



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JÓAO DEL-REI  
TRABALHO DE CONTEXTUALIZAÇÃO E INTEGRAÇÃO CURRICULAR II

## **PROCEDIMENTOS PARA SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS UTILIZANDO O HEC-HMS**

ANDREZA DE SOUZA MAIA, CAMILLA BRIGOLINI TAVARES, JÉSSICA  
LETÍCIA OLIVEIRA RESENDE, LUIZ HENRIQUE DE CARVALHO

OURO BRANCO - MG  
MARÇO DE 2021

ANDREZA DE SOUZA MAIA, CAMILLA BRIGOLINI TAVARES, JÉSSICA  
LETÍCIA OLIVEIRA RESENDE, LUIZ HENRIQUE DE CARVALHO

## **PROCEDIMENTOS PARA SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS UTILIZANDO O HEC-HMS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à  
Coordenadoria do Curso de Graduação em Engenharia  
Civil da Universidade Federal de São João Del-Rei, como  
requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em  
Ciência e Tecnologia. Orientador: Prof. Dr. Emmanuel  
Kennedy da Costa Teixeira

OURO BRANCO - MG

MARÇO DE 2021

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Aos nossos pais pelo apoio incondicional em todos os momentos de nossas vidas, por nos ter dado todo suporte necessário, pelos conselhos e por nos ter ensinado o valor que os estudos têm na nossa vida.

A todos os nossos amigos que longe ou perto nos dão força, nos empenhando ainda mais para a realização deste.

Ao nosso orientador, Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira, por todos os ensinamentos que nos foi dado durante cada etapa desse trabalho, pela disposição em nos ajudar e tirar dúvidas a qualquer momento e principalmente pela paciência e confiança.

À aluna e colega de curso, Luana Rezende que, por trabalhar com a ferramenta HEC-HMS, nos ajudou fornecendo alguns materiais de apoio e compartilhando seus conhecimentos na área.

À professora Luciana Peixoto Amaral, que atua com parte do corpo docente do CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais) e esteve à disposição em caso de eventuais dúvidas.

Ao engenheiro ambiental e sanitarista, Evandro Alexandre Perché, que também nos auxiliou com conhecimentos sobre o software estudado nesse documento, por ter desenvolvido previamente um estudo utilizando o programa.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Ciclo hidrológico .....	14
Figura 2- Modelo de bacia no HEC-HMS .....	15
Figura 3- Bacia Amazônica que abrange uma área de 7.000.000 km <sup>2</sup> .....	16
Figura 4- Contornos da bacia .....	16
Figura 5- Barreira Orográfica .....	17
Figura 6- Interface HEC-HMS .....	23
Figura 7- Componentes hidrológicos da bacia .....	24
Figura 8- Editor de componentes.....	24
Figura 9- Área das mensagens de Log.....	25
Figura 10- Bacia mais complexa .....	26
Figura 11 - Barra de Menus .....	27
Figura 12 - Guia Create a New Project.....	27
Figura 13- Criação de Séries emparelhadas .....	28
Figura 14 - Gerenciador de séries emparelhadas.....	28
Figura 15 - Cota x Volume .....	28
Figura 16 - Gerenciador de séries emparelhadas.....	29
Figura 17 - Cota x Descarga .....	29
Figura 18 - Gerenciador de séries emparelhadas.....	29
Figura 19 - Volume x Descarga.....	30
Figura 20- Editor de Componentes de uma série de dados emparelhados .....	30
Figura 21- Cota e volume (dados retirados do texto de André Perché) .....	31
Figura 22- Volume e descarga (dados retirados do texto de André Perché) .....	31
Figura 23- Cota e descarga (dados retirados do texto de André Perché) .....	32
Figura 24 - Criação de Séries Temporais .....	32
Figura 25 – Gerenciador de Séries Temporais .....	33
Figura 26 – Criação de uma nova série .....	33
Figura 27 - Medidor de Séries Temporais para chuva de 5 minutos.....	34
Figura 28 - Janela de Tempo para chuva de 5 minutos .....	34
Figura 29 - Aba contendo os dados da tabela 4, informando a precipitação em mm para cada intervalo de tempo definido na figura 27 .....	35
Figura 30 - Medidor de Séries Temporais para chuva de 10 minutos.....	35
Figura 31 - Janela de Tempo para chuva de 10 minutos .....	35

