



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**Estudos de calibração do modelo AVSWAT em bacias  
hidrográficas do Sul de Minas Gerais, Serra da Mantiqueira**

RENATO DE OLIVEIRA AGUIAR

PROF. DR. FERNANDO DAS GRAÇAS BRAGA DA SILVA  
Orientador

Itajubá, novembro de 2011



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

RENATO DE OLIVEIRA AGUIAR

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, sob orientação do Professor Dr. Fernando das Graças Braga da Silva.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Cristiane N. C. Carpinteiro- CRB\_6/1702

A282c

Aguiar, Renato de Oliveira

Calibração do modelo AVSWAT em bacias hidrográficas no sul de Minas Gerais, Serra da Mantiqueira. / por Renato de Oliveira Aguiar. -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2011.

104 p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Bacias hidrográficas. 2. AVSWAT. 3. Calibração. I. Silva, Fernando das Graças Braga da, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

**Aos meus pais,**

Por tudo que fizeram por mim.

**À minha esposa Geiza e filha Yasmim,**

por suportar o tempo que me ausentei devido às

atividades acadêmicas e pelo incentivo e ajuda que sempre me deram.

**Aos meus colegas de trabalho do Departamento de Vigilância Sanitária e Epidemiológica de Cambuí,**

que se sobrecarregaram de trabalho para que eu pudesse desenvolver várias atividades acadêmicas.

**A todos os meus professores,**

desde o primário até o mestrado,

que difundiram na minha cabeça valores que carregarei

pelo resto de minha vida

**Em especial ao meu orientador, professor Fernando Braga,**

pela paciência e boa vontade comigo.

Somente alguém desenvolvido espiritualmente

Poderia ter me ajudado tanto nas minhas limitações.

**Lutar sempre,  
Vencer talvez,  
Desistir nunca.**

Autor desconhecido

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 Objetivos específicos.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
3.1 Bacia hidrográfica.....	13
3.2 Processos Hidrológicos .....	15
3.3 Processos hidrossedimentológicos .....	17
3.4 Modelos hidrológicos .....	21
3.4.1 Conceito e classificação dos modelos hidrológicos .....	21
3.4.2 Aplicação dos modelos hidrológicos.....	24
3.5 Estudo do modelo AVSWAT .....	26
3.6 Algumas aplicações do modelo AVSWAT .....	30
3.7 Parâmetros Climáticos.....	34
3.7.1 Parâmetros de Solo .....	35
3.7.2 Unidades de Resposta Hidrológica HRU's .....	35
3.7.3 Parâmetros de Uso do Solo.....	36
3.7.4 Curva Número .....	36
3.7.5 ArcView 3.2 .....	37
3.7.6 O SIG idrisi Andes .....	38
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.1. Considerações iniciais .....	35
4.2 Localização da área de estudo e obtenção dos mapas .....	35
4.2.1 Materiais para a confecção dos mapas .....	36
4.2.2 Confecção do mapa de elevação digital do terreno (MDT).....	37
4.2.3 Confecção do mapa de uso e ocupação do solo.....	38
4.2.4 Confecção do mapa de solos da região.....	40
4.2.5 Mapa de declividades da (BHRC).....	41
4.3 Obtenção de informações regionais: clima, hidrologia .....	42
4.4 Análise de sensibilidade do modelo AVSWAT .....	47
4.5 Calibração e validação.....	47
5 RESULTADO E DISCUSSÕES .....	48
5.1 Geração da área de drenagem.....	48
5.2 Estudo das principais características da bacia .....	48
5.2.1 Forma da bacia.....	48
5.2.2 Densidade de drenagem.....	49
5.3 Análise fluviométrica .....	49
5.3.1 Obtenção de dados.....	49
5.3.2 Análise dos postos fluviométricos da região e seleção .....	50
5.3.3 Obtenção da série de vazões mensais para o posto base .....	51
5.3.4 Obtenção da série de vazões mensais para o local de estudo .....	53
5.4 Análise dos dados obtidos em campo.....	54
5.5 Análise das estimativas de vazão.....	56
5.6 Análise de sensibilidade .....	57
5.7 Calibração.....	61
5.8 Sedimentos .....	70
6. CONCLUSÕES .....	81
7. ANEXOS ..	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Adaptação dos usos do solo da bacia hidrográfica .....	36
Tabela 2	Representatividade das classes de altitude da BHRC.....	43
Tabela 3	Representatividade das classes de uso do solo na BHRC .....	44
Tabela 4:	Representatividade das classes de solo na BHRC .....	45
Tabela 5	Representatividade das classes de declividade da BHRC .....	46
Tabela 6	Postos pluviométricos utilizados .....	47
Tabela 7	Dados dos postos selecionados para futura análise .....	52
Tabela 8	Médias mensais históricas posto fluviométrico Fazenda da Guarda.....	53
Tabela 9	Médias mensais históricas do posto auxiliar Cristina.....	54
Tabela 10	Média da série histórica do local de estudo .....	54
Tabela 11	Dados de tempo para as várias medições .....	55
Tabela 12	Profundidades medidas em cada vertical.....	56
Tabela 13	Parâmetros adotados pelo SWAT na simulação da variável vazão.....	58
Tabela 14	Ranking de sensibilidade dos parâmetros / vazão .....	61
Tabela 15	Vazões médias mensais observadas do Ribeirão Cachoeirinha .....	62
Tabela 16	Valores de vazão calibrados nos parâmetros ALPHA_BF, ch_k2 e CN.....	69
Tabela 17	Valores de vazão calibrados solk, ch_n, gwmn, esco, SLOPE .....	70
Tabela 18	Valores de vazão calibrados SLOPE, GW_DELAY e ECPO.....	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação dos componentes do ciclo hidrológico .....	15
Figura 2	Processo de funcionamento do AVSWAT.....	30
Figura 3	Esquema do funcionamento do AVSWAT.....	34
Figura 4	Localização da área de estudo.....	41
Figura 5	Mapa de elevação do terreno (MDT) da BHRC .....	42
Figura 6	Mapa de Uso do Solo da BHRC .....	44
Figura 7	Mapa de solos da (BHRC) .....	45
Figura 8	Mapa de declividades da BHRC .....	46
Figura 9	Forma da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha.....	49
Figura 10	Forma da Bacia Hidrográfica utilizada como referência .....	50
Figura 11	Postos fluviométricos com dados e utilizados .....	51
Figura 12	Comportamento dos postos.....	52
Figura 13	Correlação entre o posto base e o posto auxiliar.....	53
Figura 14	Localização das verticais para a topobatimetria .....	56
Figura 15	Localização do ponto de estudo .....	57
Figura 16	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro ALPHA_BF(0,8).....	63
Figura 17	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro ALPHA_BF(0,007).....	63
Figura 18	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro ch_k2 (35) .....	64
Figura 19	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro ch_k2 (145) .....	64
Figura 20	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro CN (35) .....	64
Figura 21	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro CN (95) .....	65
Figura 22	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro SOL_K (2000).....	65
Figura 23	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro SOL_K (20).....	65
Figura 24	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro ch_n2.....	66
Figura 25	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro gwmn.....	66
Figura 26	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro ESCO (094).....	67
Figura 27	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro ESCO (0,53).....	67
Figura 28	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro SLOPE (0,50).....	68
Figura 29	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro SLOPE (0,10).....	68
Figura 30	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro GW_DELA .....	68
Figura 31	Gráfico da vazão simulada e observada parâmetro ECPO .....	69
Figura 32	Mapa de perda de solo da BHRC mês de janeiro de 1999.....	72
Figura 33	Mapa de perda de solo da BHRC mês de fevereiro de 1999 .....	74
Figura 34	Mapa de perda de solo da BHRC mês de março de 1999.....	75
Figura 35	Mapa de perda de solo da BHRC mês de abril de 1999 .....	76
Figura 36	Mapa de perda de solo da BHRC mês de maio de 1999.....	77
Figura 37	Mapa de perda de solo da BHRC mês de junho de 1999.....	78
Figura 38	Mapa de perda de solo da BHRC mês de julho de 1999.....	79
Figura 39	Mapa de perda de solo da BHRC mês de agosto de 1999 .....	80
Figura 40	Mapa de perda de solo da setembro de 1999 .....	81
Figura 41	Mapa de perda de solo da BHRC mês de outubro de 1999 .....	82
Figura 42	Mapa de perda de solo da BHRC sem mês de novembro de 1999 .....	83
Figura 43	Mapa de perda de solo da BHRC mês de dezembro de 1999 .....	84

## **RESUMO**

A Aplicação de modelos hidrológicos capazes de prever o impacto de fontes difusas de poluição e do uso e ocupação do solo na qualidade das águas superficiais e subterrâneas tem auxiliado o estudo de processos naturais e antrópicos que ocorrem em bacias hidrográficas. Com esse objetivo, foi calibrado o modelo SWAT 2005 (Soil and Water Assessment Tool) para avaliar sua sensibilidade em bacias hidrográficas do sul de estado de Minas Gerais, no município de Santa Rita do Sapucaí, na região da Serra da Mantiqueira, tendo em vista sua aplicação em trabalho anterior, no mesmo local. O presente trabalho apresenta como foi calibrado o modelo SWAT voltado à previsão da produção e do transporte de sedimentos. O modelo SWAT apresentou boa capacidade de reproduzir as condições de produção de sedimentos na bacia estudada. A modelagem foi melhorada com a associação de análise de sensibilidade e calibração manual, verificando-se que o modelo SWAT realizou de forma aceitável as simulações de vazão e de produção de sedimentos. O estudo demonstrou um bom ajuste dos parâmetros de vazão simulados e observados. Houve necessidade de um estudo de estimativa de vazões reais. Os resultados sem calibração do modelo subestimaram tanto a vazão como perda de solo de janeiro a setembro de 1999, tendo superestimado ambas nos meses de outubro, novembro e dezembro.

Palavras-chave: Bacias hidrográficas, AVSWAT, Calibração

## **ABSTRACT**

The application of hydrologic models able to foretell the impact of diffused pollution sources and the usage and occupation of the ground in the quality of superficial waters and subterraneous have helped the study of natural and man-made processes which occurred in drainage basins. With this aim, it was calibrated the model SWAT 2005 (Soil and Water Assessment Tool) to evaluate its sensibility in drainage basins in the southern part of Minas Gerais, in Santa Rita do Sapucaí city, in the region of Mantiqueira Mountains, having in mind its application in a previous work in the same area. The present work shows how it was calibrated the model of SWAT aimed at the prediction and transport of sediments. The SWAT model has shown good capability of reproducing the conditions of production of sediments in the base where it was researched. The modeling has been improved with the association of analysis and sensibility and manual calibration, making sure that the SWAT model accomplished in an acceptable way the spillway simulations and the sediment productions. The study has shown a good adjustment of parameters of simulated and observed spillways. There was a need to study the estimate of real spillways. The results without calibration of the model underestimated both the spillway and the soil loss from January to December in 1999, having overestimated both in the months of October, November and December.

Keywords: Watershed, AVSWAT, Calibration

## 1. INTRODUÇÃO

A exploração sustentável de bacias hidrográficas rurais tem sido constantemente prejudicada pela falta de um planejamento real que tenha como base o conhecimento da dinâmica dos recursos naturais (solo, água, balanço hídrico, clima, vegetação e relevo) para uma melhor avaliação do potencial de uso das terras, fazendo com que essa exploração tenha bases sustentáveis.

A realização de estudos hidrossedimentológicos em bacias e sub-bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender a dinâmica de funcionamento do balanço hídrico, os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso do solo sobre a quantidade e qualidade da água.

O entendimento dos processos relacionados ao comportamento hídrico de uma bacia hidrográfica constitui uma importante etapa no gerenciamento ambiental desta bacia. Um destes processos considera o ciclo hidrossedimentológico e envolve as fases de remoção, transporte e deposição de material particulado. Os deslocamentos dos sedimentos carreados pelo escoamento superficial e outros processos acabam provocando a perda ou redistribuição pela bacia de consideráveis massas de solo, a ponto de alterar o ciclo hidrológico e afetar o uso, conservação e gestão da bacia hidrográfica.

No monitoramento de bacias hidrográficas os modelos hidrológicos, hidrossedimentológicos e de qualidade da água vem sendo desenvolvidos e implementados. Porém esses modelos têm limitações acerca das dificuldades em se trabalhar grande quantidade de dados de entrada, que caracterizam a bacia hidrográfica em estudo e que descrevem a complexidade dos sistemas naturais,

Pesquisadores tem reconhecido que a variabilidade espaço-temporal nas características da paisagem, incluindo solo, uso da terra, relevo e clima, afeta a resposta hidrológica do sistema físico, implicando em limitações na aplicação de modelos (MACHADO, 2002).

A utilização de modelos para a quantificação da produção de sedimentos e conseqüente arraste de partículas em bacias hidrográficas é de grande importância para profissionais da área de gerenciamento e planejamento ambiental. Os resultados do modelo podem ser utilizados no diagnóstico da situação e dinâmica de contaminação de uma bacia hidrográfica, servindo como ferramenta fundamental para se tomar medidas de controle e ou preventivas (NEVES, 2005).

Atualmente as principais técnicas usadas para avaliação da erosão em bacias hidrográficas é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e os modelos hidrossedimentológicos, sendo a primeira ferramenta como a mais utilizada, devido a sua simplicidade e pequena quantidade de informações de entrada necessárias. Em contrapartida podem não representar a complexidade das bacias hidrográficas. No caso dos modelos hidrossedimentológicos, embora representem processos bastante complexos a sua maior dificuldade reside na adaptação de modelos internacionais a nossa realidade.

Dentre estes modelos destaca-se o AVSWAT pela sua atualidade, abrangência e ter sido utilizado a algum tempo por pesquisadores do NUMMARH – Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos.

Para validação dos resultados obtidos por modelagem e dados de campo, uma ferramenta importante é a realização da calibração tradicional dos modelos. Trata-se normalmente de um processo inverso de comparação e ajustes de parâmetros de saída do modelo e medidos em campo. No período de calibração, as entradas do modelo são variadas até que um ajuste aceitável é obtido. O modelo é então processado com os mesmos parâmetros de entrada para o período de validação e um ajuste é determinado (ARNOLD, 2000). Uma vez calibrados os parâmetros do modelo, este deve ser validado para situações semelhantes às que se quer aplicá-lo. Os resultados da verificação indicam se o modelo foi capaz de reproduzir a série de dados não usados em sua calibração. Deste modo, este trabalho caminha no sentido de calibração de modelo hidrossedimentológico para bacias hidrográficas do sul do estado de Minas Gerais.

O presente estudo teve o intuito de realizar a calibração e a validação do modelo AVSWAT, que foi usado para simular e quantificar a perda de solo na bacia por processos de erosão hídrica, na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, no município de Santa Rita do Sapucaí/MG.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo principal do presente trabalho é realizar a calibração do modelo AVSWAT utilizado na Bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha em Minas Gerais. Tal atividade será feita com ferramenta do referido modelo. Serão utilizadas algumas informações do trabalho de Pereira (2010).

### **2.1 Objetivos específicos:**

- Analisar e definir a metodologia de estimativa de vazão do Ribeirão Cachoeirinha;
- Definir os parâmetros a serem calibrados no modelo AVSWAT;
- Realizar a calibração do modelo AVSWAT aplicado no Ribeirão Cachoeirinha.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Bacia hidrográfica**

A bacia hidrográfica pode ser definida como unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d' água e limitada perifericamente, pelo chamado divisor de águas.

LINSLEY & FRANZINI, (1978) enfocam a bacia hidrográfica como uma área de drenagem a montante de uma determinada seção no curso de água da qual aquela área é tributária, sendo essa área limitada por um divisor de águas que separa duas bacias adjacentes que pode ser determinado nas cartas topográficas. As águas superficiais originárias de qualquer ponto da área delimitada pelo divisor saem da bacia passando pela secção definida pelo ponto mais baixo do divisor, por onde passa também, forçosamente, o rio principal da bacia. Em geral considera-se que o divisor das águas subterrâneas coincide com o das águas superficiais; entretanto essa coincidência não se verifica em todos os casos, e substancial parcela de água pode se escoar de uma bacia para outra, subterraneamente.

Porém, o conceito de bacia de drenagem como um sistema hidrogeomorfológico é mais amplo e define a bacia de drenagem como uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial.

A bacia pode desenvolver-se em diferentes tamanhos e podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias de drenagem, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu canal coletor.

Segundo MOLDAN E CERNY (1994), a microbacia, do ponto de vista hidrológico, pode ser considerada como a menor unidade da paisagem capaz de interagir todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d' água e paisagem circundante. Ambientalmente, pode-se dizer que a bacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas, tais como a ocupação das terras com as atividades agrícolas (JENKINS et al., 1994).

Definida desta forma, a bacia de drenagem comporta diferentes escalas, desde uma bacia de porte daquela drenada pelo rio Amazonas, até bacias com poucos metros quadrados que drenam para uma cabeceira de um pequeno canal erosivo. (COELHO NETTO, 2001)

Em função de suas características naturais, bacias hidrográficas têm se tornado importante unidade espacial utilizada para gerenciar atividades de uso e conservação dos recursos naturais, principalmente nas situações atuais de grande pressão sobre o ambiente em função do crescimento populacional e do desenvolvimento visando lucros imediatistas.

TUCCI (2001) afirma que a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente.

SANTOS (2004), afirma que o critério de bacia hidrográfica é comumente usado porque constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, onde as interações, pelo menos físicas, são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas. Este mesmo autor relata ainda que esta unidade territorial é entendida como uma "caixa preta", onde os fenômenos e interações podem ser interpretados, a priori, pelo input e output (entrada e saída de informações). Neste sentido, são tratadas como unidades geográficas, onde os recursos naturais se integram, constituindo-se numa unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização. Não há qualquer área de terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica e, quando o problema central é a água, a solução deve estar estreitamente ligada ao seu manejo e manutenção.

Para BALTOKOSKI (2008), o conceito de bacia hidrográfica ajuda a colocar em perspectiva muitos dos problemas e conflitos em torno de sua utilização e preservação. Por exemplo, as causas e as soluções da poluição da água não serão controladas olhando-se apenas para dentro da água, pois, geralmente, é o gerenciamento incorreto da bacia hidrográfica que destrói os recursos aquáticos. A bacia de drenagem inteira deve ser considerada como a unidade de gerenciamento.

### 3.2 Processos Hidrológicos

O ciclo hidrológico pode ser melhor entendido e estudado tomando como referência uma bacia hidrográfica de menor magnitude (microbacia experimental), onde os componentes possam ser devidamente estabelecidos por meio de monitoramento, para melhor entendimento da dinâmica da água (SILVA, MELLO, 2005). Na Figura 1 representa-se o ciclo hidrológico com seus componentes principais.

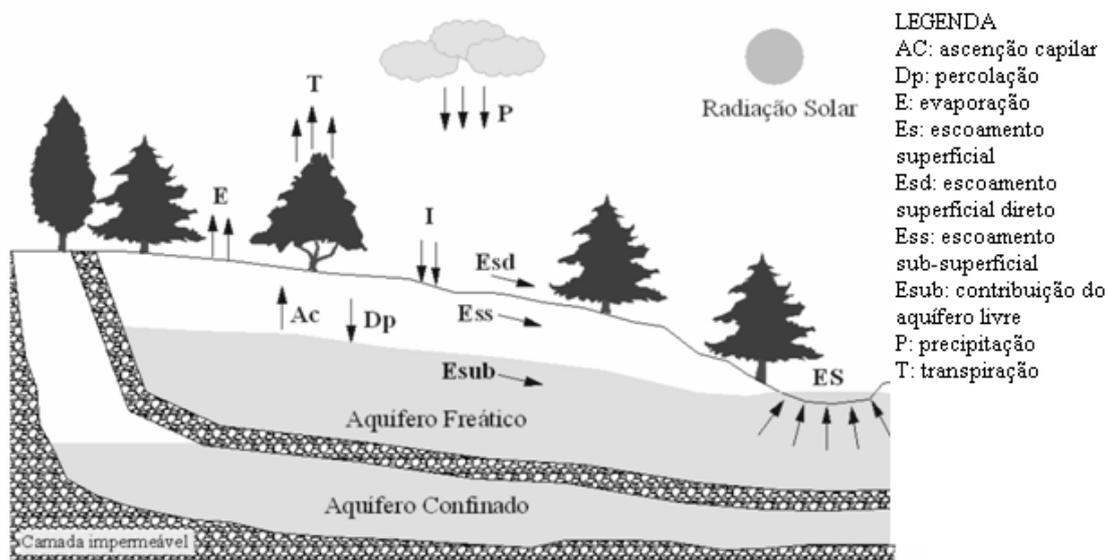


Figura 1 Representação dos componentes do ciclo hidrológico.  
Fonte: Adaptado de Viola (2008).

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (TUCCI, 2007).

O principal componente de entrada no ciclo hidrológico é a precipitação (P) sendo responsável direta pela capacidade de produção de água da bacia. Ao precipitar-se, parte da água pode ser retida pela cobertura vegetal, cuja quantidade depende das características da cobertura vegetal (índice de área foliar, IAF), retida pelas folhas, escorrer pelos troncos e atingir o solo ou sofrer evaporação direta, além da parcela que atinge diretamente os corpos hídricos.

Como lembra VIOLA (2008), da parcela da precipitação que atinge a superfície do solo, uma parte se infiltra (I), redistribuindo-se no perfil do solo e, dependendo das condições de umidade do solo, podem vir a percolar (Dp), promovendo a recarga do aquífero freático. Outra parcela, originada em situações onde a capacidade de infiltração é superada pela taxa de infiltração, escoam superficialmente, originando o escoamento superficial direto (Esd), que representa um dos constituintes do escoamento superficial (ES), restando ainda, uma contribuição do aquífero livre ao escoamento, denominado escoamento subterrâneo (Esub), e a parcela que escoam pela camada superficial do solo, insaturada, junto às raízes, denominado escoamento subsuperficial (Ess). Este mesmo autor relata ainda, que pode haver, em situações de estresse hídrico das camadas superiores do solo, uma contribuição secundária, denominada ascensão capilar (Ac), oriunda de um fluxo ascendente originado do lençol freático.

Para fechar o ciclo, a água absorvida pelas plantas e aquela presente no solo sofrem um processo conjunto conhecido como evapotranspiração, onde ocorre evaporação (E) da água direta do solo e transpiração (T) das plantas a partir de seus mecanismos fisiológicos. A evapotranspiração nada mais é que a transferência de água, na forma de vapor, para a atmosfera, mediante consumo de energia solar (SILVA, MELLO, 2005).

O ciclo hidrológico corresponde à dinâmica da água, compreendendo seus diferentes estados físicos (líquido, vapor e sólido), ocupando diferentes ambientes terrestres, tais como solo, atmosfera, leitos naturais de corpos d'água, montanhas e outros. Esta dinâmica pode ser analisada em diferentes escalas como, global, continental, bacias hidrográficas internacionais, bacias hidrográficas nacionais, bacias com área de drenagem de centenas de hectares e microbacias experimentais (PINTO, 2011).

Estes processos que ocorrem na bacia hidrográfica estão intimamente ligados à qualidade da água no corpo hídrico. Em cada etapa do ciclo hidrológico a água entra em contato e, naturalmente, incorpora em sua composição, elementos existentes na atmosfera, solos, vegetação e rochas. Desta forma, a água que escoam na superfície ou no subsolo passa a ter impurezas orgânicas, inorgânicas e também traços de alguns metais dependendo da região abordada. Tais substâncias caracterizam qualitativamente as águas naturais.

### **3.3 Processos hidrossedimentológicos**

A desagregação, movimento e deposição das partículas sólidas ocorrem devido à água, ao vento, à declividade da encosta e às correntes dos cursos d'água. Segundo CARVALHO (1994), a erosão hídrica é causada pelo escoamento superficial.

De forma geral, nas porções altas de uma bacia, há maior erosão e transporte de sedimentos. A erosão vai diminuindo da alta para a média bacia à medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, fora das regiões montanhosas. Na parte baixa da bacia há muita formação de colúvios, isto é, a maior parte dos sedimentos erodidos se distribui pelos terrenos. Vê-se, então, que a degradação dos solos predomina na alta bacia, enquanto a diminuição gradual predomina na parte baixa. (CARVALHO, 1994)

Em relação ao gradiente granulométrico existente nos cursos d'água de uma bacia hidrográfica, é possível observar que as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de tamanhos maiores, como pedras, pedregulhos e seixos. À medida que são transportados, esses materiais vão se fracionando, transformando-se em sedimentos de granulometria menor, passando à areia grossa, média e fina gradativamente a jusante. (CARVALHO 1994).

A erosão é um processo natural que pode ser intensificada principalmente, a agentes antrópicos. Segundo MOTA (1995), as práticas agrícolas inadequadas, a ocupação incorreta das áreas, alterações no escoamento natural das águas, movimentos de terra e impermeabilizações de terrenos são as principais causas da erosão acelerada.

O deslocamento dos sedimentos carregados pelo escoamento superficial e outros processos, embora esporádicos, “acabam provocando o remanejo e a redistribuição pela bacia de ponderáveis massas de partículas sólidas, a ponto de poderem, eventualmente, alterar o ciclo hidrológico e, certamente, afetar o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos” (BORDAS e SEMMELMANN, 2000).

A erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção (*detachment*) de partículas, e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos. Quando não há energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte, uma terceira fase acontece que é a deposição desse material transportado. Os processos resultantes da erosão pluvial estão intimamente relacionados aos vários caminhos tomados pela água da chuva, na sua passagem através da cobertura vegetal, e ao seu movimento na superfície do solo. (GUERRA, 2001).

De acordo com GUERRA (2001), o ciclo hidrológico é o ponto de partida do processo erosivo. Durante um evento chuvoso, parte da água cai diretamente no solo, ou porque não existe vegetação, ou porque a água passa pelos espaços existentes na cobertura vegetal. A ação das gotas da chuva diretamente, ou por meio de gotejamento das folhas, causa a erosão por salpicamento (*splash*). A água que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltra, aumentando a umidade do solo, ou abastece o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água, o excesso começa a se mover em superfície ou em subsuperfície, podendo provocar erosão, através do escoamento das águas. Essa água se infiltra no solo por meio da gravidade ou capilaridade e as taxas de infiltração podem variar bastante, em um mesmo local, em função de diferenças de estrutura ao longo do perfil, diferenças em graus de compactação e teor de umidade antecedente. (GUERRA, 2001).

O escoamento superficial ocorre durante um evento chuvoso, quando a capacidade de armazenamento da água no solo é saturada. Ele pode se dar caso a capacidade de infiltração seja excedida. O fluxo que escoar sobre o solo se apresenta, quase sempre, como uma massa de água com pequenos cursos anastomosados e, raramente, na forma de lençol de água, de profundidade uniforme. Esse fluxo de água tem que transpor vários obstáculos, que podem ser fragmentos rochosos e cobertura vegetal, os quais fazem diminuir sua energia. A interação entre o fluxo de água e as gotas de chuva que caem sobre esse fluxo pode aumentar ainda mais sua energia. (GUERRA, 2001). A quantidade de perda do solo, resultante do escoamento superficial, vai depender da velocidade e turbulência do fluxo. Igualmente importante é a distribuição espacial do fluxo.

Os processos resultantes da erosão pluvial estão intimamente relacionados aos vários caminhos tomados pela água da chuva, na sua passagem através da cobertura vegetal, e ao seu movimento na superfície do solo. (GUERRA, 2001).

De acordo com CUNHA (2001), a capacidade de erosão das margens e do leito fluvial, bem como o transporte e deposição da carga de sedimentos no rio dependem, dentre outros fatores, da velocidade da água, e a alteração das características do rio, modifica, de imediato, essas condições de transporte e deposição. As correntes fluviais podem transportar a carga sedimentar de diferentes maneiras (suspensão, saltação, e rolamento), de acordo com a granulometria das partículas (tamanho e forma) e as características da própria corrente (turbulência e forças hidrodinâmicas exercidas sobre as partículas).

A carga em suspensão constitui-se de partículas finas, silte e argila, que se conservam suspensas na água até a velocidade crítica, que corresponde à menor velocidade requerida para uma partícula de determinado tamanho movimentar-se. A carga do fundo é formada por partículas de tamanhos maiores (areia, cascalho ou fragmentos de rocha) que saltam ou deslizam ao longo do leito fluvial. A velocidade, nesse tipo de carga, tem participação reduzida, fazendo com que os grãos se movam lentamente. (CUNHA, 2001)

Os mecanismos dos processos erosivos básicos variam no tempo e no espaço, e a erosão ocorre a partir do momento em que as forças que removem e transportam materiais excedem aquelas que tendem a resistir à remoção. A espessura do solo pode estar relacionada ao controle das taxas de produção (intemperismo) e remoção (erosão) de materiais. Nas áreas onde os efeitos desses dois grupos de processos são iguais, há uma tendência de a espessura do solo permanecer a mesma ao longo do tempo. (GUERRA, 2005).

Segundo LOPES (2008) os processos hidrossedimentológicos são resultados da interação entre os processos hidrológicos e sedimentológicos. Sendo a água um dos principais geradores do desprendimento de partículas de rochas e solos que irão contribuir para a produção de sedimentos da bacia. VESTENA (2008) explica que os processos hidrossedimentológicos estão intimamente vinculados ao ciclo hidrológico e compreendem o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia hidrográfica.

Já o escoamento subsuperficial, segundo GUERRA (2001), afeta diretamente a erodibilidade dos solos, através de suas propriedades hidráulicas, influenciando o transporte de minerais em solução. Quando ocorre em fluxos concentrados, em túneis ou dutos, possui efeitos erosivos provocando o colapso da superfície situada acima, resultando na formação de voçorocas.

A quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, que escoam pelo canal principal de uma bacia hidrográfica em condições naturais, dependem do clima e das características físicas e biológicas dos ecossistemas que a compõem. A interação contínua e constante entre a litosfera, a biosfera e a atmosfera, acabam definindo um equilíbrio dinâmico para o ciclo da água, o qual define em última análise as características e as vazões das águas. (BALDISSERA, 2005).

