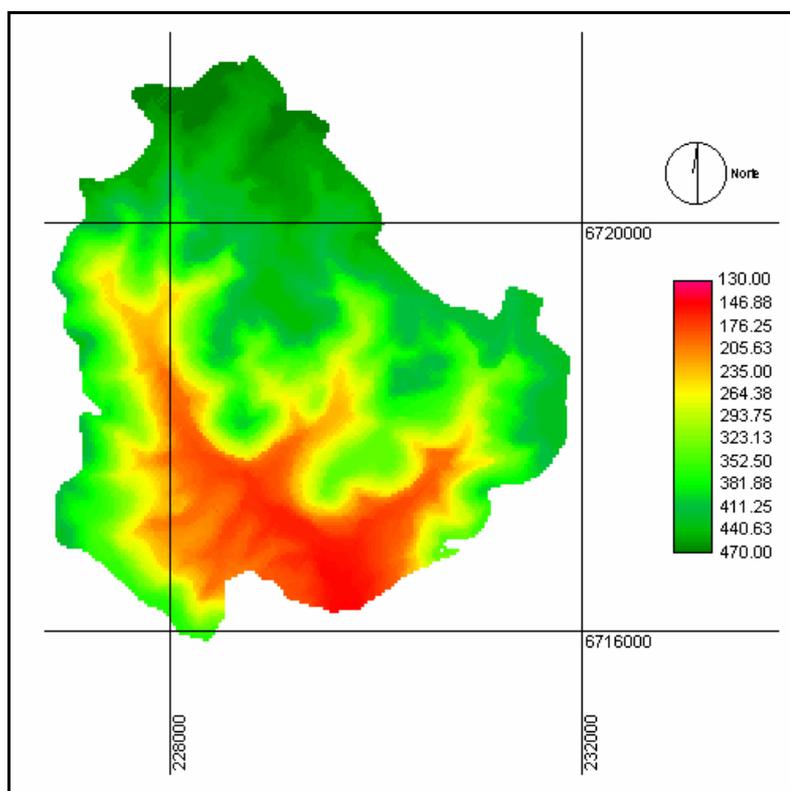


FIGURA 8 – Modelo Digital de Elevação da Sub-bacia Menino Deus I.

3.2.3 Solos:

A classificação dos solos foi obtida a partir do mapa para a bacia do Rio Vacacaí-Mirim apresentado por Azolin e Mutti (1988), na escala de 1:100000. Este mapa também foi digitalizado através da mesa digitalizadora, sendo transformado em formato raster no software Idrisi.

Os solos presentes na bacia conforme Azolin e Mutti (1988) são:

Re-C-Co - Associação Solo Litólico Eutrófico – Cambissolo – Colúvios;

Re4 – Solo Litólico Eutrófico Relevo Montanhoso;.

TBa-Rd - Associação Terra Bruna-Estruturada Álica e Solo Litólico Distrófico;.

C1 - Cambissolo

Conforme novo sistema de classificação dos solos apresentada pela EMBRAPA em 1999, Streck *et al.* (1999) apresenta a seguinte nomenclatura para esses solos:

Re-C-Co - Associação Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico-Cambissolo-Colúvios

Re4 - Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico.

TBa-Rd - Associação Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Alissólico e Neossolo Litólico Eutrófico.

C1 - Cambissolo

Na Tabela 1 são apresentadas as áreas de ocorrência destes solos na sub-bacia.

A Figura 9 mostra a distribuição dos solos na sub-bacia.

TABELA 1 – Áreas correspondentes aos tipos de solos na sub-bacia Menino Deus I.

SOLO	ÁREA (km ²)	% ÁREA
Re4	8,7	48,3
Re-C-Co	6,4	35,5
Tba-Rd	2,1	11,7
C1	0,4	2,3
Rd1	0,4	2,2
TOTAL	18,0	100,0

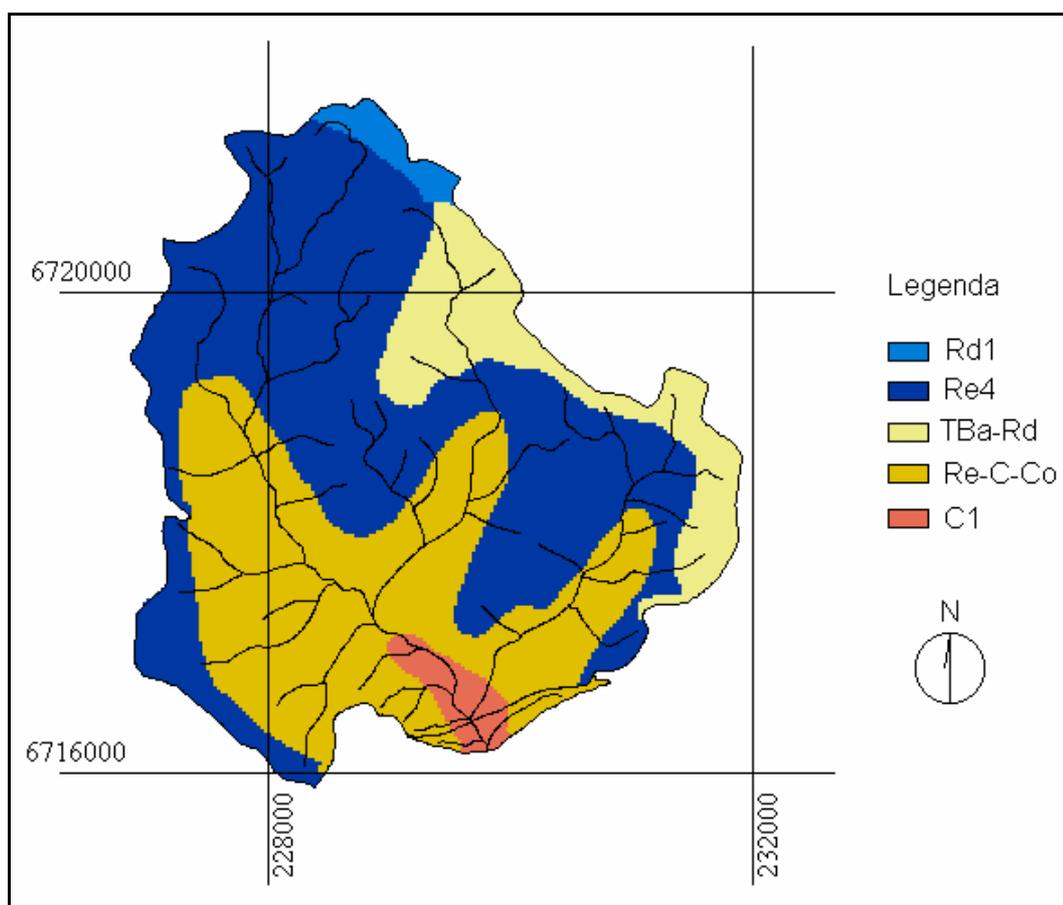


FIGURA 9 – Solos na sub-bacia Menino Deus I.

Para uma aproximação das características destes solos foram realizadas coletas em campo e ensaios em laboratório de amostras de cada um destes solos. Os pontos amostrados foram escolhidos em locais próximos as estradas, ou seja, de fácil acesso e distantes da área de transição entre tipos de solos. Em cada ponto foram amostradas duas profundidades, a 20cm e a 40 cm.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Física de Solos, do Departamento de Solo - Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria. A partir dos ensaios obteve-se para cada solo amostrado, em diferentes profundidades, a granulometria, o peso específico seco aparente, a densidade, capacidade de campo e o ponto de murchamento. Os resultados dos ensaios estão no Anexo C.

3.2.4 Uso do Solo:

Quanto à cobertura vegetal, segundo Branco (1998), na bacia são predominantes matas nativas, ciliares e plantadas. Ocorrem também pequenas áreas destinadas a pecuária em campos nativos e em pastagens artificiais.

Dill (2001) apresenta um mapa de uso do solo para o ano de 1996, na escala 1:25000, obtido a partir de fotointerpretação e verificação em campo, para toda a bacia de contribuição ao reservatório do Vacacaí-Mirim. O mapa original foi digitalizado da mesma maneira como descrita para a digitalização das curvas de nível. A Tabela 2 apresenta os usos e as áreas correspondentes de ocorrência na bacia. A Figura 10 mostra o uso do solo para a sub-bacia Menino Deus I.

TABELA 2 – Áreas correspondentes aos usos do solo na Sub-bacia Menino Deus I.

USO	ÁREA (km ²)	% ÁREA
Floresta	9,9	55,5
Pastagem	5,5	30,5
Agricultura	2,5	13,9
Urbanização	0,1	0,6
Total	18,0	100,0

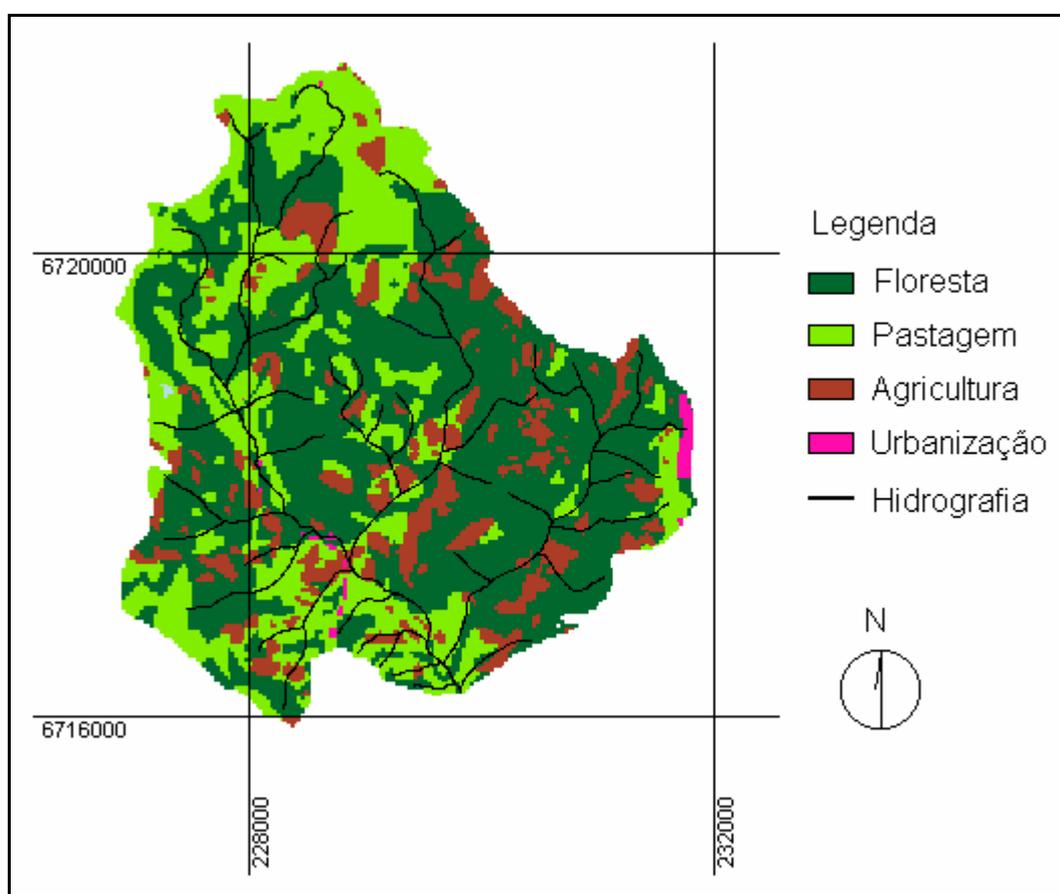


FIGURA 10 – Uso do Solo na Sub-bacia Menino Deus I. Fonte: Dill (2001).

3.2.5 Dados Climatológicos, Vazão e Sedimentos:

Foi monitorada uma estação fluviossedimentométrica no período de 07/08/1996 a 05/01/1998. Esta estação foi implantada e operada pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de Santa Maria (HDS-UFSM) através do projeto RECOPE/REHIDRO/SUB-REDE1 da FINEP e CNPq. Os procedimentos realizados no monitoramento são descritos em Branco (1998).

Para o mesmo período de monitoramento fluviométrico da sub-bacia estão disponíveis registros pluviométricos de estações próximas a bacia de estudo. Neste trabalho foi adotada a estação pluviográfica General Napion, em função da regularidade no registro das precipitações e da sua localização próxima à cabeceira da bacia, buscando-se amenizar o efeito das chuvas convectivas que ocorrem na região. A Figura 11 mostra as precipitações e as cotas registradas entre 07/08/1996 e 31/12/1997.

Belinazo & Paiva (1991) *appud* Paiva (1997) desenvolveram a seguinte equação de chuvas para a cidade de Santa Maria:

$$I = \frac{807,801 \cdot Tr^{0,1443}}{(T + 5,67)^{0,7472} \cdot Tr^{-0,028}} \quad (1)$$

Os dados de temperatura, cobertura de nuvens e velocidade do vento foram obtidos da estação climatológica de Santa Maria, instalada no campus da Universidade Federal de Santa Maria, e operada pelo Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais.

Branco (1998) entre agosto/1996 e junho/1997 realizou diversas campanhas de medições em campo de velocidade do curso d'água e de coleta de amostras da mistura água-sedimentos. Apresentando a seguinte curva chave para determinação da vazão:

$$Q_h = 17,693 \cdot (h - 0,435)^{1,9541} \quad (2)$$

para $0,47 < h < 1,00$ com $R^2 = 0,99$

onde: Q_h - vazão (m^3/s); h - cota (m).

E, para os sedimentos, a partir de nove eventos medidos obteve a seguinte relação:

$$Y = 0,0001 \cdot (Q_s \cdot Q_p)^{1,014} \quad (3)$$

para $Q_s \cdot q_p < 700000$ com $R^2 = 0,92$

onde: Y - produção de sedimentos por evento (t); Q_s - volume de escoamento superficial (m^3); Q_p - vazão de pico (m^3/s).

3.3. A Aplicação do Modelo na Bacia:

Para a aplicação do módulo TopAGNPS são consideradas duas situações diferentes para as combinações que definem a discretização da bacia, ou seja, primeiro será considerado uma única combinação de CSA (área mínima de uma célula) e de MSCL (comprimento mínimo de um canal) para toda a bacia; e em um segundo momento, considerar-se-á diferentes combinações de CSA/MSCL para diferentes partes da bacia

Os arquivos de entrada "AnnAGNPS.inp" para as duas discretizações foram construídos conforme a seqüência apresentada no Anexo B, e são apresentados no diretório "cd\annagnps.inp" do CD em anexo.

Informações como nome e localização da bacia foram apresentados em item 3.2.1. O período de dados informado ao modelo corresponde aos anos completos de 1996 e 1997.

Na Tabela 3 estão alguns parâmetros que são definidos na primeira janela de entrada das informações e que caracterizam o período de simulação, e define alguns dos procedimentos a serem adotados na execução do modelo.

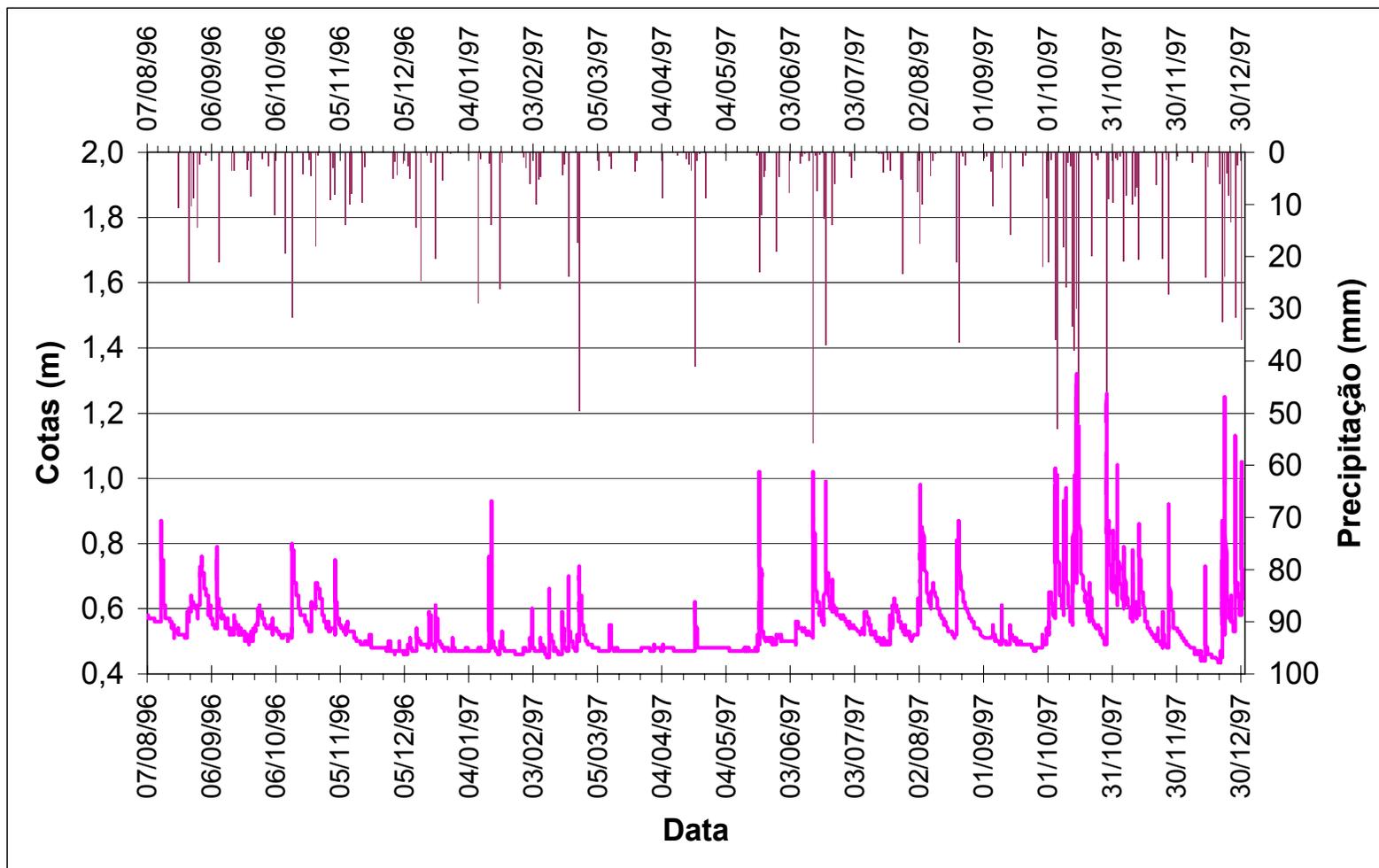


FIGURA 11 – Precipitações e as cotas registradas entre 07/08/1996 e 31/12/1997.

TABELA 3 – Resumo dos valores utilizados. Categoria: “*Simulation Period Data*”.

		Unidades	Fonte
Código Distribuição Precipitação	2	-	Paiva (1997)
Fator de Chuva HÁ	6804	MJ/há-h ano	Paiva (2001)
10 year EI	140	MJ-mm/há-h	AGNPS2001
Curva Distribuição EI	14		AGNPS2001
Código Clima	2 (úmido)	-	-
Número de intervalos para cálculo umidade	24	-	-
Código Fator K	Y (será calculado)	-	-
Curva de Geometria do Canal	Curva B	-	AGNPS2001

A escolha da curva da distribuição da precipitação foi realizada plotando-se os valores apresentados por Paiva (1997) sobre o gráfico das curvas de distribuição da precipitação a apresentado na TR55, adotando-se a curva mais próxima.

Quanto à descrição dos solos presentes na bacia, para cada solo identificado foi considerada uma única camada com profundidade de um metro. Para os parâmetros obtidos a partir de coleta em campo de amostras do solo, os valores foram tomados como a média ponderada em relação à profundidade amostrada. Na Tabela 4 são mostrados os valores utilizados.

A identificação do tipo e uso do solo em cada célula foi realizada pela superposição dos respectivos mapas, com cada uma das duas discretizações adotadas. Nas atribuições foi considerado o tipo ou uso de solo com maior área dentro da célula.

Durante a calibração foi realizada análise do uso para cada tipo de solo para a realização da calibração do CN, adotando-se a ordem de importância em função da maior área da classificação uso x solo.

TABELA 4 – Resumo valores utilizados. Categoria: “Soil Data”.

Solo		Unidades	Fonte
Tba-Rd			
	Grupo Hidrológico	D	-
	Albedo	0,1	-
	Densidade Específica	2,39	kg/kg Ensaio
	Peso Especifico Seco	1,21	g/cm ³ Ensaio
	Argila	0,34	kg/kg Ensaio
	Silte	0,41	kg/kg Ensaio
	Areia	0,25	kg/kg Ensaio
	Areia Fina	0,12	kg/kg Ensaio
	Condutividade Saturada	15,1	mm/hr Ensaio
	Capacidade de Campo	0,378	cm ³ /cm ³ Ensaio
	Ponto de Murcha	0,16	cm ³ /cm ³ Ensaio
	Código Estrutura	2	-
Re4			
	Grupo Hidrológico	B	-
	Albedo	0,1	-
	Densidade Específica	2,41	kg/kg Ensaio
	Peso Especifico Seco	1,05	g/cm ³ Ensaio
	Argila	0,22	kg/kg Ensaio
	Silte	0,39	kg/kg Ensaio
	Areia	0,39	kg/kg Ensaio
	Areia Fina	0,18	kg/kg Ensaio
	Condutividade Saturada	234,03	mm/hr Ensaio
	Capacidade de Campo	0,323	cm ³ /cm ³ Ensaio
	Ponto de Murcha	0,093	cm ³ /cm ³ Ensaio
	Código Estrutura	2	-

TABELA 4 (Continuação) – Resumo valores utilizados. Categoria: “Soil Data”.