Figura 32 - Aba contendo os dados da tabela 4, informando a precipitação em mm para cada intervalo de tempo definido na figura 30 .....	36
Figura 33 - Medidor de Séries Temporais para chuva de 30 minutos .....	36
Figura 34 - Janela de Tempo para chuva de 30 minutos .....	36
Figura 35 - Aba contendo os dados da tabela 4, informando a precipitação em mm para cada intervalo de tempo definido na figura 33 .....	37
Figura 36 - Medidor de Séries Temporais para chuva de 60 minutos .....	37
Figura 37 - Janela de Tempo para chuva de 60 minutos .....	37
Figura 38 - Aba contendo os dados da tabela 4, informando a precipitação em mm para cada intervalo de tempo definido na figura 36 .....	38
Figura 39- Criação de um novo modelo de bacia.....	38
Figura 40 - Nomeação e descrição da bacia .....	38
Figura 41 - Bacia criada.....	39
Figura 42 - Seleção de Map Layers .....	39
Figura 43 - Aba para adicionar uma bacia.....	39
Figura 44- Seleção da bacia.....	40
Figura 45- Exemplo de uma bacia.....	40
Figura 46 - Seleção da Bacia Santa Lúcia .....	41
Figura 47- Barra de ferramentas .....	41
Figura 48- Criação Sub-bacia .....	42
Figura 49 - Criação Sub-bacia .....	43
Figura 50- Criação do reservatório .....	43
Figura 51- Distribuição dos componentes .....	43
Figura 52 - Seleção de Basin Model Manager .....	44
Figura 53 - Edições de uma Bacia .....	44
Figura 54 - Editor de componentes da sub-bacia Córrego do Leitão .....	45
Figura 55 - Aba "Loss" do Córrego Leitão.....	45
Figura 56 - Aba "Transform" do Córrego Leitão .....	45
Figura 57 - Aba "Options" do Córrego Leitão .....	46
Figura 58- Editor de componentes da sub-bacia Rua Lira .....	46
Figura 59 - Aba "Loss" da Rua Lira .....	47
Figura 60 - Aba "Transform" da Rua Lira.....	47
Figura 61 - Aba "Options" da Rua Lira.....	47
Figura 62- Editor de componentes do Reservatório .....	48

Figura 63 - Aba "Options" Santa Lúcia.....	48
Figura 64 - Seleção de um modelo climático .....	49
Figura 65 - Criação de um modelo climático .....	49
Figura 66 - Nomeação de um modelo meteorológico .....	49
Figura 67 - Guia "Basins" .....	50
Figura 68 – Especificações gerais dos modelos meteorológicos.....	50
Figura 69 – Especificação do modelo meteorológico 5min .....	50
Figura 70 – Especificação do modelo meteorológico 10min .....	51
Figura 71 – Especificação do modelo meteorológico 30min .....	51
Figura 72 – Especificação do modelo meteorológico 60min .....	51
Figura 73 - Editor de componentes para especificações de controle.....	52
Figura 74 - Criação e nomeação de uma nova especificação de controle .....	52
Figura 75 - Controles criados .....	53
Figura 76 – Especificações de controle .....	53
Figura 77 - Criação de uma simulação .....	54
Figura 78 - Opção New .....	54
Figura 79 - - Modelo de Bacia Hidrográfica para as chuvas de 5, 10, 30 e 60 minutos.	55
Figura 80 - Nomeação da Simulação para chuva de 5 minutos.....	55
Figura 81 - Modelo Meteorológico para a chuva de 5 minutos .....	55
Figura 82 - Controle para a chuva de 5 minutos.....	56
Figura 83 - Nomeação da Simulação para chuva de 10 minutos.....	56
Figura 84 - Modelo Meteorológico para a chuva de 10 minutos .....	56
Figura 85 - Controle para a chuva de 10 minutos.....	57
Figura 86 - Nomeação da Simulação para chuva de 30 minutos.....	57
Figura 87 - Modelo Meteorológico para a chuva de 30 minutos .....	57
Figura 88 - Controle para a chuva de 30 minutos.....	58
Figura 89 - Nomeação da Simulação para chuva de 60 minutos.....	58
Figura 90 - Modelo Meteorológico para a chuva de 60 minutos .....	58
Figura 91 - Controle para a chuva de 60 minutos.....	59
Figura 92 – Caixa de opções “Current Compute Selection” .....	59
Figura 93- Seleção da simulação a ser realizada .....	59
Figura 94- Compute Current Run.....	59
Figura 95 – Resultados Simulation Run: 01-TR50-5min.....	60
Figura 96 - Resultados Simulation Run: 01-TR50-10min .....	60