Este equilíbrio depende:

- Das quantidades e da distribuição das precipitações em uma bacia hidrográfica;
- Do balanço de energia, pois a evaporação de um solo cultivado é determinada pela fração da radiação solar que alcança sua superfície e pela vegetação natural que cobre a área que controla o balanço de energia;
- Da infiltração da água, a evapotranspiração e a vazão final, pois dependendo da fase de desenvolvimento da vegetação ou da cultura a evaporação e a transpiração se alternam como processos predominantes;
- Dos fatores geomorfológicos que regulam o tempo de permanência da água que depende da inclinação das secções transversais e longitudinais da bacia hidrográfica e;
- Das formações geológicas que controlam o armazenamento da água no solo, no subsolo e determina o fluxo de base dos afluentes e do canal principal.

Segundo PAIVA & PAIVA (2003), a degradação das bacias hidrográficas pela ação antrópica, associada aos fenômenos naturais de precipitação, como os verificados nas regiões tropicais, resulta, em um intervalo de tempo, quantidades de solo (sedimento) que chegam aos rios e reservatórios, muito maiores que aquelas produzidas em centenas de anos em condições de equilíbrio natural.

Por isso, qualquer atividade antrópica que altere os fatores básicos que determinam o balanço hídrico, acaba por influir na disponibilidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Em uma escala local e regional, entre as ações antrópicas que podem alterar o balanço hídrico, destacam-se o desmatamento, a mudança do uso e ocupação do solo e a construção de barragens. (BALDISSERA, 2005).

Os rios naturais não conduzem somente água, mas também sedimentos e a taxa de sedimento transportada está intimamente relacionada com a forma e estabilidade do canal, e isso muitas vezes, infelizmente, não é levado em conta pela

engenharia. Por isso, é de fundamental importância, levar em consideração que a taxa de carga de sedimento transportado é uma variável a ser equacionada, em projetos de barragens, canais, reservatórios de acumulação ou qualquer obra hidráulica. A quantidade de sedimentos, disponível em toda a bacia hidrográfica, que a curto, médio ou longo prazo, total ou parcial chegará aos cursos d'água naturais e aos reservatórios, não pode ser desprezada no gerenciamento dos recursos hídricos.

Segundo XAVIER (2009), a quantidade de sedimentos transportada pelos rios, além de informar sobre as características e/ou estado da bacia hidrográfica, é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, seja para análise da viabilidade de utilização da água para abastecimento ou irrigação, ou para o cálculo da vida útil de reservatórios.

Infelizmente, no Brasil, devido aos custos elevados, a rede sedimentométrica é precária ou inexistente em algumas regiões. Portanto, quando é necessário conhecer o impacto da presença dos sedimentos em corpos d'água, utiliza-se de poucas medidas, não representativas, ou se utiliza processos de estimativas, tais como: equações de estimativas da perda de solo na bacia; ou de equações de transporte de sedimentos nos cursos d'água. (PAIVA & PAIVA, 2003).

### **3.4 Modelos hidrológicos**

#### **3.4.1 Conceito e classificação dos modelos hidrológicos**

A complexidade na dinâmica hidrossedimentológica de uma bacia hidrográfica torna a previsão dos processos hidrossedimentológicos impraticável. Porém através do monitoramento desses processos e adotando algumas leis empíricas e hipóteses, e com o auxílio da modelagem é possível simular cenários reais da dinâmica da bacia.

TUCCI (1998) define modelo como “a representação de algum objeto ou sistema, em uma linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas”.

O modelo hidrológico é uma ferramenta extremamente útil que permite, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1998). Entretanto, é impossível ou inviável traduzir todas as relações existentes entre os diferentes componentes da bacia hidrográfica em termos matemáticos. De fato, ou essas relações são extremamente complexas a ponto de

não existir uma formulação matemática capaz de descrevê-las completamente, ou apenas uma parte dos processos envolvidos nessas relações é parcialmente conhecida. Assim, na maioria dos casos, a modelagem hidrológica torna-se somente uma representação aproximada da realidade.

A bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam em uma única saída. A bacia pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia. Diversas abordagens podem ser consideradas na subdivisão da bacia a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas (RENNÓ & SOARES, 2000).

Um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem esta realidade. Os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso do solo e prever alterações futuras nos ecossistemas. (RENNÓ & SOARES, 2000).

Os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Comumente, os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos). (RENNÓ & SOARES, 2000).

Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório, ou seja, não é possível saber com certeza como irá se comportar. Caso os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante elaboração de um modelo, este será denominado determinístico, ou seja, o modelo segue uma lei definida que não é a lei da probabilidade.

Os modelos podem ser empíricos, quando utilizam relações baseadas em observações. Em geral, estes modelos são bastante simples e úteis no dia a dia. No entanto, são pouco robustos, uma vez que são específicos para aquela região para as quais as relações foram estimadas. Além disso, os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como, chuvas extremamente altas, mudança de uso do solo, etc. Os modelos podem ser também baseados em processos (modelos conceituais) e, em geral, são mais complexos

que os empíricos, uma vez que procuram descrever todos os processos que envolvem determinado fenômeno estudado (RENNÓ & SOARES, 2000).

Podem ser contínuos ou discretos: no primeiro caso, diz-se que é quando os fenômenos são contínuos no tempo enquanto no segundo caso, é quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos.

Os modelos podem ainda ser classificados como pontuais (concentrados ou agregados) ou distribuídos. Em modelos pontuais, considera-se que todas as variáveis de entrada e saída são representativas de toda área estudada. Por outro lado, os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial encontrada nas diversas variáveis do modelo. De maneira geral, alguma discretização do espaço é feita e conseqüentemente cada elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área. Modelos distribuídos mais realísticos consideram também a existência de relação espacial entre elementos vizinhos. (RENNÓ & SOARES, 2000).

Finalmente, os modelos podem ser estáticos quando, com um conjunto de dados de entrada produz-se um resultado oriundo da resolução das equações do modelo em um único passo. Já modelos dinâmicos utilizam o resultado de uma iteração como entrada para uma próxima iteração. (RENNÓ & SOARES, 2000).

Para MACHADO (2002), o modelo de simulação, de um modo geral, pode ser definido como a representação de um sistema através de equações matemáticas, ou seja, consiste em representar matematicamente o que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base nos dados de observação do sistema real, e que o objetivo de tal modelagem é então, compreender melhor o sistema e prever situações futuras, algumas vezes também reproduzir o passado, para direcionar as ações de decisão.

Dentre os tipos de modelos existentes na área de recursos hídricos, os matemáticos têm diversas aplicações, como a quantificação de processos do ciclo hidrológico na análise de qualidade das águas em rios, reservatórios, aquíferos subterrâneos, nos processos hidráulicos do escoamento da água em rios, mares e subsolo e nos modelos ambientais e meteorológicos. (NEVES, 2005).

NEVES (2005) define ainda que os modelos matemáticos de simulação permitem uma grande flexibilidade por possibilitarem que um sistema qualquer seja representado matematicamente em modelos computacionais, além de possibilitar a análise no nível de detalhamento requerido.

Para MINOTI (2006), os modelos permitem avaliar e compreender o comportamento de processos que possam indicar o aparecimento de impactos negativos. Muitas vezes permitem visualizar o comportamento futuro do sistema com a criação de cenários ainda não explorados em experimentos reais, alertando o pesquisador para novas alternativas de pesquisas futuras ou para testes mais direcionados, reduzindo gastos e esforços.

Ressalta-se que modelos hidrológicos e de qualidade da água vem sendo desenvolvidos para prever o impacto da agricultura na qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas, com a vantagem de que a aplicação de modelos reside na possibilidade do estudo de vários cenários diferentes, tais como os piores cenários possíveis e diferentes tipos de manejo e práticas conservacionistas, com baixo custo e de forma rápida.

No Brasil vários modelos vêm sendo aplicados com o objetivo de estimar as perdas de solo e o planejamento para fins conservacionistas, alguns adequando equações desenvolvidas no exterior para as características do local de uso das equações, para outras realidades de solos e uso e ocupação. Progressos importantes têm sido registrados com a união dos modelos de simulação com o geoprocessamento.

### **3.4.2 Aplicação dos modelos hidrológicos e hidrossedimentológicos**

O modelo hidrológico SWRRB (*Simulator for Water Resources in Rural Basins*, foi desenvolvido pela ARS (*USDA Agricultural Researchs Services*) para simulação e previsão de processos hidrológicos em bacias hidrográficas rurais. È bastante utilizado para prever os efeitos do uso e manejo do solo no volume de água escoada e produção de sedimentos.

MALDONADO et al. (2001) realizou a calibração e validação do modelo SWRRB em uma bacia de 2,67 ha na Guatemala encontrando em uma análise de regressão linear entre os dados observados e simulados, coeficientes de correlação 0,98 e 0,88, na calibração e validação respectivamente, do escoamento superficial. A partir dos bons coeficientes encontrados, foram gerados diferentes cenários para vinte anos de desenvolvimento na bacia, considerando alternativas para seu gerenciamento.

O AGNPS (*Agricultural Non-Point Source Model*) é modelo desenvolvido no começo dos anos 80 também pela ARS em cooperação com outras agencias ambientais

dos EUA. Foi largamente aplicado em todo mundo na investigação de vários problemas de qualidade da água (BOSH et al., 1998).

CHOWDARY et al. (2001), aplicou o modelo AGNPS em bacias hidrográficas com diferentes áreas, utilizando para sua calibração e validação dados observados de até três anos. Utilizou também técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto e todos consideraram um modelo apto na simulação do volume de escoamento, produção de sedimentos e qualidade da água (especialmente nutrientes).

Outro modelo bastante difundido é o WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). É um modelo desenvolvido para pequenas bacias hidrográficas baseado nos processos hidrológicos 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.

DUIKER, FLANAGAN e LAL (2001) aplicaram o modelo WEPP em uma bacia hidrográfica na região sul da Espanha com o objetivo de determinar as características da erodibilidade e da infiltração de cinco tipos de solos regionais, e concluíram que a perda de solo está altamente correlacionada com a quantidade de silte e areia fina, indicando que a erodibilidade desses solos é determinada por propriedades semelhantes a solos de mesma classe dos Estados Unidos. Contudo estes autores verificaram que a equação de erodibilidade entressulcos do modelo superestima a erodibilidade, indicando necessidade de desenvolver uma equação de erodibilidade para a região do Mediterrâneo.

BESKOW et al. (2009) relatam que o modelo WEPP é capaz de simular o clima, o crescimento vegetal e decomposição de resíduos vegetais, plantio direto, infiltração, balanço de água no solo, escoamento superficial, perda de solos, deposição e transporte de sedimentos para diferentes intervalos de tempo.

O LISEM (*Limburg Soil Erosion Model*) é outro modelo utilizado para simulação do comportamento hidrológico e transporte de sedimentos. É um modelo de base física que permite simular o comportamento hidrológico e o transporte de sedimentos durante e imediatamente após um evento único de chuva (BESKOW et al., 2009).

GOMES (2008) aplicou o modelo LISEM na bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, região do Alto Rio Grande MG, Brasil, com objetivo de calibrar e validar o modelo para alguns eventos de precipitação e sedimentos. O autor concluiu que o

LISEM apresenta alta sensibilidade ao conteúdo de umidade do solo antecedente aos eventos de precipitação, sendo este o principal parâmetro calibrado, e que o LISEM se mostra pouco confiável a simulações hidrológicas de eventos isolados de precipitação que utilizam diretamente os parâmetros de calibração obtidos de outros eventos, mesmo que de igual intensidade e volume precipitado. Constatou-se ainda que o LISEM não produziu resultados satisfatórios para eventos cuja intensidade de precipitação foi menor ou igual à capacidade de infiltração de água no solo, porém mostrou adequado quando aplicados a eventos de precipitação cuja intensidade superou os 30 mm h<sup>-1</sup>.

Segundo BESKOW et al. (2009), os processos incorporados no LISEM são: precipitação, interceptação, armazenamento de superfície em micro-depressões, infiltração, circulação vertical de água no solo, escoamento superficial e o fluxo do canal.

Os modelos hidrológicos e de qualidade da água têm se desenvolvido satisfatoriamente nos últimos anos. Atualmente existem modelos que tratam apenas de alguns processos hidrológicos como escoamento, chamado de modelos chuva-vazão e modelos que envolvem diversos processos como escoamento, transporte de sedimentos, crescimento vegetal, qualidade da água entre outros, os quais são mais complexos e envolvem um número maior de variáveis de entrada. (PINTO, 2011).

Dentre os modelos empíricos a Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) é a que possui maior divulgação em estudos de predição de perdas de solos (Wischmeier & Smith, 1978), principalmente pela facilidade de manejo de dados e baixo custo (Molnar & Julián, 1998; Sánchez, 2002; Silva et al., 2004).

A escolha do modelo a ser aplicado pelo usuário depende de diversos fatores como dados disponíveis, a capacidade de tal modelo representar as características do sistema em estudo, capacidade do usuário em operar o modelo, entre outros.

Um modelo bem conhecido é o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). O SWAT foi desenvolvido em 1996, nos EUA, pelo Agricultural Research Service na Texas A&M University. O SWAT incorpora grande parte dos avanços dos citados nos modelos citados anteriormente e objetiva prever o impacto do uso e manejo do solo sobre o ciclo hidrológico, transporte de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas.

Silva et al. (2005), avaliaram a perda de solo em sub-bacias hidrográficas da região de Descalvado a partir do modelo AVSWAT.

Silva et. al. (2006) realizaram trabalho para a estimativa de perda de solo com o uso do modelo AVSWAT para bacias da região de Luís Antônio – SP, 2006. Em tal trabalho, realizaram-se simulações com o referido modelo, estabelecendo-se cenários de perda de solos com diferentes coberturas .

### **3.5 Estudo do modelo AVSWAT**

O modelo SWAT foi desenvolvido pelo serviço de pesquisa agrícola – ARS, dos Estados Unidos, no Texas, para prever o impacto de mudanças no uso do solo para a água e sedimentos. Ele requer informações específicas sobre solos, topografia, clima e práticas de uso do solo dentro da bacia. O SWAT é uma ferramenta proveitosa, porque as bacias podem ser modeladas sem que haja nenhum dado monitorado. E também pode simular grandes bacias em um tempo relativamente curto. (SRINIVASAN & ARNOLD, 1994).

Para DI LUZIO (2000), o modelo AVSWAT foi concebido para ajudar gestores de recursos hídricos. O AVSWAT melhora a eficiência da análise da avaliação de poluição pontual e não pontual e seu controle em escala de bacia hidrográfica.

Vários modelos físicos de parâmetros distribuídos têm sido modificados e utilizados, no Brasil e ao redor do mundo, para prever o escoamento superficial, a erosão e o transporte de sedimentos e nutrientes em bacias hidrográficas submetidas a diferentes manejos. Entre esses modelos, o “*soil and water assessment tool*” (SWAT), é o mais recente, utilizado com sucesso na simulação do escoamento, das cargas de sedimentos e da qualidade da água em bacias hidrográficas. MINOTI, (2006).

O SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base no relevo, solos e uso do solo e, desse modo, preserva os parâmetros espacialmente distribuídos da bacia inteira e as características homogêneas dentro da bacia. Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológicas (Hydrologic Response Units – HRU`s), de modo a refletir as diferenças de tipos de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo, sendo possível a subdivisão de centenas à milhares de células, cada célula representando uma sub-bacia.

A utilização de sub-bacias pode ser particularmente benéfica quando diferentes áreas da bacia são dominadas por solos ou usos diferentes, o que resulta em diferenças nas suas características hidrológicas.

A interface ArcView/SWAT, possibilita a entrada de arquivos no modelo para serem gerados, como criar arquivos de entrada usando os grids e as tabelas do ArcView, e a saída de arquivos para serem analisados usando as capacidades espaciais do ArcView, como exibir os resultados usando tabelas, gráficos e mapas do ArcView.

Algumas características do modelo SWAT podem ser levadas em contas, de acordo com ARNOLD et.al (1998) & NEITCH et. al (2002):

- O modelo requer informações específicas sobre o clima, as propriedades do solo, a topografia, a vegetação e as práticas de manejo do solo que ocorrem na bacia hidrográfica. Os processos físicos associados ao movimento da água, movimento dos sedimentos, crescimento de culturas, ciclagem de nutrientes, entre outros, são diretamente modelados pelo modelo utilizando esses dados de entrada. Os aspectos positivos dessa característica do modelo, é que bacias hidrográficas sem dados de monitoramento também podem ser modeladas;
- É computacionalmente eficiente, podendo simular extensas bacias hidrográficas sem gastos excessivos de tempo;
- É um modelo contínuo capaz de simular os efeitos das mudanças no uso e manejo do solo em longos períodos de tempo. Em alguns processos, os resultados apenas são obtidos após a simulação de décadas;
- O modelo não requer calibração caso não existam informações disponíveis e de qualidade (a calibração não é possível em bacias hidrográficas não instrumentadas).

NEITSCH et al. (2005) relatam que o modelo SWAT é o resultado da incorporação de vários modelos desenvolvidos pelo *Agricultural Research Service* (ARS) e uma evolução direta da união dos simuladores *Simulator for Water Resources in Rural Basins*.

Outro fato importante a ser destacado, é que desde a criação do SWAT, na década 90, o modelo tem sido continuamente aprimorado, resultando em novas versões do simulador, com rotinas específicas principalmente na simulação da qualidade da água. Entre as versões já testadas e aprovadas destacam-se: SWAT 94.2, SWAT 96.2, SWAT 98.1, SWAT 99.2, SWAT 2000 e SWAT 2005, versão esta adotada para os estudos deste trabalho. As melhorias mais significativas do modelo, entre as versões, podem ser encontradas na documentação teórica do modelo, escrito por Neitsch et al. (2005). Além dessas modificações, foi desenvolvido também, uma interface em

ambiente Windows para atuar como ferramenta do software ArcGis (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, 1998). Ao utilizar a interface com o ArcGis o simulador recebe o nome de ArcSWAT. Diferentes versões do ArcSWAT são disponibilizadas gratuitamente compatibilizando-as com as versões do ArcGis adotadas pelo usuário.

Utilizando a classificação proposta por TUCCI (2005), descrita anteriormente, Garrido (2003), identificou o SWAT como um modelo de simulação matemática contínuo, semidistribuído, determinístico e semiconceitual.

Segundo NEITSCH et al. (2005), ao invés de trabalhar com equações de regressão, para descrever o relacionamento das variáveis, o modelo SWAT requer informações específicas sobre a qualidade da água, propriedades do solo, topografia, vegetação e práticas de manejo que ocorrem na bacia. Fisicamente o processo é associado ao movimento de água, movimento de sedimentos, crescimento de plantas, ciclagem de nutrientes, os quais são diretamente modelados pelo SWAT.

O SWAT é baseado em uma estrutura de comandos para propagar o escoamento, sedimentos e agroquímicos através da bacia. Os maiores componentes do modelo incluem hidrologia, clima, sedimentos, temperatura do solo, crescimento de plantas, nutrientes, pesticidas e manejo agrícola. O componente hidrológico do modelo inclui sub-rotinas de escoamento superficial, percolação, fluxo lateral subsuperficial, fluxo de retorno do aquífero raso e evapotranspiração. O modelo requer dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar e umidade relativa ((NEITSCH et al., 2005).

O modelo é então composto pelos seguintes elementos: i – Clima: possibilita a geração estocástica de dados climáticos através de um algoritmo baseado na cadeia de Markov para uma localidade específica, tais como precipitação, temperatura, velocidade do vento e radiação solar; ii – Hidrologia: calcula infiltração, movimento da água no solo, umidade relativa, balanço hídrico diário, fluxo subsuperficial lateral, escoamento superficial e retorno do fluxo; iii – Crescimento das plantas: simula as mudanças temporais das plantas e resíduos, tais como altura da copa, profundidade da raiz e biomassa produzida pelas plantas; iv – Solos: requer parâmetros físicos (profundidade do perfil e horizontes, textura, entre outros) e hídricos como condutividade hidráulica e disponibilidade de água por horizonte; v – Processo de erosão/sedimentação: governado pela MUSLE (Equação de Perda Universal de Solo Modificada) que utiliza o escoamento para simular a erosão e produção de sedimentos; vi – Nutrientes e

pesticidas: o modelo simula o comportamento para a variável encosta e a propagação no canal fluvial; vii – Manejo: permite que o usuário indique o tipo, início e fim do manejo para que o modelo possa simular sua variação temporal e viii – Irrigação: item opcional que está inserido no modelo (DURÃES, 2010).

O seu sistema hidrológico é composto por quatro volumes: (1) reservatório superficial; (2) reservatório subsuperficial; (3) reservatório subterrâneo – aquífero raso; (4) reservatório subterrâneo – aquífero profundo. A contribuição destes reservatórios para o escoamento superficial provém do escoamento lateral a partir do perfil do solo e do escoamento de retorno do aquífero raso. O volume que percola do reservatório subsuperficial, através do perfil do solo, representa a recarga do aquífero raso. A água que percola para o aquífero profundo não retorna para o sistema (MACHADO, 2002). Nas figuras 2 e 3 pode-se visualizar os processos representados pelo modelo SWAT.

Como relatado por GARRIDO (2003) o SWAT é um modelo semidistribuído e permite a divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias, as quais podem ser parametrizadas pelo modelo usando uma série de unidades de resposta hidrológica (*Hydrologic Response Units* – HRUs). Essa discretização permite ao modelo refletir diferenças na cobertura vegetal, tipos de solo, topografia uso atual do solo.

Essas HRUs são partes da sub-bacia que possuem uma única combinação de uso do solo/solo/manejo. Uma ou mais combinações de uso do solo/solo podem ser criadas para cada sub-bacia. Subdividir a bacia em áreas contendo combinações únicas possibilita ao modelo refletir diferenças na evapotranspiração e outras condições hidrológicas para diferentes usos e solos. O escoamento é calculado para cada HRU e propagado para obter o escoamento total para a sub-bacia. Isso pode aumentar a precisão das predições e fornecer uma melhor descrição física do balanço de água na bacia (ARNOLD et al., 1998).

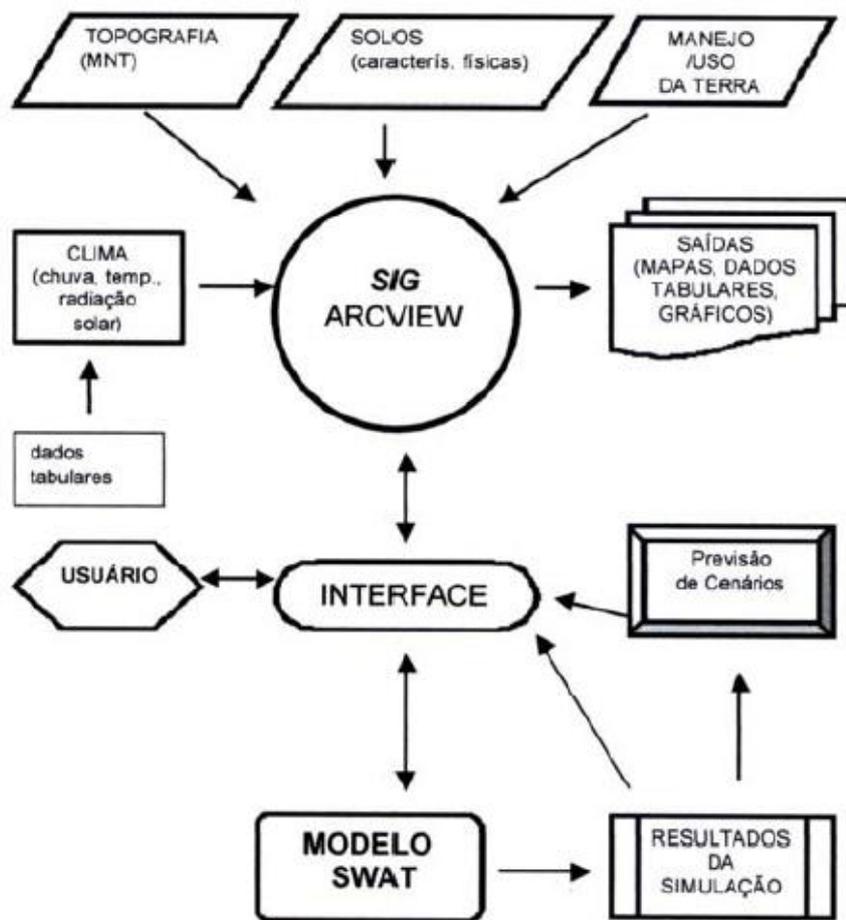


FIGURA 2: Processo de funcionamento do AVSWAT.  
 Fonte: MACHADO (2002)

### 3.6 Algumas aplicações de simulação e calibração do modelo AVSWAT

O SWAT é um modelo que gradualmente vem ampliando suas fronteiras no ambiente científico, pois possui um perfil de modelagem que engloba diversos componentes hidrológicos, tornando-o um modelo versátil para auxiliar órgãos públicos na tomada de decisão diante de situações conflitantes do uso do solo que resultam em intensos processos de degradação (CHU et al., 2005).

Serão apresentados neste item, algumas aplicações do modelo AVSWAT, no Brasil e no mundo, envolvendo simulações de vazões, transporte de sedimentos e qualidade da água.

FOHRER et.al (1999), aplicaram o SWAT a dois distintos cenários de uso e ocupação do solo para a região da Alemanha, a fim de simular o efeito sobre o balanço

hídrico. Em comparação com os outros estudos feitos na região com a utilização de outros modelos, e o uso dos mesmos cenários, os resultados foram satisfatórios.

BENITES, et.al (2000), utilizaram o modelo SWAT na bacia do rio “El Tejocote”, localizada em Atlacomulco, no México, com a finalidade de comparar os valores simulados e observados da produção de água, sedimentos, consumo médio e biomassa durante o período de 1980 a 1985, chegando a resultados satisfatórios.

PAPAGALLO et.al (2003), encontraram resultados de qualidade de água compatíveis entre os simulados pelo SWAT e os dados observados na Bacia Hidrográfica de Celone Creek a sudoeste da Itália, concluindo como sendo de grande importância o modelo SWAT para avaliar impactos do uso do solo e especialmente de poluição difusa.

MOLINA (2005), utilizou o AVSWAT aplicado à bacia do rio Chama, na Venezuela, com o objetivo de comprovar o comportamento do modelo, em relação à produção de água e regimes hídricos utilizando a simulação para um período de 7 anos, e compará-los com os resultados observados.

ABRAHAM et al. (2007), testaram o modelo em bacias hidrográficas tropicais, a fim de ser capaz de explicar os processos hidrológicos para as condições etíopes. Os resultados mostraram que o SWAT foi capaz de simular bem as características hidrológicas da bacia do Rio Meiki, na África.

YAYA (2007) utilizou o modelo com o objetivo de avaliar e quantificar os rendimentos de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Root, afluente do rio Mississipi, EUA, e sugerir alguns cenários para reduzir as cargas de sedimentos e poluentes. Foram simulados para três tipos de cultura, alfafa, milho e soja. O modelo revelou que a cultura de milho foi a que mais demonstrou perda de sedimentos na bacia.

Silva et al. (2007) estimaram a produção de sedimentos usando dois modelos de perdas de solo acoplados em um SIG, um de base empírica a EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978), e outro de base física o KINEROS – Kinematic Runoff-Erosion Model (WOOLHISER et al., 1990). Este estudo teve como objetivo avaliar a aplicabilidade desses modelos em bacias hidrográficas na costa litorânea do Nordeste do Brasil. Os resultados obtidos em ambos os modelos foram considerados satisfatórios para a bacia estudada.

PANDEY et.al. (2009), fizeram uma investigação para identificar as sub-bacias críticas para o desenvolvimento do melhor plano de gestão para uma pequena bacia hidrográfica do Leste da Índia utilizando um modelo hidrológico, a saber, AVSWAT

2000. Um total de 180 combinações de diferentes tratamentos de gestão, incluindo as culturas (arroz, milho e soja, amendoim), plantio direto e adubos foram avaliados. O trabalho revelou que o arroz, por exemplo, não pode ser substituído por outras culturas como o amendoim e milho, por exemplo, pois estas outras culturas, devido às práticas de preparo do arado, geram um impacto maior no desprendimento de sedimentos.

CHIANG et al. (2010) avaliaram os impactos causados pela pastagem na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Lincoln, noroeste de Arkansas, EUA, através do modelo SWAT. Esta é uma das 13 bacias do CEAP (*Conservation Effects Assessment Project*), programa ambiental onde os órgãos americanos estão aplicando as BMPs para promover uma melhoria na qualidade da água. Dados de uso do solo de 1992 a 2004 foram utilizados na avaliação. Os resultados mostraram que alterações no uso do solo de vegetação nativa para pastagens propiciaram um aumento de 499 kg.ha<sup>-1</sup> de sedimentos e de 3,99kg.ha<sup>-1</sup> nas cargas de nitrato. Os autores concluíram que os impactos na alteração do solo e as práticas conservacionistas devem ser quantificadas para se ter uma imagem verdadeira do sucesso do programa CEAP nas bacias, pois desde sua implantação em 1992 na bacia do rio Lincoln, as alterações do uso do solo vem ocorrendo gradativamente a cada ano sem serem quantificadas.

No Brasil, OLIVEIRA (1999) aplicou o modelo SWAT na bacia hidrográfica do rio Joanes, na Bahia, com área de aproximadamente 755 km<sup>2</sup>, para avaliar as alterações hidrossedimentológicas provocadas pelos diferentes usos do solo. A Autora concluiu que a redução da vegetação nativa e o aumento da urbanização incrementaram as perdas de solo em aproximadamente 17% em 13 anos de simulações. Dessa forma, os resultados obtidos permitiram avaliar de forma quantitativa os efeitos da alteração no uso do solo devido à substituição da vegetação nativa por outras, bem como os efeitos da urbanização na bacia hidrográfica.

MACHADO (2002) e Machado, Vettorazzi e Xavier (2003), utilizaram o modelo SWAT para simular cenários alternativos de uso do solo na micro-bacia do ribeirão Marins em Piracicaba (SP) obtendo uma redução na produção de sedimentos pela bacia de 10,8% no cenário 1, quando foram respeitadas as áreas de preservação permanente nas margens de rios e em lagoas e uma redução de 94% no aporte de sedimentos no cenário 2, quando a área de pastagem foi substituída por vegetação nativa, mostrando dessa forma a necessidade de se tratar a paisagem de uma bacia num aspecto global, identificando as áreas sensíveis, onde são necessárias práticas de controle dos processos erosivos.