Solo		Unidades	Fonte
Re-C-Co			
Grupo Hidrológico	A	-	-
Albedo	0,1	-	-
Densidade Específica	2,46	kg/kg	Ensaio
Peso Especifico Seco	1,46	g/cm ³	Ensaio
Argila	0,03	kg/kg	Ensaio
Silte	0,08	kg/kg	Ensaio
Areia	0,89	kg/kg	Ensaio
Areia Fina	0,63	kg/kg	Ensaio
Condutividade Saturada	121,81	mm/hr	Ensaio
Capacidade de Campo	0,202	cm ³ /cm ³	Ensaio
Ponto de Murcha	0,09	cm ³ /cm ³	Ensaio
Código Estrutura	2	-	-
C1			
Grupo Hidrológico	A	-	-
Albedo	0,1	-	-
Densidade Específica	2,37	kg/kg	Ensaio
Peso Especifico Seco	1,27	g/cm ³	Ensaio
Argila	0,09	kg/kg	Ensaio
Silte	0,13	kg/kg	Ensaio
Areia	0,78	kg/kg	Ensaio
Areia Fina	0,66	kg/kg	Ensaio
Condutividade Saturada	256,97	mm/hr	Ensaio
Capacidade de Campo	0,247	cm ³ /cm ³	Ensaio
Ponto de Murcha	0,057	cm ³ /cm ³	Ensaio
Código Estrutura	2	-	-

Foram analisadas as saídas do modelo quanto ao volume escoado superficialmente, a vazão de pico e a produção de sedimentos, sendo esta a ordem adotada para ajuste do modelo. Neste trabalho não foi realizada a simulação de nutrientes e pesticidas.

Depois de reunidas todas as informações possíveis, o primeiro passo foi testar os parâmetros que traziam maior influência aos

resultados. Verificou-se que os parâmetros que caracterizam o solo, destacando-se o ponto de murchamento, capacidade de campo e condutividade hidráulica tinham grande influência na determinação do volume escoado. Este foi o principal motivo para a realização de coletas de amostras de solo em campo, como descrito no item 3.2.3.

De posse dos dados de solo, o ajuste do volume de escoamento superficial foi realizado através de tentativas de diferentes valores para o CN, adotando-se o critério descrito em item 3.3. Para ajuste da vazão de pico foi variado o valor da rugosidade de Manning para os trechos de canal e para o escoamento superficial nas células. Os sedimentos foram ajustados alterando-se um parâmetro chamado sub-fator P, que pertence ao conjunto de parâmetros que são informados no item “*Field Data*”.

Os resultados das simulações foram comparados aos dados dos eventos em que Branco (1998) esteve em campo realizando as medidas de vazão e coletas de amostras de sedimentos em suspensão e, para os demais eventos do ano de 1997, a valores estimados a partir das cotas registradas pelo linígrafo instalado na estação fluviométrica descrita no item 4.5.

As vazões e a produção de sedimentos foram calculadas a partir das equações (2) e (3), para os eventos do ano de 1997 em que não foram realizadas campanhas de medições em campo. E assim, para cada evento, foram calculados o volume escoado superficialmente através da separação do escoamento de base, e a produção de sedimentos correspondente ao volume escoado e a vazão de pico registrada.

Para os valores estimados a partir dos dados de cota registrados foram realizadas duas análises:

- 3)** verificação dos limites das equações utilizadas no cálculo da vazão e da produção de sedimentos: resultou na exclusão de cinco eventos que ultrapassavam as cotas usadas na construção da curva chave (equação 2), correspondendo aos eventos dos dias: 14/10, 15/10, 28/10,

22/12 e 27/12; dois outros eventos (5/10 e 13/10) resultaram em um produto vazão de pico e volume escoado (Qp.Q) maior que o limite usado na construção da equação utilizada;

b) verificação da consistência entre o registro de precipitação e o registro de cheia na estação fluviométrica: observou-se a provável ocorrência de chuvas convectivas, comuns na região durante o verão, como o evento do dia 02/02/97, por exemplo, que apesar de não haver registro na estação pluviométrica, foi dia em que foi realizada coleta em campo. A partir desta verificação foram excluídos doze eventos, sendo eles: 8/01, 13/01, 18/01, 02/02, 24/02, 19/4, 4/10, 12/10, 23/11, 13/12, 21/12, 30/12.

3.3.1 Análise de Sensibilidade:

A análise de sensibilidade do modelo foi realizada em relação à variação dos parâmetros: CN, capacidade de campo, condutividade saturada e n de Manning.

Com o objetivo de se perceber a influência de cada um destes parâmetros sobre o volume escoado, a vazão de pico e a produção de sedimentos, foi atribuído a todas as células da discretização em cinco sub-bacias o mesmo uso e tipo de solo. Desta forma foi possível variar um parâmetro por vez, deixando os demais fixos, atribuindo-se um mesmo valor para o parâmetro em análise em todas as células. Foram utilizados como valor base de cada parâmetro os valores obtidos no ajuste do modelo aos dados observados em campo.

4 RESULTADOS

Alguns dos arquivos de saídas dos aplicativos são extensos, por isso estão colocados no *compact disc* em anexo. Assim, no texto a seguir serão referidos os diretórios que contém os arquivos de saída dos aplicativos.

4.1 A Discretização da Bacia:

Na aplicação do TopAGNPS foram consideradas duas situações:

1 – considerando uma única combinação de CSA (área mínima de uma célula) e de MSCL (comprimento mínimo de um canal) para toda a bacia igual a 200 ha/100m: resultou em uma divisão em cinco sub-bacias, com áreas variando de 0,43 km² a 7,64 km², mostradas na Figura 12 com a sobreposição da hidrografia digitalizada; correspondem a estas sub-bacias treze células com áreas entre 0,12 km² e 3,77 km², mostradas na Figura 13. Analisando-se a Figura 13 percebe-se que o número de células obtidas permite pouco detalhamento, principalmente da parte superior da bacia, onde ocorrem áreas planas com pastagem e agricultura.

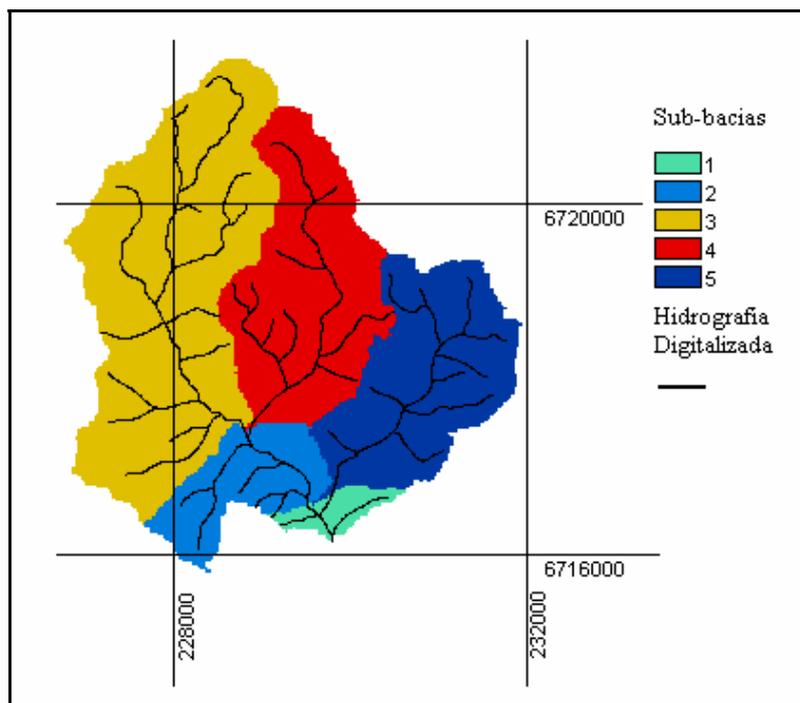


FIGURA 12 – Sub-bacias correspondentes as 13 células obtidas considerando-se valor único de CSA/MSCL=200ha/100m para toda a bacia.

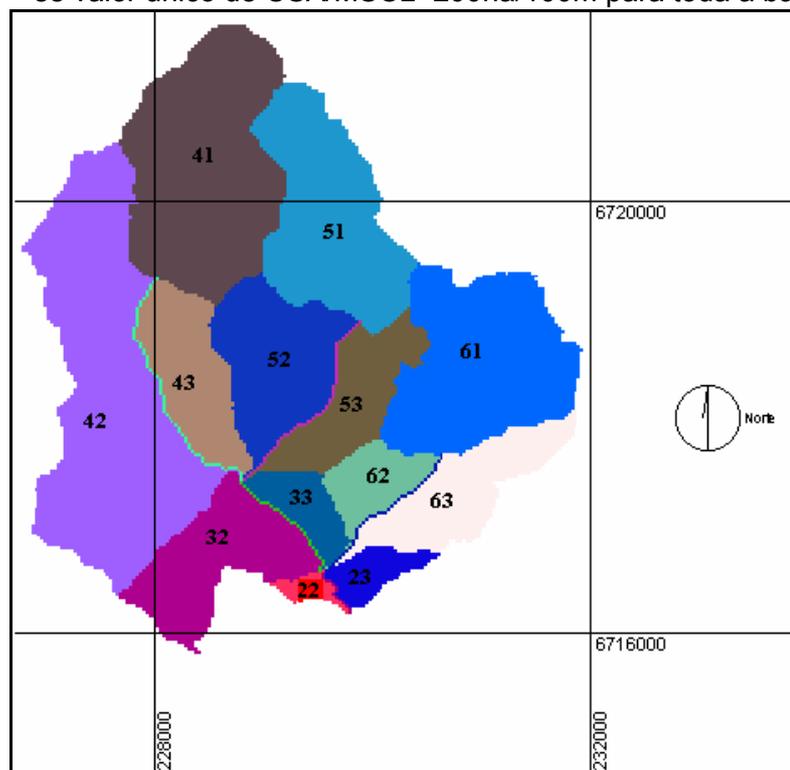


FIGURA 13 – Células obtidas ao se considerar valor único de CSA/MSCL=200ha/100m para toda a bacia.

2 – considerando diferentes combinações de CSA/MSCL para diferentes partes da bacia: obteve-se uma divisão em vinte e nove sub-bacias, com áreas entre 0,0036 km² e 1,7 km², às quais correspondem setenta e duas células com áreas entre 0,0027 km² e 1,27 km². Os valores de CSA/MSCL adotados foram: 200ha/100m; 50ha/400m; 40ha/100m; 10ha/100m; e 20ha/100m. A distribuição dos valores de CSA/MSCL na bacia é apresentada na Figura 14. A Figura 15 mostra as sub-bacias com a hidrografia digitalizada, indicando melhor discretização da bacia conforme a hidrografia. Na Figura 16 são apresentadas as 72 células. Segundo Lacroix *et al.* (2002) a ocorrência de áreas pequenas está associada a entradas muito próximas de dois tributários no canal principal.

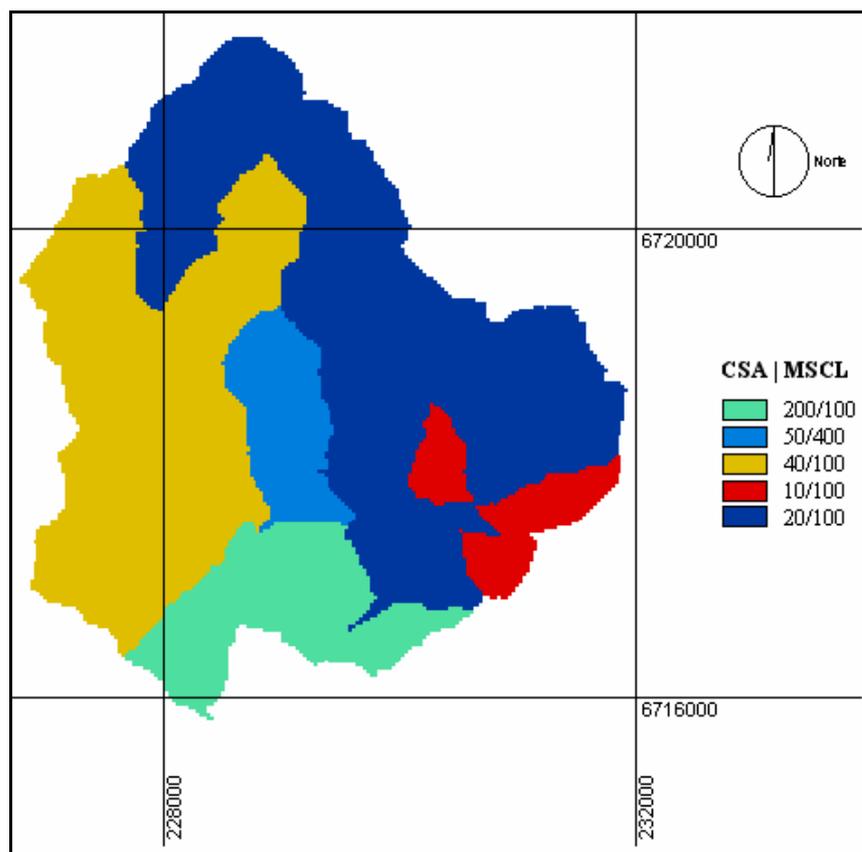


FIGURA 14 – Distribuição dos valores de CSA/MSCL na bacia hidrográfica.

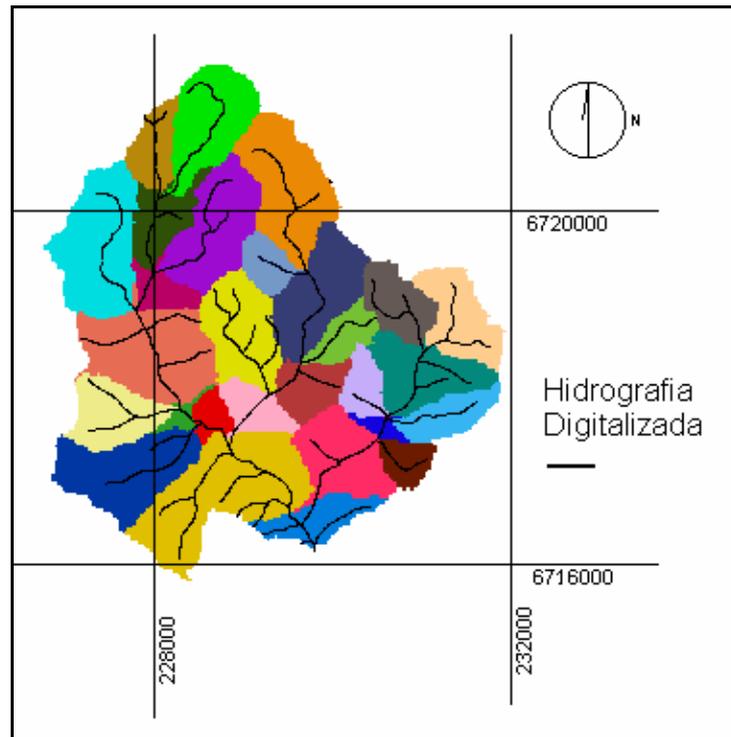


FIGURA 15 – Sub-bacias correspondentes as 72 células obtidas quando foram considerados diferentes valores de CSA/MSCL na bacia.

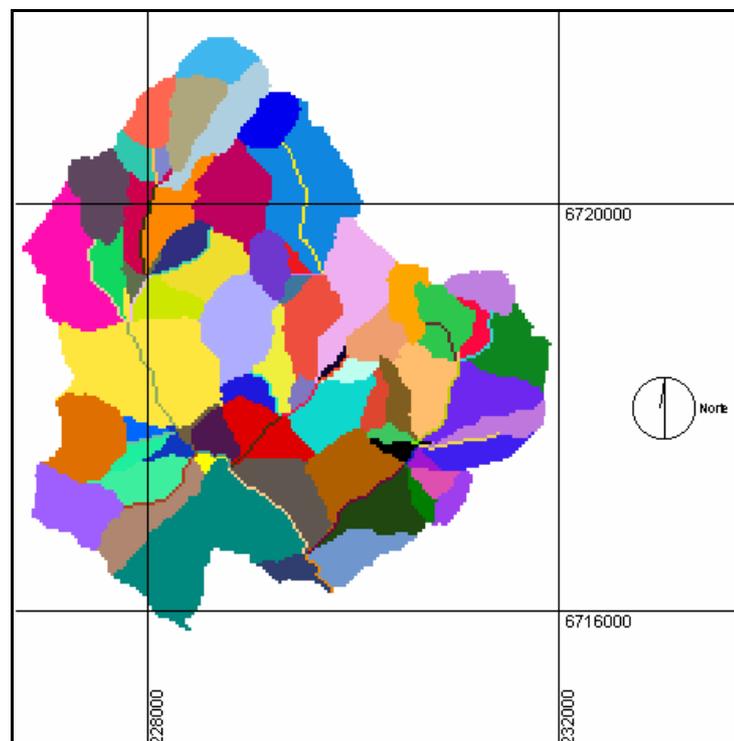


FIGURA 16 – Bacia hidrográfica dividida em 72 células. Discretização obtida considerando diferentes valores de CSA/MSCL na bacia.

A Figura 17 mostra um exemplo da visualização permitida pelo aplicativo VBFlownet. Cada sub-bacia é dividida em duas ou três células, neste exemplo tem-se a sub-bacia 27, dividida em três células, correspondendo a áreas de contribuição de cabeceira, e as margens direita e esquerda para o canal definido. No diretório “cd\saidas_agflow“, do CD em anexo, são apresentados os arquivos de saída com as informações para cada célula e respectivos trechos de canal definidos pelo aplicativo AgFlow.

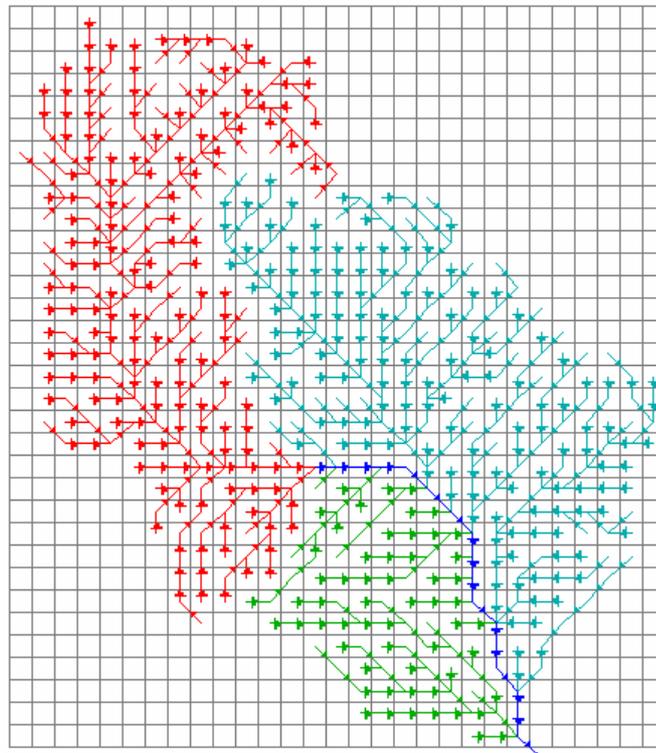


FIGURA 17 – Exemplo visualização no Flownet - sub-bacia 27.

4.2 Informações de Entrada para o Modelo:

O tipo e uso de solo que ocorre em cada célula são apresentados nas Tabelas 5 e 6 para as discretizações em cinco e vinte e nove sub-bacias, respectivamente.

Nas Tabelas 7 e 8 pode-se comparar a variação das áreas do tipo e uso do solo em função da discretização adotada para a bacia.

TABELA 5 – Tipo e Uso do Solo nas células. Discretização: 5 sub-bacias.

CÉLULA	ÁREA (ha)	SOLO	USO	% ÁREA
22	13,2	Re-C-Co	Pastagem	0,7%
23	30,2	C1	Floresta	1,7%
32	130,0	Re-C-Co	Pastagem	7,2%
33	40,1	Re-C-Co	Floresta	2,2%
41	281,6	Re4	Pastagem	15,6%
42	383,9	Re-C-Co	Floresta	21,3%
43	99,2	Re4	Floresta	5,5%
51	202,7	Tba-Rd	Floresta	11,3%
52	141,1	Re4	Floresta	7,8%
53	93,4	Re4	Floresta	5,2%
61	226,3	Re4	Floresta	12,6%
62	53,5	Re4	Floresta	3,0%
63	105,9	Re-C-Co	Floresta	5,9%
TOTAL	1801,1			100,0%

TABELA 6 – Tipo e Uso do Solo nas células. Discretização: 29 sub-bacias.

CÉLULA	ÁREA (ha)	SOLO	USO	% ÁREA
22	13,2	Re-C-Ca	Pastagem	0,7%
23	30,2	C1	Floresta	1,7%
32	130,0	Re-C-Ca	Pastagem	7,2%
33	40,1	Re-C-Ca	Floresta	2,2%
42	4,1	Re-C-Ca	Pastagem	0,2%
43	14,9	Re-C-Ca	Floresta	0,8%
51	44,6	Re4	Pastagem	2,5%
52	36,5	Re-C-Ca	Floresta	2,0%
53	26,4	Re-C-Ca	Floresta	1,5%
62	7,4	Re-C-Ca	Floresta	0,4%
63	2,8	Re-C-Ca	Floresta	0,2%
71	48,9	Re-C-Ca	Floresta	2,7%
72	9,9	Re-C-Ca	Floresta	0,5%
73	5,6	Re-C-Ca	Floresta	0,3%
82	68,0	Re-C-Ca	Floresta	3,8%
83	61,7	Re4	Floresta	3,4%
91	40,0	Re4	Floresta	2,2%
92	69,6	Re4	Pastagem	3,9%
93	17,0	Re4	Floresta	0,9%
102	7,0	Re4	Floresta	0,4%
103	20,0	Re4	Floresta	1,1%
112	20,1	Re4	Pastagem	1,1%
113	28,3	Re4	Pastagem	1,6%
121	22,8	Re4	Floresta	1,3%
122	12,7	Re4	Floresta	0,7%
123	4,3	Re4	Floresta	0,2%
131	23,5	Re4	Pastagem	1,3%
132	35,7	Re4	Pastagem	2,0%
133	33,1	Re4	Pastagem	1,8%
141	53,3	Re4	Pastagem	3,0%
142	17,1	Re4	Floresta	0,9%
143	29,5	Re4	Floresta	1,6%
152	18,4	Re-C-Ca	Floresta	1,0%
153	16,7	Re-C-Ca	Pastagem	0,9%
161	55,1	Re4	Floresta	3,1%
162	13,2	Re4	Floresta	0,7%
163	18,5	Re4	Floresta	1,0%
172	6,9	Re-C-Ca	Floresta	0,4%
173	36,4	Re4	Floresta	2,0%
182	39,7	Re4	Floresta	2,2%
183	54,9	Re4	Floresta	3,0%
191	20,2	Tba-Rd	Floresta	1,1%
192	5,4	Re4	Floresta	0,3%
193	3,6	Tba-Rd	Floresta	0,2%
201	22,3	Re4	Pastagem	1,2%
202	38,2	Tba-Rd	Pastagem	2,1%
203	55,8	Tba-Rd	Floresta	3,1%

TABELA 6 (Continuação) – Tipo e Uso do Solo nas células.