Figura 97 - Resultados Simulation Run: 01-TR50-30min .....	60
Figura 98 - Resultados Simulation Run: 01-TR50-60min .....	61
Figura 99 - Gráfico para o reservatório "Bacia Santa Lúcia", para Corrida "01-TR50-5min" .....	61
Figura 100 - Figura 99 - Gráfico para o reservatório "Bacia Santa Lúcia", para Corrida "01-TR50-10min" .....	62
Figura 101 - Figura 99 - Gráfico para o reservatório "Bacia Santa Lúcia", para Corrida "01-TR50-30min" .....	62
Figura 102 - Figura 99 - Gráfico para o reservatório "Bacia Santa Lúcia", para Corrida "01-TR50-60min" .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Elementos Hidrológicos .....	20
Tabela 2- Descrição dos métodos do modelo meteorológico.....	22
Tabela 3 - Relação Cota x Volume x Descarga.....	30
Tabela 4 -Distribuição Temporal das chuvas para TR = 50 anos.....	33
Tabela 5 – Ilustração dos elementos hidrológicos.....	42



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

HEC-HMS – Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System

HEC-1 – Hydrologic Engineering Center-1

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

P - Altura pluviométrica

t - Duração

i - Intensidade

Tr - Tempo de recorrência

Mm - milímetro

h- horas

min - minutos

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

SCS - Soil Conservation Service

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVO.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	14
3.1 Conceitos hidrológicos importantes para um projeto no HEC-HMS .....	14
3.1.1. Conceito de bacia hidrográfica.....	14
3.1.1.1. Processos hidrológicos .....	14
3.1.1.2. Características geomorfológicas da bacia hidrográfica.....	15
3.1.1.3. Delimitação de uma bacia .....	15
3.1.1.4. Área da bacia.....	16
3.1.2. Precipitação .....	17
3.1.2.1. Fatores que caracterizam a precipitação: .....	18
3.2 Componentes do modelo HMS .....	19
3.2.1. Modelo de bacia.....	19
3.2.2. Modelo meteorológico.....	21
3.2.3. Especificações de controle.....	22
3.2.4. Interface do Usuário .....	23
3.2.5. Explorador de bacia .....	23
3.2.6. Editor de componentes .....	24
3.2.7. Mensagens de Log .....	25
3.2.8. Área de trabalho.....	25
4. ESTUDO DE CASO .....	26
4.1 Criar um novo projeto .....	26
4.2 Criar e gerenciar séries emparelhadas .....	27
4.3 Criar e gerenciar séries temporais .....	32
4.4 Criar um modelo de bacia.....	38
4.5 Criar um modelo climático .....	48

4.6	Definir especificações de controle.....	52
4.7	Criação de uma execução de simulação .....	53
4.8	Ver resultados de um modelo .....	60
5.	RESULTADOS e DISCUSSÕES .....	63
6.	CONCLUSÃO .....	64
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

O *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) foi projetado como uma ferramenta de simulação hidrológica dos processos de transformação de chuva em vazão em bacias hidrográficas dendríticas, na qual a bacia é discretizada em sub-bacias. O modelo foi projetado a fim de solucionar a maior variedade possível de problemas, podendo ser aplicado em um grande número de áreas geográficas, incluindo grandes rios, bacia de água de abastecimento, inundação hidrológica e pequeno escoamento de bacia urbana ou natural. O programa gera hidrogramas que podem ser utilizados diretamente ou em conjunto com outros *softwares* para estudos de disponibilidade de água, drenagem urbana, previsão de vazão, impacto futuro da urbanização, projeto de vertedouro de reservatório, redução de danos de inundação, regulação de planície de inundação e operação de sistemas. Observa-se também a possibilidade de se estimar o escoamento superficial por meio de modelos tradicionalmente utilizados em hidrologia, com vistas ao planejamento e gestão da drenagem urbana (USACE, 2010).

O programa é um sistema de modelagem generalizado capaz de representar bacias hidrográficas diferentes. Com isso, é importante que se tenha conhecimento da bacia hidrográfica com que se deseja trabalhar, assim como dos objetivos do estudo hidrológico, para que se faça a representação/inclusão correta no programa. Um modelo da bacia hidrográfica é construído separando o ciclo da água em partes gerenciáveis e delimitando “fronteiras” ao redor da bacia hidrográfica de interesse. Qualquer fluxo de massa ou energia no ciclo pode ser representado com um modelo matemático, em que, na maioria dos casos, estão disponíveis várias opções para representar um fluxo. Cada modelo matemático incluído no programa é adequado em diferentes ambientes e sob diferentes condições (FEMA, 2008).