GARRIDO (2003) utilizou o modelo AVSWAT para avaliação das consequências das alterações no uso da terra e construção de represas nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do Rio Joanes, estado da Bahia repercussões na zona costeira, utilizando a versão SWAT 96.2.

MORO (2005) utilizou o SWAT para avaliar a produção de sedimentos e o volume de escoamento superficial em uma micro bacia na região de Piracicaba, SP. Os resultados encontrados mostram-se satisfatórios indicados pelo alto COE (0,90) na simulação do volume de escoamento superficial. Na produção de sedimentos o modelo também apresentou bons ajustes visto que o COE encontrado foi de 0,83, concluindo que o modelo SWAT é capaz de simular escoamento e sedimentos mesmo quando aplicados à pequenas bacias hidrográficas.

BALDISSERA (2005) aplicou o modelo SWAT na bacia hidrográfica do rio Cuiabá, Mato Grosso, com intuito de simular as vazões médias mensais. A autora utilizou 5 postos fluviométricos instalados ao longo do rio Cuiabá para a calibração e validação do modelo e o período de 1994 a 1998 e 1999 a 2001 para calibração e validação respectivamente. Apesar do COE indicar valores abaixo de 0,5 na maioria dos postos de observação (3), a autora concluiu que em 2 postos o modelo foi adequado (COE=0,71) e que o modelo é uma ótima ferramenta de gestão dos recursos hídricos.

NEVES (2005) estimou a produção de sedimentos relacionando-os com dejetos de animais e potencial contaminação dos corpos aquáticos nas diversas áreas da microbacia do Rio Bonito, em Descalvado, Estado de São Paulo. Nesse estudo foi levado em conta a concentração e a distribuição local de granjas, visto ser uma atividade marcante na região, considerando o manejo dos dejetos e as práticas agrícolas de cada área.

O modelo SWAT foi aplicado por UZEICA (2009) em uma bacia hidrográfica rural no município de Arvorezinha, RS, com objetivo de avaliar a produção de sedimentos sob 3 condições de uso e manejo do solo. Os resultados mostraram não haver diferença no volume de escoamento superficial entre os cenários adotados e uma redução de até 30 % do aporte de sedimentos, quando o cenário foi o cultivo mínimo, comparando com o sistema convencional.

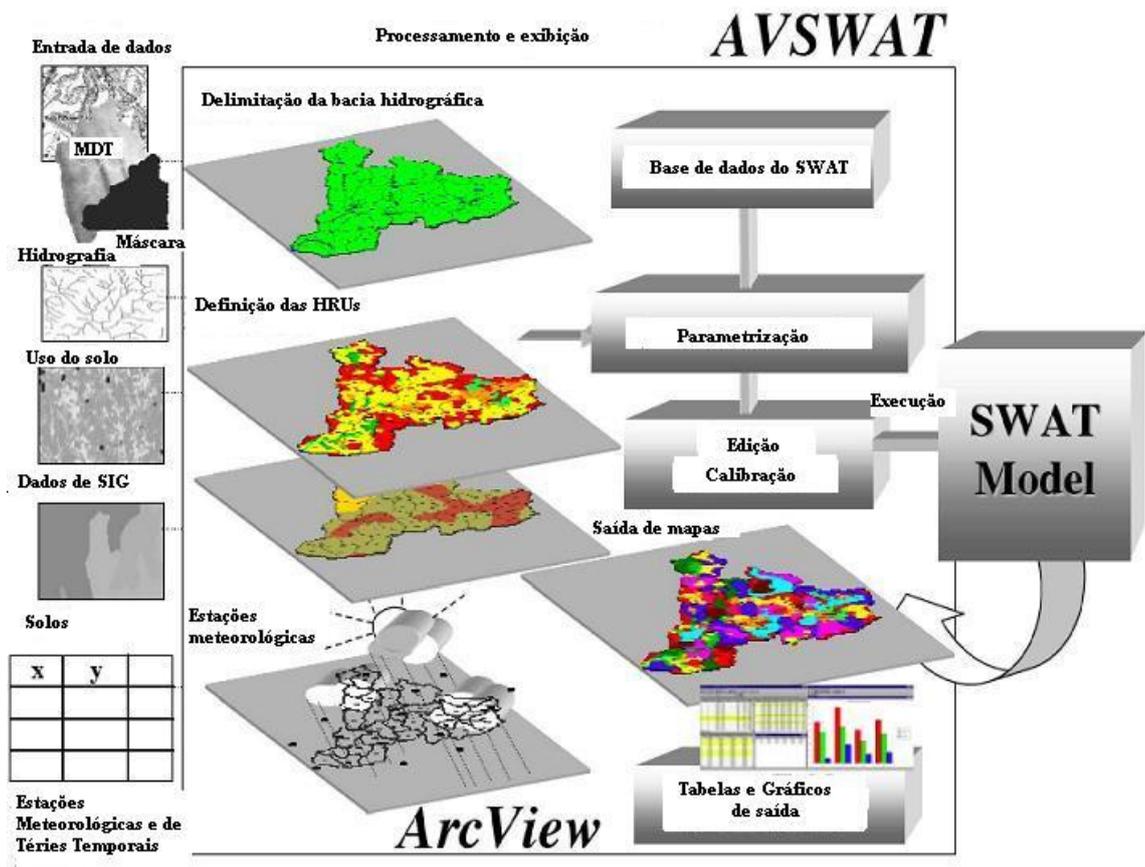


Figura 3: Esquema do funcionamento do AVSWAT, DI LUZIO, 2002

### 3.7 Parâmetros Climáticos

Segundo PEREIRA (2010), Para a alimentação do modelo com os dados climáticos, estes dividem-se em dois tipos: dados diários e dados mensais. Os dados diários utilizados são as médias diárias ou somas diárias relacionadas aos seguintes fatores: precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e umidade relativa do ar.

Já os dados mensais utilizados são médias (do respectivo mês) referentes a todos os anos simulados. As variáveis climáticas solicitadas pelo modelo são: localização geográfica da estação, altitude, número de anos dos dados acumulados, média mensal de temperatura máxima diária (TMPMX), média mensal de temperatura mínima diária (TMPMN), desvio padrão para a temperatura máxima diária de cada mês (TMPSTDMX), desvio padrão para a temperatura mínima diária de cada mês (TMPSTDMN), média mensal da precipitação total (PCPMM) desvio padrão para a precipitação diária do mês (PCPSTD), probabilidade de dia úmidos seguidos de dias

secos para o determinado mês (PR\_W1), probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos para o determinado mês (PR\_W2), média mensal de dias de precipitação (PCPD), valor máximo de meia hora de chuva em todo o período de registros de um determinado mês (RAINHHMX), média de radiação solar diária para um determinado mês (SOLARAV), média diária do ponto de orvalho para determinado mês (DEWPT), média diária da velocidade do vento para determinado mês (WNDV).

### **3.7.1 Parâmetros de Solo**

O banco de dados requer informações das características físico-hídricas de cada classe de solo, como grupos de saturação ou hidrológico (HYDGRP), profundidade máxima de solo que a raiz alcança (SOL\_ZMX), porosidade (ANION\_EXCL), profundidade da camada (SOL\_Z), densidade aparente (SOL\_BD), capacidade de água disponível no solo (SOL\_AWC), condutividade hidráulica saturada (SOL\_K), erodibilidade (USLE\_K), albedo, sendo este relativo à parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal (SOL\_ALB), conteúdo de carbono orgânico (SOL\_CBN), e, percentagem de argila, silte, areia e seixo (PEREIRA, 2010).

### **3.7.2 Unidades de Resposta Hidrológica HRU's**

Para o propósito de modelagem, a bacia é dividida em sub-bacias. Cada sub-bacia pode ser parametrizada pelo SWAT usando uma série de Unidades de Resposta Hidrológicas, as quais correspondem a uma única combinação de uso da terra e do solo. Uma ou mais combinações de uso da terra/solo podem ser criadas para cada sub-bacia. Subdividir a bacia em áreas contendo combinações únicas possibilita ao modelo considerar diferentes condições hidrológicas para diferentes usos e solos. O escoamento é calculado para cada HRU e propagado para obter o escoamento total para a sub-bacia.

O modelo fornece duas opções de distribuição de HRU's:

- *Dominant* HRU: em cada sub-bacia, a combinação uso do solo e o tipo de solo que apresentarem maior extensão, é considerado para toda a área da sub-bacia, e os demais tipos serão descartados;
- *Multiple* HRU's: múltiplos HRU's serão estabelecidos. Serão criados várias combinações de usos e tipos de solos para cada sub-bacia gerada, de acordo com o nível de sensibilidade escolhida pelo usuário do programa.

A elaboração das HRU`s envolve dois passos: primeiro os usos do solo das sub-bacias são identificados. Uma vez que esses usos a serem modelados forem determinados, os diferentes tipos de solos são selecionados. Dessa forma, cada HRU estabelecida apresentará uma combinação única entre um tipo de uso do solo com um tipo de solo, caso a escolha seja a “*Dominant HRU*”.

Para as simulações realizadas nesse trabalho, optou-se pelo estabelecimento das múltiplas HRU`s para evitar a perda ou alteração das informações reais relacionadas aos usos do solo e aos tipos de solos que são encontrados.

### 3.7.3 Parâmetros de Uso do Solo

O modelo requer uma reclassificação quanto às feições de uso encontradas na bacia, pois pode-se encontrar mudanças quanto ao uso e ocupação, principalmente no que diz respeito ao ciclo de cultura, queimadas, desmatamentos, dentre outros. Neste caso, o modelo oferece em seu banco de dados, opções sobre os mais variados usos do solo, e apresenta em seu padrão, dados referentes aos respectivos usos (PEREIRA, 2010).

A Tabela 1 apresenta a adaptação dos usos do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha-MG (BHRC), de acordo com o banco de dados oferecido pelo modelo AVSWAT (PEREIRA, 2010).

Tabela 1 - Adaptação dos usos do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha-MG

<b>Adaptação dos usos do solo na BHRC</b>		
<b>Uso do solo/ EUA</b>	<b>Adaptação/BHRC</b>	<b>Área em Ha</b>
Agricultural Land-Close-grown - AGRC	Solo Exposto	40.8923
Forest-Deciduous - FRSD	Mata	654.7392
Agricultural Land-Generic - AGRL	Agricultura	1144.2151
Pasture - PAST	Pasto	1287.0669
Water - WATR	Água	0.3643
Residential-Med/Low Density - URML	Área Construída	2.8397

### 3.7.4 Curva Número

Desenvolvida pelo Serviço de Conservação dos Solos (*Soil Conservation Service* – SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture* – USDA) a curva número (CN) é um parâmetro utilizado para o cálculo do escoamento superficial, descrevendo o tipo de solo, sua utilização e condição de superfície no que diz respeito à potencialidade de gerar escoamento superficial.

O CN é um método baseado em dados da relação entre intensidade de chuva, condições da superfície da terra, e volume do escoamento superficial sendo o valor do CN uma função do uso e ocupação do solo, das condições hidrológicas, do grupo hidrológico do solo e condições de umidade inicial do solo.

O SCS obteve curvas que correlacionam a precipitação com o escoamento de várias sub-bacias dos E.U.A.. Para a padronização dessas curvas, números adimensionais foram estabelecidos, as chamadas Curvas de Número ou CN's.

O valor de CN está compreendido entre 0 e 100, correspondendo a zero para uma bacia de condutividade hidráulica infinita e o cem a uma bacia totalmente impermeável.

As tabelas com os valores de CN com relação ao uso e ocupação do solo e do grupo hidrológico utilizados pelo modelo podem ser encontradas no manual do SWAT - 2000, (NEITSCH, 2002).

Para a utilização do modelo matemático AVSWAT, foram necessários os seguintes componentes computacionais:

- Programa ArcGis, desenvolvido pela ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, versão 9.2;
- Programa ArcView 3.2, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*);
- Extensões ArcView : ArcView *Spatial Analyst* Versão 1.1 e ArcView *3D Analyst* Versão 1.0;
- Interface ArcView/ SWAT- *Soil and Water Assessment Tool*, Versão 2000, desenvolvido pelo Blackland Research Center da Texas Agricultural Experiment Station e USDA Agriculture Research Service.

### **3.7.5 ArcView 3.2**

O ArcView é um programa de GIS produzido pelo Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). Um GIS é um sistema automatizado usado para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-los.

A manipulação das informações no ArcView está organizada em projetos. Quando o programa é aberto, apresenta-se uma janela de gerenciamento de projetos (sem título) que permitem a abertura ou manipulação de documentos existentes.

O ArcView GIS pode ler informações que se encontram em vários formatos: coverages (formato nativo do software ARC/INFO), shapefiles (formato nativo do ArcView), tabelas dBASE, text files ou desenhos CAD ( para acesso a desenhos CAD, é necessária a instalação da extensão CAD reader).

O ArcView suporta os seguintes formatos de imagem: TIFF, TIFF/LZW, ERDAS, BSQ, BIL, BIP, RLC e Sun rasterfiles. As imagens podem incluir imagem de satélite, fotografia aérea ou dados scaneados, normalmente usados com fundo ou base dos mapas. Para estabelecer a Interface ArcView/ SWAT- *Soil and Water Assessment Tool*, Versão 2000, desenvolvido pelo Blackland Research Center da Texas Agricultural Experiment Station e USDA Agriculture Research Service, foram utilizadas as Extensões ArcView : ArcView *Spatial Analyst* Versão 1.1 e ArcView *3D Analyst* Versão 1.0.

### **3.7.6 O SIG idrisi Andes**

O software Idrisi Andes é um Sistema de Informação Geográfica para processamento de imagens desenvolvido em 2006 pelo Departamento de Geografia da Clark University, nos Estados Unidos. Refere-se a 15ª edição, contendo atualizações quanto as edições do software Idrisi desde 1987 (EASTMAN, 2006).

Este software integra funcionalidades direcionadas às aplicações em SIG e também ao processamento de imagens, possuindo 250 módulos que permitem a análise, processamento e visualização de diversos tipos de dados (EASTMAN, 2006).

As ferramentas de planejamento territorial, suporte a tomada de decisão e análise de áreas de risco operam conjuntamente com ferramentas de estatística espacial, análise de superfície e modelagem espacial, sendo fornecidos de forma padrão, sem a necessidade de adquirir módulos adicionais (EASTMAN, 2006).

Esta versão do programa Idrisi inclui ferramentas especiais visando ao monitoramento ambiental e manejo de recursos naturais, incluindo a modelagem de mudanças no uso do solo; análise de séries temporais, multi-critério e multi-objetivo; modelagem de simulação; análise de risco; superfície de interpolação, caracterização estatística, entre outras.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Considerações iniciais**

Este capítulo visa descrever os procedimentos para obtenção dos dados e informações necessárias ao presente trabalho, bem como descrever os procedimentos para a construção da base cartográfica da área de estudo, o levantamento e a elaboração dos dados de entrada do modelo AVSWAT2000 e sua manipulação, utilizando para tanto, informações de PEREIRA (2010). Visa também descrever os parâmetros definidos para calibração do modelo.

### **4.2 Localização da área de estudo e obtenção dos mapas**

A Figura 4 ilustra a localização do município de Santa Rita do Sapucaí, dentro do Estado de Minas Gerais. Percebe-se que o município de Santa Rita do Sapucaí, faz divisa com os municípios de Natércia, Cachoeira de Minas e Piranguinho. Destaca-se a bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha – MG, que posteriormente foi escolhida como objeto de estudo para as simulações no modelo AVSWAT. (PEREIRA, 2010).

Vale salientar que a área de estudo, a bacia hidrográfica do ribeirão cachoeirinha, abrange os municípios de Santa Rita do Sapucaí e Cachoeira de Minas.

Suas coordenadas são em UTM 427339 N e 7534878E e em Geográfica 22° 17' 24,8" S e 45° 42' 19,3" W no Datum WGS84.

Segundo PEREIRA (2010), o conjunto de bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí está localizada no setor meridional ou sul do Planalto da Serra da Mantiqueira, com vales estruturais e dissecação em cristas e escarpas longas, seu relevo é entalhado em rochas proterozóicas do Complexo Paraisópolis, granitizadas no ciclo brasileiro. Possui clima tropical de altitude, que se caracteriza por apresentar duas estações bem definidas: verões chuvosos e invernos secos. Com um índice pluviométrico situado entre 1.300 mm e 1.700 mm, a estação seca nesta região estende-se de maio a setembro, sendo julho o mês mais seco. A estação chuvosa estende-se de setembro a março, sendo janeiro o mês mais chuvoso. As temperaturas mais elevadas predominam de setembro a março, também atingindo

máximo em dezembro e janeiro. As temperaturas mais baixas podem ser medidas de maio a agosto, atingindo o mínimo em junho e julho.

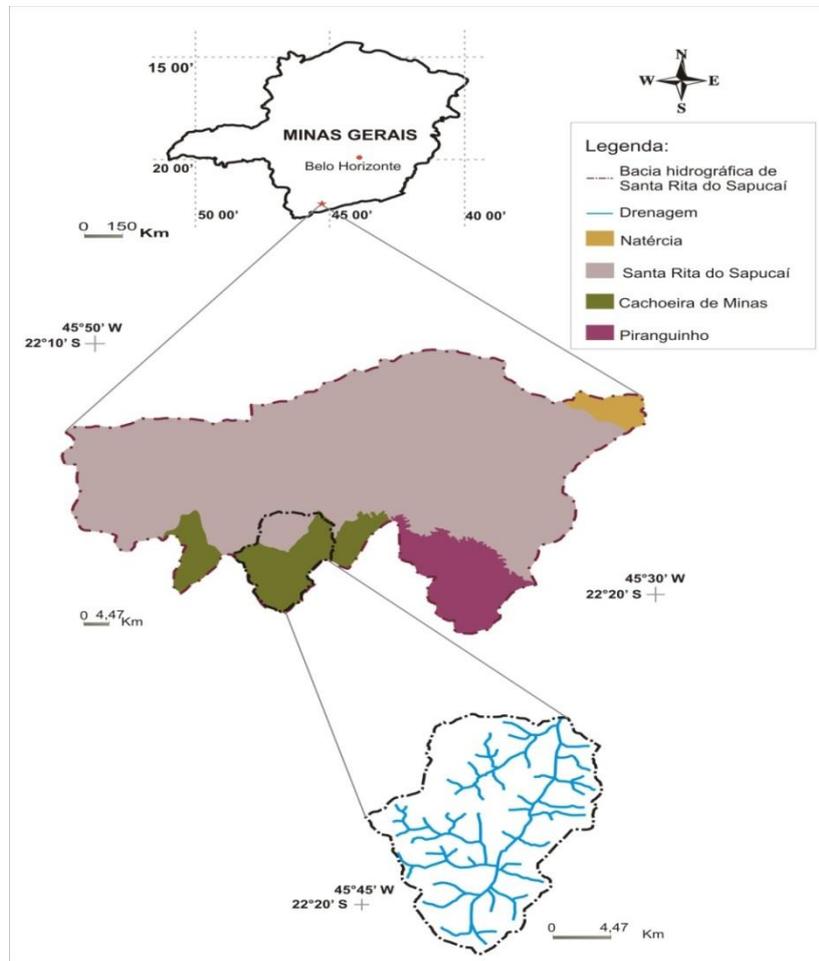


Figura 4 – Localização da área de estudo no conjunto de bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí-MG. Pereira e Paes (2009)

#### 4.2.1 Materiais para a confecção dos mapas

Segundo PEREIRA (2010), O modelo digital do terreno com hidrografia inserida, mapa de uso do solo, e mapa de declividade do conjunto de bacias que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, foram obtidos com imagens do Satélite Alos, bandas (2, 3 e 4), SIG Idrisi for Windows versão Andes, AutoCAD 2006 e folhas topográficas de Santa Rita do Sapucaí - SF.23-Y-B-II-4; Heliadora - SF.23-Y-B-II-2, Pouso Alegre - SF.23-Y-B-II-1 e Conceição dos Ouros - SF.23-Y-B-II-3 em escala 1:50.000, editadas pelo IBGE (1971), Mapa de Solos de Minas Gerais, elaborado pela EMATER (1998), em escala de 1:1.000.000, GPS (Global Positioning System) para

coleta de pontos de referência *in situ* e imagem do satélite Alos (bandas 2, 3 e 4) de 12 de novembro de 2006.

Os Programas e instrumentos supracitados foram disponibilizados pelo NEPA - Núcleo de Estudos, Planejamento Ambiental e Geomática e pelo NUMMARH – Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos, pertencentes à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

#### 4.2.2 Confeção do mapa de elevação digital do terreno (MDT)

De acordo com PEREIRA (2010), para a confecção do MDT, foi necessária a digitalização das curvas de nível e da atribuição de suas respectivas cotas topográficas. Esta etapa foi realizada com a utilização do programa AutoCad 2006. As informações obtidas foram exportadas para o SIG *Idrisi* Andes, Programa utilizado para a confecção do MDT - Modelo Digital de Elevação do Terreno, conforme figura 5.

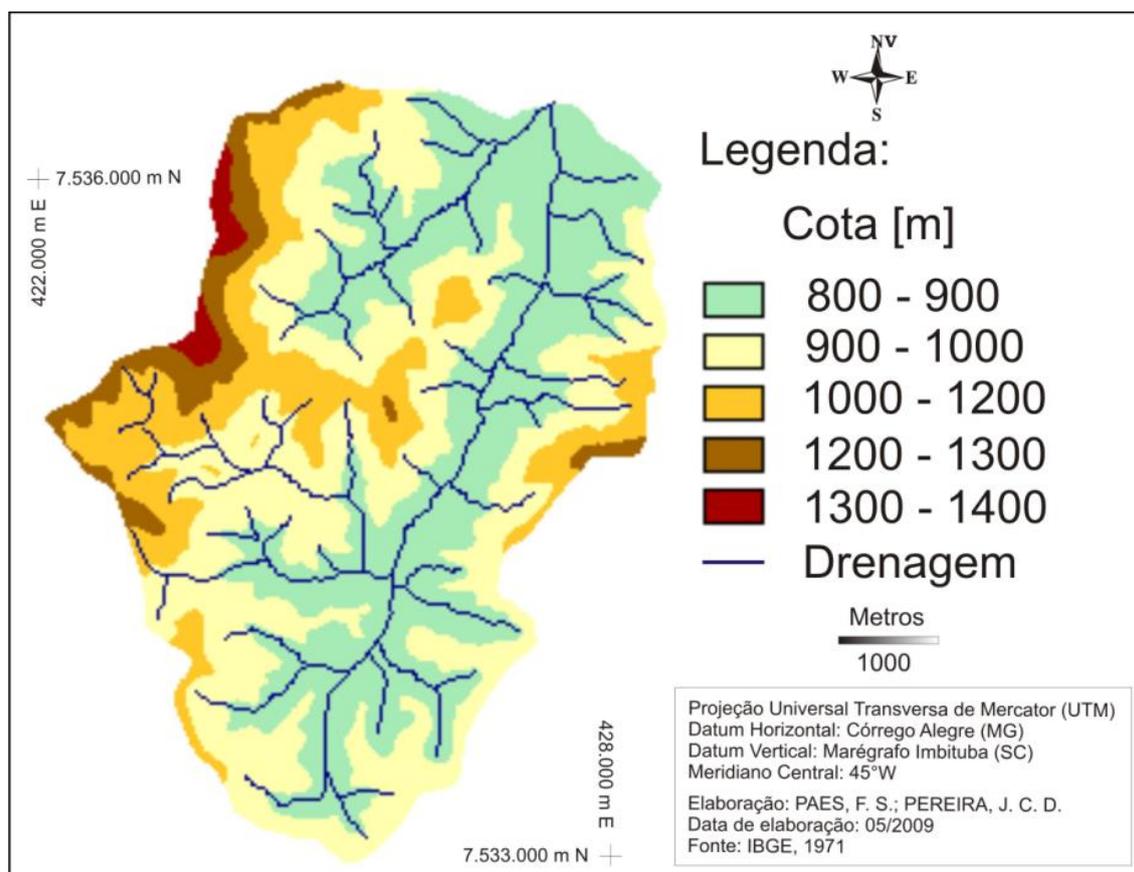


Figura 5 – Mapa de elevação do terreno (MDT) da bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha-M.G. Pereira e Paes (2009)

Tabela 2 - Representatividade das classes de altitude (BHRC)

Áreas da BHRC enquadradas em cada classe de Altitude		
Classes de altitude	Área em (ha)	Área em (%)
800 - 900	1231,4	39,49
900 - 1000	1184,8	38,00
1000 - 1100	661,8	21,22
>1200	40,2	1,29
<b>Total</b>	<b>3118,174</b>	<b>100</b>

#### 4.2.3 Confeção do mapa de uso e ocupação do solo

Para a confeção do mapa de uso do solo foi realizada uma classificação de forma supervisionada, através do método intitulado Máxima Verossimilhança. Neste método, o usuário é quem define as assinaturas espectrais das categorias conhecidas e das categorias de interesse. O SIG *Idrisi* associa cada pixel da imagem à assinatura mais semelhante, através de uma função de densidade de probabilidade estatística (Bayes), na qual avalia-se a probabilidade de um determinado pixel pertencer a uma determinada categoria. Desta forma, cada pixel é classificado na categoria a qual ele tem a maior probabilidade de associação (EASTMAN, 1998).

Para a definição das assinaturas espectrais, foi necessária a obtenção de dados de referência terrestre *in situ*. Com base nessas informações, foram definidas as áreas de treinamento, tendo como temas de interesse: sombra, solo exposto, mata, agricultura, pasto, água e áreas construídas (PEREIRA, 2010).

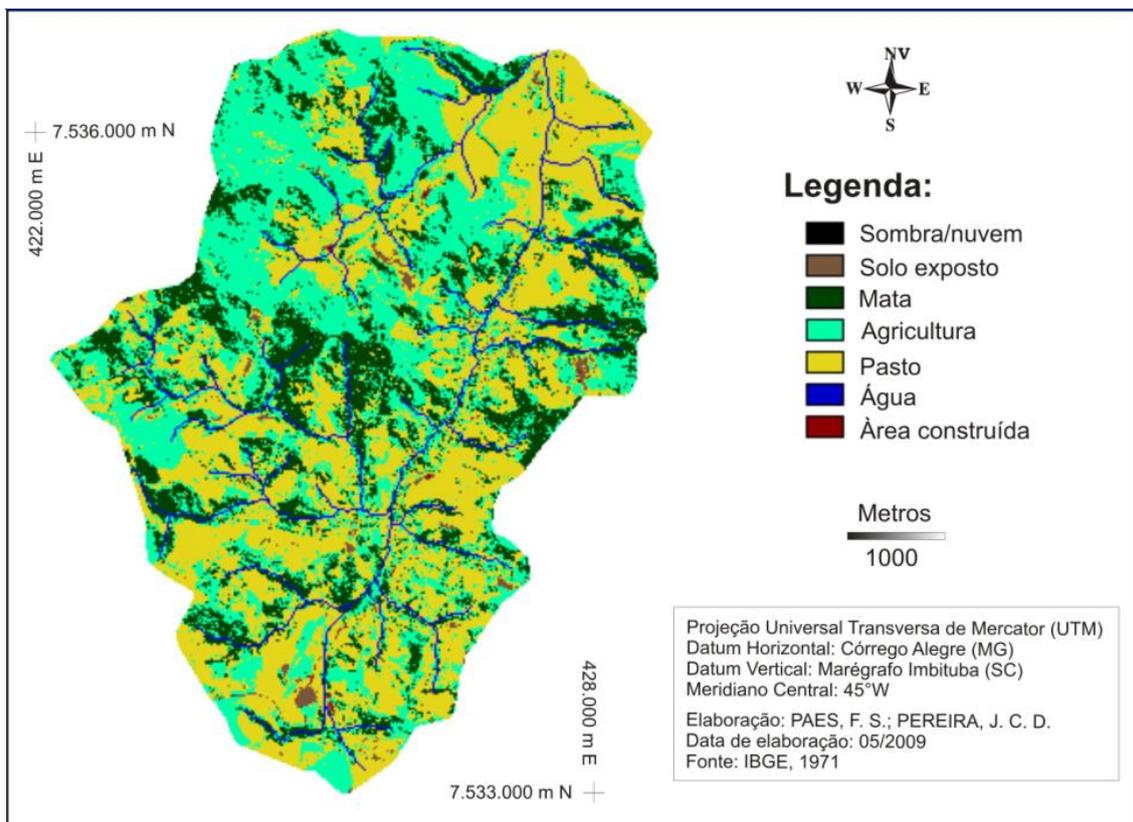


Figura 6 - Mapa de Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do ribeirão da Cachoeirinha-MG. Pereira e Paes (2009)

Tabela 3 - Representatividade das classes de uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha-MG.

Áreas da BHRC enquadradas em cada classe de Uso do solo		
Uso do solo	Área em (ha)	Área em (%)
Sombra	0,37	0,013
Solo Exposto	40,51	1,3
Mata	650,55	20,87
Agricultura	1136,65	36,45
Pasto	1280,03	41,10
Água	7,234	0,25
Área construída	2,83	0,01
<b>Total</b>	<b>3118,174</b>	<b>100</b>

#### 4.2.4 Confeção do mapa de solos da região

O conjunto de bacias que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí não possuem um mapa em escala de detalhe de solos, fato este que tornou necessária a generalização de tal variável por meio da utilização do Mapa de Solos de Minas Gerais, elaborado pela EMATER (1998), em escala de 1:1.000.000.

O mapa supracitado, obtido em formato vetorial, foi importado para o *software Idrisi Andes*, na qual efetuou-se a obtenção dos solos correspondentes a área de estudo, através da sobreposição dos vetores ao limite da bacia. Em seguida, os vetores foram rasterizados e obteve-se o mapa de solos do conjunto de bacias que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí-MG.