Discretização: 29 sub-bacias.

CÉLULA	ÁREA (ha)	SOLO	USO	% ÁREA
211	21,2	Re4	Floresta	1,2%
212	3,2	Re-C-Ca	Agricultura	0,2%
213	7,6	Re4	Floresta	0,4%
222	47,3	Re4	Floresta	2,6%
223	33,4	Re-C-Ca	Floresta	1,9%
232	6,4	Re4	Floresta	0,4%
233	4,0	Re-C-Ca	Agricultura	0,2%
242	0,4	Re4	Floresta	0,0%
251	10,1	Re4	Floresta	0,6%
252	5,9	Re4	Floresta	0,3%
253	13,1	Re4	Floresta	0,7%
262	36,7	Re4	Floresta	2,0%
263	40,2	Re4	Floresta	2,2%
271	21,5	Re4	Floresta	1,2%
272	9,2	Re4	Floresta	0,5%
273	21,1	Tba-Rd	Floresta	1,2%
281	21,1	Tba-Rd	Floresta	1,2%
282	11,6	Re4	Floresta	0,6%
283	35,6	Tba-Rd	Floresta	2,0%
291	10,4	Tba-Rd	Pastagem	0,6%
292	10,0	Re4	Floresta	0,6%
293	21,5	Re4	Floresta	1,2%
301	10,5	Re4	Floresta	0,6%
302	9,6	Re-C-Ca	Floresta	0,5%
303	6,2	Re-C-Ca	Floresta	0,3%

TABELA 7 – Áreas por tipo de solo.

SOLO	ÁREA	%	5 SUB-BACIAS		29 SUB-BACIAS	
	(km ²)	ÁREA	ÁREA (km ²)	% ÁREA	ÁREA (km ²)	% ÁREA
Re4	8,6	47,8	9,0	49,7	10,6	58,8
Re-C-Co	6,5	36,1	6,7	37,4	5,1	28,1
Tba-Rd	2,0	11,1	2,0	11,2	2,1	11,4
C1	0,4	2,2	0,3	1,7	0,3	1,7
Rd1	0,5	2,8	-	-	-	-
TOTAL	18,0	100,0	18,0	100,0	18,0	100,0

TABELA 8 – Áreas por uso do solo.

USO	ÁREA	%	5 SUB-BACIAS		29 SUB-BACIAS	
	(km ²)	ÁREA	ÁREA (km ²)	% ÁREA	ÁREA (km ²)	% ÁREA
Agricultura	2,5	13,9	-	-	0,1	0,4
Pastagem	5,5	30,5	4,2	23,6	5,4	30,1
Floresta	9,8	54,5	13,8	76,4	12,5	69,5
Urbanização	0,2	1,1	-	-	-	-
TOTAL	18,0	100,0	18,0	100,0	18,0	100,0

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as áreas correspondentes aos diferentes usos que ocorrem para cada um dos solos, valores estes considerados durante a calibração o ajuste do CN, adotando-se a ordem de importância em função da maior área da classificação uso x solo. Na tabela 11 são apresentados os valores finais de CN.

Para a discretização em 29 sub-bacias a agricultura aparece como uso principal para duas únicas células, correspondendo a uma área de 0,4% da bacia. Como no levantamento realizado por Dill (2001) não há especificação de qual cultivo é realizado nas áreas de agricultura, foi considerado apenas o cultivo de milho nestas áreas, conforme predominância observada em visita a campo, definindo-se como operações o preparo do solo (início na primeira quinzena de setembro, adotado CN=70), a aplicação das sementes (início na segunda quinzena de setembro, adotado CN=77), e a colheita (início na segunda quinzena de fevereiro, adotado CN=77), segundo práticas adotadas na região. As demais informações foram tomadas diretamente do banco de dados proveniente da RUSLE.

TABELA 9 – Classificação de uso x tipo de solo para 5 sub-bacias.

USO	SOLO	GRUPO SOLO	ÁREA (km ²)	% ÁREA
Floresta	Re4	B	6,1	34,1
Floresta	Re-C-Co	A	5,3	29,4
Pastagem	Re4	B	2,8	15,6
Floresta	Tba-Rd	D	2,0	11,3
Pastagem	Re-C-Co	A	1,4	8,0
Floresta	C1	A	0,3	1,7
TOTAL			18,0	100,0

TABELA 10 – Classificação de uso x tipo de solo para 29 sub-bacias.

USO	SOLO	GRUPO SOLO	ÁREA (km ²)	% ÁREA
Floresta	Re4	B	7,3	40,5
Floresta	Re-C-Co	A	3,3	18,6
Pastagem	Re4	B	3,3	18,3
Pastagem	Re-C-Co	A	1,6	9,1
Floresta	Tba-Rd	D	1,6	8,7
Pastagem	Tba-Rd	D	0,5	2,7
Floresta	C1	A	0,3	1,7
Agricultura	Re-C-Co	A	0,1	0,4
TOTAL			18,0	100,0

TABELA 11 – Valores de CN para as duas discretizações

	USO	SOLO		
		A	B	D
5 Sub-bacias	Floresta	65	75	91
	Pastagem	70	82	88
29 Sub-bacias	Floresta	56	75	91
	Pastagem	67	75	88
	Agricultura	70-77		

4.3 As Simulações:

Foram analisadas as saídas do modelo quanto ao volume escoado superficialmente, a vazão de pico e a produção de sedimentos, sendo esta a ordem adotada para ajuste do modelo.

Os arquivos de saída do “Output.exe” podem ser acessados no diretório “cd\saidas_output.exe” do disco em anexo. A saída dos dados calculados é em formato texto, sendo preciso a sua importação para outro aplicativo para a realização da comparação com os valores observados, neste trabalho foi utilizada uma planilha eletrônica. Os valores das medições em campo e os valores simulados pelo modelo para as duas discretizações são mostrados na Tabela 12.

As Figuras 18, 21 e 24 mostram os valores observados em campo e os simulados para o volume, a vazão de pico e a produção de sedimentos, respectivamente, considerando as duas discretizações.

As Figuras 19, 22 e 25 para a discretização em cinco sub-bacias, e 20, 23 e 26 para discretização em vinte e nove sub-bacias, mostram uma comparação através de ajuste linear entre os valores observados em campo e simulados para volume, vazão de pico e produção de sedimentos, respectivamente. Nos gráficos dessas figuras também está indicada a linha correspondente ao perfeito ajuste entre os dados.

TABELA 12 – Valores observados em campo e simulados pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.

DATA	Precipitação	Volume (m³)			Vazão de Pico (m³/s)			Sedimentos (t)		
	(mm)	Observado	Simulado	Relação	Observado	Simulado	Relação	Observado	Calculado	Relação
5 Sub-bacias										
02/11/96	8,1	23675,0	0	0,00	1,85	0,00	0,00	2,33	0,00	0,00
10/12/96	14,4	4580,0	2400	0,52	0,22	0,05	0,24	0,04	0,77	19,28
19/12/96	20,3	13645,0	8600	0,63	0,59	0,15	0,25	1,57	0,82	0,52
13/01/97	2,1	8902,0	0	0,00	1,97	0,00	0,00	4,27	0,00	0,00
14/01/97	13,9	15487,0	2400	0,15	4,31	0,05	0,01	13,2	0,71	0,05
02/02/97	0,0	2647,0	0	0,00	0,59	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00
19/02/97	23,8	12979,0	13400	1,03	1,32	0,26	0,20	3,23	1,18	0,36
13/06/97	55,7	112473,0	130000	1,16	6,21	2,47	0,40	79,66	97,07	1,22
19/06/97	36,9	64902,0	62000	0,96	5,60	1,17	0,21	44,7	32,26	0,72
TOTAL		259290,0	218800	0,84				149,38	132,82	0,89
29 Sub-bacias										
02/11/96	8,1	23675,0	0	0,00	1,85	0,00	0,00	2,33	0,00	0,00
10/12/96	14,4	4580,0	1800	0,39	0,22	0,04	0,18	0,04	0,54	13,48
19/12/96	20,3	13645,0	8000	0,59	0,59	0,14	0,24	1,57	0,78	0,49
13/01/97	2,1	8902,0	0	0,00	1,97	0,00	0,00	4,27	0,00	0,00
14/01/97	13,9	15487,0	1900	0,12	4,31	0,04	0,01	13,2	0,58	0,04
02/02/97	0,0	2647,0	0	0,00	0,59	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00
19/02/97	23,8	12979,0	9400	0,72	1,32	0,16	0,12	3,23	1,29	0,34
13/06/97	55,7	112473,0	116000	1,03	6,21	2,15	0,35	79,66	93,67	1,21
19/06/97	36,9	64902,0	54000	0,83	5,60	1,07	0,19	44,7	40,70	0,86
TOTAL		259290,0	191300	0,74				149,38	137,23	0,92

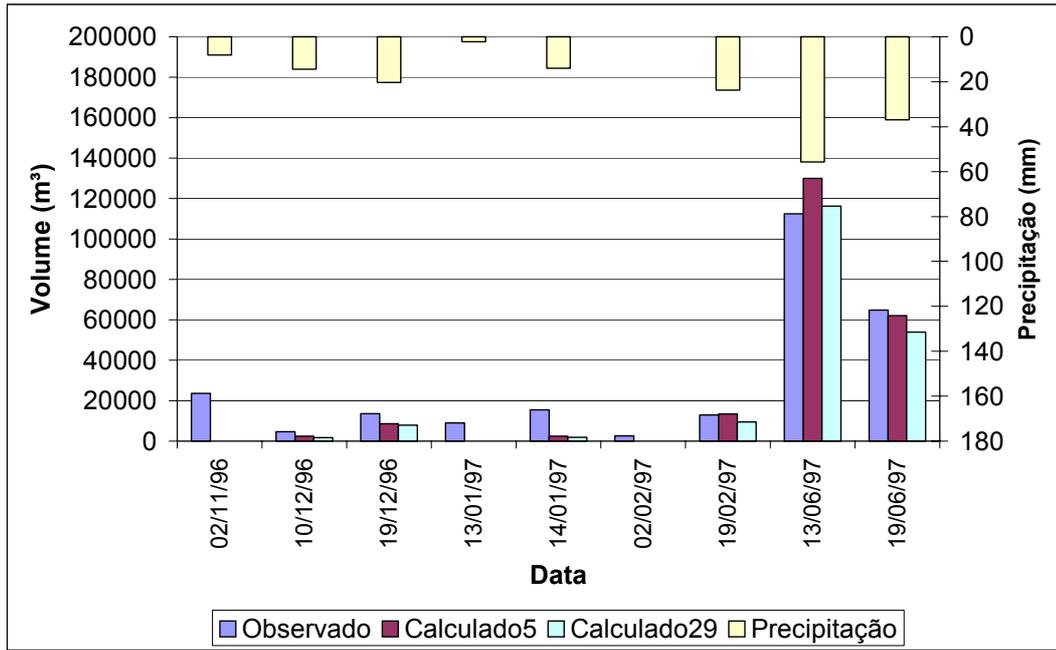


FIGURA 18 – Volumes observados em campo e calculados pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.

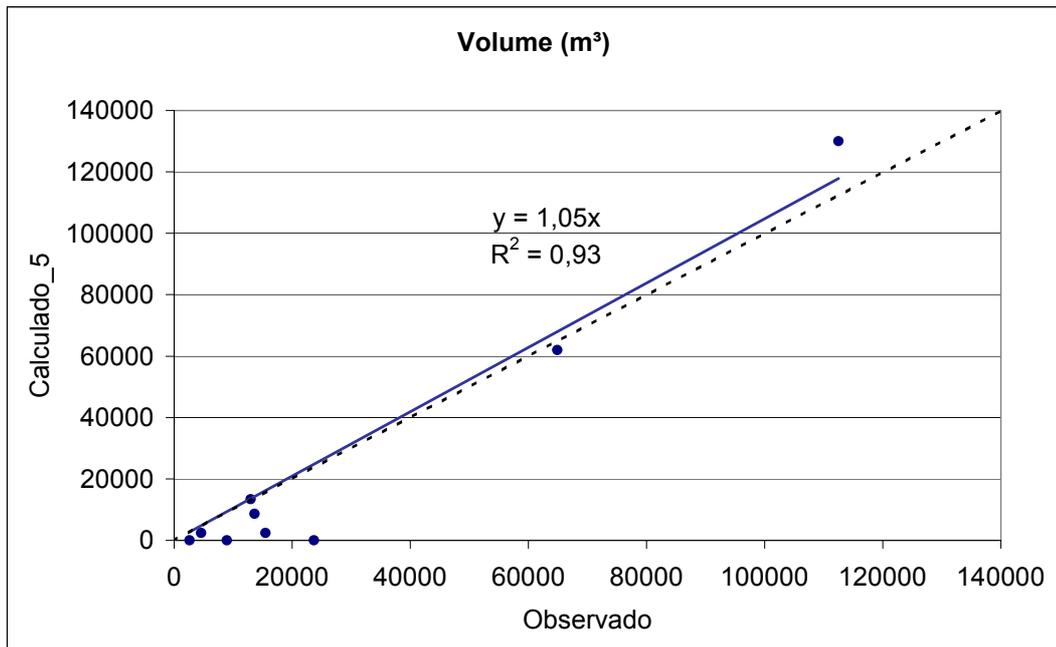


FIGURA 19 – Relação entre os volumes observados e calculados pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.

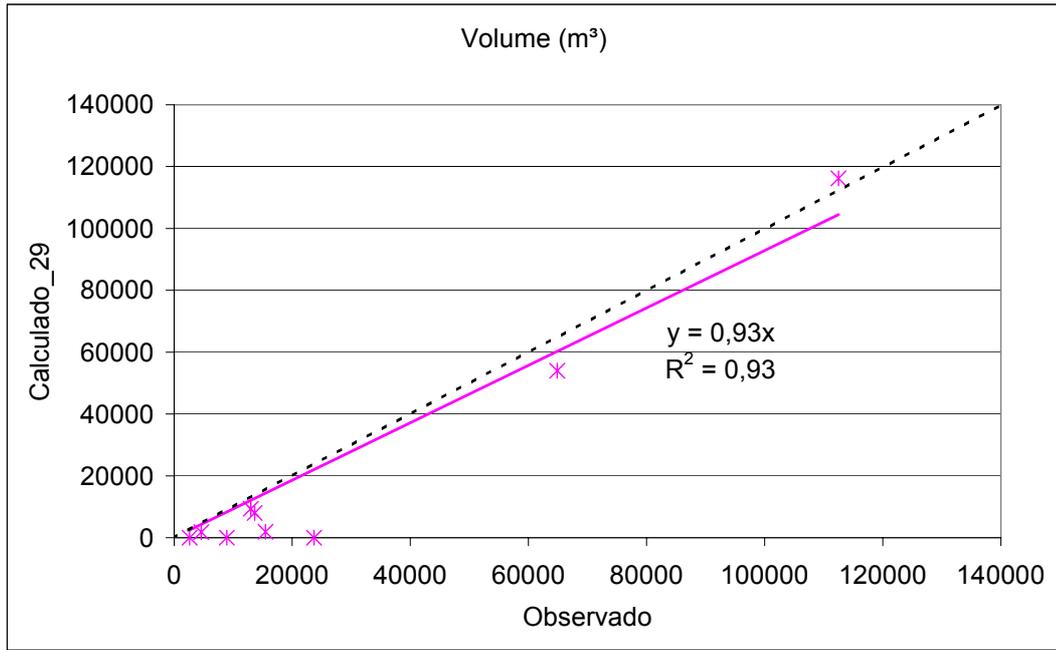


FIGURA 20 – Relação entre os volumes observados e calculados pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias.

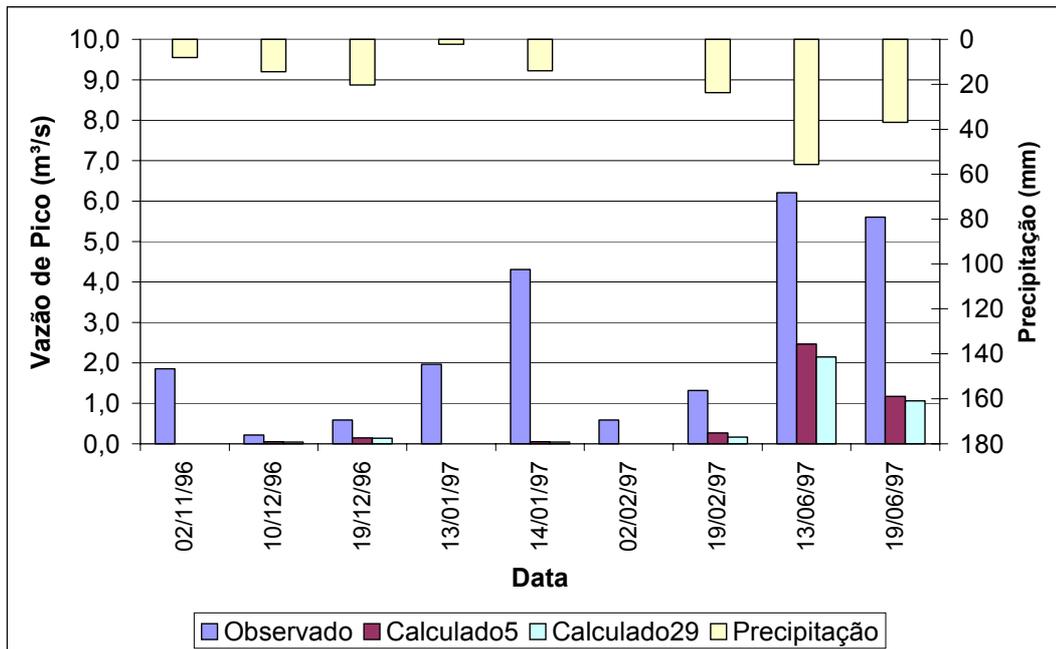


FIGURA 21 – Vazões de pico observadas em campo e calculadas pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.

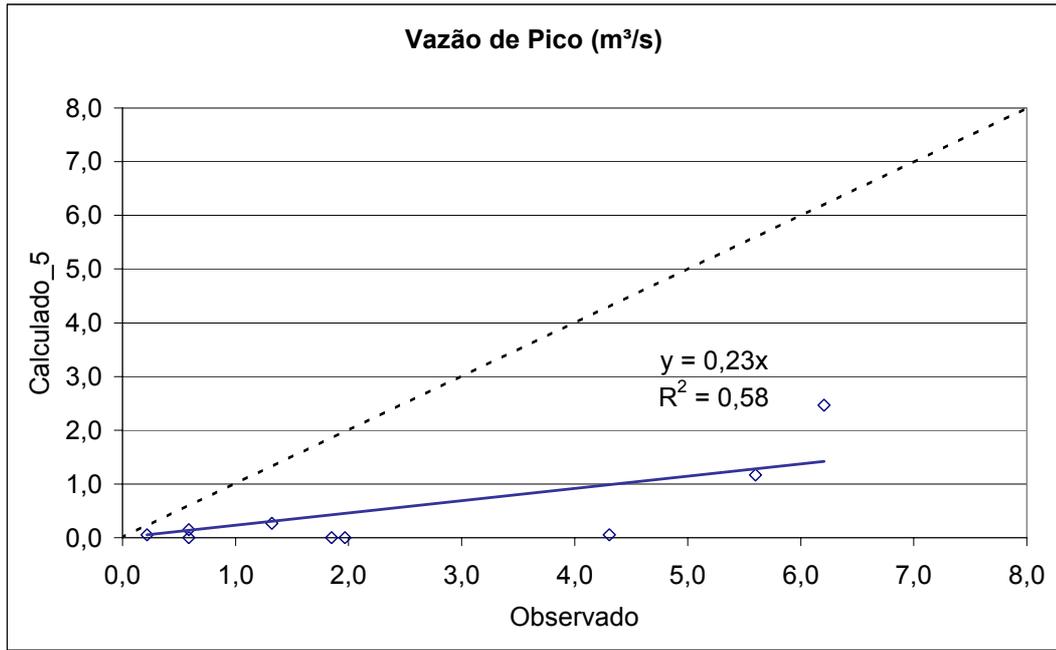


FIGURA 22 – Relação entre as vazões de pico observadas e calculadas pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.

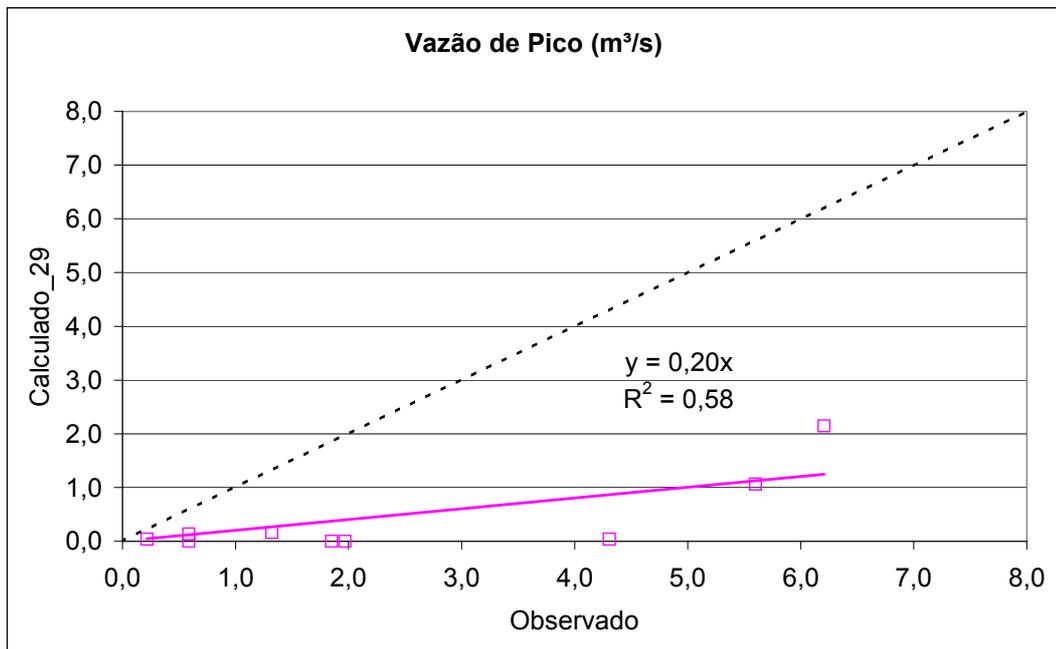


FIGURA 23 – Relação entre as vazões de pico observadas e calculadas pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias.