O HEC-HMS foi criado pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. O programa foi desenvolvido a partir de 1992 como um substituto para o *Hydrologic Engineering Center-1* (HEC-1), que há muito tempo é considerado um padrão para simulação hidrológica. O novo HEC-HMS fornece quase todos os mesmos recursos de simulação, mas foi modernizado com avanços na análise numérica que aproveitam os computadores *desktop* significativamente mais rápidos disponíveis hoje. Ele também inclui vários recursos que não se apresentavam no HEC-1,

como simulação contínua e hidrologia da superfície celular da grade. Ele também possui uma interface gráfica que permite uma melhor integração com o usuário, aspecto característico das etapas de representação esquemática da bacia hidrográfica, entrada de dados e visualização dos resultados, facilitando o uso do *software* (COSTA, 2013).

O programa agora é amplamente utilizado e aceito para fins oficiais, como por exemplo: determinações de inundações pela Agência Federal de Gerenciamento de Emergências nos Estados Unidos; análise da aplicação do modelo HEC-HMS na determinação das vazões geradas pelo rompimento de barramentos (caso do barramento do lago Lúzio de Freitas, córrego Goiabeiras, Nhumas, Goiás).

Entretanto, apesar da sua ampla aplicação, ainda há poucos trabalhos da literatura nacional que sirvam para o entendimento e utilização do *software* HEC-HMS.

## **2. OBJETIVO**

Esse trabalho tem como objetivo principal apresentar o *software* HEC-HMS e os procedimentos para a realização de simulações hidrológicas.

Paralelamente, os objetivos específicos foram:

- Expor conceitos necessários para o entendimento de um projeto no HEC-HMS;
- Simular um projeto realizado a respeito da bacia Santa Lúcia e comparar os resultados obtidos com os do autor.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Conceitos hidrológicos importantes para um projeto no HEC-HMS

##### 3.1.1. Conceito de bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água da chuva, constituída basicamente por um conjunto de superfícies inclinadas que formam uma rede de drenagem composta por cursos de água que convergem para um único leito coletor. Uma bacia hidrográfica, por sua vez, também pode ser dividida em sub-bacias e cada uma das sub-bacias pode ser considerada uma bacia hidrográfica (BASTIDAS, 2005).

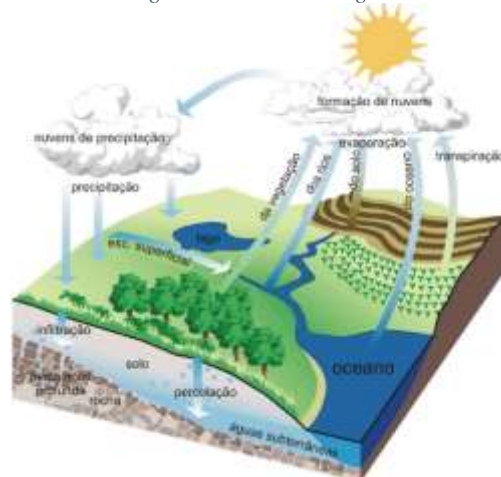
Segundo Barrella (2001), a bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formadas nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

##### 3.1.1.1. Processos hidrológicos

A água cai na superfície da terra em suas diferentes manifestações, parte do volume total se infiltra no solo, outro evapora na superfície da terra e um terceiro é drenado através dos drenos naturais formados por córregos e rios.

O relevo é a drenagem natural de toda uma área de terra. O riacho funciona como a saída, entregando a outro dreno natural a água coletada por ele. Esse dreno principal, que pode coletar água de vários riachos, por sua vez, fornece toda a água para outro dreno ainda maior e assim por diante, até que a água chegue ao mar para continuar o ciclo hidrológico (Figura 1).

Figura 1- Ciclo hidrológico



Fonte: Adaptado de EPA, 1998

### 3.1.1.2. Características geomorfológicas da bacia hidrográfica

As características geomorfológicas da bacia interfere na forma como a água da chuva interage na superfície da terra. Ao se estudar determinada bacia, como, por exemplo, a mostrada na Figura 2, é necessário ter conhecimento de suas características, algumas das quais são difíceis de expressar através de parâmetros ou índices. Esses, porém, são muito úteis no estudo da bacia e permitem uma comparação com outras bacias, estabelecendo condições de analogia. Nos próximos tópicos serão apresentadas outras características de uma bacia, bem como parâmetros para defini-la.