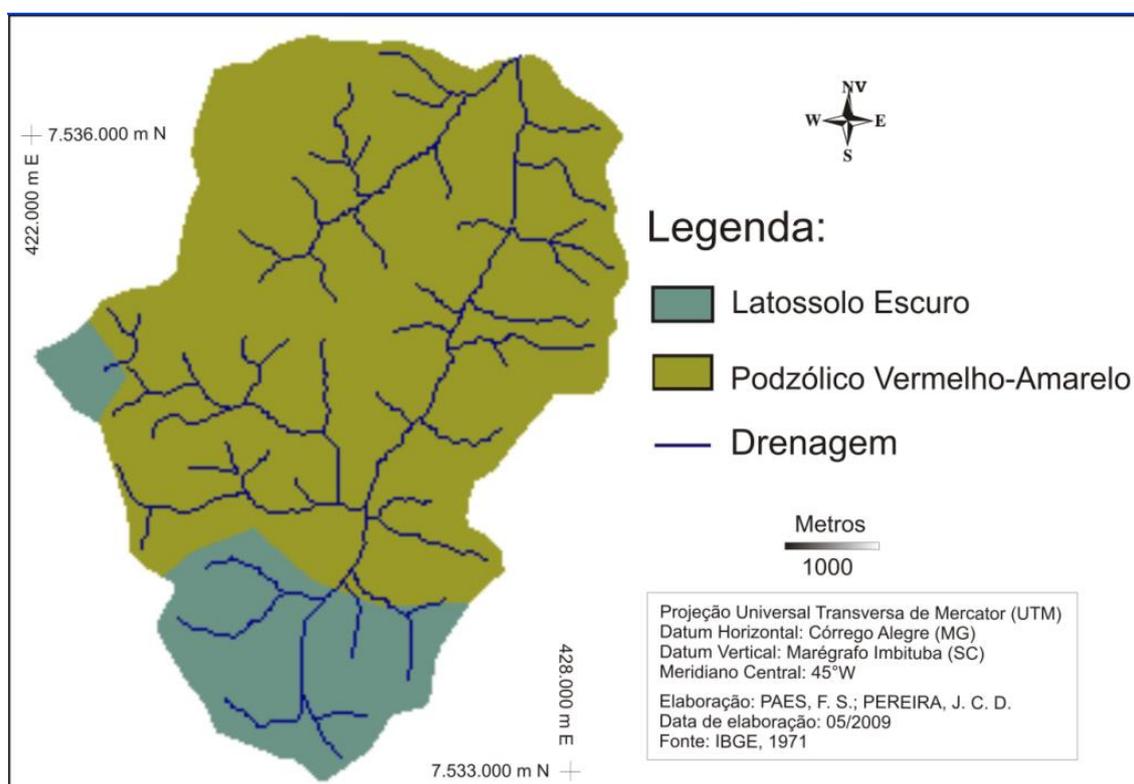


Figura 7 - Mapa de solos da BHRC – MG. Pereira e Paes (2009)

Tabela 4: Representatividade das classes de solo na bacia

Áreas da BHRC enquadradas em cada classe de Solo		
Classes de solo	Área em (ha)	Área em (%)
Podzólico Vermelho-Amarelo	2537,257	81,56
Latossolo Escuro	573,687	18,44
<b>Total</b>	<b>3110,944</b>	<b>100</b>

#### 4.2.5 Mapa de declividades da (BHRC)

No mapa de declividades da bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha, apresentado na Figura 8, as declividades na BHRC, situam-se entre 0 e 60%, este fato é de suma importância, uma vez que a declividade do terreno, aliada ao tipo de solo, uso e cobertura do solo e quantidade de precipitação, influencia diretamente na suscetibilidade do mesmo à erosão hídrica.

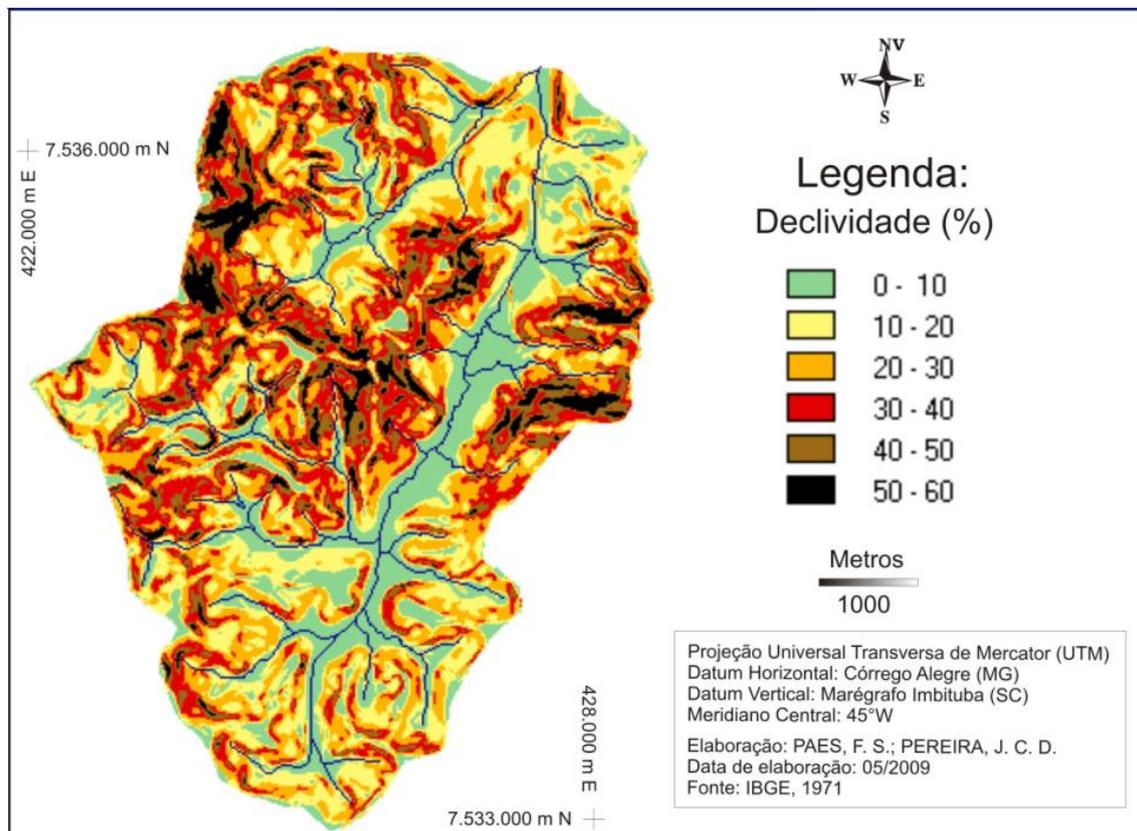


Figura 8 - Mapa de declividades da BHRC – MG. Pereira e Paes (2009)

Tabela 5: Representatividade das classes de declividade na BHRC

Áreas da BHRC enquadradas em cada classe de declividade		
Classes de declividade	Área em (ha)	Área em (%)
0 - 10	603,6756	19,37
10 - 20	691,412	22,18
20 - 30	780,4884	25
30 - 40	568,167	18,23
40 - 50	306,2876	9,82
50 - 60	168,1432	5,40
<b>Total</b>	<b>3118,174</b>	<b>100</b>

### 4.3 Obtenção de informações regionais: clima, hidrologia

PEREIRA (2010), obteve informações regionais de parâmetros utilizados no modelo, tais como: precipitação, temperaturas máximas e mínimas, velocidade do vento, umidade relativa do ar, entre outros. Tais informações foram obtidas junto a bancos de dados tais como: banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Pesquisas espaciais (INPE), séries históricas, série histórica de precipitação, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), referente ao período de 1999 a 2008, dados coletados pela estação pluviométrica de Santa Rita do Sapucaí, localizada no município de Santa Rita do Sapucaí, a 820 metros de altitude em relação ao nível do mar, nas coordenadas - 22°15'05" S e - 45°42'32" W, encontrando-se sob a responsabilidade da ANA - Agência Nacional de Águas e sendo operada pelo IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

Para o preenchimento de falhas nos dados da série histórica do posto supracitado, utilizaram-se dados referentes as estações pluviométricas de São João de Itajubá, localizada no município de Itajubá, nas coordenadas - 22°22'32" S e - 45°26'49" W e da Ponte do rio Rodrigues, localizada em Pouso Alegre, nas coordenadas - 22°23'09" S e - 45°53'05" W, ambas sob responsabilidade da ANA e operadas pelo IGAM.

A Tabela 5 apresenta os postos pluviométricos utilizados para obtenção dos dados de precipitação da região de influência na bacia hidrográfica do Ribeirão da cachoeirinha-MG.

Tabela 6 - Postos pluviométricos utilizados

<b>Código</b>	<b>Nome do posto</b>	<b>Município</b>	<b>Período de observação</b>
02245000	Santa Rita do Sapucaí	Santa Rita do Sapucaí	1979 - 2008
02245083	São João de Itajubá	Itajubá	1979 - 2008
02245086	Ponte do rio Rodrigues	Pouso Alegre	1979 - 2008

#### **4.4 Análise de sensibilidade do modelo AVSWAT**

A análise de sensibilidade é uma importante ferramenta na modelagem hidrológica, sendo um instrumento fundamental para a previsão dos parâmetros que possuem maior impacto sobre as simulações hidrológicas, sedimentológicas e de qualidade da água. No presente estudo foi feita a análise de sensibilidade de forma manual, alterando os principais parâmetros envolvidos no processo, baseado na literatura e em simulações prévias realizadas.

#### **4.5 Calibração**

A calibração de um modelo hidrológico é encontrar os valores dos parâmetros do modelo que melhor representem o comportamento hidrológico do sistema (COLLISHONN, 2001).

Para Sammons e Neitsch (2000) a calibração é uma ferramenta que permite ao usuário editar o desempenho global das variáveis de entrada no modelo.

## **5. RESULTADO E DISCUSSÕES**

### **5.1 Geração da área de drenagem**

Com a localização do ponto a ser realizado o estudo e juntamente com as ferramentas de geoprocessamento, Global Mapper e ArcGis (ArcMap), foi feito o download da imagem SRTM (modelo numérico de terreno) e com base nesta, foi determinada a área de drenagem, utilizando-se o programa computacional ArcMap.

### **5.2 Estudo das principais características da bacia**

#### **5.2.1 Forma da bacia**

Conforme pode ser observado nas figuras 9 e 10, a forma da bacia hidrográfica do local estudado é periforme e tamanho razoavelmente pequeno em relação ao porte, sendo de 21,0 Km<sup>2</sup>. Já a bacia do posto utilizado como base pra a transposição possui forma de alongada, característica de bacias com área de drenagem maior, e uma área no valor de 119,0 Km<sup>2</sup>.

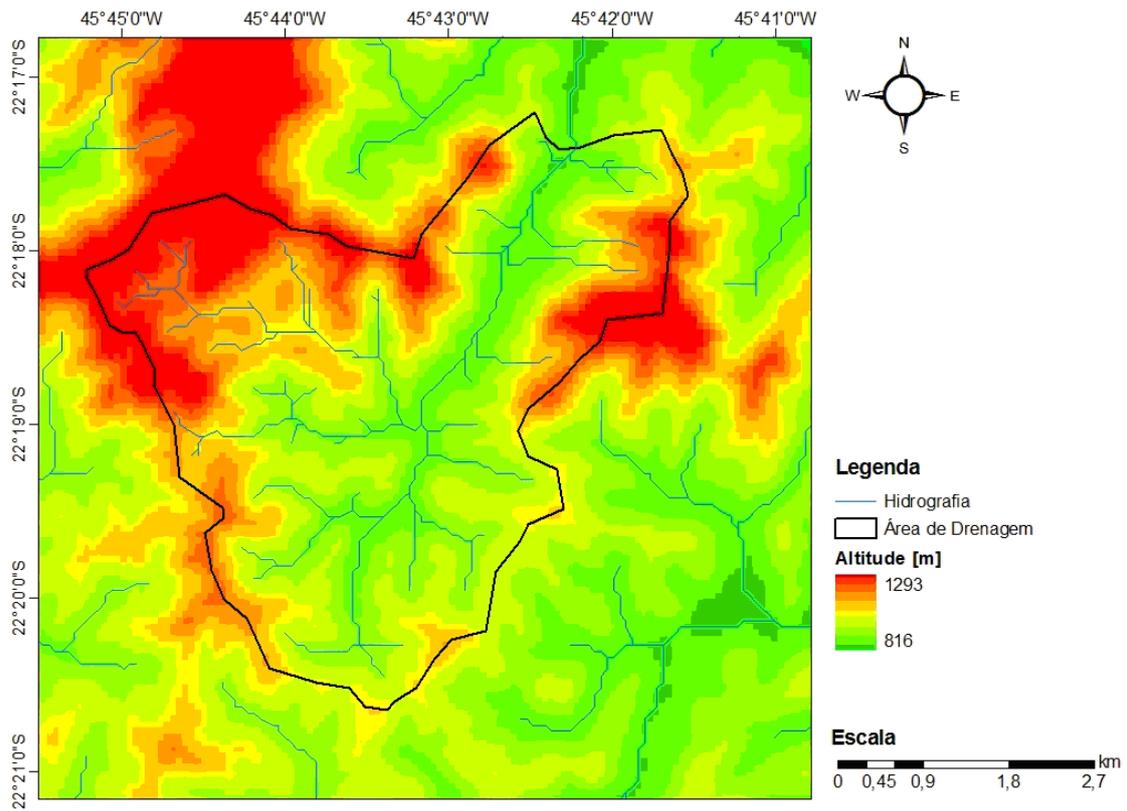


Figura 9 : Forma da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha

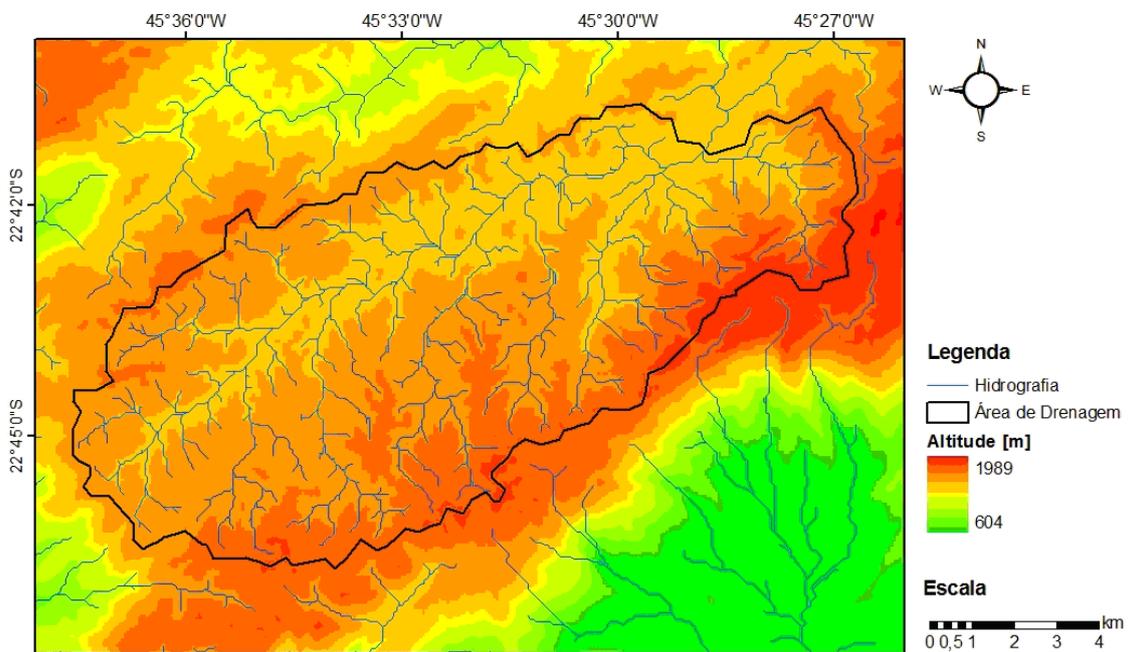


Figura 10 : Forma da Bacia Hidrográfica utilizada como referência, posto base, Fazenda da Guarda

### 5.2.2 Densidade de drenagem

Utilizando a ordem de classificação 3 da hidrografia segundo Koppen, pode-se afirmar que a densidade de drenagem da bacia em estudo é de 1,81 (km/km<sup>2</sup>) e da bacia do posto utilizado como base é de 1,86 (km/km<sup>2</sup>). Assim, ao comparar os resultados pode-se afirmar que em relação a quantidade de drenagem dentro da área de cada um é relativamente alta, sendo consideradas bem drenadas e que possuem comportamento bem semelhante.

### **5.3 Análise fluviométrica**

#### **5.3.1 Obtenção de dados**

Foram selecionados, próxima à área de estudo, todos os postos fluviométricos existentes num raio de 50 km, como ilustrado na figura 11 e os dados dos postos fluviométricos selecionados num raio de 50 km encontram-se em tabelas no anexo 1 deste trabalho.

#### **5.3.2 Análise dos postos fluviométricos da região e seleção**

Dentre esses, foram sendo selecionados os postos, encontrados a 50 Km de raio, a partir da área de estudo, primeiramente, com dados disponíveis, depois com área de drenagem compatível (sendo que a área de drenagem compatível deve ser 5 vezes mais ou menos que a área do local em estudo), distância dos postos ao local de estudo e quantidade de dados, como pode ser observado na Figura 11. Para que fosse feita a análise dos postos, foram realizados download do site Hidroweb da ANA as séries históricas de vazões dos postos com área de drenagem (AD) compatível. Após esse procedimento, foram analisados quantidade de dados e falhas, verificando também se os dados são atuais ou não.

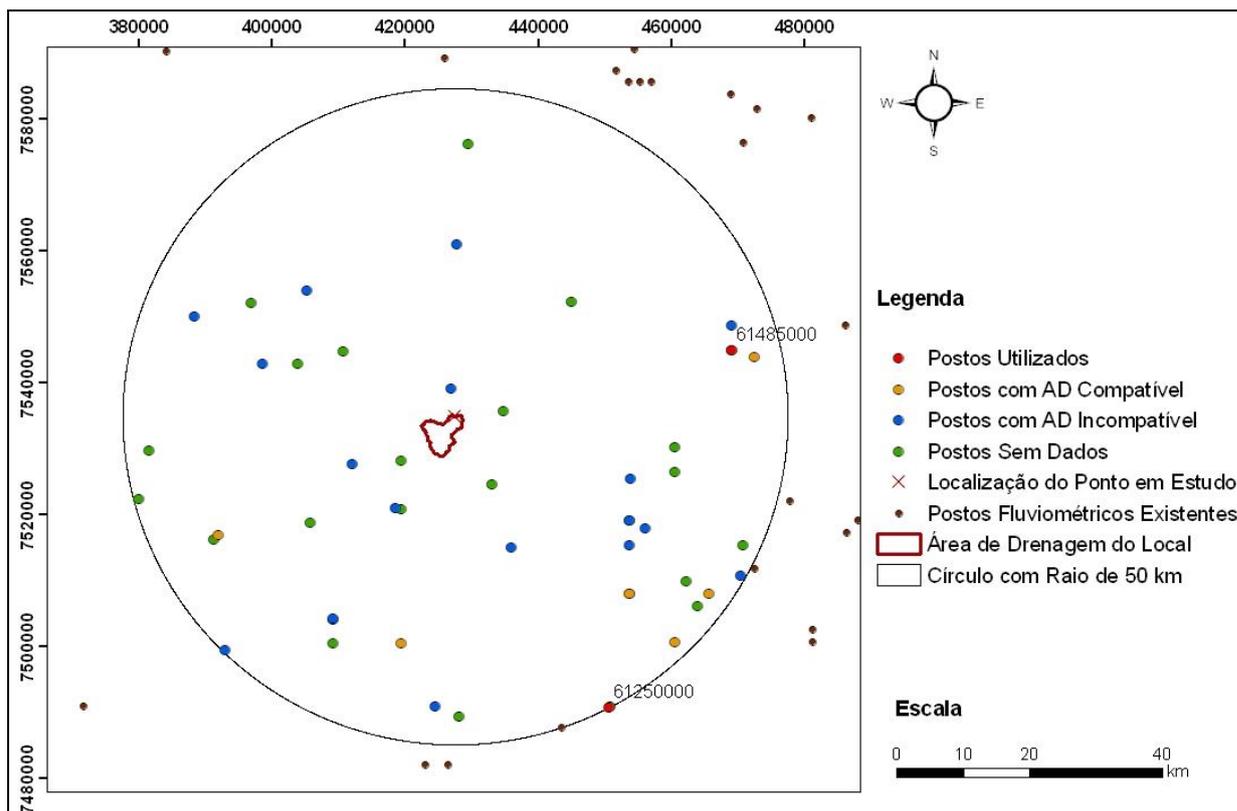


Figura 11 - Postos fluviométricos com dados e utilizados

Com os postos selecionados através da compatibilidade de área de drenagem foi feita uma curva para verificar se na região o comportamento de todos eles são semelhantes, para que fosse possível uma comparação e análise entre eles. Assim, na Figura 12, com os dados da Tabela 7, pode-se observar que há uma linearidade no comportamento da vazão em relação à área de drenagem.

Tabela 7 - Dados dos postos selecionados para futura análise.

Posto	581071 00	613230 00	612500 00	612550 00	612660 00	612650 00	612620 00	614840 00	614850 00	614860 00
AD	46	15	119	30	12,5	27,09	90	73	71	26
Qmlt	0,57	0,62	3,72	1,15	0,29	0,65	3,83	2,77	2,04	1,19
q	0,01	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,05
Falhas	0	8	2	0	0	0	0	0	1	4
Qnt dados	8	18	67	24	19	4	3	10	45	15
Dist. (km)	39,9	35,5	50	47,8	37,6	37,6	46,8	46	42,8	43,9

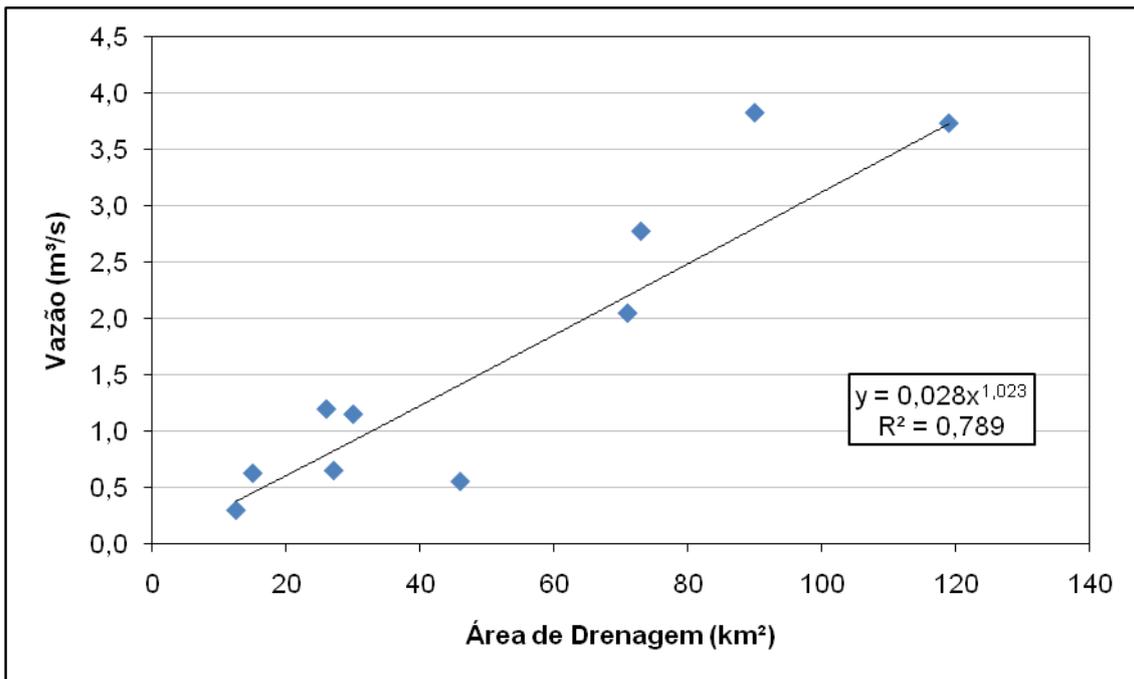


Figura 12 - Comportamento dos postos ao se relacionar a área de drenagem com a vazão de cada posto

### 5.3.3 Obtenção da série de vazões mensais para o posto base

Também, na definição de quais postos seriam utilizados para preencher a série histórica, fez-se a análise da correlação entre elas. Neste trabalho a melhor correlação que se obteve, juntamente com a melhor relação entre a quantidade de dados e falhas, está representada na figura 13 e suas médias de séries históricas na tabela 8.

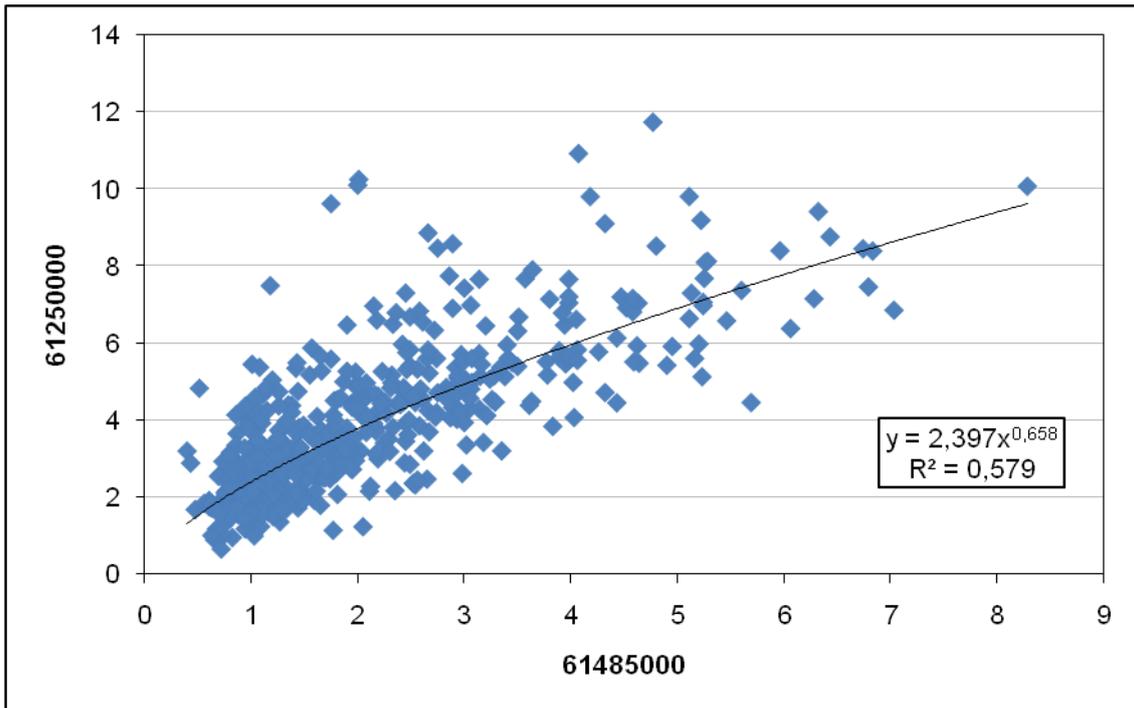


Figura 13 - Correlação entre o posto base 61250000 e o posto auxiliar 61485000

Tabela 8 – Médias mensais históricas posto fluviométrico Fazenda da Guarda (61250000).

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
<b>Mínima</b>	2,34	2,11	2,02	2,31	1,88	1,37	1,19	0,66	0,90	1,07	1,64	2,12	3,73
<b>Média</b>	5,52	5,97	5,41	4,30	3,53	3,01	2,54	2,12	2,17	2,53	3,01	4,49	
<b>Máxima</b>	9,81	11,73	10,07	7,14	5,73	7,66	5,27	4,03	6,32	5,66	5,60	10,10	

Assim, foi obtida a série do posto base, Fazenda da Guarda (61250000), preenchidas com dados dos postos auxiliar, Cristina (61485000), que se encontram no anexo deste trabalho, e com médias mensais, como na Tabela 9. Para preencher as falhas utilizando o posto auxiliar foi utilizada a equação 1, obtida na correlação na Figura 13.

$$Q_{61250000} = 2,397 * (Q_{61485000})^{0,658} \quad (1)$$

Tabela 9 – Médias mensais históricas do posto auxiliar Cristina

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov		
<b>Mínima</b>	0,82	1,07	1,08	0,87	0,74	0,77	0,52	0,43	0,40	0,52	0,48	0,80	2,04
<b>Média</b>	3,48	3,30	3,16	2,32	1,76	1,50	1,32	1,17	1,14	1,31	1,47	2,46	
<b>Máxima</b>	7,03	6,83	8,28	4,95	3,26	3,98	3,24	2,65	3,50	3,97	4,06	6,43	

### 5.3.4 Obtenção da série de vazões mensais para o local de estudo

Com a série do posto base completa, foi feita a transposição para o ponto de estudo utilizando as áreas de drenagem e a proporção existentes entre elas. Assim, calculou-se o fator de transposição, que é a relação entre as áreas de drenagem e depois multiplicou-se pelas vazões do postos, obtendo assim o valor médio de vazão para o local de estudo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.10**).

$$Ft = \frac{AD_{LOCAL DE ESTUDO}}{AD_{POSTO BASE}} \quad (2)$$

Com os dados de área de drenagem obteve-se o seguinte valor de fator de transposição.

$$Ft = \frac{21}{119} = 0,176 \quad (3)$$

Tabela 10 – Média da série histórica do local de estudo

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
<b>Mínima</b>	0,41	0,37	0,36	0,41	0,33	0,24	0,21	0,12	0,16	0,19	0,28	0,37	0,66
<b>Média</b>	0,97	1,06	0,96	0,76	0,62	0,53	0,45	0,38	0,39	0,45	0,53	0,78	
<b>Máxima</b>	1,73	2,07	1,78	1,26	1,01	1,35	0,93	0,71	1,11	1,00	0,99	1,78	

Assim, pode-se obter os valores de vazões médias mensais, valores de vazões médias anuais e uma vazão média de longo termo. Sendo esta ultima uma média de todos os valores da série histórica e encontrada um valor de 0,66 m<sup>3</sup>/s.