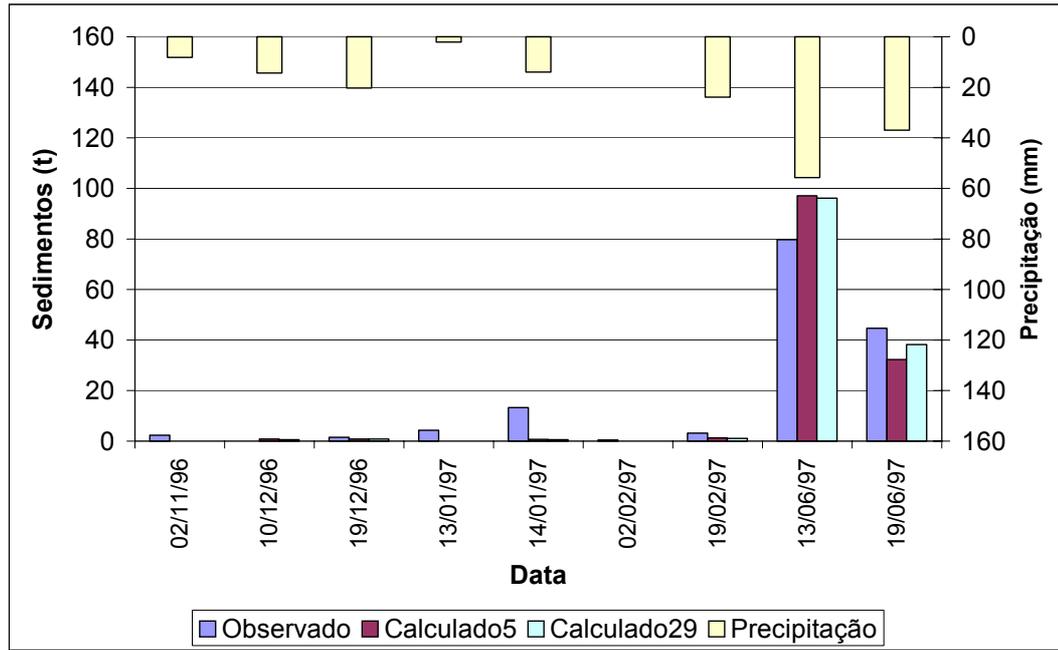


FIGURA 24 – Produção de sedimentos observada em campo e calculado pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.

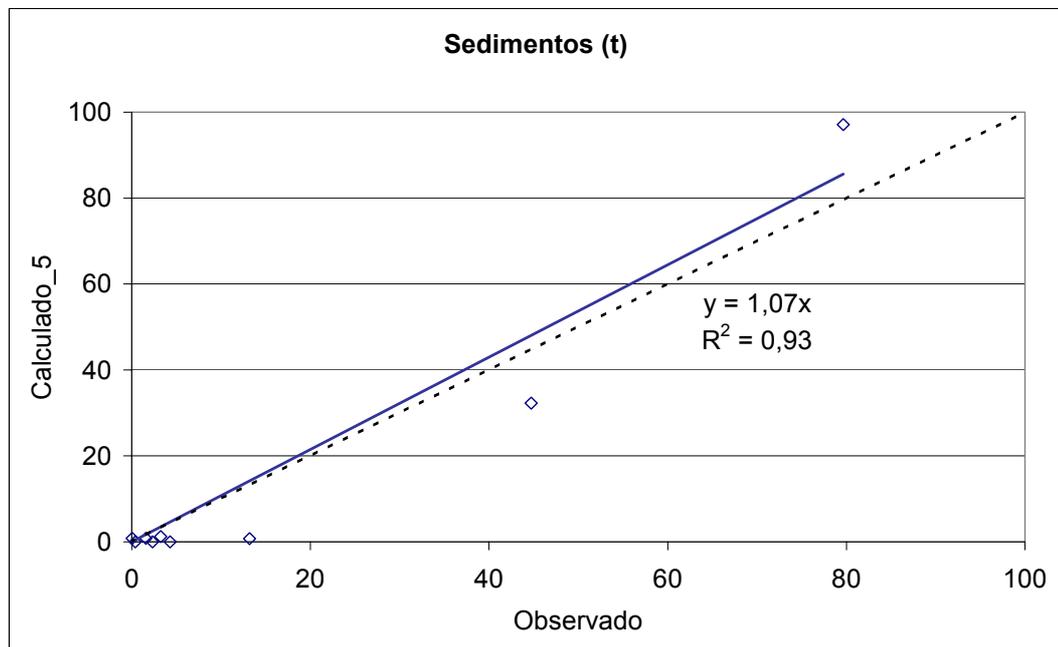


FIGURA 25 – Relação entre as produções de sedimentos observadas e calculadas pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.

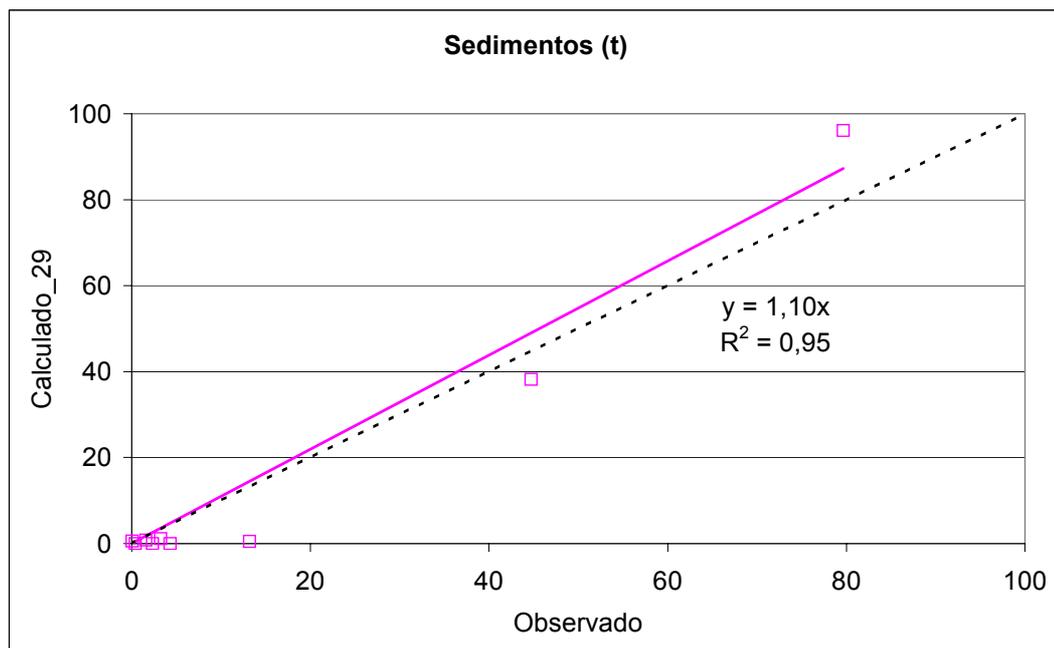


FIGURA 26 – Relação entre as produções de sedimentos observadas e calculadas pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias.

Os valores estimados e simulados pelo modelo são mostrados na Tabela 13. Os gráficos das Figuras 27, 30 e 33 mostram os valores estimados e simulados para as duas discretizações para o volume, vazão de pico e produção de sedimentos, respectivamente. A precipitação diária registrada também é indicada nestes gráficos.

Nas Figuras 28, 31 e 34 para a discretização em cinco sub-bacias; e 29, 32 e 35 para discretização em vinte e nove sub-bacias são mostradas comparações, através do ajuste linear, entre os valores estimados e simulados para volume, vazão de pico e produção de sedimentos, respectivamente. Nos gráficos dessas figuras também está indicada a linha correspondente ao perfeito ajuste entre os dados.

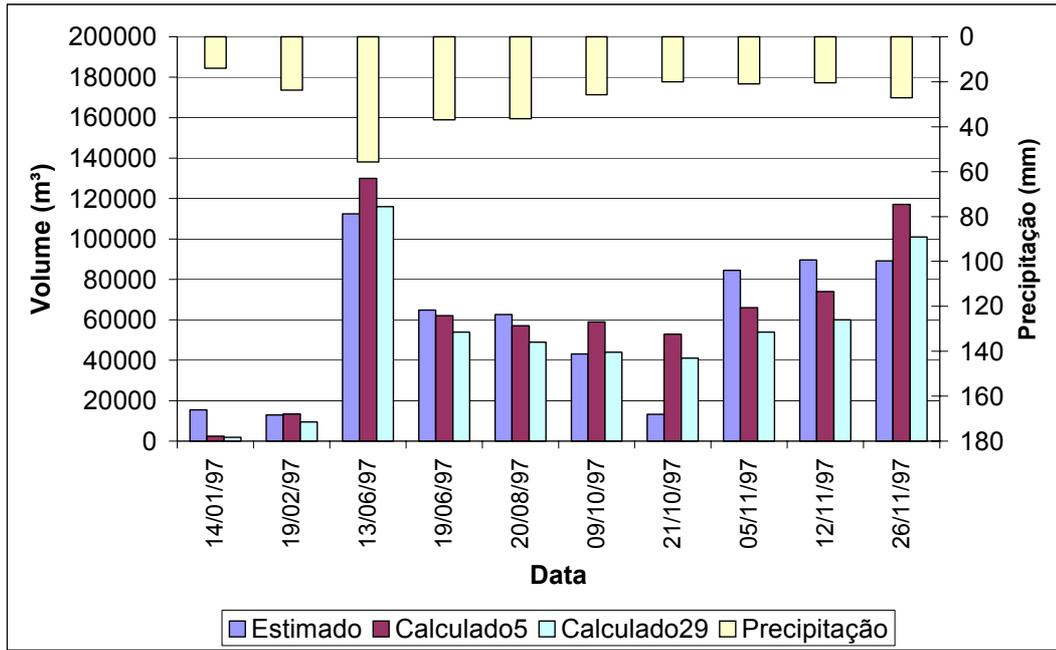


FIGURA 27 – Volumes estimados e simulados pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.

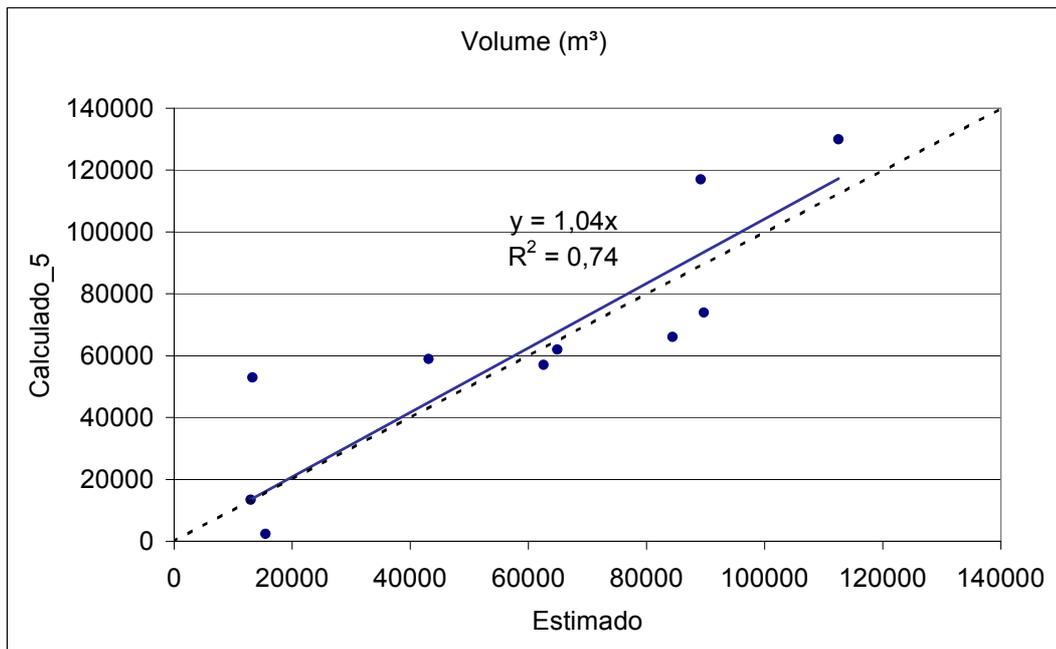


FIGURA 28 – Relação entre os volumes estimados e simulados pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.

TABELA 13 – Valores estimados e simulados pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.

DATA	Precipitação	Volume (m ³)			Vazão de Pico (m ³ /s)			Sedimentos (t)		
	(mm)	Estimado	Simulado	Relação	Estimado	Simulado	Relação	Estimado	Calculado	Relação
5 Sub-bacias										
14/01/97	13,9	15487	2400	0,15	4,48	0,05	0,01	8,11	0,71	0,09
19/02/97	23,8	12979	13400	1,03	1,32	0,26	0,20	1,96	1,18	0,60
13/06/97	55,7	112473	130000	1,16	6,21	2,47	0,40	84,27	97,07	1,15
19/06/97	36,9	64902	62000	0,96	5,60	1,17	0,21	43,47	32,26	0,74
20/08/97	36,5	62575,0	57000	0,91	3,48	1,09	0,31	25,85	31,00	1,20
09/10/97	25,8	43101,92	59000	1,37	5,21	1,13	0,22	26,69	20,16	0,76
21/10/97	20,0	13250,75	53000	4,00	0,73	0,97	1,34	1,09	14,79	13,54
05/11/97	20,9	84419,05	66000	0,78	2,34	1,16	0,49	23,41	16,84	0,72
12/11/97	20,5	89702,42	74000	0,82	3,32	1,27	0,38	35,57	16,90	0,48
26/11/97	27,2	89182,84	117000	1,31	4,30	2,00	0,46	45,94	26,33	0,57
TOTAL		588072,98	633800	1,08				296,37	257,24	0,87
29 Sub-bacias										
14/01/97	13,9	15487	1900	0,12	4,48	0,04	0,01	8,11	0,58	0,07
19/02/97	23,8	12979	9400	0,72	1,32	0,16	0,12	1,96	1,29	0,66
13/06/97	55,7	112473	116000	1,03	6,21	2,15	0,35	84,27	93,67	1,11
19/06/97	36,9	64902	54000	0,83	5,60	1,07	0,19	43,47	40,70	0,94
20/08/97	36,5	62575,0	49000	0,78	3,48	0,98	0,28	25,85	38,97	1,51
09/10/97	25,8	43101,92	44000	1,02	5,21	0,85	0,16	26,69	23,21	0,87
21/10/97	20,0	13250,75	41000	3,09	0,73	0,77	1,06	1,09	17,67	16,18
05/11/97	20,9	84419,05	54000	0,64	2,34	0,94	0,40	23,41	19,82	0,85
12/11/97	20,5	89702,42	60000	0,67	3,32	1,03	0,31	35,57	19,31	0,54
26/11/97	27,2	89182,84	101000	1,13	4,30	1,73	0,40	45,94	29,90	0,65
TOTAL		588072,98	530300	0,90				296,37	285,11	0,96

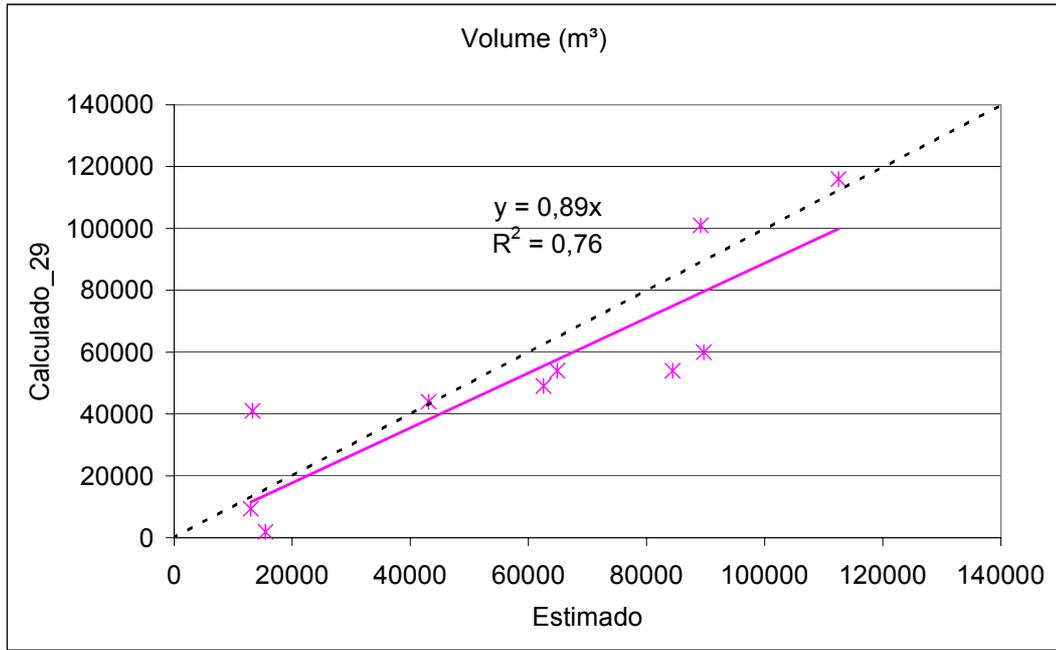


FIGURA 29 – Relação entre os volumes estimados e simulados pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias.

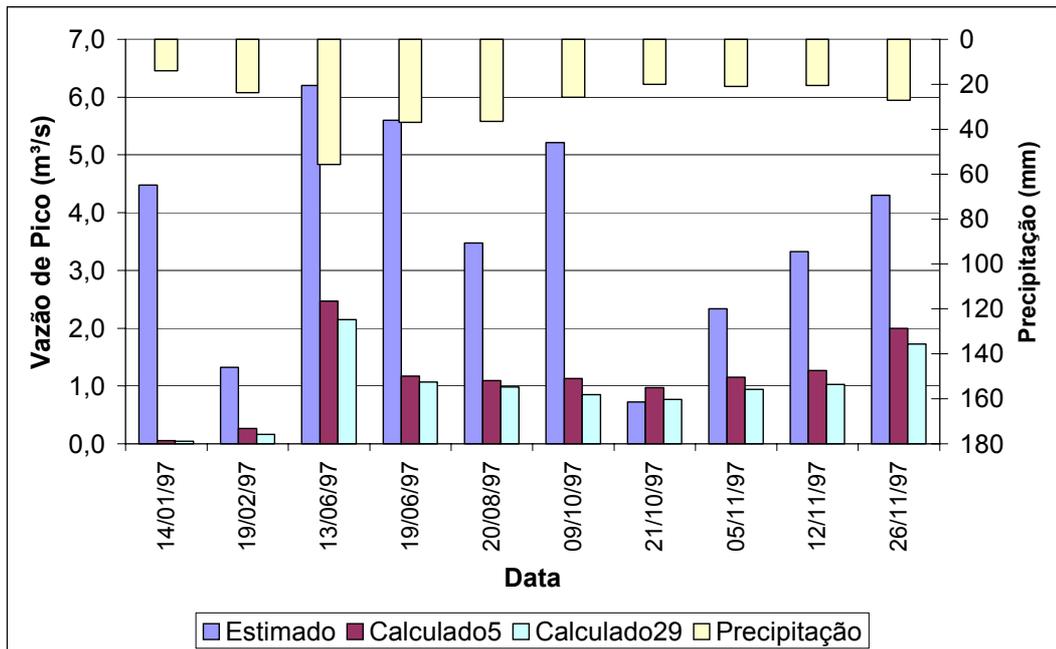


FIGURA 30 – Vazões de pico observadas estimadas e simuladas pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.

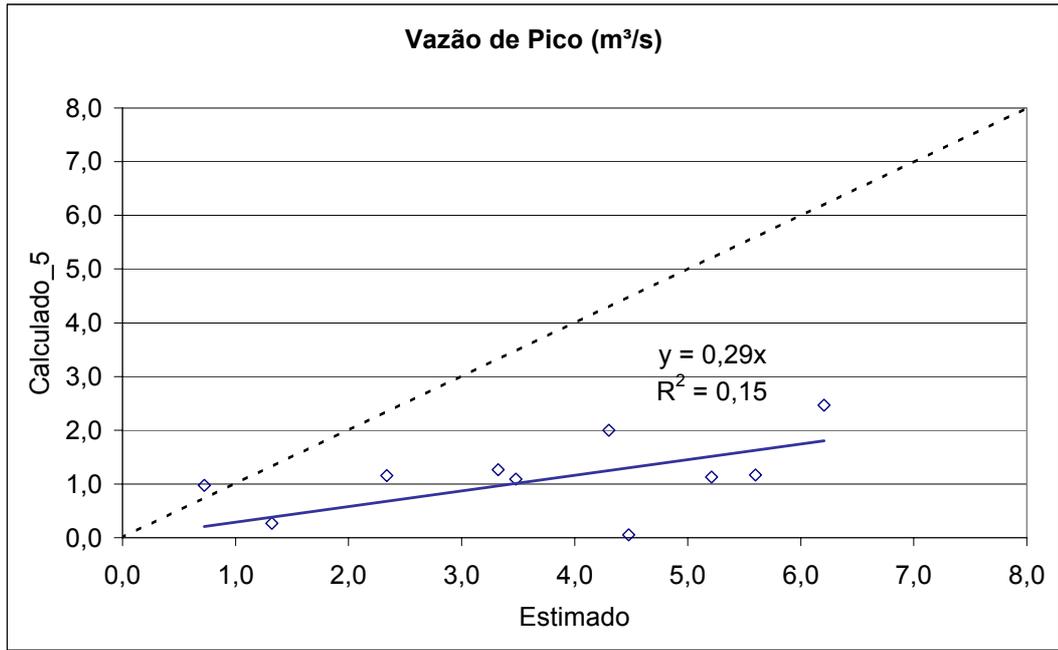


FIGURA 31 – Relação entre as vazões de pico estimadas e simulados pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.