Figura 2- Modelo de bacia no HEC-HMS



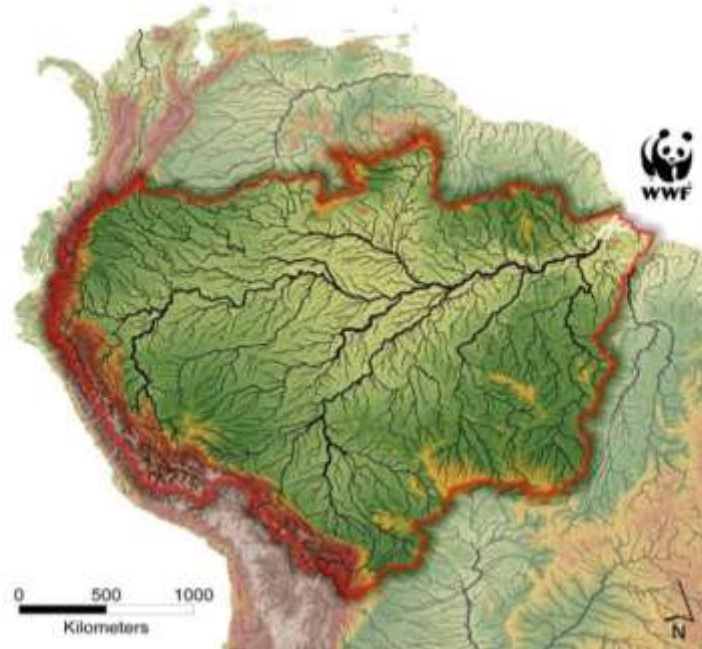
Fonte: Autoria própria

### 3.1.1.3. Delimitação de uma bacia

Observa-se na Figura 3 a delimitação de uma bacia hidrográfica, feita em um plano ou mapa por linhas de contorno (na escala 1: 50.000). A Bacia hidrográfica é limitada por um divisor de águas gerado a partir da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório, e a separa das bacias adjacentes.

As curvas de nível são informações do relevo (altitude) que nos permitem identificar algumas características como o divisor de águas superficiais e a direção para onde escoar a água. Neste processo, a delimitação de uma bacia hidrográfica pode ser feita de forma manual, sobre mapas, ou automática com o auxílio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Observa-se que a borda de uma bacia topográfica e sua correspondente bacia subterrânea de água não têm necessariamente a mesma projeção horizontal, o que possibilita a realização de uma delimitação topográfica.

Figura 3- Bacia Amazônica que abrange uma área de 7.000.000 km<sup>2</sup>

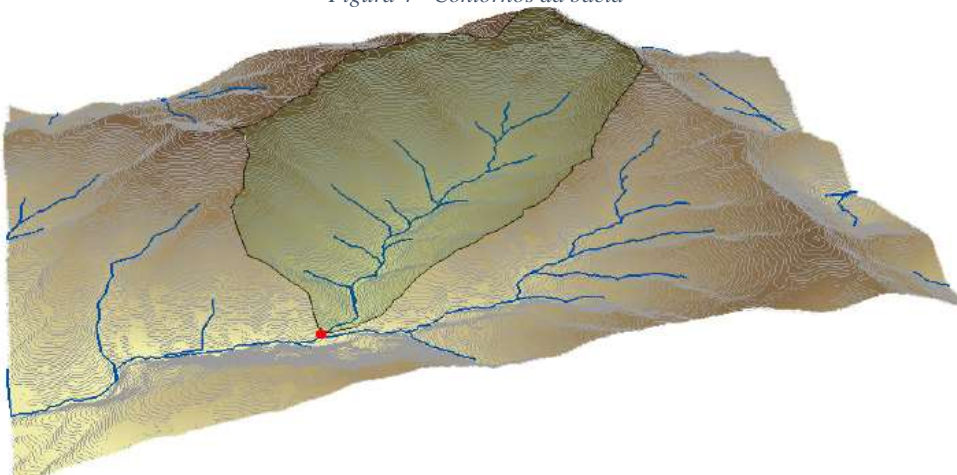


Fonte - <http://www.prof2000.pt/users/elisabethm/geo8/rio.htm>

#### 3.1.1.4. Área da bacia

É feita a determinação da área (A) através da soma das áreas entre contornos e limites da bacia, como se observa na Figura 4. Essa soma será igual à área da bacia em projeção horizontal.

Figura 4- Contornos da bacia



Fonte - Manual para o uso de modelo hidrológico HEC-HMS. Bastidas [entre 2000 e 2015]



### 3.1.2. Precipitação

Pode ser entendido como precipitação, pela hidrologia, toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. A chuva é o tipo de precipitação mais importante nos estudos hidrológicos, já que tem a capacidade de produzir escoamento devido a sua fluidez e capacidade de gerar grandes volumes. A evaporação da água da superfície do oceano é a principal fonte de umidade para a precipitação e não mais que 10% do total que cai no continente pode ser atribuída à evaporação continental e à evapotranspiração das plantas. Uma vez que a umidade é transportada pela circulação atmosférica por grandes distâncias, a maior quantidade de precipitação não cai necessariamente nos oceanos.