#### 5.4 Análise dos dados obtidos em campo

Há de se considerar que uma rede hidrométrica, composta de postos pluviométricos e fluviométricos, dificilmente cobre todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento de recursos hídricos de uma região. Sempre haverá lacunas espaciais e temporais que precisaram ser preenchidas com base em metodologias apropriadas. Nesse sentido há de se ressaltar a dificuldade de obtenção de dados hidrológicos para a região estudada. A obtenção e análise dos dados obtidos em campo, teve como objetivo a verificação da ordem de grandeza da vazão realmente medida com a técnica de regionalização de vazões.

Por isso foi uma visita de campo, utilizando-se o método do flutuador para a realização de uma estimativa de velocidade do rio e foi feito também uma topobatimetria com a finalidade de caracterizar e obter a forma da calha do rio na seção escolhida. Foram feita três medições de tempo em um trecho de 3,0 metros de comprimento e obtido os valores conforme tabela 11.

Tabela 11 - Dados de tempo para as várias medições

Medições	Tempos (s)
1	8,64
2	9,43
3	9,67

Obtidos os valores de tempo, calculou-se um tempo médio de 9,246 s. Assim, com a distancia percorrida e o tempo médio para percorrê-la, obteve-se o valor da velocidade.

Na seção do rio, com comprimento de 2,60 metros, foram medidas as profundidades em verticais, sendo elas distanciadas de 0,20 m uma da outra, considerando que a primeira e a ultima (V1 e V14) estão nas margens, como mostrado na Figura 4.

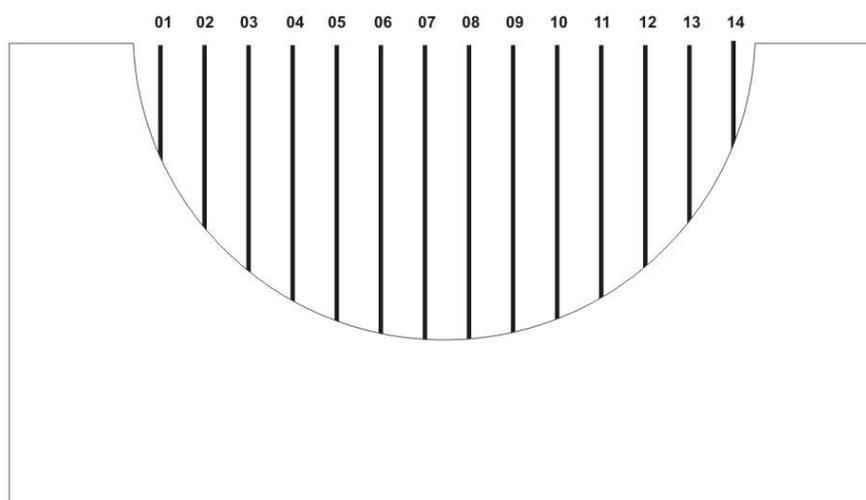


Figura 14 - Localização das verticais para a topobatimetria da seção do ribeirão

Com os valores de profundidade da Tabela 12, pode-se calcular os valores das áreas entre as verticais e conseqüentemente o valor da área da seção, sendo ela 0,81 m<sup>2</sup>.

Tabela 12 - Profundidades medidas em cada vertical.

Verticais	Profundidades (m)
1	0,18
2	0,27
3	0,28
4	0,31
5	0,32
6	0,33
7	0,3
8	0,29
9	0,33
10	0,38
11	0,37
12	0,35
13	0,33
14	0,18

Assim, com os valores acima calculados pode-se obter o valor da vazão na seção

$$Q = \text{Velocidade} * \text{Área}_{\text{seção}}$$

$$Q = 0,32 * 0,81 = 0,26 \text{ (m}^3/\text{s)}$$



Figura 15 - Localização do ponto de estudo. Fonte: Google earth, 2010

### **5.5 Análise das estimativas de vazão**

Assim, para o estudo de regionalização foi obtida uma vazão média de longo termo no valor de  $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$  e no estudo feito em campo utilizando medição local e uma determinada seção do rio foi obtida o valor de  $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Na comparação entre as diferentes análises deve-se considerar as diferenças entre os métodos. Sendo o primeiro método, que analisa e obtém séries mensais através da relação entre áreas de drenagem, e isso pode ser feito apenas se ambas as áreas possuem semelhanças em suas características de drenagem, precipitação, uso do solo, etc, caracterizando um comportamento semelhante e assim verificando-se que realmente há uma relação linear entre ambas, possibilitando o cálculo como foi feito.

No segundo método, foi feito uma medição numa determinada data e numa determinada seção do rio no local onde se deseja realizar o estudo. Assim, obteve-se um dado muito mais específico e característico, não podendo ser considerado este valor para o ano todo, no máximo para o mês em que foi obtido. Já no método anterior, obtém-se uma média anual.

### a. Análise de sensibilidade

Diversas incertezas na simulação hidrológica são causadas, basicamente, por erros na variável de entrada, limitação na estrutura do modelo e incertezas nas estimativas dos parâmetros, sendo que a maior incerteza está associada aos valores dos parâmetros calibráveis pelo modelo, obtidas no processo de calibração automática (TUCCI, 2005).

Na tentativa de minimizar as incertezas associadas aos parâmetros calibráveis pelo modelo realizou-se a análise de sensibilidade. A análise de sensibilidade é um instrumento para previsão dos parâmetros que possuem maior impacto sobre as simulações hidrológicas, sedimentológicas e de qualidade da água, proporcionando um conhecimento da influência do parâmetro sobre o modelo, o que possibilita a racionalização de etapas de calibração, bem como a fixação de parâmetros, nos quais o modelo é menos sensível (NEITSCH et al., 2005).

No modelo SWAT vinte e seis parâmetros são utilizados na simulação da variável vazão conforme pode ser visualizado pela Tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros adotados pelo modelo SWAT na simulação da variável vazão.

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>
Alpha_bf	Coefficiente do fluxo de base
Ch_K2	Condutividade hidráulica efetiva do canal
CN2	Curva número na condição II de umidade
SURLAG	Coefficiente de <i>lag</i> do escoamento superficial
Sol_K	Condutividade hidráulica saturada
Ch_N2	Coefficiente de Manning para o canal
GWQmn	Água do aquífero profundo que retorna ao canal
ESCO	Coefficiente de compensação de evaporação de água do solo

Tabela 13 - Continuação

Slope	Declividade da encosta
GW_Delay	Tempo de fluxo da água subterrânea
Blai	Máxima área foliar potencial da cultura
Canmx	Máxima interceptação da cultura
Sol_AWC	Capacidade de água disponível no solo
Sol_Z	Profundidade do solo
GW_Revap	Coefficiente de retorno de água do aquífero para a zona radicular
Biomix	Eficiência biológica
Sol_Alb	Albedo do solo úmido
Revapmn	Tempo de retorno da água do aquífero para o canal
EPCO	Fator de crescimento da cultura
SISubbsn	Comprimento médio da encosta na sub-bacia Sftmp
Sftmp	Temperatura em q a precipitação é igual a neve - temperatura da neve
Smfmn	Fator para derreter a neve em 21 de dezembro
Smtmx	Fator para derreter a neve em 21 de junho
Smtmp	Temperatura base para derretimento da neve
Timp	Timp Fator de retardo da temperatura na neve

Tlaps	Fator de temperatura
-------	----------------------

Baseado nos trabalhos pesquisados, verificou-se que os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade foram: o coeficiente de fluxo base (**Alpha\_bf**), condutividade hidráulica efetiva do canal (**Ch\_K2**), curva número na condição II de umidade (**CN2**), coeficiente de *lag* do escoamento superficial (**surlag**), condutividade hidráulica saturada (**Sol\_K**), coeficiente de Manning para o canal (**Ch-N2**), água do aquífero profundo que retorna ao canal (**GWQmn**), coeficiente de compensação da evaporação de água do solo (**ESCO**), declividade média da encosta (**Slope**), o tempo de fluxo de água subterrânea (**GW\_Delay**) e o fator de crescimento da cultura (**EPCO**).

Lino (2009) detectou para a bacia do rio Preto, em Santa Catarina, que os parâmetros mais sensíveis foram Alpha\_bf, CN2 e o ESCO. Marchioro (2008) aplicando o SWAT em uma bacia no noroeste fluminense, estado do Rio de Janeiro, encontrou como parâmetros mais sensíveis a CN2, Alpha\_bf e o *surlag*. Já Baldissera (2005), em trabalho realizado na bacia hidrográfica do rio Cuiabá, verificou que os parâmetros GWQmn, Alpha\_bf e Revapmn foram os parâmetros mais sensíveis.

Trabalhos realizados no exterior também verificaram parâmetros sensíveis como os apresentados neste trabalho. Griensven et al (2006), trabalhando na bacia do Sandusky, nos Estados Unidos, verificaram que os parâmetros mais sensíveis foram CN2, Alpha\_bf e *surlag*. Kannan et al. (2007) em uma bacia do rio Sharnbrook na Inglaterra, encontraram como parâmetros mais sensíveis a CN2, ESCO e Sol\_AWC.

Sendo assim, os 10 parâmetros utilizados considerados mais sensíveis pela análise de sensibilidade, para a calibração do modelo, no que se refere a variável vazão, estão de acordo com o manual descrito por Neitsch et al. (2005). No referido manual os primeiros parâmetros a serem alterados, buscando um ajuste entre a vazão observada e a simulada são: CN2, Alpha\_bf, ESCO, *surlag*.

Nessa análise, os parâmetros calibráveis, foram rankeados de acordo com a sensibilidade que proporcionam aos resultados do modelo. Na tabela 14 apresenta-se o ranking de sensibilidade dos parâmetros e sua descrição relacionados à variável vazão.

Vale ressaltar que o raking da tabela 14 foi baseado na simulação de diversos cenários realizados por PEREIRA (2010).

Tabela 14 - Ranking de sensibilidade dos parâmetros relacionados à variável vazão

<b>Parâmetros simulados</b>	<b>Descrição do parâmetro</b>	<b>Ranking</b>
solk20	Condutividade hidráulica saturada (variação 20)	1
cn_35	Curva número na condição II de umidade (variação 35)	2
GW_DELAY_400	Tempo de fluxo da água subterrânea (variação 400)	3
GWQmn	Água do aquífero profundo que retorna ao canal	4
solk2000	Condutividade hidráulica saturada (variação 2000)	5
SLOPE_0.50	Declividade da encosta (variação 0,50)	6
ch_n2	Coefficiente de Manning para o canal	7
ALPHA_BF_0,007	Coefficiente do fluxo de base (variação 0,007)	8
ch_k2_145	Condutividade hidráulica efetiva do canal (variação 145)	9
ch_k2_35	Condutividade hidráulica efetiva do canal	10
ALPHA_BF_0,8	Coefficiente do fluxo de base (variação 0,8)	11
cn95	Curva número na condição II de umidade (variação 95)	12
ECPO_0.9	Fator de crescimento da cultura	13
esco_094	Coefficiente de compensação de evaporação de água do solo (variação 094)	14
SLOPE_0.10	Declividade da encosta (variação 0,10)	15
esco_053	Coefficiente de	16

	compensação de evaporação de água do solo(variação 053)	
--	---	--

## 5.7 Calibração

Buscou-se um melhor ajuste da vazão observada em relação à vazão simulada através da calibração manual do modelo, alterando os parâmetros que governam as rotinas de escoamento, conforme descrito nos manuais no modelo SWAT (GRIENSVEN, 2005, NEITSCH et al., 2005)

Com todos os parâmetros fixados, executou-se o modelo novamente. As vazões simuladas foram confrontadas com as observadas, considerando, nas vazões simuladas, os melhores valores na faixa de variação de cada parâmetro, conforme pode ser visualizado nas Figuras 16 a 31.

A análise visual dos hidrogramas observado e simulado consiste numa ferramenta importante de avaliação de ajuste.

Nesse estudo, chegou-se aos valores observados de vazões médias mensais para o ano de 1999, conforme tabela 15:

Tabela 15 – Vazões médias mensais observadas do Ribeirão Cachoeirinha

Meses	Valor Real
jan	1,73 m <sup>3</sup> /s
fev	2,07 m <sup>3</sup> /s
mar	1,78 m <sup>3</sup> /s
abr	1,26 m <sup>3</sup> /s
mai	1,01 m <sup>3</sup> /s
jun	1,35 m <sup>3</sup> /s
jul	0,93 m <sup>3</sup> /s
ago	0,71 m <sup>3</sup> /s
set	1,11 m <sup>3</sup> /s
out	1 m <sup>3</sup> /s
nov	0,99 m <sup>3</sup> /s
dez	1,78 m <sup>3</sup> /s

O parâmetro ALPHA\_BF (coeficiente do fluxo de base) foi variado em 0,8 e 0,007, e a vazão simulada subestimou a vazão observada entre os meses de janeiro a setembro, sendo que no mês de fevereiro essa superestimação foi um pouco maior. Houve uma superestimação da vazão observada nos meses de outubro a dezembro, tendo havido um significativo aumento nos meses de novembro e dezembro. Entre ambas as variações não houve alteração entre a vazão simulada e observada, conforme pode ser observado nas figuras 16 e 17.

#### Parâmetro ALPHA\_BF\_0,8

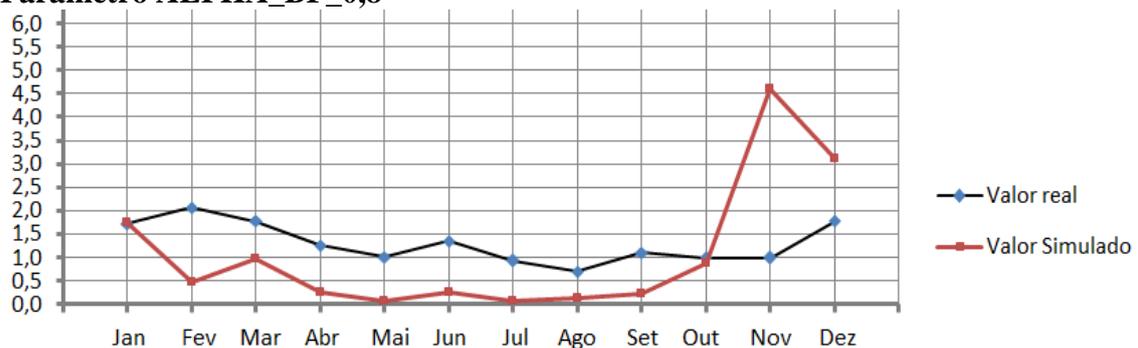


Figura 16 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro ALPHA\_BF(variação 0,8)

#### Parâmetro ALPHA\_BF\_0,007

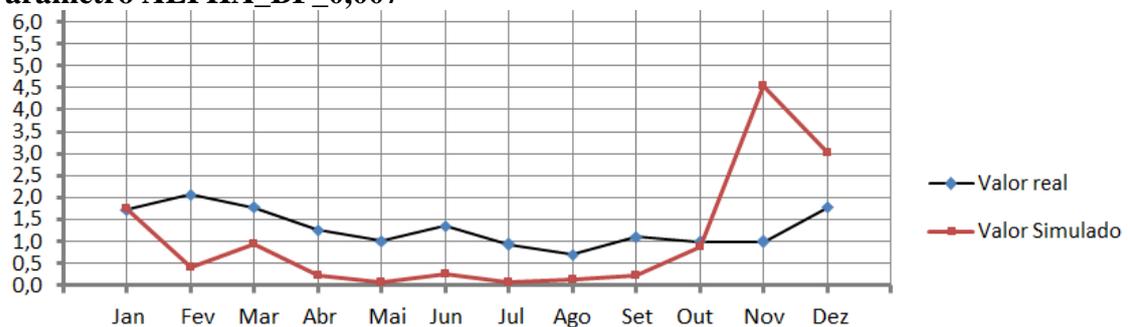


Figura 17 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro ALPHA\_BF(variação 0,007)

O parâmetro ch\_k2 (Condutividade hidráulica efetiva do canal) foi variado em 35 e 145, e a vazão simulada subestimou a vazão observada entre os meses de janeiro a

setembro, sendo que no mês de fevereiro essa superestimação foi um pouco maior. Houve uma superestimação da vazão observada nos meses de outubro a dezembro, tendo havido um significativo aumento nessa superestimação nos meses de novembro e dezembro. Entre ambas as variações não houve alteração entre a vazão simulada e observada, conforme pode ser observado nas figuras 18 e 19.

### Parâmetro ch\_k2\_35

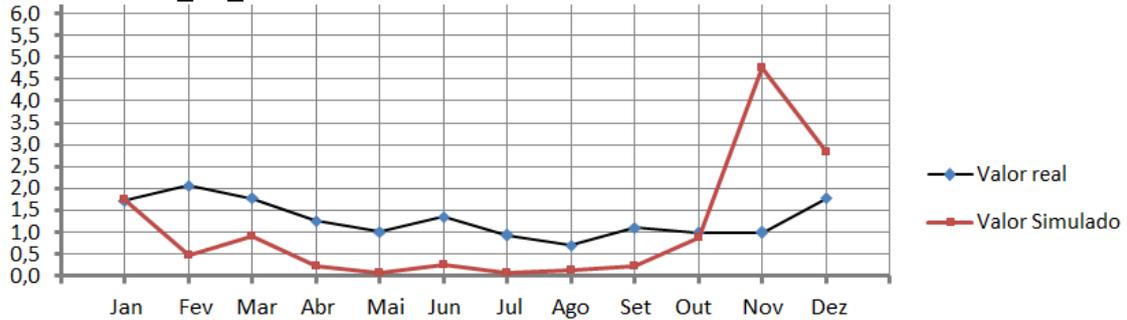


Figura 18 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro ch\_k2 (variação 35)

### Parâmetro ch\_k2\_145

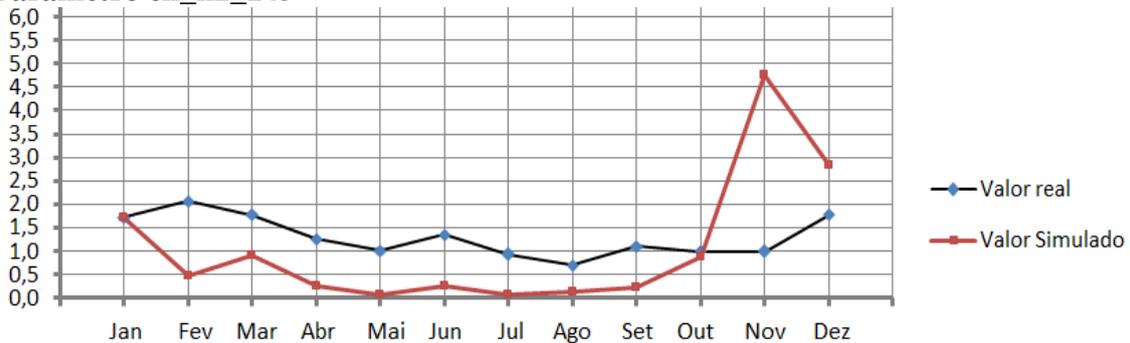


Figura 19 – Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro ch\_k2 (variação 145)

Em relação ao parâmetro CN (Curva número na condição II de umidade), foi variado em 35 e 95, e não houveram alterações significativas em relação aos parâmetros e gráficos anteriores, conforme mostra as figuras 20 e 21

### Parâmetro CN 35

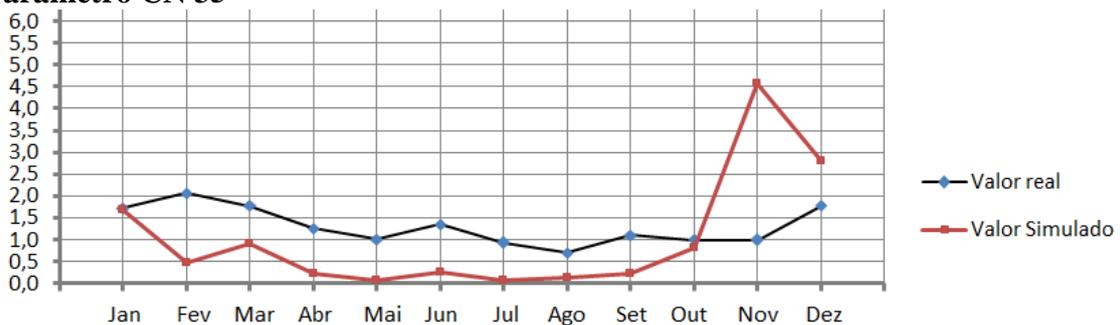


Figura 20 – Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro CN (variação 35)

**Parâmetro  
CN95**

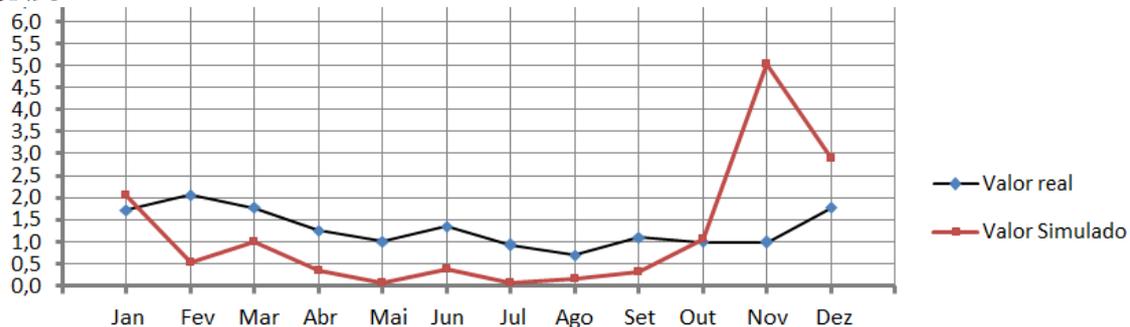


Figura 21 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro CN (variação 95)

Quanto ao parâmetro solk (Condutividade hidráulica saturada), este foi variado em 2000 e em 20, sendo que no primeiro caso, não houve alterações significativas em relação aos valores simulados e observados nos parâmetros e gráficos anteriores. Já na variação 20 houve uma significativa melhora nos valores de vazão simulados e observados, de acordo com as figuras 22 e 23.

**Parâmetro solk2000**

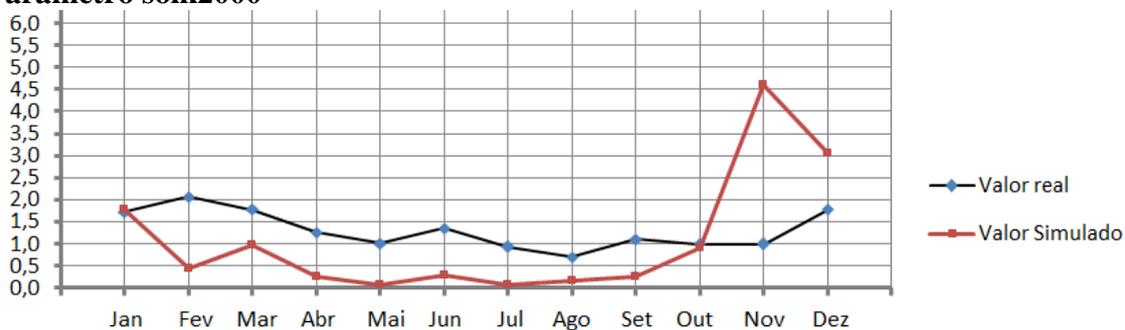


Figura 22 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro SOL\_K (variação 2000)

**Parâmetro solk20**

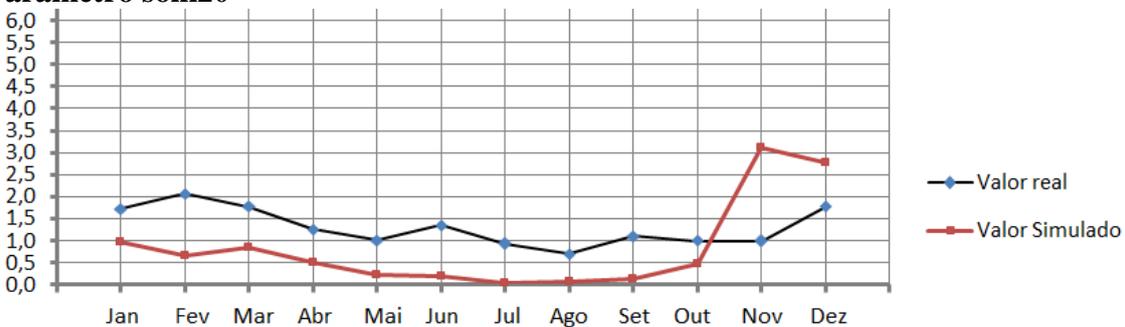


Figura 23 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro SOLK (variação 20)

No parâmetro ch\_n2 a vazão simulada subestimou a vazão observada entre os meses de janeiro a setembro, sendo que no mês de fevereiro essa superestimação foi um pouco maior. Houve uma superestimação da vazão observada nos meses de outubro a dezembro, tendo havido um significativo aumento nessa superestimação nos meses de novembro e dezembro. Entre ambas as variações não houve alteração entre a vazão simulada e observada, conforme pode ser observado na figura 24.

### Parâmetro ch\_n2

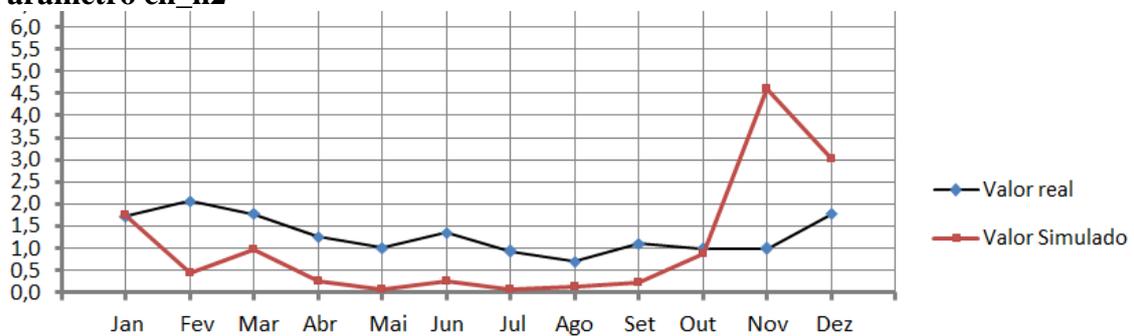


Figura 24 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro ch\_n2

No parâmetro GWmn a vazão simulada subestimou a vazão observada entre os meses de janeiro a setembro, sendo que no mês de fevereiro essa superestimação foi um pouco maior. Houve uma superestimação da vazão observada nos meses de outubro a dezembro, tendo havido um significativo aumento nessa superestimação nos meses de novembro e dezembro. Entre ambas as variações não houve alteração entre a vazão simulada e observada, conforme pode ser observado na figura 25.

### Parâmetro GWmn

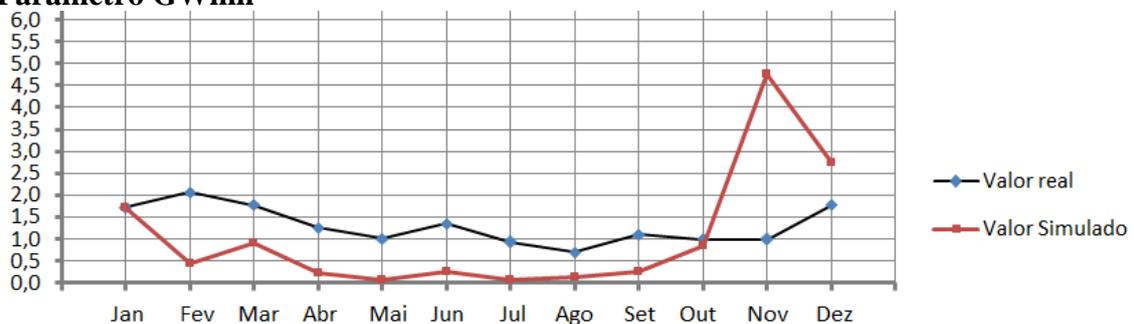


Figura 25 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro gwmn

No parâmetro ESCO foram feitas as variações em 094 e 053, e a vazão simulada subestimou a vazão observada entre os meses de janeiro a setembro, sendo que no mês de fevereiro essa superestimação foi um pouco maior. Houve uma superestimação da vazão observada nos meses de outubro a dezembro, tendo havido um significativo aumento nessa superestimação nos meses de novembro e dezembro. Entre ambas as variações não houve alteração entre a vazão simulada e observada, conforme pode ser observado nas figuras 26 e 27.

### Parâmetro ESCO 094

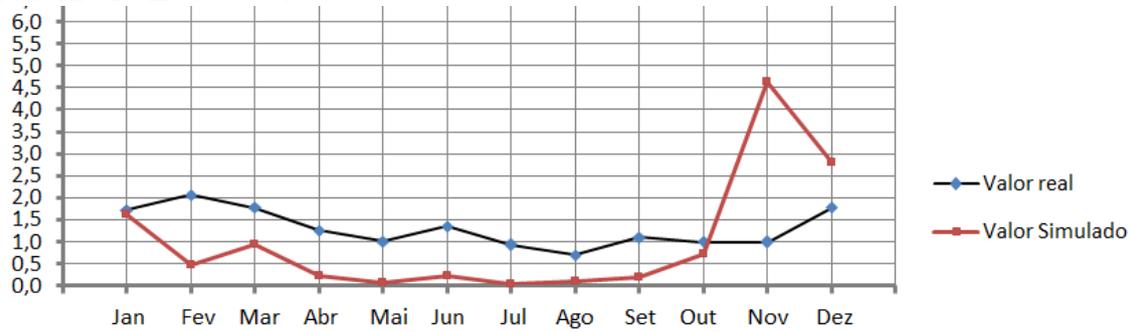


Figura 26 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro ESCO (variação 094)

### Parâmetro ESCO 053

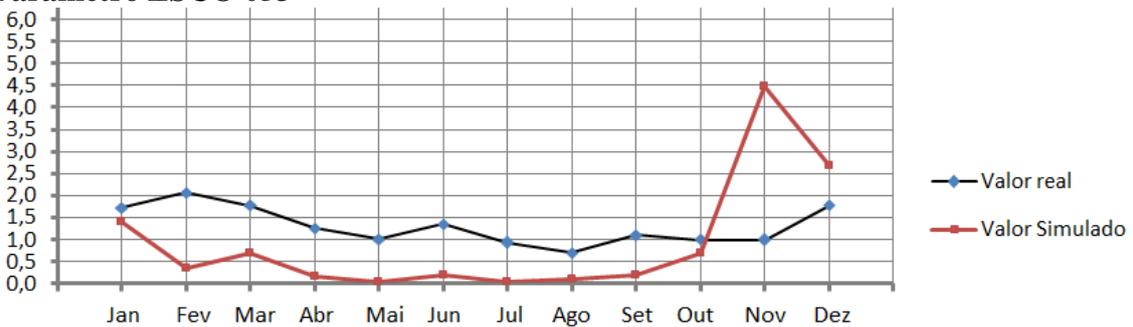


Figura 27 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro ESCO (variação 0,53)

No parâmetro SLOPE, foram feitas as variações em 0.50 e 0.10, respectivamente, e a vazão simulada subestimou a vazão observada entre os meses de janeiro a setembro, sendo que no mês de fevereiro essa superestimação foi um pouco maior. Houve uma superestimação da vazão observada nos meses de outubro a dezembro, tendo havido um significativo aumento nessa superestimação nos meses de

novembro e dezembro. Entre ambas as variações não houve alteração entre a vazão simulada e observada, conforme pode ser observado nas figuras 28 e 29.