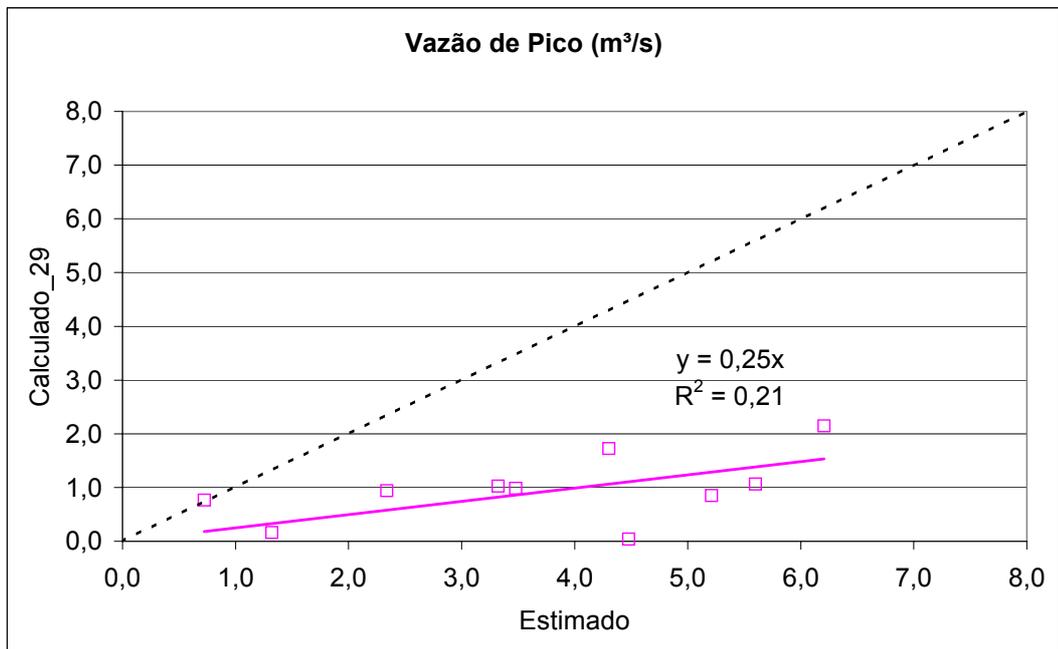


FIGURA 32 – Relação entre as vazões de pico estimadas e simuladas pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias.

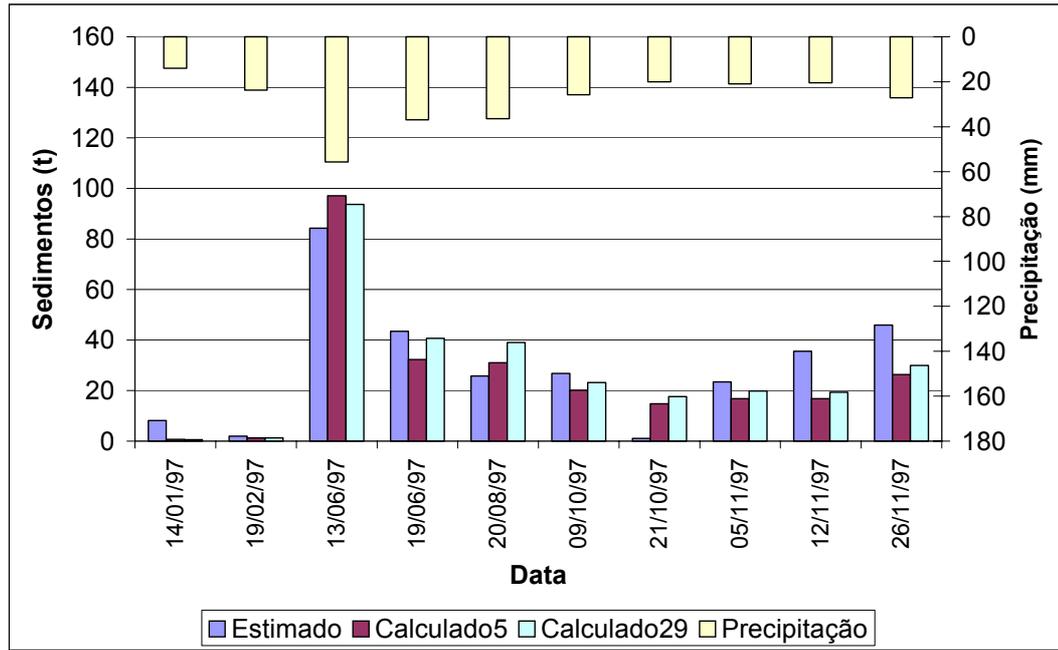


FIGURA 33 – Produção de sedimentos estimada e simulada pelo AnnAGNPS para as duas discretizações.

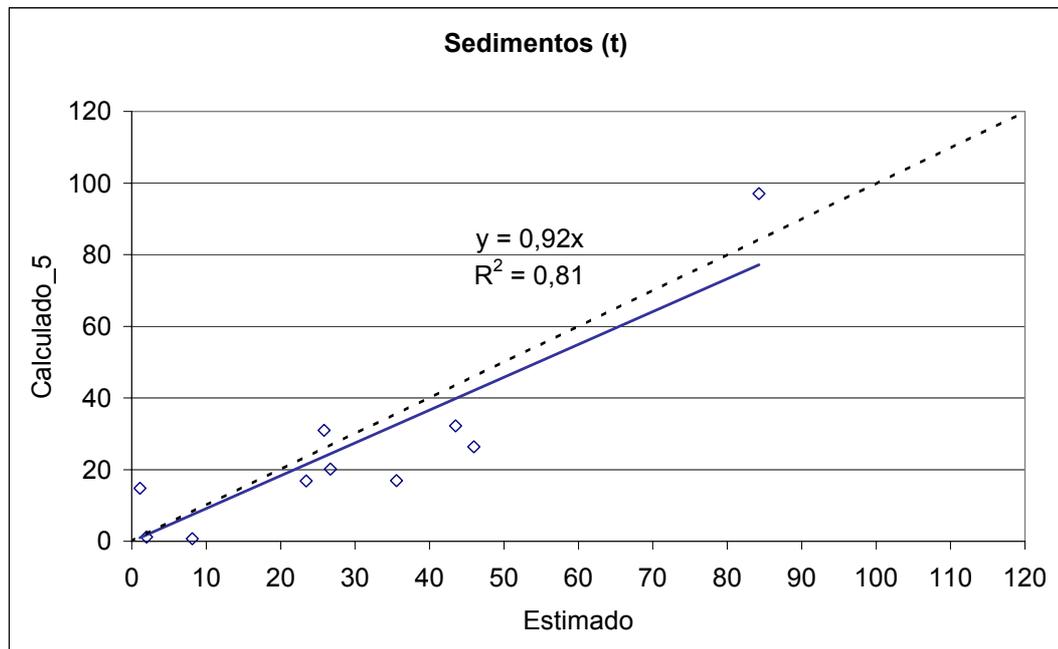


FIGURA 34 – Relação entre as produções de sedimentos estimadas e simuladas pelo AnnAGNPS. Discretização: 5 sub-bacias.

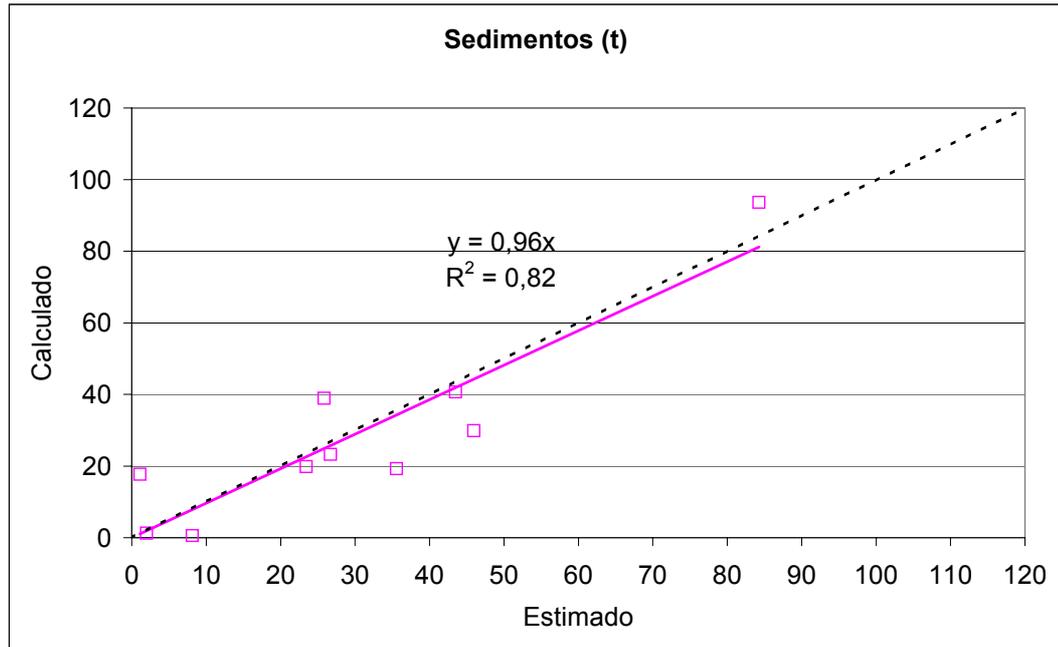


FIGURA 35 – Relação entre as produções de estimadas e simuladas pelo AnnAGNPS. Discretização: 29 sub-bacias.

4.4 Análise de Sensibilidade:

A Tabela 14 mostra os valores e as respectivas variações em porcentagem para os parâmetros analisados (CN, capacidade de campo, condutividade hidráulica saturada e rugosidade de Manning) quanto as suas influencias na geração do volume escoado, vazão de pico e produção de sedimentos.

As Figuras 36, 37 e 38 mostram as mesmas variações em forma de gráficos para o CN, a capacidade de campo e a condutividade hidráulica saturada, respectivamente.

TABELA 14 – Análise de sensibilidade – valores e as respectivas variações em porcentagem para os parâmetros analisados.

	Variação (%)	Volume (hm³)	Variação (%)	Sedimentos (t)	Variação (%)	Vazão de Pico (m³/s)	Variação (%)
CN							
67,5	-10%	0,028	-55%	19,91	-20%	0,62	-44%
71,25	-5%	0,043	-31%	22,75	-9%	0,85	-23%
74,25	-1%	0,058	-6%	24,62	-1%	1,05	-4%
75	0%	0,062	0%	24,98	0%	1,10	0%
75,75	1%	0,066	6%	25,28	1%	1,15	5%
78,75	5%	0,083	34%	24,59	-2%	1,40	28%
82,5	10%	0,105	69%	22,52	-10%	1,85	69%
Capacidade de Campo							
0,291	-10%	0,086	39%	24,19	-3%	1,46	33%
0,307	-5%	0,073	18%	25,18	1%	1,26	15%
0,320	-1%	0,064	3%	25,17	1%	1,12	2%
0,323	0%	0,062	0%	24,98	0%	1,10	0%
0,326	1%	0,06	-3%	24,79	-1%	1,07	-2%
0,339	5%	0,052	-16%	24,02	-4%	0,96	-12%
0,355	10%	0,043	-31%	22,69	-9%	0,84	-23%
Condutividade Saturada							
175,52	-25%	0,065	5%	25,27	1%	1,14	4%
210,63	-10%	0,063	2%	25,11	1%	1,11	2%
222,33	-5%	0,062	0%	25,04	0%	1,10	1%
234,03	0%	0,062	0%	24,98	0%	1,10	0%
245,73	5%	0,061	-2%	24,92	0%	1,09	-1%
257,43	10%	0,06	-3%	24,86	0%	1,08	-1%
292,54	25%	0,059	-5%	24,69	-1%	1,06	-3%
n de Manning							
0,01	-60%	0,074	0%	42,99	119%	1,27	0%
0,025	0%	0,074	0%	19,66	0%	1,27	0%
0,05	100%	0,074	0%	11,72	-40%	1,26	0%

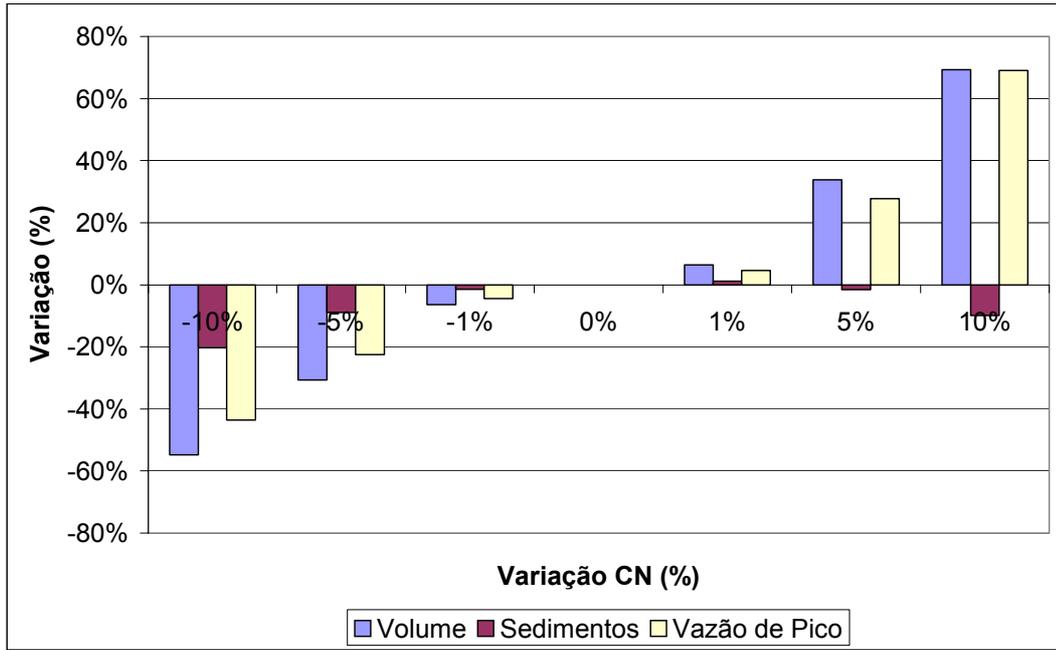


FIGURA 36 – Variação do volume escoado, produção de sedimentos e vazão de pico em relação ao CN.

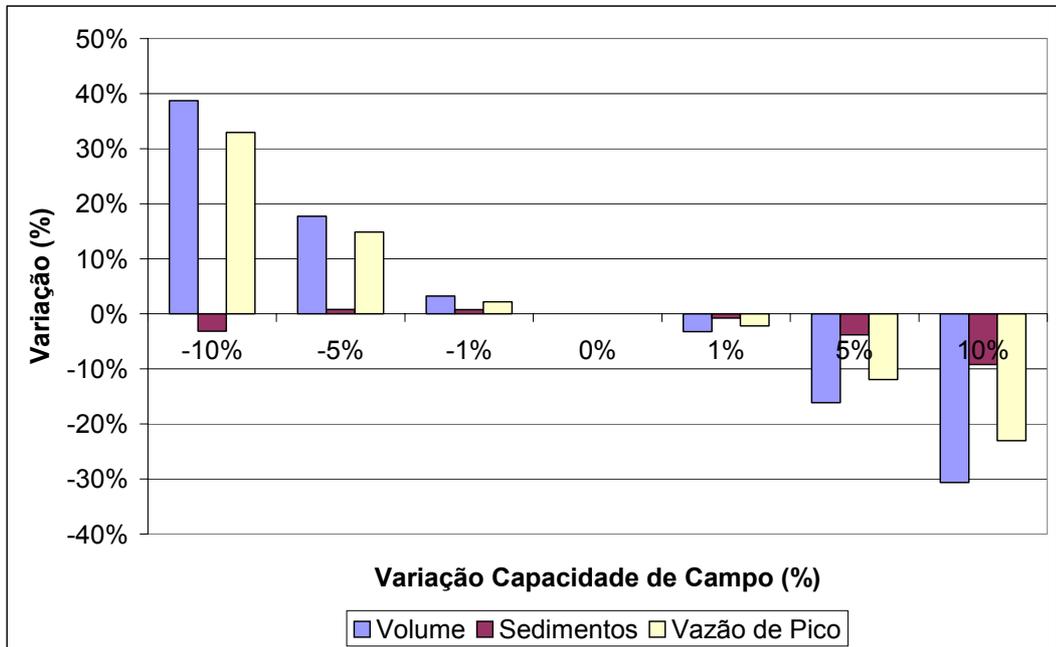


FIGURA 37 – Variação do volume escoado, produção de sedimentos e vazão de pico em relação à capacidade de campo.

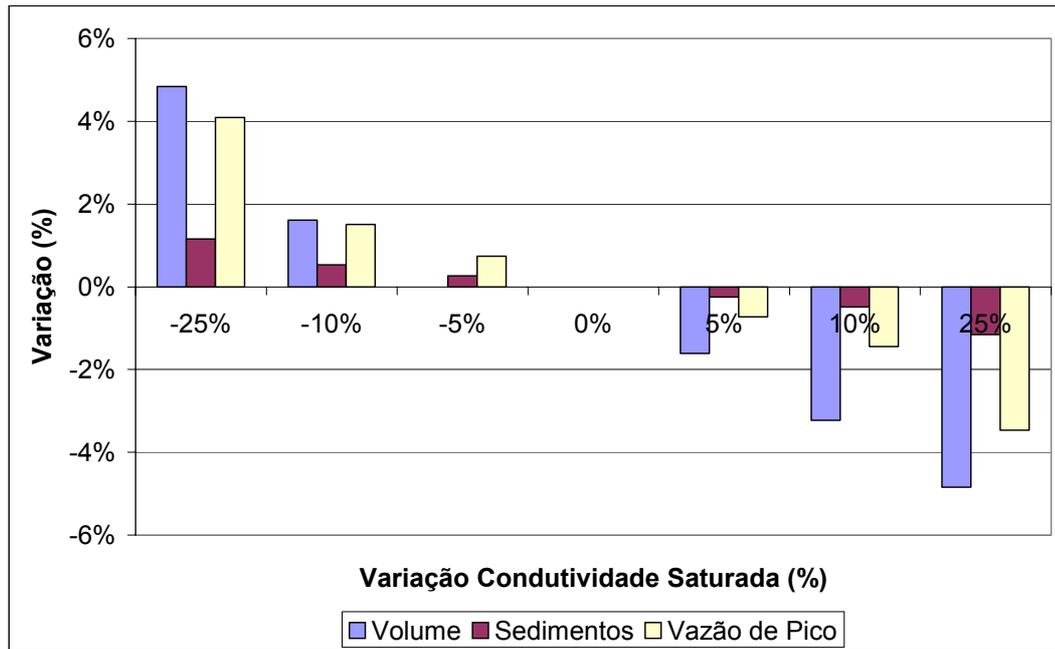


FIGURA 38 – Variação do volume escoado, produção de sedimentos e vazão de pico em relação à condutividade hidráulica saturada.

4.5 Análise dos Resultados:

A partir dos resultados mostrados no item 4.3 é possível se fazer algumas observações:

- O modelo não simulou nos dias 02/11/1996, 13/01/1997 e 02/02/1997. Nos dois primeiros verifica-se o registro de pequenas precipitações, 8,10 e 2,10mm, respectivamente. No último dia, como comentado no item 4.3, não há registro de precipitação, no entanto foi realizada uma campanha de medição no campo;
- Para a vazão de pico a simulação não foi boa em ambas as discretizações, sendo esta dificuldade um dos reflexos do uso de

dados diários de precipitação, onde não fica representada a sua distribuição temporal;

- Na Tabela 12, verifica-se que, em relação aos dados dos nove eventos observados em campo: o volume simulado para três eventos para a discretização em 5 sub-bacias, e dois eventos para a discretização em 29 sub-bacias ficaram dentro do intervalo de $\pm 20\%$; e a produção de sedimentos, para as duas discretizações, dois eventos (13/06/97 e 19/06/97) ficaram dentro do intervalo de $\pm 30\%$;
- Na Tabela 13, verifica-se que, em relação aos dez eventos estimados a partir das cotas registradas: o volume simulado para cinco eventos para a discretização em cinco sub-bacias, e quatro eventos para a discretização em vinte e nove sub-bacias ficaram dentro do intervalo de $\pm 20\%$; e a produção de sedimentos simulada, para as duas discretizações, sete eventos ficaram dentro do intervalo de $\pm 50\%$;
- Analisando em conjunto as Figuras 19, 20, 28 e 29, observa-se a tendência em subestimar o volume para a discretização em vinte e nove sub-bacias. Podemos encontrar uma possível justificativa observando-se a Tabela 7 que mostra um aumento de 10% na área do solo tipo Re4, que possui maior condutividade hidráulica em relação ao tipo de solo com segunda maior área, para a discretização em vinte e nove sub-bacias. A Tabela 11 mostra que o CN não foi aumentado para a combinação Re4-Floresta por se considerar que CN=75 seja um valor bastante alto para florestas;
- Analisando os gráficos das Figuras 25, 26, 34 e 35, observa-se que para a produção de sedimentos a discretização em vinte e nove sub-bacias resultou em uma relação um pouco maior que a

discretização em cinco sub-bacias, mesmo apresentando volumes e vazões de pico menores. No entanto, na discretização em vinte e nove sub-bacias aparece a agricultura, com área de 0,4%.