Os fatores climáticos como latitude, altitude, continentalidade, correntes marítimas, ventos predominantes e as barreiras orográficas determinam a umidade atmosférica de uma região. Isso pode ser melhor entendido na Figura 5.

*Figura 5- Barreira Orográfica*



*Fonte - Claudianor- Blog: Geografia "Xou" modificado*

### 3.1.2.1. Fatores que caracterizam a precipitação:

Segundo Paz (2004) os fatores de uma precipitação são caracterizados da seguinte forma:

- Altura pluviométrica (P): representa a espessura média da lâmina de água precipitada, sendo geralmente adotada como unidade o milímetro (mm); significa a espessura da lâmina de água que recobriria toda a região, supondo-se que não houvesse infiltração, evaporação nem escoamento para fora da região;
- Duração (t): representa o período de tempo durante o qual ocorreu a precipitação; geralmente se utilizam horas (h) ou minutos (min) como unidade;
- Intensidade (i): fazendo-se a relação da lâmina de água precipitada com o intervalo de tempo transcorrido, obtém-se a intensidade dessa precipitação, geralmente em mm/h ou mm/min; assim  $i = P/t$ ;
- Tempo de recorrência (Tr): representa o número médio de anos durante o qual se espera que uma determinada precipitação seja igualada ou superada; por exemplo, ao se dizer que o tempo de recorrência de uma precipitação é de 10 anos, tem-se que, em média, deve-se esperar 10 anos para que tal precipitação seja igualada ou superada.

Para identificação dos fatores acima, baseia-se no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), o qual é um banco de dados utilizado como apoio para as atividades de ensino e pesquisa e outras aplicações em meteorologia, hidrologia, recursos hídricos, saúde pública, meio ambiente, etc.

O Banco abriga dados meteorológicos diários em forma digital, incluindo séries históricas das várias estações meteorológicas convencionais da rede de estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Podem ser encontradas milhares de informações referentes às medições diárias, de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial.

### 3.2 Componentes do modelo HMS

O modelo HEC-HMS é composto por três componentes: o Modelo da Bacia Hidrográfica, o Modelo Meteorológico e as Especificações de Controle (SCHARFFENBERG, 2015). Para iniciar o processamento do modelo hidrológico, é requerida inicialmente a entrada de dados da bacia hidrográfica, bem como dados meteorológicos.

Segundo Tavares e Castro (2005 *apud* Macedo 2010), após a entrada de dados são escolhidos os métodos para o cálculo das perdas, de transformação chuva-vazão, de composição do escoamento de base, de propagação em rios, considerando parâmetros relacionados a tais métodos, como a área das sub-bacias, tempo de concentração, fatores de infiltração, evapotranspiração.

Para simular a resposta hidrológica em uma bacia, usa-se os componentes do modelo, tais como: modelos de bacias hidrográficas, modelos climáticos, especificações de controle e dados de entrada. Em uma simulação, a resposta da bacia dada a uma precipitação é calculada definindo o modelo meteorológico, as especificações de controle definem o tempo e o intervalo de tempo para o qual a simulação será realizada. Os dados de entrada, como séries temporais e dados da grade, são frequentemente necessários como parâmetros.

#### 3.2.1. Modelo de bacia

O modelo da bacia, o principal componente do HEC-HMS, é usado para representar a parte física da bacia. Nele estão contidos os parâmetros necessários para a sua representação, assim como dos processos que nela ocorrem. O usuário o desenvolve adicionando e conectando os elementos hidrológicos: sub-bacias, rios, reservatórios, fontes, sumidouros, junções, depressões e derivações. Estes elementos usam modelos matemáticos para descrever os processos físicos na bacia, ou seja, criam uma rede que representa o processo de escoamento na bacia de estudo. A Tabela 1 mostra uma lista e descrição dos elementos hidrológicos disponíveis.