### Parâmetro SLOPE\_0.50

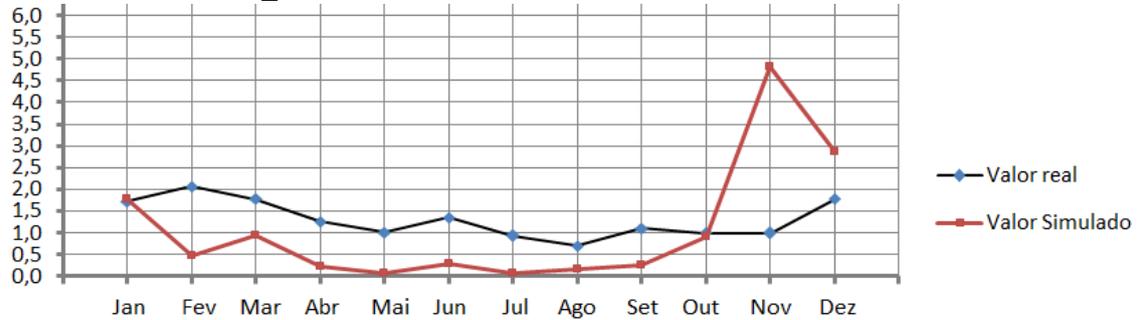


Figura 28 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro SLOPE (variação 0,50)

### Parâmetro SLOPE\_0.10

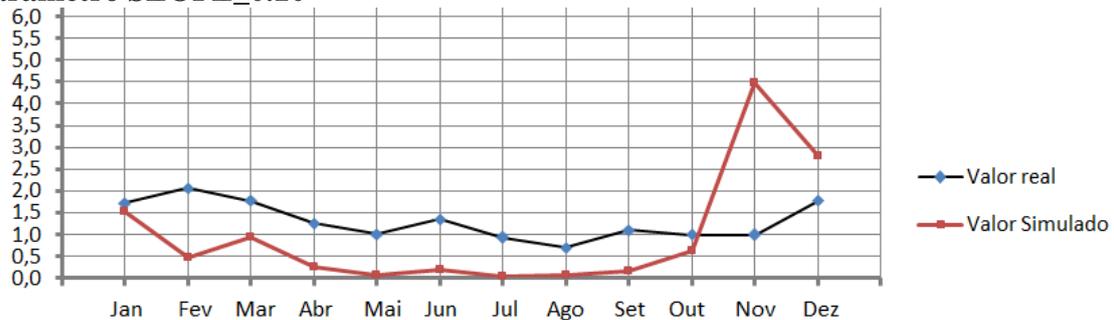


Figura 29 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro SLOPE (variação 0,10)

No parâmetro GW\_DELAY, foram feitas as variações em 0.50 e 0.10, respectivamente, e a vazão simulada subestimou a vazão observada entre os meses de janeiro a setembro, sendo que no mês de fevereiro essa superestimação foi um pouco maior. Houve uma superestimação da vazão observada nos meses de outubro a dezembro, tendo havido um significativo aumento nessa superestimação nos meses de novembro e dezembro. Entre ambas as variações não houve alteração entre a vazão simulada e observada, conforme pode ser observado na figura 30.

### Parâmetro GW\_DELAY\_400

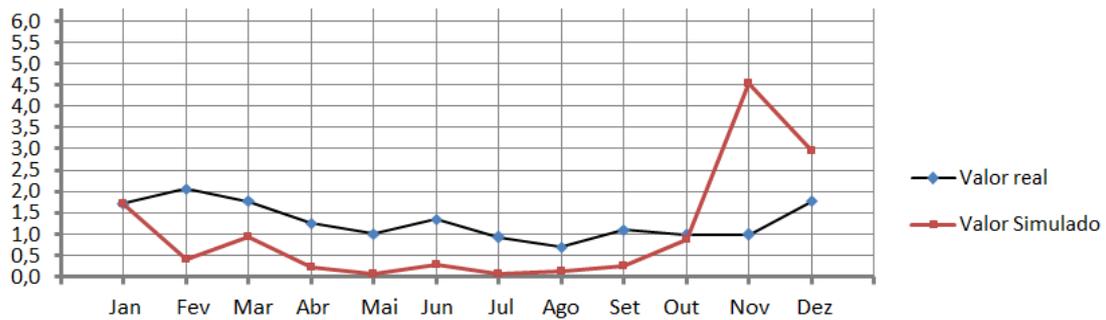


Figura 30 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro GW\_DELAY (variação 400)

Da mesma forma que nos parâmetros anteriores, com excessão do parâmetro solk (variação 20), no parâmetro ECPO, não houve variação na vazão simulada, mantendo-se o mesmo padrão dos parâmetros anteriores, conforme figura 31.

#### Parâmetro ECPO\_0,9

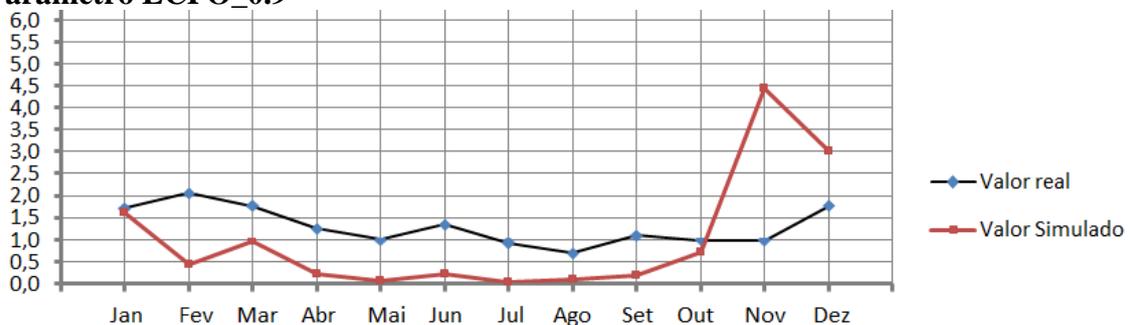


Figura 31 - Gráfico da vazão simulada e observada com calibração do parâmetro ECPO (variação 0,9)

Na tabela 16 são descritos os valores de vazão simulados e calibrados nos parâmetros ALPHA\_BF, ch\_k2 e CN, e suas respectivas variações utilizadas.

Tabela 16 - valores de vazão simulados e calibrados nos parâmetros ALPHA\_BF, ch\_k2 e CN

Meses	ALPHA_BF_0,8	ALPHA_BF_0,007	ch_k2_35	ch_k2_145	cn_35	Cn_95
Jan	1,74700 m³/s	1,74000 m³/s	1,73900 m³/s	1,73200 m³/s	1,68800m³/s	2,07400m³/s
Fev	0,46230 m³/s	0,42400 m³/s	0,46580 m³/s	0,46350 m³/s	0,48550m³/s	0,54690m³/s
Mar	0,97040 m³/s	0,93840 m³/s	0,92390 m³/s	0,92140 m³/s	0,92600m³/s	1,01800m³/s
Abr	0,24550 m³/s	0,23870 m³/s	0,24360 m³/s	0,24600 m³/s	0,24290m³/s	0,33850m³/s
Mai	0,07798 m³/s	0,07814 m³/s	0,07931 m³/s	0,08134 m³/s	0,08224m³/s	0,08245m³/s
Jun	0,27400 m³/s	0,26640 m³/s	0,26310 m³/s	0,26490 m³/s	0,26240m³/s	0,37680m³/s
Jul	0,07073 m³/s	0,07618 m³/s	0,07255 m³/s	0,07268 m³/s	0,07208m³/s	0,07436m³/s
Ago	0,14180 m³/s	0,14660 m³/s	0,14410 m³/s	0,14440 m³/s	0,14390m³/s	0,17300m³/s
Set	0,24440 m³/s	0,23520 m³/s	0,24060 m³/s	0,24030 m³/s	0,23820m³/s	0,32350m³/s
Out	0,86890 m³/s	0,88320 m³/s	0,87530 m³/s	0,87430 m³/s	0,82240m³/s	1,07600m³/s

Nov	4,59500 m³/s	4,55600 m³/s	4,76900 m³/s	4,76600 m³/s	4,58000m³/s	5,04100m³/s
Dez	3,10200 m³/s	3,00900 m³/s	2,84900 m³/s	2,84700 m³/s	2,81800m³/s	2,88400m³/s

Na tabela 17 são descritos os valores de vazão simulados e calibrados nos parâmetros **solk**, **ch\_n**, **gwmm**, **esco** e **SLOPE**, e suas respectivas variações utilizadas.

Tabela 17 - valores de vazão simulados e calibrados nos parâmetros **solk**, **ch\_n**, **gwmm**, **esco** e **SLOPE**

Meses	solk2000	solk20	ch_n2	gwmm	esco_094	esco_053	SLOPE_0.50
Jan	1,76700m³/s	0,98200m³/s	1,73600m³/s	1,73200m³/s	1,62400m³/s	1,41500m³/s	1,77000 m³/s
Fev	0,45150m³/s	0,65750m³/s	0,45800m³/s	0,45790m³/s	0,47980m³/s	0,36290m³/s	0,48380 m³/s
Mar	0,97540m³/s	0,85670m³/s	0,96700m³/s	0,92540m³/s	0,93890m³/s	0,70620m³/s	0,95110 m³/s
Abr	0,24820m³/s	0,49940m³/s	0,25030m³/s	0,21610m³/s	0,22580m³/s	0,15820m³/s	0,24240 m³/s
Mai	0,08212m³/s	0,23590m³/s	0,08128m³/s	0,06846m³/s	0,06949m³/s	0,04937m³/s	0,08166 m³/s
Jun	0,28930m³/s	0,18450m³/s	0,27510m³/s	0,27060m³/s	0,21990m³/s	0,21130m³/s	0,29010 m³/s
Jul	0,07653m³/s	0,05159m³/s	0,07125m³/s	0,06949m³/s	0,05100m³/s	0,04830m³/s	0,07674 m³/s
Ago	0,15310m³/s	0,07511m³/s	0,14200 <sup>3</sup> /s	0,14140m³/s	0,09890m³/s	0,09792m³/s	0,15370 m³/s
Set	0,25760m³/s	0,13140m³/s	0,24230m³/s	0,25120 <sup>3</sup> /s	0,19920m³/s	0,19710m³/s	0,26580 m³/s
Out	0,91560m³/s	0,47450m³/s	0,87080m³/s	0,86180m³/s	0,72760m³/s	0,68080m³/s	0,91090 m³/s
Nov	4,60300m³/s	3,13000m³/s	4,59500m³/s	4,75600m³/s	4,63400m³/s	4,46900m³/s	4,81600 m³/s
Dez	3,06500m³/s	2,76100 <sup>3</sup> /s	3,02200m³/s	2,75600m³/s	2,81900m³/s	2,67600m³/s	2,86500 m³/s

Na tabela 18 são descritos os valores de vazão simulados e calibrados nos parâmetros **SLOPE**, **GW\_DELAY** e **ECPO**, e suas respectivas variações utilizadas.

Tabela 18 - valores de vazão simulados e calibrados nos parâmetros **SLOPE**, **GW\_DELAY** e **ECPO**

Meses	SLOPE_0.10	GW_DELAY_400	ECPO_0.9
Jan	1,54400 m³/s	1,73200 m³/s	1,63600 m³/s
Fev	0,49240 m³/s	0,43060 m³/s	0,46150 m³/s
Mar	0,94870 m³/s	0,95310 m³/s	0,96630 m³/s
Abr	0,24910 m³/s	0,22720 m³/s	0,23590 m³/s
Mai	0,07336 m³/s	0,07541 m³/s	0,07090 m³/s
Jun	0,18580 m³/s	0,27700 m³/s	0,22070 m³/s
Jul	0,04183 m³/s	0,07549 m³/s	0,05122 m³/s
Ago	0,07672 m³/s	0,14710 m³/s	0,09897 m³/s
Set	0,16230 m³/s	0,24930 m³/s	0,19430 m³/s

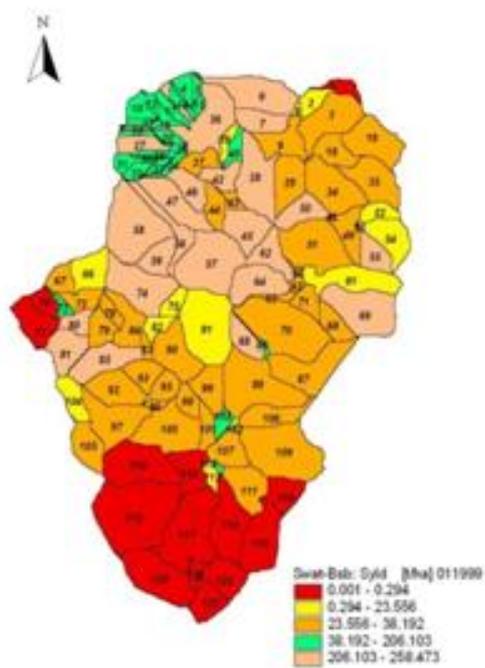
Out	0,64350 m <sup>3</sup> /s	0,87330 m <sup>3</sup> /s	0,73470 m <sup>3</sup> /s
Nov	4,47900 m <sup>3</sup> /s	4,55500 m <sup>3</sup> /s	4,44400 m <sup>3</sup> /s
Dez	2,79500 m <sup>3</sup> /s	2,97100 m <sup>3</sup> /s	3,01600 m <sup>3</sup> /s

## **b. Sedimentos**

Após a calibração da vazão simulada pelo modelo SWAT realizou-se novamente a análise de sedimentos através da concentração de sólidos suspensos, da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, do ano de 1999, mês a mês, que pode ser observada nas figuras 32 a 40.

No mês de janeiro observa-se que as URH's 114 a 123, que corresponde a parte alta da bacia, não tiveram alteração significativa de perda de solo após calibração. Salienta-se que essa parte alta da bacia coincide com a predominância de latossolo escuro, sendo que no restante da bacia predomina o podzólico vermelho-amarelo, além disso, diferentemente da maioria das bacias hidrográficas da região, essa bacia tem suas cabeceiras caracterizadas com baixa declividade, comparando-se com a declividade observada na parte média e baixa da bacia. Já no lado oeste da parte média da bacia ocorre um aumento da produção de sedimento após calibração. No lado leste da parte média da bacia ocorre uma significativa variação após calibração, havendo URH's que tiveram aumento da produção de sedimentos enquanto outras ocorreu diminuição dos mesmos. No que se refere à parte baixa da bacia, também houve significativa alteração de perda de solo em relação às diversas URH's. Comparando os mapas de perda de solo que o modelo gerou sem a calibração, percebe-se que o mesmo não considerou, adequadamente, as áreas de maior declividade da região, fato que foi melhor considerado após calibração do modelo, conforme pode ser observado na figura 32.

Perda de solo janeiro– sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo janeiro – calibrado

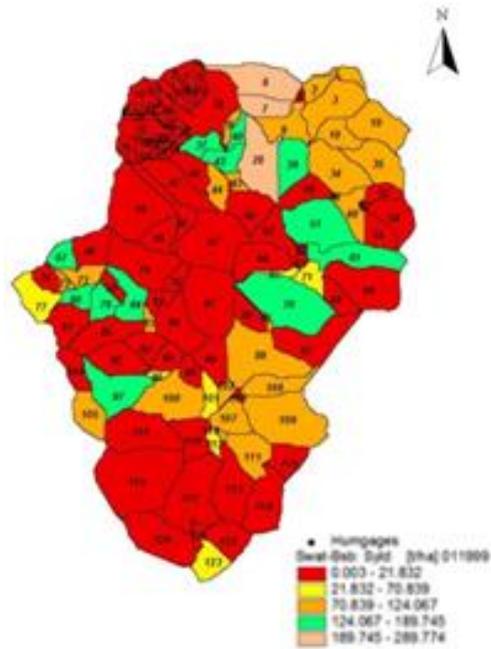
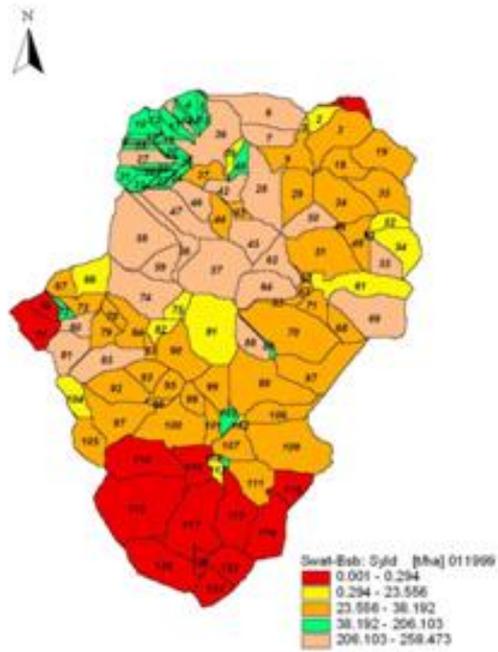


Figura 32 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de janeiro de 1999.

No mês de fevereiro as taxas de perda de solo não variaram significativamente na parte alta da bacia, tendo sido subestimado os valores de perda do solo no mapa sem calibração em quase todo o restante da bacia. Novamente percebe-se uma relação de grande variação entre o mapa sem calibração e calibrado nas regiões de maior declividade, conforme figura 33.

Perda de solo fevereiro - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo fevereiro – calibrado

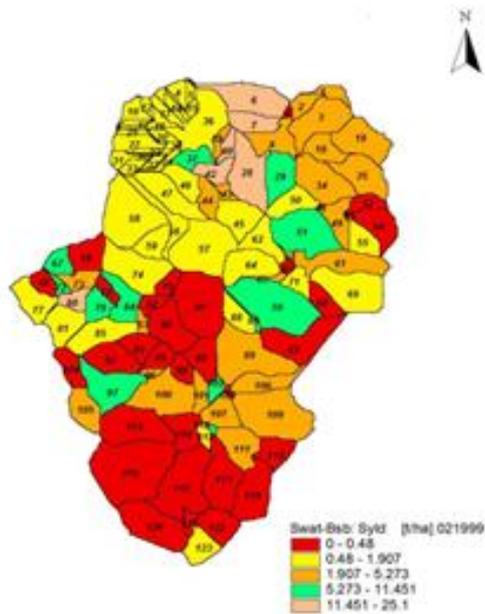
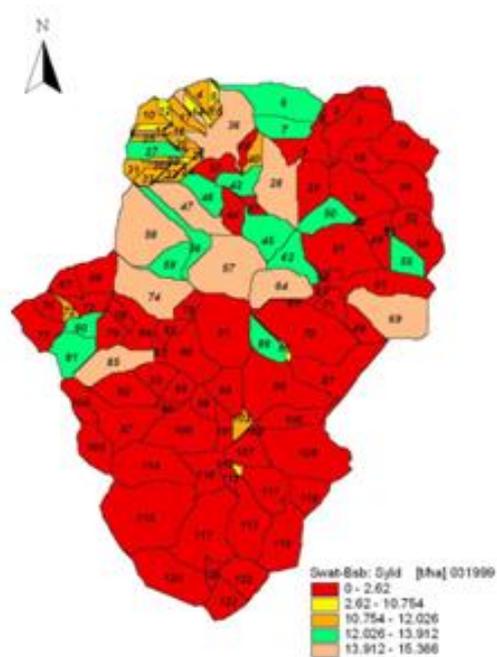


Figura 33 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de fevereiro de 1999.

No mês de março percebe-se que o mapa sem calibração subestimou os valores de perda de solo nas áreas de maior declividade e superestimou esses valores nas áreas de menor declividade da bacia, conforme figura 34.

Perda de solo março - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo março - calibrado

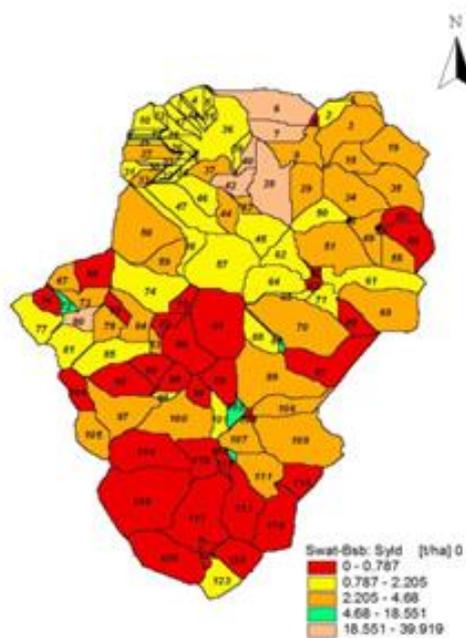
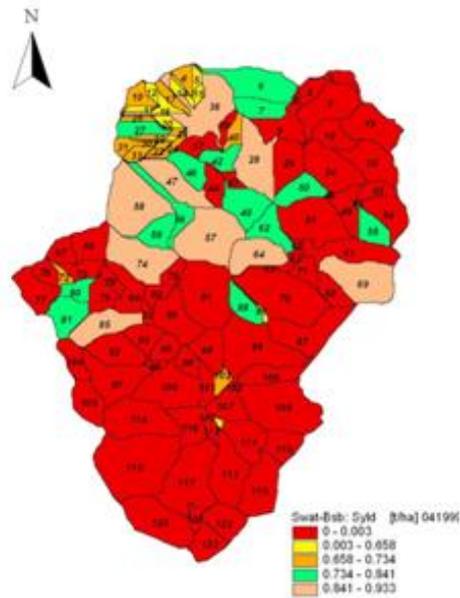


Figura 34 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de março de 1999.

No mês de abril houve muito pouca variação de perda de solo entre os mapas calibrado e sem calibração, conforme figura 35.

Perda de solo abril - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo abril - calibrado

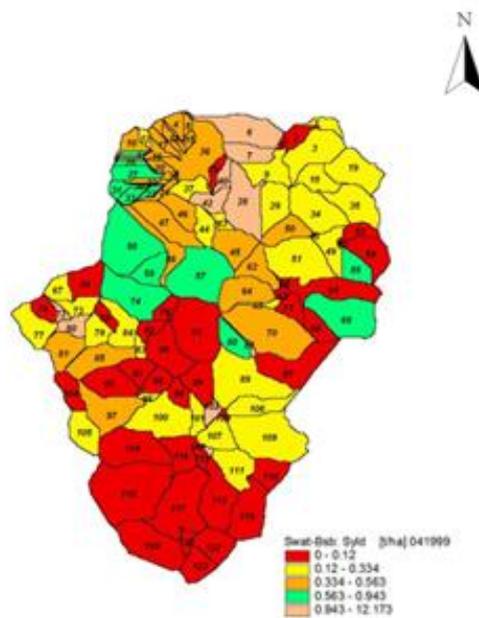


Figura 35 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de abril de 1999.

Já no mês de maio não houve perda significativa de solo, estando os mapas sem calibração e calibrado em concordância, conforme figura 36.

Perda de solo maio - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



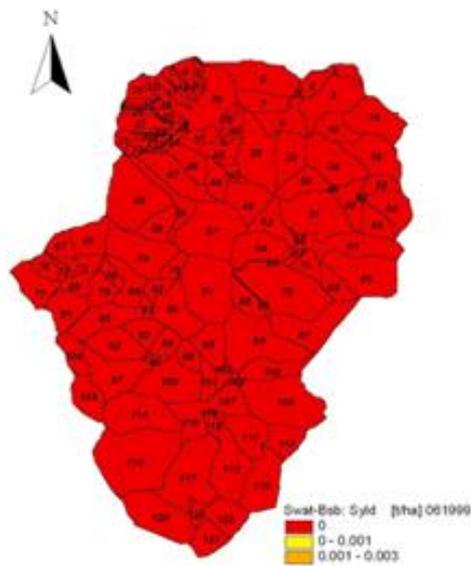
Perda de solo maio - calibrado



Figura 36 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de maio de 1999.

No mês de junho também não houve perda significativa de solo, estando os mapas sem calibração e calibrado em concordância, conforme figura 37.

Perda de solo junho - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo junho - calibrado

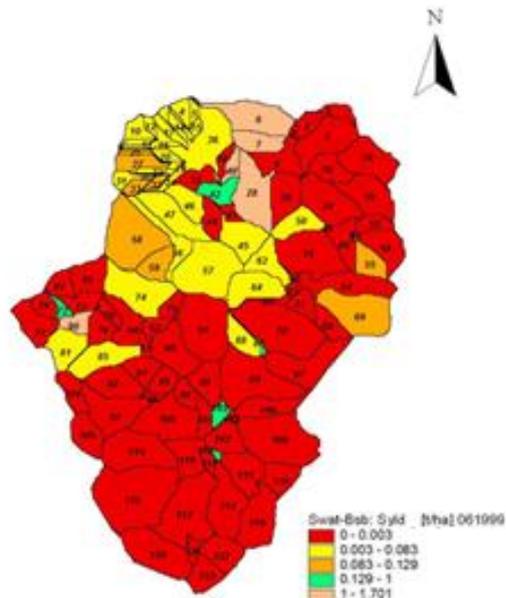
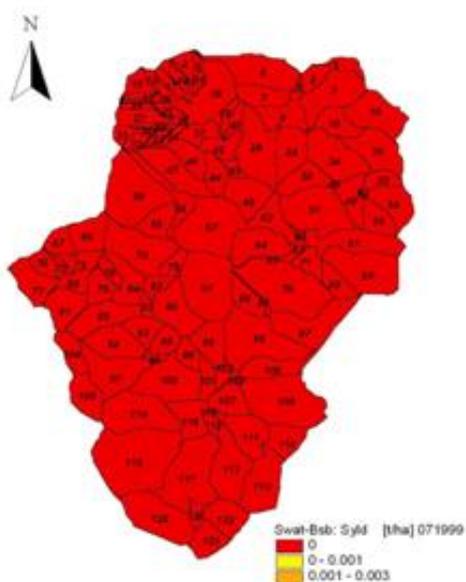


Figura 37 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de junho de 1999.

No mês de julho novamente não houve perda significativa de solo, estando os mapas sem calibração e calibrado em concordância, conforme figura 38

Perda de solo julho - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo julho - calibrado

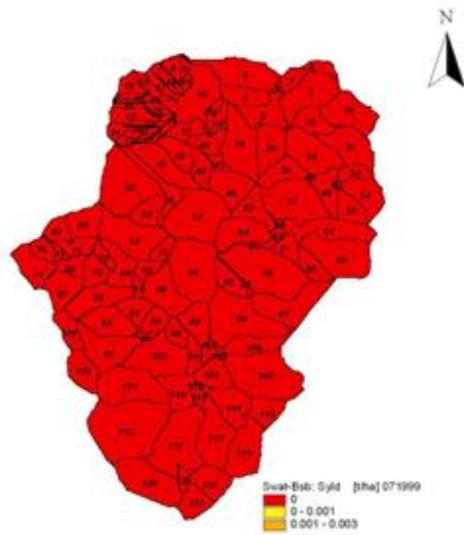


Figura 38 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de julho de 1999.

Ainda considerando o período de estiagem, o mês de agosto também não apresentou perda significativa de solo, conforme figura 39

Perda de solo agosto - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo agosto - calibrado

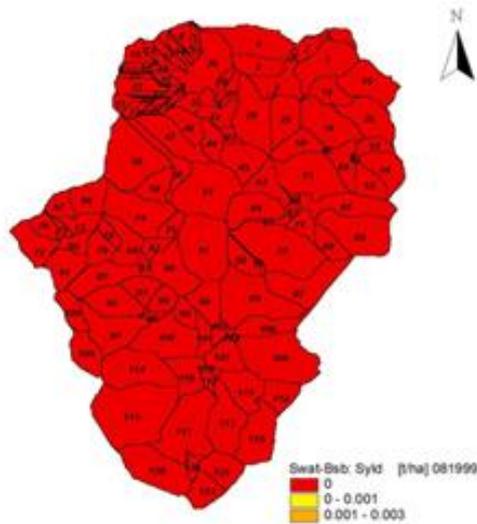
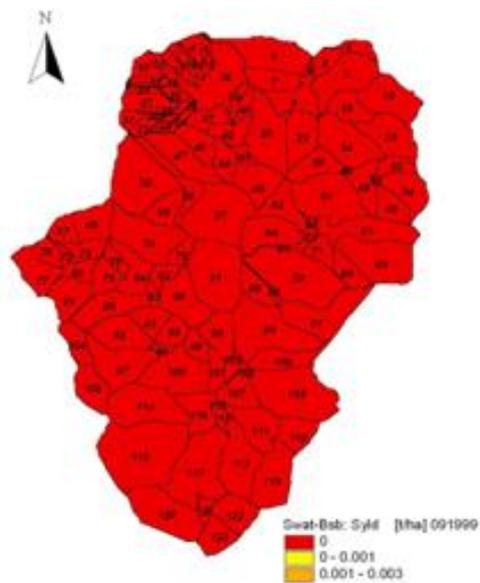


Figura 39 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de agosto de 1999.

No mês de setembro não houve alterações significativas de perda de solo entre os mapas sem calibração e calibrado, conforme figura 37.