Fazendo-se uma análise considerando-se o caráter contínuo do modelo, e seu objetivo de análise e planejamento de alternativas de manejo em bacias hidrográficas, quando são considerados valores em termos de longos períodos, temos que:

- Somando-se o volume escoado para os nove eventos com medições em campo, tem-se um volume total igual a 259.290m³. A soma dos volumes simulados pelo modelo AnnAGNPS para estes mesmos eventos corresponde a um total de 218.800m³ para a discretização em cinco sub-bacias, e 191.300m³ para a discretização em vinte nove sub-bacias, valores que representam relações de 84% e 74%, respectivamente, em relação ao volume observado;
- Considerando os dez eventos para o ano de 1997, a soma do volume escoado seria igual a 588.072,98m³. A soma dos volumes simulados pelo modelo AnnAGNPS para estes mesmos eventos corresponde a um total de 633.800m³ para a discretização em cinco sub-bacias, e 530.300m³ para a discretização em vinte nove sub-bacias, valores que representam relações de 108% e 90%, respectivamente, em relação ao volume observado;
- Somando-se a produção de sedimentos determinada através das medições em campo para os nove eventos, tem-se uma produção igual a 149,38t. O modelo AnnAGNPS simulou para estes mesmos eventos um total de 132,82t utilizando a discretização em cinco sub-bacias, e 137,23t para a discretização

em vinte nove sub-bacias, valores que representam relações de 89% e 92%, respectivamente, em relação a produção observada;

- Utilizando as equações (2) e (3) teríamos uma estimativa de aporte de sedimentos de 296,37t para os dez eventos mostrados na Tabela 13. As simulações realizadas pelo modelo AnnAGNPS, para estes eventos, resultaram em um aporte de sedimentos de 257,24t para a discretização em cinco sub-bacias e em 285,11t utilizando a discretização em 29 sub-bacias, significando, respectivamente, 87% e 96% dos valores estimados.

Quanto à análise de sensibilidade realizada para os quatro parâmetros considerados verifica-se a grande variação do volume escoado e da vazão de pico em relação ao CN, a capacidade de campo e da condutividade hidráulica saturada. Porém, a produção de sedimentos não acompanhou a mesma faixa de variação, apresentando variação mais significativa ao se variar o n de Mannig.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi de aplicar o modelo distribuído ANGNPS2001 à sub-bacia do Arroio Vacacaí-Mirim, afluente do reservatório do Vacacaí-Mirim. A bacia, monitorada entre de 07/08/1996 e 05/01/1998, tem área de 18 km², e corresponde a 62% da área de contribuição ao reservatório do Vacacaí-Mirim, responsável por 40% do abastecimento de água da cidade de Santa Maria – RS.

O uso do solo na bacia é distribuído em 13,6% como agricultura, 30,5% como pastagem, 55,2% como floresta, e 0,7% como urbanização. Com a discretização em cinco sub-bacias obteve-se uma distribuição do uso do solo de 23,6% como pastagem e 76,4% como floresta. E para a discretização em vinte e nove sub-bacias obteve-se uma distribuição de 0,4% como agricultura, 30,1% como pastagem e 69,5% de floresta.

Os valores calculados pelo modelo quanto ao volume escoado, vazão de pico e produção de sedimentos foram comparados aos dados de nove eventos observados em campo. Em uma segunda etapa os valores simulados também foram comparados a valores estimados, para dez eventos, através de equações de ajuste obtidas para a bacia.

Aplicando-se o modelo para a discretização em cinco sub-bacias obtiveram-se os seguintes resultados:

- Em relação aos nove eventos com dados observados: três eventos variaram $\pm 20\%$ quanto ao volume, e dois dos eventos variaram $\pm 30\%$, quanto à produção de sedimentos;
- Em relação aos dez eventos estimados: cinco eventos variaram $\pm 20\%$ quanto ao volume, e sete eventos variaram $\pm 50\%$, quanto à produção de sedimentos.

Para a discretização em vinte e nove sub-bacias obtiveram-se os seguintes resultados:

- Em relação aos nove eventos com dados observados: dois eventos variaram $\pm 20\%$ quanto ao volume, e dois eventos variaram $\pm 30\%$, quanto à produção de sedimentos;
- Em relação aos dez eventos estimados: quatro eventos variaram $\pm 20\%$ quanto ao volume, e sete eventos variaram $\pm 50\%$, quanto à produção de sedimentos.

A representação dos eventos isolados ficou prejudicada pelo uso da precipitação diária, quando a distribuição temporal de cada evento não é considerada. A vazão de pico foi a principal evidência desta dificuldade de representação, não apresentando bom ajuste para nenhuma das discretizações.

No entanto, na análise de alternativas de manejo em bacias, o interesse é determinar-se previamente a resposta da aplicação destas medidas ao longo de determinados períodos. Assim, em termos de análise de períodos de tempos maiores, os valores simulados em relação aos valores estimados para o volume escoado ficaram entre 90% e 108%, e para a produção de sedimentos entre 87% a 96%, considerando as duas discretizações. Estas relações demonstram a aplicabilidade do modelo à bacia, pois os valores simulados pelo modelo foram bastante próximos daqueles que seriam estimados utilizando apenas as relações disponíveis.

É importante ressaltar que este modelo encontra-se em desenvolvimento. Portanto, novas informações e metodologias são adicionadas ou alteradas conforme a evolução das pesquisas e do surgimento de novas ferramentas aplicadas a modelagem hidrológica. Porém, a versão do modelo utilizada neste trabalho não possui uma interface que permita, através da comparação aos dados observados, uma análise de eficiência e correlação. Torna-se, assim, demorada a verificação dos dados simulados, pois a saída dos dados calculados é em formato texto, necessitando a sua importação para outro aplicativo para se realizar a comparação dos resultados com os valores observados.

Para a continuidade do trabalho, no estudo de outros cenários na bacia, através da simulação da implantação de atividades agrícolas ou a criação de animais, sugere-se que antes de qualquer tentativa de análise seja realizada:

- A formação de uma equipe de técnicos especializados em atividades agro-pastoris, para melhor caracterização quanto ao tipo de cultura adequada a região, técnicas de plantio ou de movimentação de animais, e calendários referentes a estas atividades;
- Atualização da caracterização física dos solos presentes na bacia, com realização de um número maior de ensaios verificando-se a distribuição espacial das características como condutividade hidráulica, capacidade de campo e ponto de murchamento;
- Caracterização da morfologia dos afluentes, buscando-se melhor descrição dos trechos de canais usados no modelo.

6 BIBLIOGRAFIA

AZOLIN, M. A. D; MUTTI, L. S. M. **Solos da Bacia do Vacacaí-Mirim**. Relatório Técnico (não publicado). 20p. Porto Alegre, 1988.

BACCHI, O. O. S.; REICHARD, K.; SPAROVEK, G. RANIERI, S. B. L. Soil Erosion Evaluation in a Small Watershed in Brazil Through ¹³⁷Cs Fallout Redistribution Analysis and Conventional Models. **Acta Geologica Hispanica**, v. 35, n° 3-4, p.251-259, 2000.

BARRIOS, P. M.; BEVEN, K. **Evaluation of TOPMODEL**. International ASAE Meeting. Orlando, FL. 1998. Disponível em: <<http://www3.bae.ncsu.edu/s273/ModelProj/index.html>> Acesso em: dez. 2002.

BERNARDOS, J. N.; VIGLIZZO, E. F.; JOUVET, V.; LÉRTORA, F. A.; PORDOMINGO, A. J.; CID, F. D. The Use of EPIC Model to Study the Agroecological Change During 93 Years of Farming Transformation in the Argentine Pampas. **Agricultural Systems**. n°69, p.215-234, 2001.

BHUYAN, S.J.; KALITA, P.K.; JANSSEN, K. A.; BARNES, P. L. Soil Loss Predictions with Three Erosion Simulation Models. **Environmental Modelling & Software**. n°17, p.137-146, 2002.

BINGNER, R. L.; THEURER, F. D. **AnnAGNPS Technical Processes Documentation**. USDA ARS/NRCS. Version 2. Dezembro, 2001.

BINGNER, R.; YUAN, Y. **Evaluation of AnnAGNPS on Mississippi Delta MSEA Watersheds**. USDA Agricultural Research Service, National Sedimentation Lab. Oxford, Mississippi : 2000. Disponível em

<[http://www.ymd.org/mdmsea/CD %20 SET%20 V%201.0/PUBLICATIONS / PDF % 20 FILES / 5 - year % 20 report / B_Bingner_final.pdf](http://www.ymd.org/mdmsea/CD%20SET%20V%201.0/PUBLICATIONS/PDF%20FILES/5-year%20report/B_Bingner_final.pdf) > Acesso em: maio/2002.

BOSCH, D.D.; THEURER, F. D.; BINGNER, R. L.; FELTON, G.; CHAUBEY, I. **Evaluation of the AnnAGNPS Water Quality Model.** ASAE Annual Interantional Meeting. Orlando, Florida, USDA. Paper n° 982195. Julho, 1998.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo : Prentice Hall, 2002.

BRANCO, N. **Avaliação da Produção de Sedimentos de Eventos Chuvosos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural de Encosta.** 1998. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

Byne, W. **Predicting Sediment Detachment and Channel Scour in the Process-Based Planning Model ANSWERS-2000.** Dissertação de Mestrado. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. 2000.

CAMPANA, N. A. Sistemas de Informações em Recursos Hídricos. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 1997, Vitoria - ES. **Anais...**Vitória - ES: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997.

CHOWDARY, V. M.; YATINDRANATH; KAR, S.; ADIGA, S. Assessment of Non-Point Source Pollution on Watershed Basis Using Remote Sensing, GIS and AGNPS Model. **22nd Asian Conference on Remote Sensing.** Singapura. 2001.

CLARKE, R. T. Stochastic Hydrology Revisited. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, nº 4, Out./Dez. (2002). Porto Alegre/RS: ABRH, 2002.

COCHRANE, T. A.; CASTRO FILHO, C.; JOHANSSON, L. P.; MAREDA, L. D.; CAVIGLIONE, J. H.; NORTON, D.; TEIXEIRA, P. H.; LIMONS, C. A. **Reduction of Sediment Delivery to the Itaipu Reservoir: a New Vision Through the Implementation of Monitoring Techniques and Watershed Management**. Symposium on Reservoir Management in Tropical and Sub-Tropical Regions. Iguassu, Brazil. September, 26. 2002.

CORBETT, C. W.; WAHL, M. PORTER, D. E.; EDWARDS, D.; MOISE, C. Nonpoint Source Runoff Modeling a Comparison of a Foreste Watershed and an Urban Watershed on the South Carolina Coast. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 213, p.133-149, 1997.

COX, C.; MADRAMOOTOO, C. Application of Geographic Information Systems in Watershed Management Planning in St. Lucia. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 20, p.229-250, 1998.

CROSETTO, M.; TARANTOLA, S.; SALTELLI, A. Sensitivity and Uncertainty Analysis in Spatial Modelling Based on GIS. **Agriculture Ecosystems & Environment**. v. 81, p.71-79, 2000.

DALCANALE, F. **Simulação de Cargas Difusas em Bacias Rurais**. 2001. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do Reservatório do Vacacaí-Mirim e sua Relação com a Deterioração da Bacia Hidrográfica Contribuinte**.

2001. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DILLAHA, T.; WOLFE, M. L.; SHIRMOHAMMADI, A.; BYNE, F. W. **ANSWERS-2000**. International ASAE Meeting. Orlando, FL. 1998. Disponível em: <<http://www3.bae.ncsu.edu/s273/ModelProj/index.html>> Acesso em: dez. 2002.

FITZHUGH, T. W.; MACKAY, D. S. Impacts of Input Parameter Spatial Aggregation on an Agricultural Nonpoint Source Pollution Model. **Journal of Hydrology**, v. 236, p.35-53, 2000.

GABELE, T. **General Model Information - SWRRBWQ**. Disponível em: <http://www.wiz.uni-kassel.de/model_db/mdb/swrrbwq.html>. 2002. Acesso em: dez. 2002.

GARBRECHET, J.; MARTZ, L. **Digital Elevation Model Issues in Water Resources Modeling**. 19 ESRI International User Conference. Environmental Systems Research Institute. San Diego, California. 1999a.

GARBRECHET, J.; MARTZ, L. **TOPAZ Overview**. Version 3.1.1999b.

GARBRECHET, J.; MARTZ, L.; BINGNER, R. **TopAGNPS User Manual**. Version 3.1. 2000.

GASTALDINI, M. C. C.; MENDONÇA, A. S. F. Conceitos para a Avaliação da Qualidade da Água. In: **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Org.: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Porto Alegre : ABRH. cap.15, p.427-451, 2001.

GRUNWALD, S.; NORTON, L. D. Calibration and Validation of a Non-Point Source Pollution Model. **Agricultural Water Management**. v. 45, p.17-39, 2000.

KAUARK LEITE, L. A.; MOUCHEL, J. M. Contribuição à Modelagem da Poluição Difusa de Origem Agrícola: Transporte de Sólidos em Suspensão e de Nitrogênio em Pequenas Bacias Hidrográficas. **RBE – Caderno de Recursos Hídricos**, v. 8, n° 1, p.5-20, 1990.

KINNELL, P. I. A. AGNPS-UM: Applying the USLE-M within the Agricultural Non Point Source Pollution Model. **Environmental Modelling & Software**, v. 15, p.331-341, 2000.

LACROIX, M. P.; MARTZ, L. W.; KITE, G. W.; GARBRECHT, J. Using Digital Terrain Analysis Modeling Techniques for the Parametrization of a Hydrological Model. **Environmental Modelling & Software**, v. 17, p.127-136, 2002.

LENZI, M. A.; Di LUZIO, M. Surface Runoff, Soil Erosion and Water Quality Modelling in the Alpone Watershed Using AGNPS Integrated with a Geographic Information System. **European Journal of Agronomy**, v. 6, p.1-14, 1997.

LEÓN, L. F.; LAM, D. C.; SWAYNE, D. A.; FARQUHAR, G. J.; SOULIS, E. D. Integration of a Nonpoint Source Pollution Model with a Decision Support System. **Environmental Modelling & Software**, v. 15, p.249-255, 2000.

MALDONADO-DE-LÉON, O. A.; PALACIOS-VELEZ, O. L.; OPOREZAMOTA, J. L.; SPRINGALL-GALINDO, R.; FERNÁNDEZ-REYNOSO, D. S. Empleo Del Modelo SWRRB para Generar Alternativas de Manejo em la Cuenca Itzapa, Guatemala. **Agrociencia**, N°35, p.335-345, 2001.

Disponível em <<http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2001/may-jun/art-8.pdf>>. Acesso em: Nov. 2002.

MARTINEZ, C.; TIEN, C. **AGNPS2001**. ABE 6254. Simulation of Agricultural Watersheds. Disponível em: <www.agen.ufl.edu/~klc/abe6254/agnps01.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2002.

MARTZ, L.; GARBRECHT, J. An Outlet Breaching Algorithm for the Treatment of Closed Depressions in a Raster DEM. **Computers & Geosciences**, v. 25, p.835-844. 1999.

MATI, B. M.; MORGAN, R. P. C.; GICHUKI, F. N.; QUINTON, J. N.; BREWER, T. R.; LINIGER, H. P. Assessment of Erosion Hazard with the USLE and GIS: a Case study of the Upper Ewaso Ng'ro North Basin of Kenya. **JAG**, v. 2, issue 1, 2000.

MILLWARD, A. A.; MERSEY, J. E. Conservation strategies for effective land management of protected areas using an erosion prediction information system (EPIS). **Journal of Environmental Management**, v. 61, p.329-343, 2001.

MITCHELL, G.; GRIGGS, R. H.; BENSON, V.; WILLIAMS, J. **EPIC**. 1998. Disponível em: <<http://www.brc.tamus.edu/epic/>>. Acesso em: dez. 2002.

MOSTAGHIMI, S.; PARK, S. W.; COOKE, R. A.; WANG, S. Y. Assessment of Management Alternatives on a Small Agricultural Watershed. **Water Resources Journal**. v. 31, Nº 8, p.1967-1878, 1997.

NIU, Z.; SUN, G.; McNULTY, S.G.; XIE, M.; BYNE, W. **Applying ANSWERS-2000 to simulate BMP effects on sediment and runoff from two watersheds in the Three Gorges area, southern China**. In: Ascough II, J.C.; Flanagan, D.C.; Soil erosion research for the 21st century: proceedings of the international symposium; 2001 January 3-5,

Honolulu, HI. St. Joseph. American Society of Agricultural Engineers, p.653-656. Disponível em: <www.sgcp.ncsu.edu/products/pubs/docs/asae.pdf> Acesso em: 20 mar. 2003.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1992. 308p.

NSERL - National Soil Erosion Research Laboratory. **WEPP Software Water Erosion Prediction Project**. 2002. Disponível em: <<http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/wepp.html>>. Acesso em: set. 2002.

PAIVA, E. M. C. D. Métodos de Estimativa da Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas. In: **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Org.: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Porto Alegre : ABRH. cap.13, p. 365-394, 2001.

PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D.; PARANHOS, R. M. Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas Rurais. In: **Caracterização Quali-Quantitativa da Produção de Sedimentos**. Org.: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Santa Maria : ABRH : UFSM, 2001. p.35-51.

PAIVA, J. B. D. Padrão das Precipitações em Santa Maria-RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XII, 1997, Vitoria - ES. **Anais...**Vitória - ES: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p.221-229,1997.

PEKAROVA, P.; KONICEK, A.; MIKLANEK, P. Testing of AGNPS Model Application in Slovak Microbasin. **Physics and Chemistry of the Earth, part B**, v. 4, nº 4, p.303-305, 1999.

QUINTELA, A. C.; PORTELA, M. M. A modelação Hidrológica em Portugal nos Últimos 25 Anos do Século XX, nas Perspectivas Determinística, Probabilística e Estocástica. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, nº4, p.51-64, Out/Dez (2002). Porto Alegre/RS: ABRH, 2002.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agriculture Handbook N° 703**. U. S. Department of Agriculture, 1997.

RISSO, A. **Obtenção e Manipulação dos Parâmetros da Equação Universal da Perda de Solos Através de Técnicas de Geoprocessamento**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora : Ed. do Autor, 2000. 220p.

RODE, M.; FREDE, H. G. Testing AGNPS for Soil Erosion and Water Quality Modelling in Agricultural Catchments in Hesse (Germany). **Phys. Chem. Earth**, v. 24, nº 4, p.297-301, 1999.

RODE, M.; FREDE, H. G. Testing AGNPS for Soil Erosion and Water Quality Modelling in Agricultural Catchments in Hesse (Germany). **Physics and Chemistry of the Earth, part B**, v. 24, nº 4, p.297-301, 1999.

SCHULER, A. E.; MORAES, J. M.; MILDE, L. C.; GROPPPO, J. D.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; CALIJURI, M. L. Análise da Representatividade Física dos Parâmetros do TOPMODEL em uma Bacia

de Meso Escala Localizada nas Cabeceiras do Rio Corumbataí, São Paulo. **RBRH** – Revista Brasileira de Recursos Hídricos/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, nº2, p.5-25. Abr./Jun. (2000). Porto Alegre/RS: ABRH, 2000.

SILVEIRA, R. E. I. **Projeto Gerenciamento da Bacia do Rio Junidaí-Mirim. Relatório da Etapa I - Implantação.** São Paulo: CPRM/SMA/DAE, 1995. 39p.

STEFANO, C. D.; FERRO, V.; PORTO, P. Length Slope Factors for Applying the Revised Universal Soil Loss Equation at Basin Scale in Southern Italy. **Journal of Agric. Eng Res.** v. 75, p.349-364, 2000.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; KLAMT, E. Atualização da Classificação Taxonômica das Unidades de Mapeamento do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul. **Informativo da EMATER/RS.** Porto Alegre. Série: Solos, v. 16, N°9, 28 de julho de 1999.

SUTTLES, J. B.; BOSCH, D.; URSEY, E. L.; VELLIDIS, G.; LOWRANCE, R.; SHERIDAN, J. **Use of the AnnAGNPS Model for a Watershed in the Coastal Plain of Georgia.** 9th National Nonpoint Source Monitoring Workshop. Hyatt Regency. Indianapolis, IN. 2001.

THEURER, F. D.; CLARKE, C. D. **Wash Load Component for Sediment Yield Modeling.** Proceedings of the Fifth Federal Interagency Sedimentation Conference. p. 7_1-7_8. 1991

THOMAS, D. L.; EVANS, R. O.; SHIRMOHAMMADI, A.; ENGEL, B. A. **Agricultural Non-Point Source Water Quality Models: Their Use and Application.** Apresentado em ASAE Meeting. Orlando, FL, 1998.

Disponível em: <http://www3.bae.ncsu.edu/s273/ModelProj/thomas98.pdf>. Acesso em dez.2002.

TIEN, C.; MARTINEZ, C. **AGNPS2001**. ABE 6254 Simulation of Agricultural Watershed Systems. Gainesville, FL : University of Florida Agricultura & Biological Engineering Department, 2001. Disponível em: <www.agen.ufs.edu/~klc/abe6254/agnpsapp01.pdf>. Acesso em 26 dez. 2002.

TSOU, M.; ZHAN, X.; ZHENG, L.; FREES, L.; VOLKMAN, C.; TANG, C.; CHEN, J. Sediment-yield Estimation in Cheney Watershed Using AnnAGNPS GIS Modeling System. In: Int. workshop on vulnerability of water resources to environmental change, Beijing,China. Disponível em: <<http://lark.cc.ku.edu/~zhan/reprint/2002/tzzfvtc2002.pdf>> Acesso em: dez. 2002.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre : Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos,1998. 669p.

USDA ARS/NRCS. **AnnAGNPS Version 2: User Documentation**. Outubro, 2001.

USDA/NRCS/CED. Technical Release-55: Urban Hydrology for Small Watersheds. 1986.

USDA-SCS. Hydrology Section 4. **National Engineering Handbook**, cap. 4-10. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Washington, DC, USA. 1972.

VAN REMORTEL, R. D.; HAMILTON, M. E.; HICKEY, R. J. Estimating the LS Factor for RUSLE Through Iterative Slope Length Processing of Digital

Elevation Data within ArcInfo Grid. **Journal of Cartography**, v. 30, n°1, p.27-35. 2001.

VARELLA, R. F.; CAMPANA, N. A. Simulação Matemática do Processo de Transformação de Chuva em Vazão: Estudo do Modelo TOPMODEL. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n°4, p.121-139. Out./Dez. (2000). Porto Alegre/RS: ABRH, 2000.

WANG, G.; GERTNER, G.; PARYSOW, P.; ANDERSON, A. Spatial prediction and uncertainty assessment of topographic factor for revised universal soil loss equation using digital elevation models. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 56, p.65-80, 2001.

WIJESEKERA, S.; SAMARAKOON, L. Extraction of Parameters and Modelling Soil Erosion Using GIS in a Grid Environment. **22nd Asian Conference on Remote Sensing**. Singapura. 2001.

YODER, D. C.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; RENARD, K. G.; McCOOL, D. K.; LOWN, J. B. **Evaluation of the RUSLE Soil Erosion Model**. ASAE Meeting, Orlando, FL, 1998. Disponível em: <<http://www3.bae.ncsu.edu/s273/ModelProj/index.html>> Acesso em: dez. 2002.