Tabela 1- Elementos Hidrológicos

<b>Elemento</b>	<b>Descrição</b>
<b>Sub-bacia</b> <b>(Subbasin)</b>	O elemento da sub-bacia é usado para representar a parte física da bacia. Dada a precipitação, a vazão da sub-bacia é calculada subtraindo as perdas de precipitação e transformando o excesso de chuva em vazão.
<b>Canal</b> <b>(Reach)</b>	Este elemento é usado para transferir o fluxo à jusante no modelo da bacia. A taxa de entrada para esse elemento pode vir de um ou mais elementos a montante. A vazão do canal é calculada com base em sua declividade e no tráfego de fluido.
<b>Junta</b> <b>(Junction)</b>	Uma junta é usada para unir o fluxo de um ou mais elementos hidrológicos. O fluxo de saída é calculado simplesmente adicionando todas as entradas e assumindo que não há armazenamento na junção.
<b>Fonte</b> <b>(Source)</b>	Este elemento é usado para introduzir fluxo na bacia. Não possui entradas. A vazão é definida pelo usuário.
<b>Saída</b> <b>(Sink)</b>	O elemento de saída é usado para representar a saída da bacia. A taxa de entrada para esse elemento pode vir de um ou mais elementos.
<b>Reservatório</b> <b>(Reservoir)</b>	O reservatório é usado para modelar a parada e atenuação de um fluxo, de maneira a regularizar as vazões naturais. A taxa de entrada pode vir de um ou mais elementos hidrológicos. O fluxo de saída pode ser calculado de três maneiras: o usuário pode definir tabelas de descarga-armazenamento, elevação-armazenamento, elevação-descarga.

Fonte – BASTIDAS, ano 2005

### 3.2.2. Modelo meteorológico

O modelo meteorológico calcula a precipitação ocorrida em uma sub-bacia. O usuário pode usar a precipitação pontual ou em grade. Também possui um método para calcular o derretimento da neve usando um algoritmo de temperatura. Os métodos de evapotranspiração incluem a média mensal e o método de Priestel e Taylor, o qual é o mesmo método em forma de grade. Feldman (2000) observa que, em aplicações comuns, a modelagem de evapotranspiração pode ser omitida, uma vez que ela é insignificante durante um evento de chuva e/ou uma inundação. Dessa forma, em casos de eventos de chuvas de curta duração, os valores de evapotranspiração podem ser omitidos.

Durante os períodos sem chuva, o estado de umidade da bacia continua sendo alterado, enquanto a água move ou é armazenada. Nesses casos, a evapotranspiração deve ser considerada como um componente crítico nessa dinâmica. Souza et al. (2012) também diz que usualmente apenas o processo de precipitação é considerado, uma vez que a evapotranspiração pode ser insignificante para simulação de precipitações de curta duração, ou seja, a evapotranspiração é necessária apenas quando as respostas hidrológicas são modeladas por longos períodos de tempo. Uma breve descrição dos métodos disponíveis para calcular a precipitação média ou precipitação na rede é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2- Descrição dos métodos do modelo meteorológico

<b>Métodos para Precipitação</b>	<b>Descrição</b>
Frequência de tempestades ( <i>Frequency Storm</i> )	Este método é usado para desenvolver um evento de precipitação no qual o valor da precipitação para diferentes durações tem uma probabilidade consistente de excedência.
Estações por peso ( <i>Gage Weights</i> )	Este método permite atribuir pesos às diferentes estações definidas pelo usuário.
Precipitação por grade ( <i>Gridded Precipitation</i> )	Este método permite o uso de precipitação por grade, como pode ser de um radar meteorológico.
Inverso da distância ( <i>Inverse Distance</i> )	Este método calcula a média na sub-bacia aplicando a equação inversa da distância ao quadrado para as estações definidas pelo usuário.
Tempestade SCS ( <i>SCS Storm</i> )	Este método aplica uma distribuição específica do <i>Soil Conservation Service</i> (SCS) a uma tempestade com uma duração total de 24 horas.
Histograma especificado ( <i>Specified Hyetograph</i> )	Nesse método, o usuário entra no hietograma da sub-bacia.
Projeto Tempestade Padrão ( <i>Standard Project Storm</i> )	Este método aplica uma distribuição ao longo do tempo a um determinado valor de precipitação.