Perda de solo setembro - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



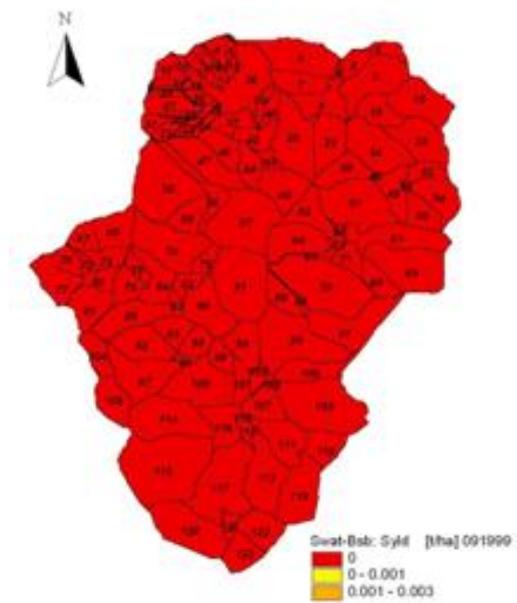
Perda de solo setembro - calibrado



Figura 40 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de setembro de 1999.

No mês de outubro, percebe-se que, em linhas gerais, o modelo superestimou a perda de solo nas áreas com menores declividades e subestimou a perda de solo em áreas de maior declividade, conforme figura 41.

Perda de solo outubro - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo outubro - calibrado

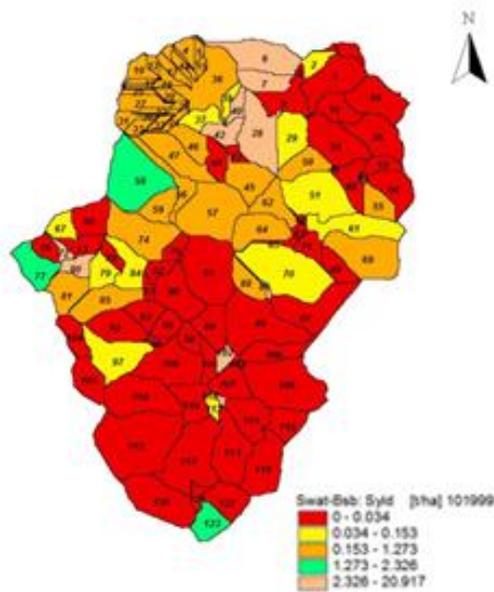
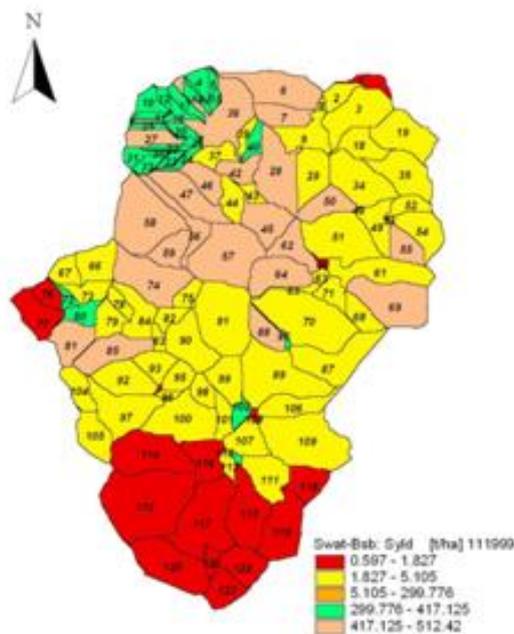


Figura 41 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de outubro de 1999.

No mês de novembro, novamente percebe-se, que o modelo superestimou a perda de solo nas áreas com menores declividades e subestimou a perda de solo em áreas de maior declividade, conforme figura 42.

Perda de solo novembro - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo novembro - calibrado

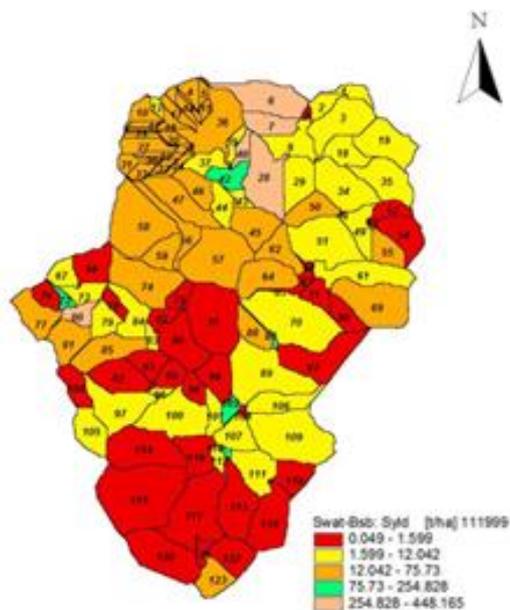
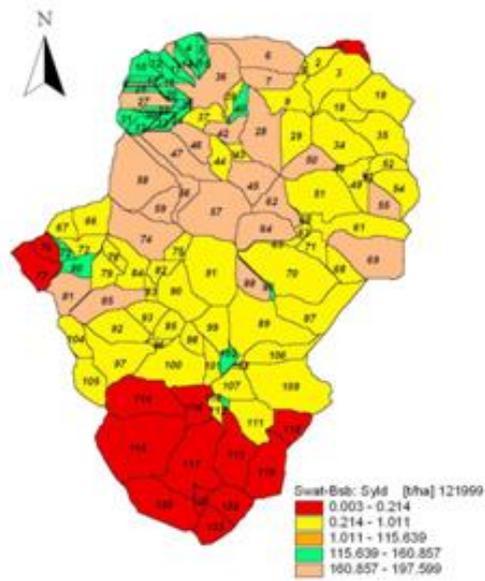


Figura 42 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de novembro de 1999.

Seguindo o mesmo padrão, desde o mês de outubro, o modelo superestimou a perda de solo nas áreas com menores declividades e subestimou a perda de solo em áreas de maior declividade, conforme figura 43.

Perda de solo dezembro - sem calibração ( PEREIRA, 2010)



Perda de solo dezembro - calibrado

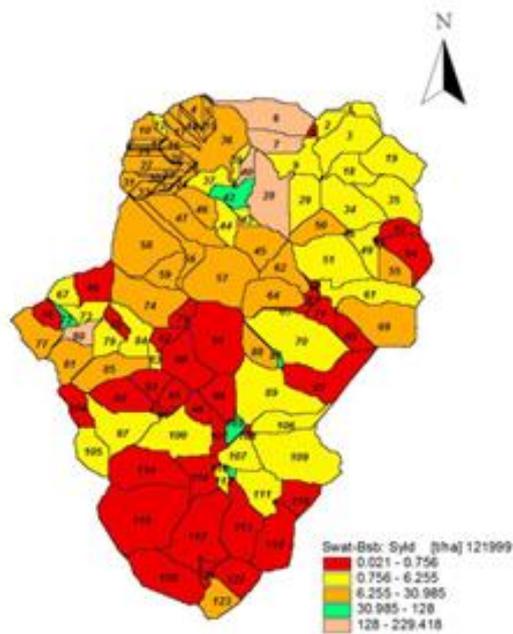


Figura 43 - Mapa de perda de solo da BHRC sem calibração e calibrado, respectivamente, para o mês de dezembro de 1999.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em conformidade com a proposta de calibração do modelo utilizado na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, Município de Santa Rita do Sapucaí, região da Serra da Mantiqueira de Minas Gerais, tendo como base a pesquisa anterior feita no mesmo local por PEREIRA (2010). Os resultados obtidos no presente estudo permitem avaliar a viabilidade de utilização de modelagem distribuída de base física para a simulação das condições de produção e transporte de sedimentos em bacias hidrográficas do sul do estado de Minas Gerais. Buscou-se um melhor ajuste da vazão observada em relação à vazão simulada através da calibração manual do modelo, alterando os parâmetros que governam as rotinas de escoamento, conforme descrito nos manuais no modelo SWAT.

Foi realizado um estudo da análise de sensibilidade de parâmetros de forma manual e conseguiu-se elencar diversos elementos sensíveis particulares do trabalho e embasados em consulta a literatura.

Em linhas gerais o presente estudo demonstrou um bom ajuste dos parâmetros de vazão simulados e observados. Houve necessidade de um estudo de estimativa de vazões reais devido a falta de informações hidrográficas em pequenas bacias brasileiras.

Chegou-se a conclusão que os resultados sem calibração do modelo subestimaram tanto a vazão como perda de solo de janeiro a setembro de 1999, tendo superestimado ambas nos meses de outubro, novembro e dezembro.

Novos estudos poderiam ser realizados na direção de monitoramento em campos de bacias hidrográficas e novos estudos de correlações estatísticas. Outros parâmetros poderiam ser avaliados na calibração, assim como um refinamento maior das faixas de estudos destes respectivos parâmetros analisados.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABRAHAM, L. Z.; ROEHRIG, J.; CHEKOL, D. A. Calibration and Validation of SWAT Hydrological Model for Meki Watershed, Ethiopia In: **CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURE RESEARCH FOR DEVELOPMENT – TROPENTAG**. Witzenhausen, Germany, 2007.

ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; MAIDMENT, D.R. Continuous-time water and sediment routing model for large basins. **Journal of hydraulic engineering**, v. 121, n. 2, p. 171-183, 1985.

ARNOLD, J. G. et al. **Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin**. Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 227, n. 1/4, p. 21-40, Mar. 2000.

ARNOLD, J. G.; FOHRER, N. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 19, n. 3, p. 563-572, Feb. 2005.

BALDISSERA, G.C: **Aplicabilidade do Modelo de Simulação Hidrológica SWAT (soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT**. 2005. 144f. Dissertação (mestrado em física e Meio Ambiente)- Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2005.

BALTOKOSKI, V. **Modelo SWAT 2005 aplicado às sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro, Pato Branco, PR**. 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2008.

BENITES, E.T.; MOTA, J.L.O.; REYNOSO, D.S.F. Aplicación del modelo SWAT en la Cuenca “El Tejocote”, Atlacomulco, estado de Mexico In: **X CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN & SIMPOSIO 4: MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS HIDROLOGICAS**. 2000, Chihuahua, México.

BESKOW, S. et al. **Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling**. Catena, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 49-59, Oct. 2009.

BIESBROUCK, B.; WYSEURE, G. et al. **AvSWAT 2000**. Katholiek Universiteit Leuven, Laboratory for Soil and Water Management, Vital Decosterstraat 102, b-3000, Leuven, Belgium. February, 2002. 199p.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2000. p. 915-943.

BOSCH, D. D. et al. **Evaluation of the AnnAGNPS water quality model**. Orlando: ASAE, 1998. 12 p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CHIANG, L. et al. **Differentiating impacts of land use changes from pasture management in a CEAP watershed using SWAT model**. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, v. 53, n. 5, p. 1569-1584, Sept. 2010.

CHOW, V.T. **Handbook of applied hydrology**: a compendium of water-resources technology. New York: MacGraw-Hill Book Co., 1964. 1v. (várias paginações).

CHOWDARY, V. M. et al. **Assessment of non-point source pollution on watershed basis using remote sensing, GIS and AGNPS Model**. In: ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, 22., 2001, Singapura. **Proceedings...** Singapura: ACRS, 2001. 1 CD-ROM.

CHU, T. W. et al. **Watershed level BMP evaluation with SWAT model**. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 52., 2005, Saint Joseph. **Proceedings...** Saint Joseph: ASAE, 2005. p. 25.

COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia In: GUERRA A. J. T.; CUNHA S. B (orgs): **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

COLLISHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 194 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: Guerra A. J. T.; Cunha S. B (orgs): **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. **ArcView Interface for SWAT2000 – User's Guide**. Texas, EUA: Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2001. 337p.

DUIKER, S. W.; FLANAGAN, D. C.; LAL, R. **Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain.** *Catena*, Amsterdam, v. 45, n. 2, p. 103-121, Aug. 2001.

DURÃES, M. F. **Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da Bacia do Rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído.** 2010. 147 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: Manual do usuário.** Porto Alegre: UFRS, 1998.

EASTMAN, J R. IDRISI Andes: **Guide to GIS and image processing.** Manual version 15. Worcester: Clark University, 2006.

FOHRER, K.; ECKHARDT, K.; HAVERKAMP, S.; FREDE, H.G. Applying the SWAT model as decision support tool for land use concepts in peripheral regions in Germany In: **10TH INTERNACIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION MEETING.** 1999, EUA, Purdue University an USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. p. 24-29.

GARRIDO, K. M. **Aplicação do modelo matemático de simulação com utilização de SIG à bacia do rio Jiquiriçá, Bahia.** 2003. 186 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

GOMES, N. M. **Aplicação do LISEN (limburg soil erosion model) para simulação hidrológica em bacia hidrográfica tropical.** 2008. 191 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GOMES, N. M. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela na região do Alto Rio Grande, MG.** 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GRIENSVEN, A.V. Sensitivity, autocalibration, uncertainty and model evaluation ins SWAT2005. Artigo técnico. Disponível em: <http://www.groups.google.com/group/swatuser/files>. Acesso em 16 ago. 2007.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B.(orgs): **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos.** 4ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

GUERRA, A.T. Experimentos e Monitoramento em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n.16. p 32-37. 2005.

LAMPARELLI, M. C. 2004. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento** – São Paulo – Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências – USP. 238p.

LINSLEY, R.K.; FRANZINI, J.B.: **Engenharia de Recursos Hídricos**. São Paulo: McGraw do Brasil, Editora da USP, 1978;

LINO, J. F. de L. **Análise da dinâmica hidrossedimentológica da bacia do rio Preto (SC) com modelo SWAT**. 2009. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LOPES, N.H.Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2008.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento** - Piracicaba, 2002. 154p. Tese(doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

MALDONADO, O. A. et al. Empleo **modelo SWRRB** generar alternativas de **manejo em La Cuenca Itzapa**, Guatemala. **Agrociência**, Ciudad del México, v. 35, p. 335-345, 2001.

MELLO, C. R. de et al. **Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin**. *Catena*, Amsterdam, v. 75, n. 3, p. 235-247, Nov. 2008.

MINOTI, R. T. **Abordagem qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi- Superior**, 2006. 247f. Tese (doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2006.

MOLDAN, B.; CERNY, J., (1994). Small Catchments Research. In MOLDAN, B.; CERNY, J. *Biogeochemistry of Small Catchments: a tool for environmental research*. Chicester: John Wiley, p. 1-29.

MOLINA, L. A. U. Validación del modelo hidrológico SWAT, com interfaz ArcView, em La Cuenca alta del rio Chama, estado Mérida. **Revista Venezolana**, 49(1), 2005.

MORO, M. **A utilização da interface SWAT- SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos**. 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 200p.

NEVES, F. F. **Análise prospectiva das áreas de risco à erosão na Microbacia Hidrográfica do Rio Bonito (Descalvado – SP), potencialmente poluidoras por dejetos de granjas**. 2005. 183f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, L.G. KINIRY, J.R. WILLIAMS, J.R. KING, K.W. **Soil and Water Assessment Tool – User’s Manual: Version 2000**. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2002a, 458p.

NEITSCH, S. L. et al. **Soil and water assessment tool: theoretical documentation version 2005**. Temple: Blackland Research Center, 2005. 541 p.

ODUM, E.P., **ECOLOGIA**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1986. 434 p.

OLIVEIRA, M. Q. C. **Impacto de mudanças no uso do solo nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do rio Joanes e sua repercussão na zona costeira**. 1999. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.

PAIVA, J. B de; PAIVA, E. M. C. D. de.(orgs). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. (Ed. Rev) Porto Alegre: ABRH, 2003.

PANDEY, V. K. . PANDA, S. N. PANDEY, A. and SUDHAKAR S. : Evaluation of effective management plan for an agricultural watershed using AVSWAT model, remote sensing and GIS. **Journal: Environmental Geology**. Springer Berlin / Heidelberg; Volume 56, Number 5, January, 2009.

PAPAGALLO, G.; LO PORTO, A.; LEONE, A. Use of the SWAT model for evaluation of anthropic impacts on water resources quality and availability in the Celon Creek basin (Apulia – Italy). **2ND INTERNATIONAL SWAT CONFERENCE**. 2003, Baria/Italy. TWRI Technical Report, 2003. p266.

PEREIRA, J.C.D. **Aplicação do modelo hidrossedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha – MG**. 2010. 119 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

PEREIRA, J.C.D; PAES, F. S; SILVA, F. G. B. ; DUPAS, F. . **Determinação preliminar de variáveis para aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

PHILIP, W.G. et al. **Initial calibration and validation of the SWAT model for the upper Mississippi river basin**. Pollutin diffuse, Conference Dublin, 2003. Center for Agricultural and rural Development. Iowa State Univ. 10B:10-40. Ames. Disponível em: <[http://www.ucd.ie/dipcon/docs/theme10/theme10\\_08PDF](http://www.ucd.ie/dipcon/docs/theme10/theme10_08PDF)>. Acesso em 10 ago. 2010.

PINTO, D.B.F. **Aplicação do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação hidrossedimentológica em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira, MG**. Lavras: UFLA, 2011. 225p.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 210p.

SAMMONS, N.; NEITSCH, S. L. **Until interface for SWAT2000: user guide**. Washington: GUAR, 2000. 14 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e pratica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SILVA, (2004), PRODOC-CAPES/PPG-SEA – EESC/USP (2004) Silva, F.B.; Neves, F.F.; Crestana, S.. **Avaliação da Perda de Solo em Sub-Bacias Hidrográficas da Região de Descalvado a Partir do Modelo AVSWATT**. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, ANAIS, 2005.

SILVA, F. G. B.; MINOTI, R. T.; NETTO, A. A.; REIS, J. A. T.; TSUHAKO, E. M.;

CRESTANA, S. **Simulação da Produção de Sedimentos em uma Sub-bacia Hidrográfica Experimental com o modelo SWAT**. VI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Livro de Resumos Expandidos. 2005.

SILVA, F.G.B.(2005) Relatório Final relativo ao programa PRODOC-CAPES/PPG-SEA-EESC/USP. **Erosão do solo e qualidade da água. O conceito de tolerância de perda de solo com uma nova abordagem voltada ao planejamento ambiental**.

SILVA, F. G. B. ; PIOLTINE,V ; MINOTI, R. T. ; CRESTANA, S. ; DUPAS,F. . **Estimativa preliminar de perda de solo com o uso do modelo AVSWAT para bacias da região de Luis Antônio- S.P.**. in: VII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 2006, PORTO ALEGRE.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, L.P; SILVA, J.F.C.B.C. **Soil loss prediction in Guaraíra river experimental basin**, Paraíba, Brazil based on two erosion simulation models. Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 2, n. 3, p. 19-33, 2007.

SILVA, R. M. ; SANTOS, Celso Augusto Guimarães . **Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online), v. 12, p. 520-526, 2008.

SILVA, F. G. B. ;; MINOTI, R. T. ; NETO, F.L.; PRIMAVESIO, O.; CRESTANA, S. **Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D**. Eng Sanit Ambient | v.15 n.2 | abr/jun 2010 | 135-142.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Estudos hidrológicos sobre o regime de escoamento das sub-bacias hidrográficas de drenagem da região do Alto Rio Grande à montante da UHE de Camargos/CEMIG**. Belo Horizonte: CEMIG/ANEEL, 2005. 500 p.

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. Integration of the basin-scale water quality model with GIS. **Water Resources Bulletin**, Nevada, EUA. V.30, n.03, p. 453-462, 1994.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, RS: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFGRS: Edups, ABRH, 2001. 943p.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, RS: Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ABRH, 1998. 652p. V.1.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2 ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2005. 678p.

UZEIKA, T. **Aplicabilidade do modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural**. 2009. 130 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VESTENA, L.R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem**. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2008. 264f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

VIOLA, M. R. **Simulação hidrológica nas bacias de drenagem para o reservatório da UHE de Camargos/CEMIG**. 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água e Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

Xavier, Fernanda Vieira. **Contribuições Metodológicas ao Estudo da Produção e Distribuição Espacial de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do rio Manso, Utilizando o Modelo AVSWAT**. /. Fernanda Vieira Xavier. -- Cuiabá, MT, 2009 / Instituto de Ciências Exatas e da Terra.

YAYA, S.: Assessing and Quantifying Sediment Loading in the South of the Root River Watershed. In: **RESOURCE ANALYSIS**. 2007, Winona, MN, EUA - Department of Resource Analysis, Saint Mary's University of Minnesota: Central Service Press. volume 9. 13p.

ZAPPA, M. **Multiple-response verification of a distributed hydrological model at different spatial scales**. 2002. 167 p. Thesis (Ph.D. in Natural Science) - Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2002.

## ANEXO 1

Dados dos postos fluviométricos selecionados num raio de 50 km

Postos	AD	Latitude	Longitude	Situação	Rio	Nome	Dados
58044900	2637	23° 23' 0" S	45° 39' 0" W	Desativada	Rio Paraitinga	Bairro Paraitinga	-
58107000	34	23° 27' 25" S	46° 03' 28" W	Desativada	Ribeirão Guararema	Luiz Carlos - Régua Nova	-
58107100	46	23° 27' 0" S	46° 03' 0" W	Desativada	Ribeirão Guararema	Luiz Carlos - Régua Nova	ok
58217000	33	22° 42' 0" S	45° 02' 0" W	Desativada	Rio Caninhas	Caninhas	-
61250000	119	22° 41' 16" S	45° 28' 47" W	Ativada	Rio Sapucaí	Fazenda da Guarda	ok
61250100	120	22° 41' 17" S	45° 28' 44" W	Desativada	Rio Sapucaí	Parque Estadual	-
61255000	30	22° 36' 0" S	45° 23' 0" W	Desativada	Ribeirão São Bernardo	Vila Maria	ok
61261000	91	22° 33' 0" S	45° 21' 0" W	Desativada	Ribeirão Comprido	Usina de Bicas	-
61262000	90	22° 32' 0" S	45° 20' 0" W	Desativada	Rio de Bicas	Usina de Bicas	ok
61264000	144	22° 31' 0" S	45° 22' 0" W	Desativada	Ribeirão do Quilombo	Usina de Bicas	-
61265000	27,09	22° 32' 0" S	45° 27' 0" W	Desativada	Ribeirão do Machado	Fazenda Córrego Alegre	ok
61266000	12,5	22° 32' 0" S	45° 27' 0" W	Desativada	Ribeirão do Ataque	Fazenda Córrego Alegre	ok
61267000	112	22° 30' 30" S	45° 17' 13" W	Ativada	Ribeirão do Taboão	Delfim Moreira	ok
61269000	174	22° 28' 10" S	45° 21' 40" W	Desativada	Rio Santo Antônio	Fazenda Água Limpa	ok
61270000	-	-	-	-	-	-	-
61270002	863	22° 26' 0" S	45° 27' 0" W	Desativada	Rio Sapucaí	Itajubá	-
61271000	860	22° 26' 34" S	45° 25' 38" W	Ativada	Rio Sapucaí	Itajubá	ok
61272000	870	22° 26' 0" S	45° 27' 0" W	Desativada	Rio Sapucaí	Itajubá	ok
61285000	560	22° 22' 38" S	45° 26' 51" W	Ativada	Rio Lourenço Velho	São João de Itajubá	ok
61286000	549	22° 22' 0" S	45° 23' 0" W	Desativada	Rio Lourenço Velho	São João de Itajubá	-
61288000	4	22° 20' 0" S	45° 23' 0" W	Desativada	Rio São João	Cachoeira Veu de Noiva	-
61295000	156	22° 28' 11" S	45° 37' 19" W	Ativada	Ribeirão Vargem Grande	Brasópolis	ok
61305000	2810	22° 15' 05" S	45° 42' 32" W	Ativada	Rio Sapucaí	Santa Rita do Sapucaí	ok
61305001	2729	22° 17' 0" S	45° 38' 0" W	Desativada	Rio Sapucaí	Santa Rita do Sapucaí	-
61320000	475	22° 41' 9" S	45° 44' 7" W	Ativada	Rio Sapucaí-Mirim	São Bento do Sapucaí	ok
61323000	15	22° 36' 0" S	45° 47' 0" W	Desativada	Ribeirão Vermelho	Usina Paraisópolis	ok
61335000	244	22° 34' 0" S	45° 53' 0" W	Desativada	Rio Capivari	Cachoeira Gonçalves	ok

<b>Postos</b>	<b>AD</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Situação</b>	<b>Rio</b>	<b>Nome</b>	<b>Dados</b>
61340000	151	22° 36' 0" S	45° 53' 0" W	Desativada	Rio Capivari	Cachoeira Martins	-
61343000	247	22° 33' 27" S	45° 52' 57" W	Ativada	Rio Capivari	Bairro do Analdino	ok
61350000	1310	22° 24' 51" S	45°47' 27" W	Ativada	Rio Sapucaí-Mirim	Conceição dos Ouros	ok
61350001	1280	22° 25' 0" S	45°47' 0" W	Desativada	Rio Sapucaí-Mirim	Conceição dos Ouros	-
61355000	1320	22° 21' 0" S	45° 47' 0" W	Desativada	Rio Sapucaí-Mirim	Cachoeira de Minas	-
61360000	116	22° 36' 25" S	46° 02' 30" W	Ativada	Rio Itaim	Cambuí	ok
61365000	667	22° 26' 0" S	45° 55' 0" W	Desativada	Rio Itaim	Bairro dos Ferreiros	-
61370000	676	22° 22' 14" S	45°53' 17" W	Ativada	Rio Itaim	Ponte do Rodrigues	ok
61380000	390	22° 13' 0" S	45° 59' 0" W	Desativada	Rio Mandu	Pouso Alegre	ok
61380001	524	22° 13' 0" S	45° 56' 0" W	Desativada	Rio Mandu	Pouso Alegre	-
61385000	5776	22° 12' 0" S	45° 52' 0" W	Desativada	Rio Sapucaí	Fazenda da Barra	-
61389000	283	22° 09' 0" S	46° 05' 0" W	Desativada	Rio do Cervo	Congonhal	ok
61390000	486	22° 07' 0" S	45° 55' 04" W	Ativada	Rio do Cervo	Vargem do Cervo	ok
61390001	474	22° 08' 0" S	46° 0' 0" W	Desativada	Rio do Cervo	Vargem do Cervo	-
61403000	137	22° 08' 0" S	45° 32' 0" W	Desativada	Rio Turvo	Bairro do Turvo	-
61410000	7330	22° 03' 15" S	45° 41' 57" W	Ativada	Rio Sapucaí	Careaçu	ok
61420000	7623	21° 55' 0" S	45° 41' 0" W	Desativada	Rio Sapucaí	Porto Santa Maria	-
61484000	73	22° 12' 37" S	45° 15' 57" W	Ativada	Rio Lambari	Cristina - Montante	ok
61485000	71	22° 12' 0" S	45° 18' 0" W	Desativada	Rio Lambari	Cristina	ok
61486000	26	22° 12' 0" S	45° 18' 0" W	Desativada	Ribeirão da Glória	Cristina	ok
61490000	171	22° 10' 0" S	45° 18' 0" W	Desativada	Rio Lambari	Cachoeira Mandembo	ok
61860000	115	22° 20' 0" S	46° 09' 0" W	Desativada	Rio Mogi-Guaçu	Usina Santa Tereza	-
62750500	113	22° 24' 0" S	46° 10' 0" W	Desativada	Ribeirão do Ribeirinho	Acima da Represa	-

Dados dos postos fluviométricos selecionados num raio de 50 km

## ANEXO 2

Série histórica do posto fluviométrico Fazenda da Guarda (61250000).