ANEXOS

ANEXO A – O Modelo AnnAGNPS

Escoamento Superficial:

O volume de escoamento é calculado pela expressão:

$$Q = \frac{(WI - 0,2S)^2}{WI + 0,8S} \quad (3)$$

onde:

Q – escoamento superficial (mm);

WI – água de entrada para o solo (mm);

S – variável de retenção (mm):

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (4)$$

CN – Curva Número.

O valor de CN é determinado conforme a umidade do solo adotando um algoritmo apresentado nos modelos SWRRB e EPIC, que faz uma associação do CN para condições secas (CN1) com o ponto de murchamento (WP), e do CN para condições úmidas (CN3) com a capacidade de campo (FC). Neste algoritmo o valor de S usado no cálculo do escoamento para um dia específico t é calculado de acordo com a expressão:

$$S_t = S_1 \left(1 - \frac{FS_t}{FS_t + \exp(W_1 - W_2 FS_t)} \right) \quad (5)$$

onde:

FS_t – é a fração de saturação do sistema de duas camadas do solo no início do dia t:

$$FS_t = \frac{FSDEPTH(1)(SM(1) - WP(1)) + FSDEPTH(2)(SM(2)_t - WP(2))}{SMCX} \quad (6)$$

sendo:

FSDEPTH(1), FSDEPTH(2) – profundidades da primeira e segunda camada de solo, respectivamente, afetando a fração de saturação para o cálculo do CN, (mm);

SM(1), SM(2) – quantidade de água para a primeira e segunda camada de solo, respectivamente, no início do período, (%);

WP(1), WP(2) – pontos de murchamentos para primeira e segunda camada de solo, respectivamente, (%);

S1– valor de S correspondente a CN1, mm;

SMCX – quantidade máxima de água que pode ser retida pelo sistema das duas camadas de solo, (mm);

W1 e W2 – pesos para a atualização diária da variável de retenção S, determinados pelas expressões:

$$W_1 = \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{S_3}{S_1}} - 1 \right) + W_2 \quad (7)$$

$$W_2 = 2 \cdot \left[\ln \left(\frac{0,5}{1 - \frac{S_2}{S_1}} - 0,5 \right) - \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{S_3}{S_1}} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

onde:

S3 – parâmetro de retenção associado ao CN3 (mm);

Para simplificar a entrada de dados, CN1 e CN3 são calculados como uma função de CN2 conforme as expressões:

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20(100 - CN_2)}{100 - CN_2 + \exp[2,533 - 0,0636 \cdot (100 - CN_2)]} \quad (9)$$

ou

$$CN_1 = 0,4 \cdot CN_2, \text{ a que for maior;}$$

e,

$$CN_3 = CN_2 \cdot \exp.[0,00673 \cdot (100 - CN_2)] \quad (10)$$

A umidade diária do solo dia é determinada por:

$$SM_{t+1} = SM_t + \frac{WI_t - Q_t - PERC_t - ET_t - Q_{lat} - Q_{tile}}{Z} \quad (11)$$

onde:

SM_t - umidade para cada camada de solo no início do período de tempo, (%);

SM_{t+1} - umidade para cada camada de solo no final do período de tempo, (%);

WI_t - precipitação ou degelo da neve, somada a água de irrigação (mm);

Q_t - escoamento superficial, no tempo t (mm);

$PERC_t$ - percolação de água para cada camada de solo, (mm);

ET_t - evapotranspiração potencial, no tempo t (mm);

Q_{lat} - escoamento subsuperficial lateral, (mm);

Q_{tile} - escoamento drenado, (mm);

Z_s - espessura da camada de solo, (mm);

t - período de tempo.

A profundidade máxima em que a água pode percolar em um dia, estando o solo saturado, é determinada por:

$$FSDEPTH = \frac{KSAT}{f} \quad (12)$$

onde:

KSAT – condutividade hidráulica saturada;

f – porosidade;

Se FSDEPTH é maior que a profundidade da primeira camada (D_{SL1}), é determinada a parcela do dia (FR) que restaria após a percolação através da primeira camada:

$$FR = 1 - \frac{D_{SL1}}{FSDEPTH} \quad (13)$$

Assim,

$$FSDEPTH(1) = D_{SL1}$$

$$FSDEPTH(2) = \frac{KSAT(2)}{f} \cdot FR \quad (14)$$

Se $FSDEPTH(2) > D_{SL2}$:

$$FSDEPTH(2) = D_{SL2}$$

A profundidade total do solo afetando a CN é a soma de $FSDEPTH(1)$ e $FSDEPTH(2)$.

A quantidade máxima de água que pode ser retida pelo sistema das duas camadas de solo entre o ponto de murcha (WP) e a capacidade de campo (FC) é obtida, em milímetros, pela expressão:

$$SMCX = FSDEPTH(1).FCMWP(1) + FSDEPTH(2).FCMWP(2) \quad (15)$$

onde:

$FCMWP(1)$, $FCMWP(2)$ – é a capacidade de campo menos o ponto de murchamento para cada uma das duas camadas de solo.

$$FCMWP = FC - WP \quad (16)$$

A condutividade hidráulica saturada é expressa como mm/intervalo de tempo para cada camada de solo:

$$KSAT_DT = \frac{KSAT}{NTS} \quad (17)$$

onde:

NTS – número de intervalos.

Para a segunda camada de solo, WI é a percolação proveniente da primeira camada, e $Q=0$:

$$SM_{t+1} = SM_t + \frac{WI_t - PERC_t - ET_t}{Z} \quad (18)$$

A condutividade hidráulica não saturada (K_DT) é calculada baseada no método de Brooks e Corey (1964, 1966). Esta equação usa um expoente que é função das características da textura do solo calculada, neste modelo, pela equação de Rawls e Brakensiek (1989).

$$BC_EXP = 3 + \frac{2}{\lambda} \quad (19)$$

onde:

$$\ln \lambda = -0.7842831 + 1.77544 \text{SAND} - 1.062498f - 0.5304 \text{SAND}^2 - 27.3493 \text{CLAY}^2 + 1.11134946f^2 - 3.088295 \text{SAND}f + 2.6587 \text{SAND}^2f^2 - 61.0522 \text{CLAY}^2f^2 - 2.35 \text{SAND}^2 \text{CLAY} + 79.8746 \text{CLAY}^2f - 0.674491f^2 \text{CLAY} \quad (20)$$

Em baixas umidades KSAT_DT torna-se um número muito pequeno, o que pode causar problemas numéricos. Para evitar isto, uma umidade mínima é estabelecida, abaixo da qual a condutividade hidráulica é fixada zero. Isto é feito fixando-se um KSAT_DT mínimo de 1.10^{-10} mm/intervalo de tempo e resolvendo a equação de KSAT_DT para a SMMWP que é a umidade real do solo menos o ponto de murchamento, temos:

$$\text{MIN_SMMWP} = \text{POMWP} \left(\frac{0.0000000001}{\text{KSAT_DT}} \right)^{\frac{1}{\text{BC_EXP}}} \quad (21)$$

onde:

POMWP – porosidade menos ponto de murchamento para cada camada de solo (%).

$$\text{POMWP} = f - \text{WP} \quad (22)$$

O CN médio (CN2) pode mudar devido: a uma operação que ocasione uma mudança significativa na superfície do solo; ou mudar lentamente durante as fase de crescimento de uma cultura. A transição do CN é realizada durante o estágio de desenvolvimento.

Evapotranspiração Potencial:

Para determinação da evapotranspiração é utilizada a equação de Penman:

$$\text{ETP} = \frac{1}{H_v} \cdot \left[\left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \cdot (R - G) + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \cdot W_v \cdot (e_{\text{sat}} - e) \right] \quad (23)$$

onde:

ETP - evapotranspiração potencial (mm);

H_v - calor latente de vaporização (MJ/kg): $H_v = 2,501 - 0,0022.T$ (24);

Δ - inclinação da curva de saturação pressão de vapor - temperatura (kPa/°C):

$$\Delta = \left(\frac{e_{sat}}{T_k} \right) \left(\frac{6790,5}{T_k} - 5,029 \right) \quad (25)$$

γ - constante psicrométrica (kPa/°C) :

$$\gamma = 6,6 \cdot 10^{-4} (101 - 0,0115.Z + 5,44 \cdot 10^{-7}.Z^2) \quad (26)$$

R - radiação efetiva (MJ/m²);

$$G - \text{fluxo de calor no solo (MJ/m}^2\text{): } G = 0,12 \cdot \left[T_o - \left(\frac{T_{-1} + T_{-2} + T_{-3}}{3} \right) \right] \quad (27);$$

T_o - temperatura do dia corrente, e os outros subscritos de T referem-se ao número de dias antes ao dia corrente;

W_v - função de vento: $W_v = 6,43 + 3,4079.U$ (28);

U - velocidade do vento (m/s), a 2m do solo;

e_{sat} - pressão de vapor na saturação (kPa):

$$e_{sat} = 0,1 \cdot \exp \left(54,879 - 5,029 \cdot \ln T_k - \frac{6790,5}{T_k} \right) \quad (29)$$

onde $T_k = T + 273,18$ (°K) (30);

e - pressão de vapor real (kPa), calculada por: $e = RH \cdot e_{sat}$ (31);

RH - umidade relativa;

T - temperatura do ar média em um dia, média das temperaturas máxima e mínima do dia.

Escoamento nos Canais:

Para o canal de escoamento concentrado, que ocorre dentro da célula, a seção transversal é um trapézio. A rugosidade de Manning (n_{ch}) e a declividade média (S_o) são os mesmos valores definidos para a rugosidade no escoamento superficial (n_{ov}) e a declividade (S_{ov}) da própria célula. O perímetro molhado é considerado sendo igual à largura

superior do canal. O comprimento do canal é fornecido pelo usuário, que para obtê-lo pode usar o aplicativo topográfico (TopAGNPS). Caso o valor do comprimento não seja fornecido o modelo usa uma equação que relaciona o comprimento do canal na célula e a área de drenagem (Martinez e Tien, 2001).

A profundidade total (d_t) é determinada por:

$$d_{t,i=0}(Q_t, Z, W, n, S_o) = \text{MIN} \left[\left(\frac{n \cdot Q_t}{W \cdot \sqrt{S_o}} \right)^{3/5}, \left(\frac{2^{2/3} \cdot n \cdot Q_t}{Z \cdot \sqrt{S_o}} \right)^{3/8} \right] \quad (32)$$

Para determinar a velocidade (V):

$$V(d_t, n, W, Z, S_o) = \left(\frac{\sqrt{S_o}}{n} \right) \cdot \left[\frac{(W \cdot d_t) + (Z \cdot d_t^2)}{W + (2 \cdot Z \cdot d_t)} \right]^{2/3} \quad (33)$$

A vazão total unitária (q_T) é obtida pela expressão:

$$q_T(Q_T, d_T, W, Z) = \frac{Q_T}{W + (2 \cdot Z \cdot d_T)} \quad (34)$$

onde:

d_T - profundidade total do escoamento, ft;

n - rugosidade de Manning (n_{ch});

Q_T - vazão total, m^3/s ;

q_T - vazão unitária total, $m^3/s/m$;

S_o - declividade do canal, m/m ;

V - velocidade, m/s ;

W - largura do fundo do canal, m ;

Z - declividade do talude do canal trapezoidal, m/m .

Para o escoamento nos trechos de canal o modelo adota uma seção transversal de canal composta, ou seja, um canal principal e uma seção de extravasamento, ambos retangulares, como mostrado na Figura 39. O perímetro molhado é tomado igual à largura da superfície do canal.

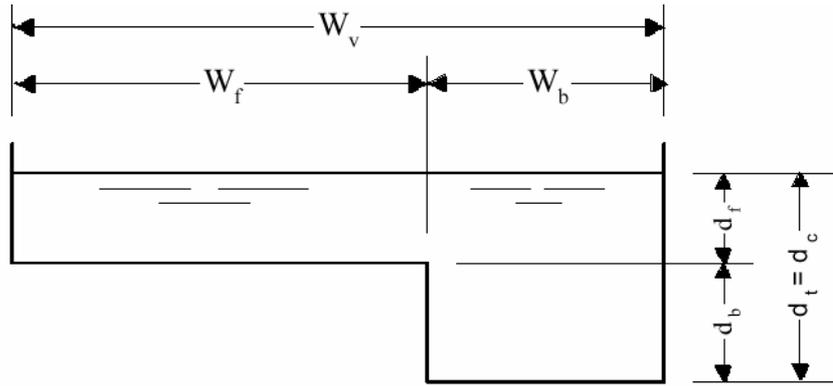


FIGURA 39 – Forma geral do curso d'água na célula - Seção composta

A vazão no canal principal (Q_b) é determinada pela expressão:

$$Q_b(d_b, W_b, n_c, S_o) = \left(\frac{\sqrt{S_o}}{n_c} \right) \cdot W_b \cdot d_b^{5/3} \quad (35)$$

Para obter as profundidades total e parciais usa:

- para $Q_t < Q_b$ ou $W_f = 0$

$$d_t(Q_t, W_b, n_c, S_o) = \left(\frac{n_c \cdot Q_t}{W_b \cdot \sqrt{S_o}} \right)^{3/5} \quad (36)$$

$$d_c = d_t \quad d_f = 0$$

- para $Q_t > Q_b$:

$$d_{t,i=0}(Q_t, W_b, W_f, d_b, n_c, n_f, S_o, F_s) = \text{MIN} \left[\left(\frac{n \cdot Q_t}{W_b \cdot \sqrt{S_o}} \right)^{3/5}, d_b + \left(\frac{n_c \cdot Q_t}{W_b \cdot \sqrt{F_s \cdot S_o}} \right)^{3/5} \right] \quad (37)$$

$$d_c = d_t$$

$$d_f = d_t - d_b$$

Para obter a velocidade nas seções (V_c e V_f) usa:

- para $Q_t < Q_b$ ou $W_f = 0$:

$$V_c(Q_t, W_b, d_t) = \frac{Q_t}{W_b \cdot d_t} \quad (38)$$

$$V_f = 0$$

- para $Q_t > Q_b$:

$$V_c(Q_c, W_b, d_c) = \frac{Q_c}{W_b \cdot d_c} \quad (39)$$

$$V_f(Q_f, W_f, d_f, d_b) = \frac{Q_f}{W_f \cdot (d_f - d_b)} \quad (40)$$

Para determinar a vazão unitária (q_c e q_f):

- para $Q_t \leq Q_b$ ou $W_f = 0$:

$$q_c = \frac{Q_t}{W_b} \quad (41)$$

$$q_f = 0$$

- para $Q_t > Q_b$:

$$q_c = \frac{Q_c}{W_b} \quad (42)$$

$$q_f = \frac{Q_f}{W_f} \quad (43)$$

onde:

d_b, d_c, d_f – profundidade das seções do canal principal, total e do canal de transbordamento, respectivamente;

F_s - sinuosidade (m/m)

n_c, n_f - rugosidade de Manning para a seção do canal e de inundação, respectivamente;

Q_b, Q_c, Q_f, Q_t - vazão no canal principal (cheio), no canal, na área de inundação e total, respectivamente;

q_c, q_f - vazões unitária da seção do canal e extravasamento, respectivamente, ($m^3/s/m$);

S_o - declividade do canal

V_c, V_f - velocidade da seção do canal e da seção da área de inundação, respectivamente;

W_b, W_f - largura do topo da seção cheia e de inundação, respectivamente.

A profundidade hidráulica é considerada sendo igual ao raio hidráulico:

$$d_w = R = \frac{A_H}{W_H} \quad (44)$$

onde:

d_w - profundidade hidráulica (m);

R_h - raio hidráulico (m);

A_H - área de escoamento, m²;

W_H - largura (m).

Tempo de Concentração, Vazão de Pico e Hidrograma:

O tempo de concentração na saída do canal é obtido pela soma dos tempos de concentração nas células ou trechos de montante, e do tempo ao longo do último trecho.

Se existe trecho contribuinte:

$$T_{c,reach_in} = \text{MAX}(T_{c,reach_out} \text{ dos trechos contribuintes; } T_{c, in_cell}) \quad (45)$$

senão:

$$T_{c,reach_in} = 0$$

Assim,

$$T_{c, reach_out} = T_{c, reach_in} + T_{t,reach} \quad (46)$$

onde:

$T_{c, reach_in}$ - tempo de concentração do canal ou célula de montante;

$T_{c, in-cell}$ - tempo de concentração para a contribuição proveniente dos processos na célula (h);

$T_{c, reach_out}$ - tempo de concentração no trecho de saída;

A distância percorrida dentro da célula (L) é um dado de entrada, sendo dividida em três partes: superficial, raso, e concentrado. O tempo de percurso é calculado pela soma dos tempos de cada um dos trechos, como segue:

$$T_{c, in-cell} = T_{t,ov} + T_{t,scf} + T_{t,cf} \quad (47)$$

onde:

$T_{c, \text{ in-cell}}$ - tempo de concentração para a contribuição proveniente dos processos na célula (h);

$T_{t,ov}$ - tempo de percurso para o período de escoamento superficial (h);

$$L_{ov-max} = 50 \text{ (m)}$$

$$L_{ov-min} = \text{MIN}(L_{ov-max}, L) \quad (48)$$

$$T_{t,ov} = \frac{0,09 \cdot (n_{ov} \cdot L_{ov})^{0,8}}{(P_2^{0,5} \cdot S_{ov}^{0,4})} \quad (49)$$

$T_{t,scf}$ - tempo de percurso para o período de escoamento laminar (h);

$$L_{scf-max} = 50$$

Se $L > L_{scf-max}$:

$$L_{scf} = \text{MIN}[L_{scf-max}, (L - L_{scf})] \quad (50)$$

$$V_{scf} = \text{MIN}[0,61; (4,9178 \cdot S_{ov}^{0,5})] \quad (51)$$

$$T_{t,scf} = \frac{L_{scf}}{(3600 \cdot V_{scf})} \quad (52)$$

senão:

$$T_{t,scf} = 0$$

$T_{t,cf}$ - tempo de percurso para o período do escoamento concentrado na célula (h);

Se $L > L_{ov-max} + L_{scf-max}$, então

$$L_{cf} = L - (L_{ov} + L_{scf}) \quad (53)$$

$$T_{t,cf} = \frac{L_{cf}}{3600 \cdot V_{cf}} \quad (54)$$

Senão:

$$T_{t,cf} = 0$$

Sendo:

L - comprimento total do percurso do escoamento de todos os segmentos dentro da célula;

L_{cf} - comprimento do escoamento concentrado;

L_{ov} , L_{ov-max} - comprimento do percurso e máximo comprimento do escoamento para o segmento de escoamento superficial;

L_{scf} , L_{scf_max} - comprimento do percurso do escoamento e comprimento máximo para o segmento de escoamento laminar

n_{ov} - rugosidade de Manning para o escoamento superficial;

P_2 - precipitação com período de retorno de dois anos;

S_{ov} - declividade do escoamento superficial;

V_{cf} - velocidade do escoamento para o segmento de escoamento concentrado (m/s).

V_{scf} - velocidade do escoamento para o segmento de escoamento raso (m/s)

A velocidade ($V_{conc, in-cell}$) é calculada usando a equação 33, substituindo os valores para célula da declividade do canal, do coeficiente de rugosidade de Manning (n_{ch}), e a profundidade hidráulica para um período de retorno de dois anos.

O canal do curso d'água é dividido em trechos, a seção transversal é considerada como composta retangular. O comprimento de cada trecho (ΔL) é um valor de entrada. A velocidade (V_{reach}) é calculada a equação 39. Assim, o tempo de concentração no trecho de canal ($T_{t,reach}$) é determinado pela expressão:

$$T_{t,reach} = \frac{\Delta L}{3600 \cdot V_{reach}} \quad (55)$$

onde:

$T_{t,reach}$ - tempo de percurso ao longo do segmento do trecho;

ΔL - comprimento do canal do segmento do trecho para os processos na célula;

V_{reach} - velocidade de escoamento através do trecho.

A vazão de pico é determinada pela expressão:

$$Q_p = 2,777777778 \cdot 10^{-3} \cdot P_{24} \cdot D_a \cdot \left[\frac{a + (c \cdot T_c) + (e \cdot T_c^2)}{1 + (b \cdot T_c) + (d \cdot T_c^2) + (f \cdot T_c^3)} \right] \quad (56)$$

onde:

Q_p - vazão de pico (m³/s);

D_a - área de drenagem total (ha);

P_{24} - chuva efetiva de 24h sobre área total de drenagem (mm);

T_c - tempo de concentração (h);

a, b, c, d, e, & f - coeficientes de regressão da vazão de pico unitária para um dado Ia/P_{24} e tipo de distribuição de chuva;

Ia/P_{24} - taxa de abstração inicial para precipitação efetiva de 24h incluindo fusão de neve e irrigação, não considerando a ocorrência de neve.

O modelo adota para o hidrograma de cheia a forma triangular. O tempo para a base do hidrograma (duração do evento de escoamento superficial) é determinado pela expressão:

$$t_b = 20 \cdot \frac{R_Q \cdot D_a}{Q_P} \quad (57)$$

onde:

Q_P - vazão de pico (m^3/s);

D_a - área total de drenagem (ha);

R_Q - volume de escoamento superficial proveniente da área de drenagem de montante (mm);

t_b - tempo de base (s).

A vazão de pico unitária é calculada por:

$$q_P = \frac{Q_P}{W} \quad (58)$$

onde:

q_P - vazão de pico unitária ($m^3/s/m$);

Q_P - vazão de pico;

W - largura do escoamento.

A produção e Transporte de Sedimentos:

3.1.1 RUSLE:

A RUSLE considera um intervalo de quinze dias para atualização dos fatores. Os fatores LS, C e P para cada célula na bacia e um fator K para cada solo da bacia são obtidos a partir dos dados de entrada, ou calculados durante o pre-processamento dos dados.

Abaixo segue algumas variações adotadas para o modelo em relação a metodologia original da RUSLE:

Fatores K: Para cada solo na bacia o fator K é calculado conforme os normogramas ou fornecido pelo usuário.

Fator C: O AnnAGNPS permite várias práticas de curvas de nível sejam aplicadas na rotação em um uso do solo.