Postos 61250000													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1934										2,30	2,24	8,13	4,22
1935	4,17	8,59	2,02	4,54	4,29					3,06		3,17	4,26
1936	3,49	5,33	7,87	4,72	3,44	2,87	2,42	2,82	2,45	2,15	2,69	5,72	3,83
1937	6,78	4,55	3,72	3,83	4,22	3,12	2,45	2,01	1,59	3,07	3,10	5,98	3,70
1938	6,10	6,87	5,05	4,82	3,76	2,93	2,34	2,34	1,98	4,03	3,40	5,11	4,06
1939	7,04	6,55	4,43	3,77	3,06	2,28	2,01	1,58	1,86	1,40	1,81	3,74	3,29
1940	5,54	8,73	6,07	4,18	3,42	2,56	2,08	1,56	1,39	1,86	3,03	2,75	3,60
1941	4,23	3,41	4,04	3,15	2,22	2,05	1,81	1,33	4,50	3,09	3,57	4,47	3,16
1942	4,00	6,53	8,39	4,69	3,51	3,00	2,66	2,20	2,25	2,35	2,52	5,21	3,94
1943	5,50	6,52	7,33	4,16	3,05	2,82	1,94	1,87	1,73	3,34	3,34	3,81	3,78
1944	4,05	5,39	5,17	3,88	2,78	1,98	1,97	1,54	1,34	1,11	2,69	2,60	2,88
1945	3,95	6,58	4,86	3,82	2,71	2,80	2,82	1,83	2,47	1,61	3,31	5,95	3,56
1946	7,46	5,14	5,14	4,48	3,60	2,83	3,45	1,94	1,55	2,88	2,20	2,83	3,63
1947	7,66	8,58	10,07	5,63	5,23	4,01	3,20	2,95	3,12	2,90	4,86	6,34	5,38
1948	5,42	6,48	8,86	4,79	3,68	2,83	2,32	2,49	1,76	1,67	1,69	3,21	3,77
1949	7,30	5,48	7,67	4,59	2,73	2,16	1,91	1,61	1,28	1,37	1,64	9,62	3,95
1950	7,43	8,52	5,83	5,06	4,14	3,10	2,58	2,07	1,60	2,04	4,00	3,68	4,17
1951	5,25	4,91	4,78	4,43	3,81	3,75	3,93	2,99	2,54	2,64	3,27	2,52	3,73
1952	7,49	5,97	7,30	5,00	3,64	5,35	2,94	2,57	2,30	1,97	2,90	2,64	4,17
1953	2,34	2,47	3,27	2,79	1,90	1,37	1,19	0,96	0,96	1,07	2,18	3,33	1,98
1954	3,31	10,25	4,39	3,74	4,41	2,83	2,05	1,53	1,54	2,55	1,92	3,16	3,47
1955	5,88	2,95	4,75	3,11	2,42	2,27	1,59	1,28	0,90	1,18	1,96	4,16	2,70
1956	2,79	4,40	4,54	3,25	4,26	3,28	2,45	2,93	2,38	2,63	3,05	5,05	3,42

Postos 61250000													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1957	7,05	8,47	7,74	6,49	4,51	3,65	3,36	2,63	3,16	2,75	3,71	3,51	4,75
1958	6,83	6,79	6,69	5,59	5,67	5,18	3,75	2,87	3,28	3,73	4,04	3,92	4,86
1959	9,10	4,46	4,67	3,66	2,93	2,16		1,85	3,20	4,83	5,45	5,49	4,35
1960	6,60	5,61	4,49	3,41	4,10	2,71	2,12	1,57	1,47	1,84	3,53	5,98	3,62
1961	9,41		8,45	7,14	4,54	3,33	2,70	2,08	1,80	1,79	1,97	2,52	4,16
1962	5,28	6,92	6,45	3,56	2,88	2,25	1,74	1,50	1,70		2,61	7,37	3,84
1963	6,58	9,80	5,61	3,62	2,84	1,98	1,55	1,25	1,00	2,09	2,76	2,39	3,46
1964	3,86	7,04	3,46	2,37	2,29	1,73	2,12	1,24	1,15	1,93	2,10	4,30	2,80
1965	7,06	5,94	6,64	5,96	5,37	4,63	5,27						5,84
1966	7,68	6,14	9,19	5,70	4,46	3,23	2,46	1,89	1,70	3,09	3,52	10,10	4,93
1967	9,81	11,73	7,91	5,52	3,81	3,56	2,41	2,02	2,21	2,81	3,63	4,55	5,00
1968	5,61	4,07	4,76	3,39	2,83	2,03	2,01	2,15	1,53	1,54	1,80	3,72	2,95
1969	3,00	5,15	4,18	3,19	1,97	1,76	1,49	1,55	1,02	1,68	3,92	3,72	2,72
1970	6,55	10,92	7,21	4,85	3,80	2,96	2,51	2,89	3,09	2,91	3,24	2,80	4,48
1971	2,58	2,11	2,98	2,31	1,88	2,17	1,74	1,73	1,82	3,87	2,72	5,33	2,60
1972	5,10	4,46	5,18	4,55	2,86	2,22	2,09	2,10	1,58	2,62	2,48	3,82	3,26
1973	4,39	5,16	4,64	4,60	3,64	2,77	2,26	1,80	1,76	3,01	2,57	5,13	3,48
1974	6,98	4,68	4,26	3,92	3,20	3,99	2,36	1,86	1,59	1,70	1,77	4,29	3,38
1975	3,85	4,46	3,43	3,13	2,63	2,36	2,02	1,70	1,48	2,43	3,36	4,34	2,93
1976	4,07	6,81	5,78	4,98	4,46	4,38	4,60	3,45	4,00	3,34	3,70	5,47	4,59
1977	6,86	5,52	4,30	5,17	3,24	2,81	2,46	2,06	2,03	2,15	2,64	4,03	3,61
1978	5,32	4,98	4,81	3,13	2,72	2,72	2,06	1,75	1,53	1,81	4,20	4,59	3,30
1979	4,47	5,56	4,52	4,12	3,80	2,60	2,61	2,20	2,63	2,50	5,60	4,72	3,78
1980	6,82	6,62	4,69	6,68	4,21	4,09	2,86	2,47	2,33	2,18	2,46	4,98	4,20
1981	8,13	5,50	4,99	4,41	3,26	3,21	2,52	2,08	1,80	2,74	4,85	5,43	4,08
1982	8,40	6,47	8,10	5,92	4,66	4,34	3,04	2,49	2,09	2,74	2,88	4,72	4,65
1983	6,38	8,39	7,16	5,81	5,73	7,66	5,07	4,03	6,32	5,66	5,56	8,76	6,38
1984	7,20	5,60	4,85	4,48	3,75	2,92	2,58	2,90	2,68	2,11	2,42	3,58	3,76
1985	5,83	6,79	7,16	5,45	4,11	3,42	2,82	2,50	2,79	2,55	2,70	4,18	4,19
1986	4,58	4,88	5,37	4,82	4,33	3,30	3,04	2,97	2,50	2,39	2,64	5,52	3,86
1987	6,91	5,83	4,83	5,76	4,92	4,38	3,35	2,89	3,29	3,35			4,55
1988	5,27	4,97	6,97	4,60	4,84	4,02	2,91	2,50	2,28	2,75	2,87		4,00
1989	5,40	6,99	5,38	4,44									5,55
1990	4,60	3,69	4,74	3,81	3,06	2,34	2,35	2,37	2,44	3,07	2,26	4,25	3,25
1991	3,21	3,98	4,13	3,19	2,14	1,63	1,44	0,66	1,57	4,14	3,06	4,37	2,79
1992	3,94	3,47	3,56	3,37	3,28	2,59	2,96	1,98	2,75	2,00	2,96	2,42	2,94
1993	3,05	6,68	4,10	2,90	2,31	2,47	2,13	2,38	2,56	2,64	2,20	2,12	2,96

Postos 61250000													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1994	3,03	2,66	3,22	3,07	2,99	2,50	2,25	1,95	1,70	1,74	2,36	4,96	2,70
1995	3,83	7,93	4,53	3,80	3,44	2,70	2,60	2,13	2,01	3,72	3,46	3,85	3,67
1996	5,70	5,33	5,93	4,59	3,81	3,29	2,73	2,39	2,85	3,31	4,23	5,40	4,13
1997	5,97	4,81	4,54	4,12	3,27	3,51	2,82	2,15	2,25	2,39	2,86	3,79	3,54
1998	3,72	4,32	3,93	3,32	3,46	2,63	2,35	2,12	2,22	3,11	2,95	4,33	3,21
1999	5,94	6,95	4,68	4,01	3,15	2,98	2,56	1,94	1,91	1,86	2,34	2,72	3,42
2000			5,34	4,30	3,39	2,93	3,00	2,58	2,28	1,99	2,61	3,12	3,15
2001	2,74		2,85	2,60	2,28	2,06	1,78	1,62	1,89	1,86	2,66	4,08	2,40
2002	4,62	6,19	4,84	4,06	3,23	2,57	2,16	1,95	2,20	1,88	2,94	3,77	3,37
2003	4,86	4,73	4,82			2,46							4,22

### ANEXO 3

Série histórica do posto fluviométrico Cristina (61485000).

Postos 61485000													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1946	6,79	3,38	3,15	2,43	1,72	1,43	1,29	1,00	0,88	1,06	1,02	1,34	2,12
1947	3,14	2,89	8,28	3,89	2,67	2,11	2,03	1,98	1,74	2,44	1,99	2,72	2,99
1948	2,49	1,90	2,66	2,45	1,67	0,92	1,21	0,90	0,61	0,76	0,48	3,35	1,62
1949	5,13	4,64	3,57	2,89	1,95	2,11	1,44	1,16	1,05	1,27	1,11	1,75	2,34
1950	3,00	4,80	4,06	3,01	1,77	1,48	1,26	1,05	0,95	0,97	0,99	1,88	2,10
1951	1,98	1,98	2,89	2,37	1,45	1,42	1,10	0,99	0,94	0,73	1,11	1,08	1,50
1952	1,18	2,42	2,45	1,87	1,54	1,42	1,16	0,93	0,85	0,83	0,98	0,82	1,37
1953	0,82	1,20	1,90	1,56	1,15	1,04	0,95	0,82	0,72	0,73	0,85	1,01	1,06
1954	1,18	2,01	1,38	1,05		0,91	0,78	0,77	0,76	0,69	0,61	0,80	0,99
1955	1,57	1,09	1,44	1,14	1,02	0,92	0,80	0,74	0,66	0,68	0,73	2,16	1,08
1956	1,35	1,35	1,81	1,15	1,07	0,99	0,84	0,86	0,78	0,82	0,82	1,20	1,09
1957	3,98	2,75	2,86	2,33	1,78	1,43	1,20	1,04	1,22	0,93	1,27	1,27	1,84
1958	2,58	2,36	2,49	1,75	1,65	1,55	1,26	1,03	1,03	1,00	0,99	0,96	1,55
1959	4,32	1,95	1,11	0,87	0,74	0,77	0,52	0,56	0,40	0,52	1,01	1,43	1,18
1960	2,18	3,41	3,63	2,25	1,62	1,35	1,49	1,25	0,96	1,01	1,25	5,20	2,13
1961	6,32	5,51	6,74	3,80	3,26	1,96	1,67	1,27	1,01	1,29	1,10	1,08	2,92
1962	1,66	4,52	3,20	1,97	1,46	1,22	1,13	1,21	1,04		1,24	5,60	2,20
1963	5,46	4,18	2,74	1,59	1,41	1,14	1,01	1,09	1,03	1,05	1,35	0,96	1,92

<b>Postos 61485000</b>													
<b>Mês/Ano</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABRI</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>Média</b>
<b>1964</b>	2,58	4,63	2,45	2,52	2,12	1,44	1,59	2,05	1,77	1,59	1,32	3,14	2,27
<b>1965</b>	5,24	4,62	5,11	3,40	2,92	2,19	1,90	1,59	1,42	2,01	0,54	0,82	2,65
<b>1966</b>	5,25	4,43	5,22	2,97	2,54	1,73	1,63	1,48	1,33	1,78	2,29	2,00	2,72
<b>1967</b>	5,11	4,77	3,64	2,99	2,17	1,83	1,50	1,14	0,80	0,87	2,47	2,61	2,49
<b>1968</b>	5,16	4,03	2,42	1,84	1,38	1,19	1,06	1,17	0,94	1,10	0,97	2,17	1,95
<b>1969</b>	2,19	3,28	2,27	2,30	1,14	1,08	0,95	0,98	0,63	1,21	2,15	1,65	1,65
<b>1970</b>	2,61	4,07	3,98	2,83	1,90	1,46	1,68	1,45	1,83	1,22	1,34	1,36	2,14
<b>1971</b>	1,17	1,07	1,43	1,16	1,03	1,61	0,85	0,63	0,62	1,49	1,45	2,56	1,26
<b>1972</b>	2,94	5,69	3,78	2,53	1,83	1,42	1,36	1,43	1,22	2,98	1,74	2,33	2,44
<b>1973</b>	3,61	2,94	2,09	2,08	1,54	1,21	1,08	0,97	0,80	0,98	1,22	5,23	1,98
<b>1974</b>	5,24	2,82	2,66	2,45	1,65	1,79	1,15	1,05	0,94	1,29	0,97	2,94	2,08
<b>1975</b>	3,83	4,43	3,18	2,17	1,71	1,29	1,25	1,10	0,82	1,12	3,02	2,89	2,23
<b>1976</b>	2,87	4,58	4,26	3,07	2,26	1,95	2,02	1,69	2,48	1,88	2,67	3,95	2,81
<b>1977</b>	7,03	4,59	3,05	2,32	1,35	1,27	1,03	0,77	0,95	0,88	1,70	2,93	2,32
<b>1978</b>	2,46	2,32	3,06	1,91	1,43	1,34	1,22	0,87			1,38	1,84	1,78
<b>1979</b>	3,29	3,98	2,85	2,04	1,76	1,29	1,48	1,25	1,80	1,21	2,65	2,75	2,20
<b>1980</b>		4,05	2,93	3,51	2,74	2,73	2,49	2,65	2,54	2,35	2,56	4,02	2,96
<b>1981</b>	5,28	3,45	2,95	2,40	1,93	1,88	1,70	1,81	1,65	1,94	2,43	4,90	2,69
<b>1982</b>	5,96	3,94	5,26	4,95	2,16	1,95	1,58	1,52	1,21	1,57	1,64	4,32	3,01
<b>1983</b>	6,06	6,83	6,28	3,89	3,14	3,98	3,24	2,09	3,50	3,97	4,06	6,43	4,46
<b>1984</b>	4,47	3,07	2,31	2,02	1,66	1,27	1,14	1,00	0,86	0,76	0,90	1,69	1,76
<b>1985</b>	2,66	3,92	4,58	3,16	2,09	1,62	1,15	1,02	0,99	1,30	1,72	2,96	2,26
<b>1986</b>	3,05	3,00	3,34	2,59	2,00	1,46	1,43	1,43	0,85	1,10	1,28	3,77	2,11
<b>1987</b>	2,89	2,49	2,05	2,46	2,02	1,26	0,86	0,43	0,94	1,11	1,70	2,34	1,71
<b>1988</b>	2,23	2,08	2,15	1,04	1,14	1,09	1,00	0,80	0,80	1,71	1,23		1,39
<b>1989</b>	3,50	3,06	1,08	2,22									2,47
<b>1990</b>	2,52	2,08	1,26	0,97	1,07	1,03	1,15	1,08	1,03	1,24	1,06	1,15	1,30
<b>1991</b>	2,62	1,33	3,21	1,45	1,02	1,00	0,94	0,72	0,70	0,86	0,80	0,95	1,30
<b>1992</b>	3,00	1,07		1,42	1,46	1,42							1,67

#### ANEXO 4

Série do posto base preenchida

Série do posto 61250000 preenchido													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1934	5,52	5,99	5,41	4,30	3,53	3,01	2,52	2,13	2,18	2,30	2,24	8,13	3,94
1935	4,17	8,59	2,02	4,54	4,29	3,01	2,52	2,13	2,18	3,06	3,00	3,17	3,56
1936	3,49	5,33	7,87	4,72	3,44	2,87	2,42	2,82	2,45	2,15	2,69	5,72	3,83
1937	6,78	4,55	3,72	3,83	4,22	3,12	2,45	2,01	1,59	3,07	3,10	5,98	3,70
1938	6,10	6,87	5,05	4,82	3,76	2,93	2,34	2,34	1,98	4,03	3,40	5,11	4,06
1939	7,04	6,55	4,43	3,77	3,06	2,28	2,01	1,58	1,86	1,40	1,81	3,74	3,29
1940	5,54	8,73	6,07	4,18	3,42	2,56	2,08	1,56	1,39	1,86	3,03	2,75	3,60
1941	4,23	3,41	4,04	3,15	2,22	2,05	1,81	1,33	4,50	3,09	3,57	4,47	3,16
1942	4,00	6,53	8,39	4,69	3,51	3,00	2,66	2,20	2,25	2,35	2,52	5,21	3,94
1943	5,50	6,52	7,33	4,16	3,05	2,82	1,94	1,87	1,73	3,34	3,34	3,81	3,78
1944	4,05	5,39	5,17	3,88	2,78	1,98	1,97	1,54	1,34	1,11	2,69	2,60	2,88
1945	3,95	6,58	4,86	3,82	2,71	2,80	2,82	1,83	2,47	1,61	3,31	5,95	3,56
1946	7,46	5,14	5,14	4,48	3,60	2,83	3,45	1,94	1,55	2,88	2,20	2,83	3,63
1947	7,66	8,58	10,07	5,63	5,23	4,01	3,20	2,95	3,12	2,90	4,86	6,34	5,38
1948	5,42	6,48	8,86	4,79	3,68	2,83	2,32	2,49	1,76	1,67	1,69	3,21	3,77
1949	7,30	5,48	7,67	4,59	2,73	2,16	1,91	1,61	1,28	1,37	1,64	9,62	3,95

Série do posto 61250000 preenchido													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1950	7,43	8,52	5,83	5,06	4,14	3,10	2,58	2,07	1,60	2,04	4,00	3,68	4,17
1951	5,25	4,91	4,78	4,43	3,81	3,75	3,93	2,99	2,54	2,64	3,27	2,52	3,73
1952	7,49	5,97	7,30	5,00	3,64	5,35	2,94	2,57	2,30	1,97	2,90	2,64	4,17
1953	2,34	2,47	3,27	2,79	1,90	1,37	1,19	0,96	0,96	1,07	2,18	3,33	1,98
1954	3,31	10,25	4,39	3,74	4,41	2,83	2,05	1,53	1,54	2,55	1,92	3,16	3,47
1955	5,88	2,95	4,75	3,11	2,42	2,27	1,59	1,28	0,90	1,18	1,96	4,16	2,70
1956	2,79	4,40	4,54	3,25	4,26	3,28	2,45	2,93	2,38	2,63	3,05	5,05	3,42
1957	7,05	8,47	7,74	6,49	4,51	3,65	3,36	2,63	3,16	2,75	3,71	3,51	4,75
1958	6,83	6,79	6,69	5,59	5,67	5,18	3,75	2,87	3,28	3,73	4,04	3,92	4,86
1959	9,10	4,46	4,67	3,66	2,93	2,16	1,52	1,85	3,20	4,83	5,45	5,49	4,11
1960	6,60	5,61	4,49	3,41	4,10	2,71	2,12	1,57	1,47	1,84	3,53	5,98	3,62
1961	9,41	7,71	8,45	7,14	4,54	3,33	2,70	2,08	1,80	1,79	1,97	2,52	4,45
1962	5,28	6,92	6,45	3,56	2,88	2,25	1,74	1,50	1,70	2,55	2,61	7,37	3,73
1963	6,58	9,80	5,61	3,62	2,84	1,98	1,55	1,25	1,00	2,09	2,76	2,39	3,46
1964	3,86	7,04	3,46	2,37	2,29	1,73	2,12	1,24	1,15	1,93	2,10	4,30	2,80
1965	7,06	5,94	6,64	5,96	5,37	4,63	5,27	3,29	3,05	3,87	1,58	2,10	4,56
1966	7,68	6,14	9,19	5,70	4,46	3,23	2,46	1,89	1,70	3,09	3,52	10,10	4,93
1967	9,81	11,73	7,91	5,52	3,81	3,56	2,41	2,02	2,21	2,81	3,63	4,55	5,00
1968	5,61	4,07	4,76	3,39	2,83	2,03	2,01	2,15	1,53	1,54	1,80	3,72	2,95
1969	3,00	5,15	4,18	3,19	1,97	1,76	1,49	1,55	1,02	1,68	3,92	3,72	2,72
1970	6,55	10,92	7,21	4,85	3,80	2,96	2,51	2,89	3,09	2,91	3,24	2,80	4,48
1971	2,58	2,11	2,98	2,31	1,88	2,17	1,74	1,73	1,82	3,87	2,72	5,33	2,60
1972	5,10	4,46	5,18	4,55	2,86	2,22	2,09	2,10	1,58	2,62	2,48	3,82	3,26
1973	4,39	5,16	4,64	4,60	3,64	2,77	2,26	1,80	1,76	3,01	2,57	5,13	3,48
1974	6,98	4,68	4,26	3,92	3,20	3,99	2,36	1,86	1,59	1,70	1,77	4,29	3,38
1975	3,85	4,46	3,43	3,13	2,63	2,36	2,02	1,70	1,48	2,43	3,36	4,34	2,93
1976	4,07	6,81	5,78	4,98	4,46	4,38	4,60	3,45	4,00	3,34	3,70	5,47	4,59
1977	6,86	5,52	4,30	5,17	3,24	2,81	2,46	2,06	2,03	2,15	2,64	4,03	3,61
1978	5,32	4,98	4,81	3,13	2,72	2,72	2,06	1,75	1,53	1,81	4,20	4,59	3,30
1979	4,47	5,56	4,52	4,12	3,80	2,60	2,61	2,20	2,63	2,50	5,60	4,72	3,78
1980	6,82	6,62	4,69	6,68	4,21	4,09	2,86	2,47	2,33	2,18	2,46	4,98	4,20
1981	8,13	5,50	4,99	4,41	3,26	3,21	2,52	2,08	1,80	2,74	4,85	5,43	4,08
1982	8,40	6,47	8,10	5,92	4,66	4,34	3,04	2,49	2,09	2,74	2,88	4,72	4,65
1983	6,38	8,39	7,16	5,81	5,73	7,66	5,07	4,03	6,32	5,66	5,56	8,76	6,38
1984	7,20	5,60	4,85	4,48	3,75	2,92	2,58	2,90	2,68	2,11	2,42	3,58	3,76
1985	5,83	6,79	7,16	5,45	4,11	3,42	2,82	2,50	2,79	2,55	2,70	4,18	4,19
1986	4,58	4,88	5,37	4,82	4,33	3,30	3,04	2,97	2,50	2,39	2,64	5,52	3,86

Série do posto 61250000 preenchido													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1987	6,91	5,83	4,83	5,76	4,92	4,38	3,35	2,89	3,29	3,35	3,45	4,29	4,44
1988	5,27	4,97	6,97	4,60	4,84	4,02	2,91	2,50	2,28	2,75	2,87	4,44	4,03
1989	5,40	6,99	5,38	4,44	3,53	3,01	2,52	2,13	2,18	2,55	3,00	4,44	3,80
1990	4,60	3,69	4,74	3,81	3,06	2,34	2,35	2,37	2,44	3,07	2,26	4,25	3,25
1991	3,21	3,98	4,13	3,19	2,14	1,63	1,44	0,66	1,57	4,14	3,06	4,37	2,79
1992	3,94	3,47	3,56	3,37	3,28	2,59	2,96	1,98	2,75	2,00	2,96	2,42	2,94
1993	3,05	6,68	4,10	2,90	2,31	2,47	2,13	2,38	2,56	2,64	2,20	2,12	2,96
1994	3,03	2,66	3,22	3,07	2,99	2,50	2,25	1,95	1,70	1,74	2,36	4,96	2,70
1995	3,83	7,93	4,53	3,80	3,44	2,70	2,60	2,13	2,01	3,72	3,46	3,85	3,67
1996	5,70	5,33	5,93	4,59	3,81	3,29	2,73	2,39	2,85	3,31	4,23	5,40	4,13
1997	5,97	4,81	4,54	4,12	3,27	3,51	2,82	2,15	2,25	2,39	2,86	3,79	3,54
1998	3,72	4,32	3,93	3,32	3,46	2,63	2,35	2,12	2,22	3,11	2,95	4,33	3,21
1999	5,94	6,95	4,68	4,01	3,15	2,98	2,56	1,94	1,91	1,86	2,34	2,72	3,42
2000	5,52	5,99	5,34	4,30	3,39	2,93	3,00	2,58	2,28	1,99	2,61	3,12	3,59
2001	2,74	5,99	2,85	2,60	2,28	2,06	1,78	1,62	1,89	1,86	2,66	4,08	2,70
2002	4,62	6,19	4,84	4,06	3,23	2,57	2,16	1,95	2,20	1,88	2,94	3,77	3,37
2003	4,86	4,73	4,82	4,30	3,53	2,46	2,52	2,13	2,18	2,55	3,00	4,44	3,46

<b>Mínima</b>	2,34	2,11	2,02	2,31	1,88	1,37	1,19	0,66	0,90	1,07	1,58	2,10	3,72
<b>Média</b>	5,52	5,99	5,41	4,30	3,53	3,01	2,52	2,14	2,18	2,55	3,00	4,45	
<b>Máxima</b>	9,81	11,73	10,07	7,14	5,73	7,66	5,27	4,03	6,32	5,66	5,60	10,10	

Média	Posto 61485000	Posto Base 61250000
-------	----------------	---------------------

**ANEXO 5**  
Série histórica do local de estudo

Série do local de estudo													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
<b>1934</b>	0,97	1,06	0,95	0,76	0,62	0,53	0,44	0,38	0,38	0,41	0,39	1,43	0,69
<b>1935</b>	0,74	1,52	0,36	0,80	0,76	0,53	0,44	0,38	0,38	0,54	0,53	0,56	0,63
<b>1936</b>	0,62	0,94	1,39	0,83	0,61	0,51	0,43	0,50	0,43	0,38	0,47	1,01	0,68
<b>1937</b>	1,20	0,80	0,66	0,68	0,75	0,55	0,43	0,35	0,28	0,54	0,55	1,05	0,65
<b>1938</b>	1,08	1,21	0,89	0,85	0,66	0,52	0,41	0,41	0,35	0,71	0,60	0,90	0,72
<b>1939</b>	1,24	1,16	0,78	0,66	0,54	0,40	0,35	0,28	0,33	0,25	0,32	0,66	0,58
<b>1940</b>	0,98	1,54	1,07	0,74	0,60	0,45	0,37	0,28	0,25	0,33	0,53	0,48	0,63
<b>1941</b>	0,75	0,60	0,71	0,56	0,39	0,36	0,32	0,23	0,79	0,55	0,63	0,79	0,56
<b>1942</b>	0,71	1,15	1,48	0,83	0,62	0,53	0,47	0,39	0,40	0,41	0,44	0,92	0,70
<b>1943</b>	0,97	1,15	1,29	0,73	0,54	0,50	0,34	0,33	0,31	0,59	0,59	0,67	0,67
<b>1944</b>	0,71	0,95	0,91	0,68	0,49	0,35	0,35	0,27	0,24	0,20	0,47	0,46	0,51
<b>1945</b>	0,70	1,16	0,86	0,67	0,48	0,49	0,50	0,32	0,44	0,28	0,58	1,05	0,63
<b>1946</b>	1,32	0,91	0,91	0,79	0,64	0,50	0,61	0,34	0,27	0,51	0,39	0,50	0,64

Série do local de estudo													
Mês/Ano	JAN	FEV	MAR	ABRI	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1947	1,35	1,51	1,78	0,99	0,92	0,71	0,56	0,52	0,55	0,51	0,86	1,12	0,95
1948	0,96	1,14	1,56	0,84	0,65	0,50	0,41	0,44	0,31	0,29	0,30	0,57	0,66
1949	1,29	0,97	1,35	0,81	0,48	0,38	0,34	0,28	0,23	0,24	0,29	1,70	0,70
1950	1,31	1,50	1,03	0,89	0,73	0,55	0,46	0,37	0,28	0,36	0,71	0,65	0,74
1951	0,93	0,87	0,84	0,78	0,67	0,66	0,69	0,53	0,45	0,47	0,58	0,45	0,66
1952	1,32	1,05	1,29	0,88	0,64	0,94	0,52	0,45	0,41	0,35	0,51	0,47	0,74
1953	0,41	0,44	0,58	0,49	0,33	0,24	0,21	0,17	0,17	0,19	0,39	0,59	0,35
1954	0,58	1,81	0,77	0,66	0,78	0,50	0,36	0,27	0,27	0,45	0,34	0,56	0,61
1955	1,04	0,52	0,84	0,55	0,43	0,40	0,28	0,23	0,16	0,21	0,35	0,73	0,48
1956	0,49	0,78	0,80	0,57	0,75	0,58	0,43	0,52	0,42	0,46	0,54	0,89	0,60
1957	1,24	1,49	1,37	1,15	0,80	0,64	0,59	0,46	0,56	0,48	0,66	0,62	0,84
1958	1,21	1,20	1,18	0,99	1,00	0,91	0,66	0,51	0,58	0,66	0,71	0,69	0,86
1959	1,61	0,79	0,82	0,65	0,52	0,38	0,27	0,33	0,57	0,85	0,96	0,97	0,73
1960	1,16	0,99	0,79	0,60	0,72	0,48	0,37	0,28	0,26	0,32	0,62	1,06	0,64
1961	1,66	1,36	1,49	1,26	0,80	0,59	0,48	0,37	0,32	0,32	0,35	0,45	0,79
1962	0,93	1,22	1,14	0,63	0,51	0,40	0,31	0,27	0,30	0,45	0,46	1,30	0,66
1963	1,16	1,73	0,99	0,64	0,50	0,35	0,27	0,22	0,18	0,37	0,49	0,42	0,61
1964	0,68	1,24	0,61	0,42	0,40	0,31	0,37	0,22	0,20	0,34	0,37	0,76	0,49
1965	1,25	1,05	1,17	1,05	0,95	0,82	0,93	0,58	0,54	0,68	0,28	0,37	0,81
1966	1,36	1,08	1,62	1,01	0,79	0,57	0,43	0,33	0,30	0,54	0,62	1,78	0,87
1967	1,73	2,07	1,40	0,97	0,67	0,63	0,43	0,36	0,39	0,50	0,64	0,80	0,88
1968	0,99	0,72	0,84	0,60	0,50	0,36	0,35	0,38	0,27	0,27	0,32	0,66	0,52
1969	0,53	0,91	0,74	0,56	0,35	0,31	0,26	0,27	0,18	0,30	0,69	0,66	0,48
1970	1,16	1,93	1,27	0,86	0,67	0,52	0,44	0,51	0,55	0,51	0,57	0,49	0,79
1971	0,46	0,37	0,53	0,41	0,33	0,38	0,31	0,30	0,32	0,68	0,48	0,94	0,46
1972	0,90	0,79	0,91	0,80	0,50	0,39	0,37	0,37	0,28	0,46	0,44	0,67	0,57
1973	0,77	0,91	0,82	0,81	0,64	0,49	0,40	0,32	0,31	0,53	0,45	0,91	0,61
1974	1,23	0,83	0,75	0,69	0,56	0,70	0,42	0,33	0,28	0,30	0,31	0,76	0,60
1975	0,68	0,79	0,60	0,55	0,46	0,42	0,36	0,30	0,26	0,43	0,59	0,77	0,52
1976	0,72	1,20	1,02	0,88	0,79	0,77	0,81	0,61	0,71	0,59	0,65	0,96	0,81
1977	1,21	0,97	0,76	0,91	0,57	0,50	0,43	0,36	0,36	0,38	0,47	0,71	0,64
1978	0,94	0,88	0,85	0,55	0,48	0,48	0,36	0,31	0,27	0,32	0,74	0,81	0,58
1979	0,79	0,98	0,80	0,73	0,67	0,46	0,46	0,39	0,46	0,44	0,99	0,83	0,67
1980	1,20	1,17	0,83	1,18	0,74	0,72	0,50	0,44	0,41	0,38	0,43	0,88	0,74
1981	1,43	0,97	0,88	0,78	0,58	0,57	0,44	0,37	0,32	0,48	0,86	0,96	0,72
1982	1,48	1,14	1,43	1,04	0,82	0,77	0,54	0,44	0,37	0,48	0,51	0,83	0,82
1983	1,13	1,48	1,26	1,03	1,01	1,35	0,90	0,71	1,11	1,00	0,98	1,55	1,13
1984	1,27	0,99	0,86	0,79	0,66	0,52	0,45	0,51	0,47	0,37	0,43	0,63	0,66
1985	1,03	1,20	1,26	0,96	0,72	0,60	0,50	0,44	0,49	0,45	0,48	0,74	0,74