Fator P: O AnnAGNPS permite para a aplicação de mais de uma prática de curva de nível seja aplicada em uma rotação sobre uma área de cultivo.

Fator LS: O TopAGNPS inclui uma rotina para cálculo deste fator a partir do modelo digital do terreno desenvolvido por Bingner e Theurer (2001) conforme as expressões:

- fator declividade S:

$$\text{Declividade} < 9\% \quad - \quad S = 10,8.\text{sen } \theta + 0.03 \quad (59)$$

$$\text{Declividade} > 9\% \quad - \quad S = 16,8.\text{sen } \theta - 0.5 \quad (60)$$

θ - ângulo de inclinação da rampa

- fator comprimento de rampa:

$$L = (\lambda/72,6)^m \quad (61)$$

onde:

λ – projeção horizontal da rampa

m – razão entre a erosão causada pelo escoamento superficial e a erosão causada pelo impacto das cotas de chuva:

$$m = \beta / (1+\beta) \quad (62)$$

$$\beta = (\text{sen } \theta / 0,0896) / [3.(\text{sen } \theta)0.8 + 0,56] \quad (63)$$

O valor da EI: é calculado em função do tipo de distribuição de chuva e a quantidade de chuva usando uma equação obtida do AGNPS5.0, e foi também utilizada no modelo CREAMS (*Chemicals, Runoff, e Erosion from Agricultural Management Systems*, Knisel, 1980 *appud* Bingner & Theurer, 2001):

$$EI = \frac{A \cdot \exp(2,119 \cdot \log(P_e)) \cdot \exp(0,0086 \cdot \log(24))}{\exp(B \cdot \log(24))} \quad (64)$$

onde:

P_e - precipitação (in);

A, B - coeficiente e expoente determinados em função do tipo de distribuição da chuva.

3.1.2 HUSLE:

Os componentes da equação para determinação da erosão laminar e em sulcos tomadas de Theurer e Clarke (1991) é:

$$S_y = 0,22 \cdot Q^{0,68} \cdot q_{ps}^{0,95} \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (65)$$

onde:

S_y - produção de sedimentos (Mg/ha);

Q - escoamento superficial (mm);

q_{ps} - vazão de pico do escoamento superficial (mm/s);

K, LS, C, P - fatores da RUSLE .

É determinada uma razão entre dois pontos da seguinte forma:

$$D_r = \frac{S_{y2}}{S_{y1}} = \left(\frac{q_{p2}}{q_{p1}} \right)^{0,95} \quad (66)$$

onde:

S_{y1} , S_{y2} - produção de sedimentos nos locais "1" e "2", respectivamente (Mg/ha)

q_{p1} , q_{p2} - vazão de pico do escoamento superficial nos locais "1" e "2" (mm/s)

D_r - taxa de entrega do local "1" para o "2"

A produção de sedimentos é dividida em cinco classes de partículas: argila, silte, areia e agregados graúdos e pequenos. A deposição de sedimentos por tamanho da partícula dentro do campo é suposta ser proporcional a velocidade de queda da massa das classes individuais das partículas.

3.1.3 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS:

Toda a propagação de sedimentos nos canais no AnnAGNPS é realizada usando cinco classes de partículas (silte, argila, areia, agregados pequenos e grandes) para cada incremento do hidrograma. A descarga de sedimentos é determinada por:

$$q_s = C_s \cdot q_w \quad (67)$$

onde:

C_s – concentração de sedimentos, definida por: $C_s = \frac{S_m}{W_m}$ (68);

S_m – massa de sedimentos (Mg);

W_m – massa de água proveniente da área de drenagem de montante, (Mg);

q_s – descarga de sedimentos unitária (Mg/s/m);

q_w – descarga líquida unitária em qualquer momento (Mg/s/m): $q_w = Q_w/W$ (69);

Q_w - a vazão total de água;

W - largura do canal.

Para cada classe de partícula, a capacidade de transporte de sedimentos é:

$$q_{sc} = \frac{\eta \cdot \kappa \cdot \tau \cdot v_w^2}{v_f} \quad (70)$$

onde:

q_{sc} – capacidade de transporte de sedimentos unitária, mg/s/m;

η - fator de transporte efetivo;

κ – fator de capacidade de transporte;

τ - tensão de cisalhamento do fundo, mg/m²;

v_w – velocidade da água;

v_f – velocidade de queda da partícula;

Todas as descargas de sedimentos de montante (q_{s1}) serão a soma de todas as entradas de sedimentos provenientes dos trechos de montante somada o sedimento local associado com o trecho de montante. Primeiras descargas de sedimentos de células de montante (q_{s1}) consistirão somente de cargas locais já que não há sedimentos entrando provenientes de trechos de montante para as primeiras células.

$$q_{s2} = q_{sc} + [(q_{s1} - q_{sc}) \cdot e^{(-N_d)}] \quad (71)$$

onde:

N_d – número de deposição;

q_{sc} – capacidade de transporte de sedimentos unitária, mg/s/m;

q_{s1} – descarga de montante unitária em x_1 , mg/s/m;

q_{s2} – descarga de jusante unitária em x_2 , mg/s/m.

A determinação do número de deposição, N_d , é realizada usando a seguinte equação:

$$N_d = (A_E \cdot v_f \cdot L_2) / q_w \quad (72)$$

onde:

A_E – constante de Einstein de proporcionalidade, para qualquer escoamento e tamanho de partícula, entre a concentração de sedimentos em suspensão na profundidade média e a concentração na subcamada laminar plana.

v_f – velocidade de queda da partícula (m/s);

L_2 – distância entre x_1 e x_2 (m);

q_w – vazão unitária ($m^3/s/m$).

Para as primeiras células, a distância de x_1 até x_2 é a distância desde o ponto hidráulicamente mais distante (x_1) até a saída da célula (x_2). Para as células seguintes, a distância de x_1 até x_2 de seus trechos associados é o comprimento do segmento do canal de escoamento concentrado para o trecho. A saída para cada trecho é sempre x_2 nas equações acima.

ANEXO B – CATEGORIAS PARA ENTRADA DE DADOS

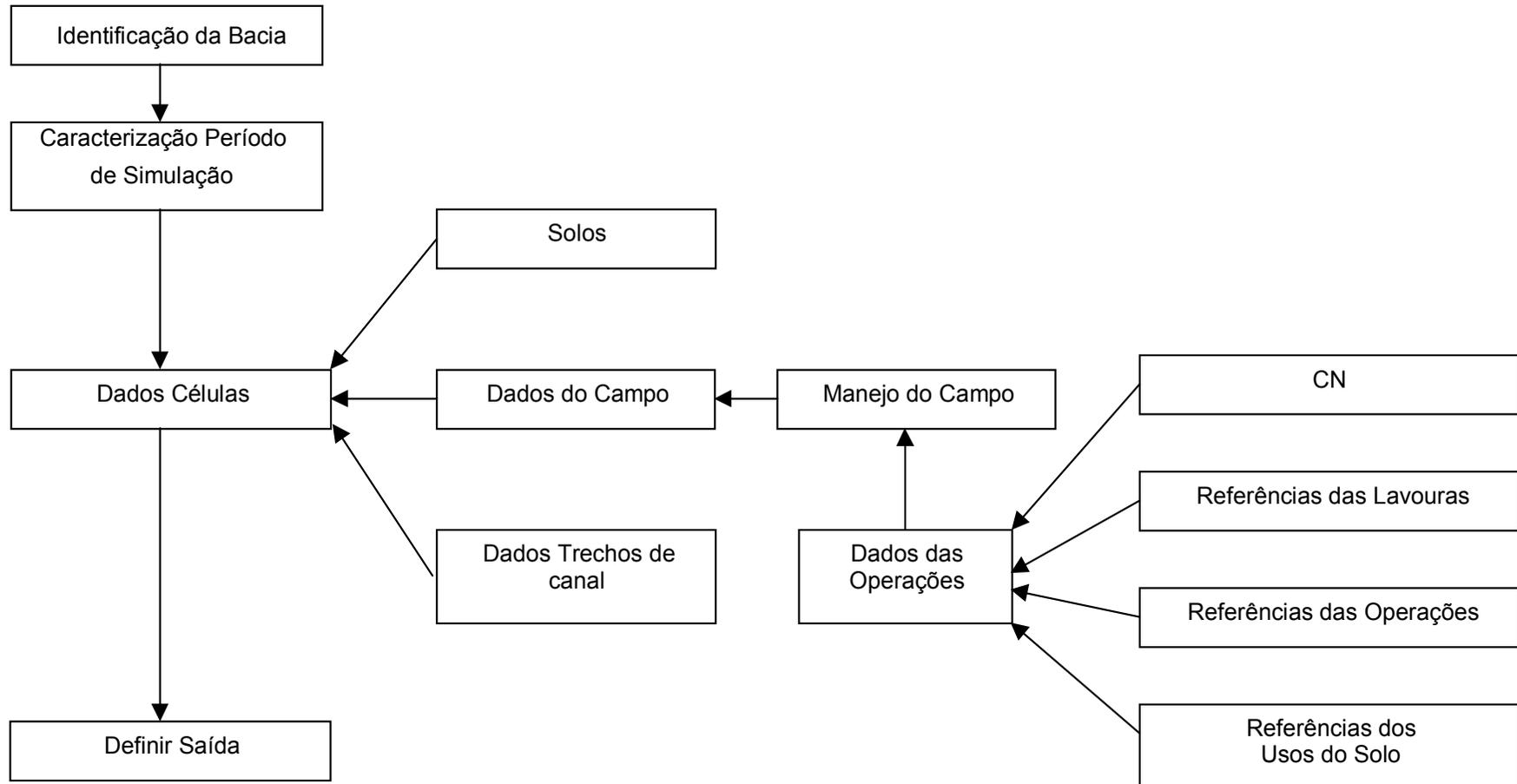


FIGURA 40 – Esquema das categorias utilizadas na construção do arquivo de entrada AnnAGNPS.inp.

B.1 IDENTIFICAÇÃO DA BACIA (*Watershed Data*):

- Definição da unidade de trabalho (SI/English);
- Nome, descrição breve, local e coordenadas de localização da bacia.

B.2 CARACTERIZAÇÃO DO PERÍODO DE SIMULAÇÃO (*Simulation Period Data*): São informados:

- Datas do início e fim da simulação; Código indicando uma das distribuições de precipitação do SCS (TR55); Fator de chuva; intensidade de energia para uma chuva de 10 anos de período de retorno (10 year EI); número da distribuição da intensidade de energia EI identificando a curva de distribuição, sendo automaticamente retirada da RUSLE para valores entre 1 e 149; Clima (árido/úmido); Número de vezes de cálculo da umidade do solo em um dia (1-24 vezes);
- Modelo para cálculo da erosão; Código informando se o fator K é obtido pelos nomogramas ou é fornecido; e se este varia em um ano; Concentração de nitrogênio na precipitação (se caso não for informado no arquivo de dados climatológicos); precipitação diária (mesmo caso); Identificação de curvas que trazem os coeficientes e expoentes que definem a geometria dos canais.

B.3 DADOS DOS SOLOS (*Soil Data*):

- Para cada solo presente na bacia cria-se um identificador, informando-se o grupo hidrológico do solo (TR-55), o fator de erodibilidade K, albedo (coeficiente de reflexão das culturas), tempo de consolidação (tempo para 95% do revolvimento realizado no solo ter desaparecido devido a consolidação), profundidade da camada impermeável, peso específico, o nome e textura do solo;
- Em cada solo é possível descrever camadas: indicando a profundidade da base da camada, a densidade aparente, porcentagens de argila, silte, areia, pedregulho, e areia muito fina; a quantidade de carbonato de cálcio

(CaCO₃); condutividade hidráulica saturada; capacidade de campo; ponto de murchamento; código indicando se o solo é de origem vulcânica; saturação por base; taxa de agregados instáveis; pH; taxa de matéria orgânica, de N e P orgânicos e inorgânicos; código da estrutura do solo (granular muito fina, granular fina, granular médio ou cascalho, blocos).

B.4 CURVA NÚMERO (*Runoff Curve Number Data*):

- Identifica-se uma cobertura específica (tipo de cobertura, tratamento ou condição hidrológica); e indica-se o valor de CN (30 – 100) para cada grupo de solo hidrológico (A, B, C e D);

B.5 REFERÊNCIAS AGRÍCOLAS (*Crop Reference Data*):

- Existe um arquivo “CROPLIST.dat”, vindo do sistema RUSLE, que traz a maioria das informações sobre a cultura presente neste banco de dados e que são necessárias ao modelo, como: o ID; a produção/acre; a relação resíduo/produção; coeficientes de decomposição superficial e subsuperficial; resíduo da colheita na superfície em 30, 60 e 90% da cobertura; dados de massa de raízes vivas no topo de 100mm do solo, onde os valores iniciam para 0 dias do crescimento da planta e tem um passo de 15 dias; dados representando a taxa de superfície coberta pelo dossel, este valor também inicia em 0 dias e tem passo de 15 dias; representação da altura de queda média da gota de chuva interceptada desde o dossel da planta até o chão; e outros dados que no momento não são usados pelo AnnAGNPS.
- Os dados que o usuário precisa informar são: se a cultura colhida é de estação fria, anual ou permanente (códigos 0, 1 2, respectivamente); a taxa de carbono, nitrogênio e fósforo da planta (colhida) durante a colheita; nitrogênio e fósforos aplicados; fração de tempo acumulada desde o plantio até a colheita para o fim de cada estágio de crescimento da planta (inicial, desenvolvimento, maturidade e senescência); fração de nitrogênio e fósforos aplicados em cada estágio da planta.

B.6 REFERÊNCIAS DAS OPERAÇÕES (*Operations Reference Data*):

- Também há um arquivo o “OPLIST.dat”, proveniente do sistema RUSLE, que fornece os dados necessários referentes à operação selecionada: identificador; códigos descrevendo as mudanças na lavoura; percentual da camada e o peso dos resíduos que permanecem na superfície após a operação sobre o solo; porcentagem da área afetada pela operação; rugosidade inicial e final; profundidade da operação de preparo do solo; resíduo adicional que permanece na superfície; coeficiente de decomposição de superfície e subsuperfície dos resíduos adicionais;

B.7 REFERÊNCIAS DO USO DO SOLO (*Landuse Reference Data*):

- Há o arquivo “CROPLIST.dat”, da RUSLE, contendo as seguintes informações: identificador; descrição do uso; massa de raízes em 100mm da camada superior do solo; taxa média anual do chão coberto pelo dossel em relação a área total; distância média anual da chuva que cai depois de ser interceptada pelo dossel da planta. No entanto, o usuário precisa fornecer: a porcentagem da superfície coberta pelos resíduos;
- Para cada uso do solo que não agrícola, mas que precisa ser informado nos dados sobre o campo, foi atribuído um identificador, descrevendo-se os dados necessários

B.8 DADOS DAS OPERAÇÕES (*Operations Data*):

- Local onde é inserido o calendário de operações, que deve ser fornecido na seqüência temporal. Cria-se um identificador para a operação: informa a data que a operação acontece, se o mês e o dia ficam em branco a operação é a primeira na série de operações, então a operação é usada como situação inicial para iniciar a simulação; Se há operação em curvas de nível, usa um identificador definido em “*Contour data*”;

- Indicação das informações da cultura, informando-se o identificador definido no "*Crop Data*". Se for não agrícola, indica-se o identificador definido no "*Landuse Data*"; Indicar o identificador referente às informações da CN, definido no "*Runoff Curve Number Data*". Informa-se o valor do n de Manning quando a operação acontecer; e uma constante de condição de superfície; indicação da quantidade de resíduo adicionada ou subtraída na operação; Indicação dos identificadores que definem a operação agrícola definido em "*Operation Reference Data*". E também de outras informações referentes a aplicação de fertilizantes (definida em *Fertilizer Application Data*), de irrigação (definida em *Irrigation Application Data*), de pesticidas (definida em *Pesticide Application Data*), quando ocorrem na bacia.

B.9 MANEJO DO CAMPO (*Field Management Data*):

- Local onde para cada grupo de operação indica-se um identificador para o manejo no campo.

B.10 DADOS DO CAMPO (*Field Data*):

- Criam-se os identificadores para os usos do solo (pode ser: plantação, pastagem, campos de pasto, floresta, urbano), associado a um manejo criado no "*Field Management Data*";
- Informa-se: a porcentagem da área coberta por rochas; Subfator P para correção da erosão em função da ocorrência de drenagem de subsuperfície (valores entre 0-1, 1 indica nenhuma redução na erosão devido a drenagem de subsuperfície); código indicando a taxa de relação de erosão entre-sulcos e em sulcos; a rugosidade de superfície de rochas, raízes ou qualquer outra efeito de vegetação sobre a superfície; distâncias entre terraços no campo (se houver); identificação do sistema de drenagem (definido em "*Tile Drain Data*"), se ocorrer.

B.11 DADOS DOS CANAIS (*Reach Data*):

- Cada trecho recebe um identificador; é informado: o trecho para onde vai; a cota da saída do trecho; a declividade média do trecho; e comprimento do trecho → são informações que vêm do arquivo de saída do AgFlow; um código dizendo se o trecho possui vegetação (1) ou não (0) ("*Vegetation Code*"), ou se é submerso devido a um açude ou barragem, pode ser deixado em branco se for informado o n de Manning para o trecho.
- O n de Manning pode ser informado, mas se deixar em branco será 0.04 se "*Vegetation Code*" é igual a 1, e 0.02 se igual a 2. Indicar o identificador do "*Reach Geometry Data*", se houver; e se existir algum represamento no canal pode ser criado um identificador no "*Impoundment Data*".

B.12 DADOS DAS CÉLULAS (*Cell Data*):

- Dados importados do AgFlow: identificador para cada célula; o trecho de canal para qual o escoamento é drenado; a área; elevação média; declividade; aspecto do relevo; fator LS; declividade e comprimento dos escoamentos superficial, laminar e concentrado dentro da célula.
- É preciso informar: os identificadores criados para o tipo de solo (*Soil Data*) e do uso (*Field Data*); onde o escoamento superficial é adicionado ao trecho especificado (0 – na entrada; 1 – na saída do trecho); o n de Manning para o escoamento laminar e concentrado na célula; a profundidade hidráulica do escoamento concentrado, deixar em branco se tempo de concentração é informado; rugosidade do escoamento concentrado dentro da célula.

B.13 DEFINIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE SAÍDA (*Global Output Data*):

Neste módulo são definidas quais as informações que irão compor o arquivo de saída, bem como para quais células e trechos de canal devem ser estas informações.

ANEXO C – RESULTADOS ENSAIOS DOS SOLOS

ANÁLISE FÍSICA DE SOLO

Local: Bacia Hidrográfica do Arroio Vacacaí-Mirim

AMOSTRA	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS (%) ⁽¹⁾				CLASSE TEXTURAL ⁽²⁾
	Areia Grossa (2,0-0,2mm)	Areia Fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (<0,002mm)	
Tba-Rd 0-20cm	12,8	12,6	39,3	35,3	Franco Argiloso
Tba-rd 20-40cm	10,5	14,5	41,4	33,6	Franco Argiloso
Re4 0-20cm	22,9	15,1	38,7	23,3	Franco
Re4 20-40cm	20,7	20,2	39,3	19,8	Franco
Re-C-Co 0-20cm	29,4	59,2	7,5	3,9	Areia
Re-C-Co 20-40cm	22,6	66,8	8,9	1,7	Areia
C1 0-20cm	12,8	62,6	14,1	10,5	Franco Arenoso
C1 20-40cm	11,2	70,9	11,2	6,7	Franco
Tba-Rd 2 0-20cm	18,2	23,6	30,3	27,9	Franco Argiloso
Tba-Rd 2 20-40cm	10,0	16,4	37,7	35,9	Franco Argiloso

⁽¹⁾ Método de Vettori

⁽²⁾ Sociedade Brasileira de Ciência de Solo

FONTE: *Laudo de Análises Físicas de Solo* – Responsável Técnico: Dalvan José Reinert – Laboratório de Física de Solo/Departamento de Solos/ Centro de Ciências Rurais/ Universidade Federal de Santa Maria. Fevereiro/2003.

ANÁLISE FÍSICA DE SOLO

Local: Bacia Hidrográfica do Arroio Vacacai-Mirim

AMOSTRA	REPET.	PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO (g/cm³)	POROSIDADE TOTAL (%)	CAMPACIDADE DE CAMPO (cc) (cm³/cm³)	PONTO DE MURCHA PERMANENTE (cm³/cm³)	COND. HIDRÁUL. SATURADA (cm/h)
Tba-Rd 10cm	1	2,44	1,22	49,81	0,3853	0,1516	1,00
	2	2,44	1,23	49,79	0,3942	-	1,02
Tba-Rd 31cm	1	2,33	1,20	48,60	0,3602	0,1674	1,32
	2	2,35	1,20	48,67	0,3736	-	2,61
Re4 10cm	1	2,33	1,08	53,65	0,3711	0,1066	19,02
	2	2,25	1,10	53,01	0,3425	-	19,22
Re4 40cm	1	2,47	1,02	58,58	0,2924	0,0856	27,09
	2	2,47	1,05	57,69	0,3211	-	24,00
Re-C-Co 10cm	1	2,50	1,53	37,69	0,2370	0,0440	6,57
	2	2,41	1,53	29,03	0,1920	-	11,75
Re-C-Co 35cm	1	2,44	1,48	40,04	0,2094	0,1210	17,23
	2	2,50	1,36	44,95	0,1786	-	11,16
C1 10cm	1	2,33	1,35	42,17	0,2999	0,0728	13,65
	2	2,33	1,28	44,91	0,2847	-	63,45
C1 40cm	1	2,41	1,26	47,31	0,2335	0,0491	21,71
	2	2,38	1,23	48,79	0,2165	-	16,83
Tba-Rd 2 10cm	1	2,25	1,19	46,98	0,2526	0,11	1,23
	2	2,25	1,12	50,12	0,2184	-	19,22
Tba-Rd 2 35cm	1	2,33	1,17	49,44	0,2850	0,1196	31,87
	2	2,30	1,21	47,94	0,2891	-	27,79

FONTE: *Laudos de Análises Físicas de Solo* – Responsável Técnico: Dalvan José Reinert – Laboratório de Física de Solo/Departamento de Solos/ Centro de Ciências Rurais/ Universidade Federal de Santa Maria. Fevereiro/2003.