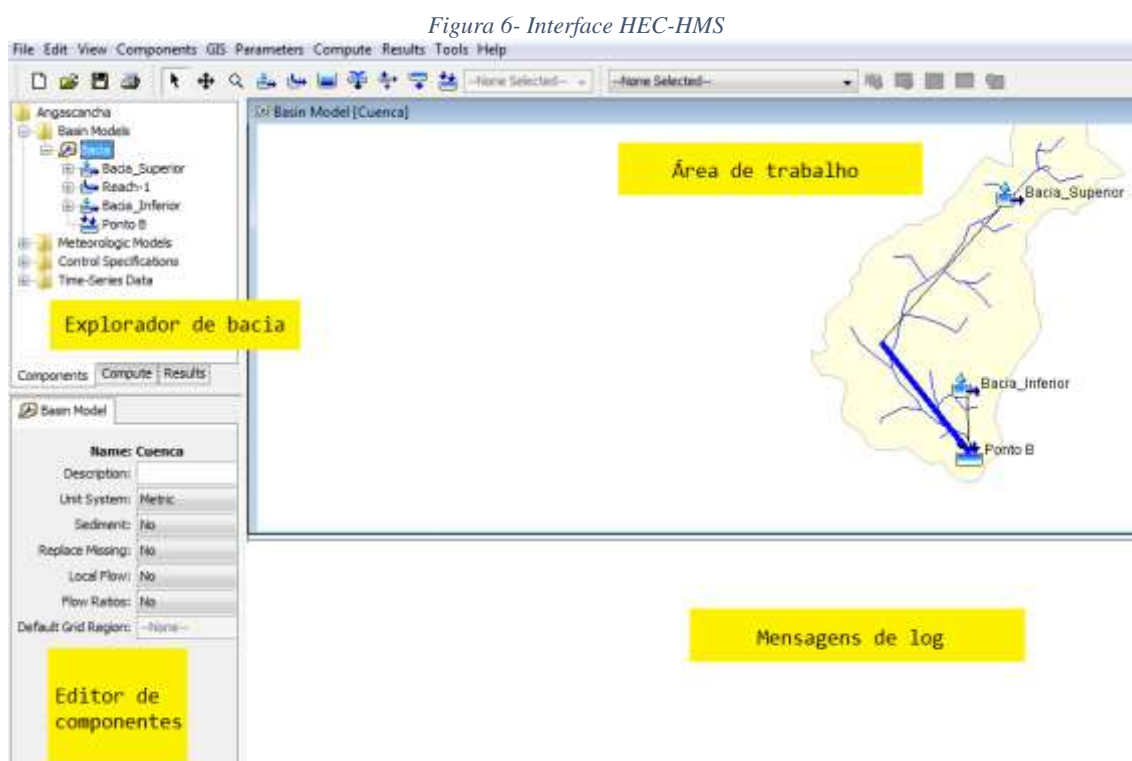
Fonte - Bastidas, ano 2005

### 3.2.3. Especificações de controle

As especificações de controle definem a duração de cada execução de uma simulação, onde são determinados os intervalos de duração das simulações contendo a data e hora de início e fim determinado pelo usuário. As informações nas especificações de controle incluem também o intervalo de tempo da simulação utilizada nas análises.

### 3.2.4. Interface do Usuário

Existe uma barra de menus, uma barra de ferramentas e quatro painéis importantes dentro da interface do usuário. Começando pelo canto superior esquerdo da Figura 6 e no sentido horário, há alguns painéis conhecidos como exploradores de bacia, respectivamente, o editor de componentes, as mensagens de log e a área de trabalho



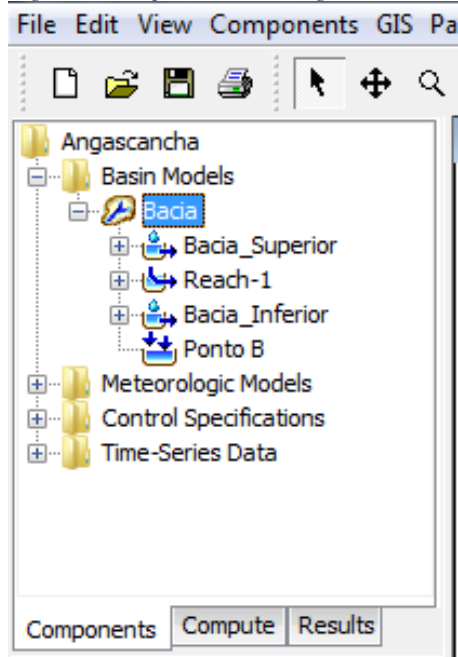
*Fonte- Autoria própria.*

### 3.2.5. Explorador de bacia

É possível ter acesso rápido a todos os componentes em um projeto HEC-HMS através do explorador de bacias hidrográficas, navegar do modelo da bacia hidrográfica para uma estação de precipitação e depois para o modelo climático facilmente sem precisar voltar nas opções de menu. No *Basin Explorer* tem uma divisão feita em três partes: *components* (componentes), *computes* (computação) e *results* (resultados). A Figura 7 mostra as guias com esses três abas. Já o explorador de bacias hidrográficas separa em pastas individuais cada um dos componentes. Quando um componente é escolhido, o explorador de bacias hidrográficas mostra os subcomponentes desse elemento, ou seja, mostra os elementos hidrológicos presentes nele. Na Figura 7, a bacia é selecionada e seus componentes hidrológicos aparecem a seguir. A guia de computação nos dá acesso a todas as simulações, tentativas de otimização e análise. Por sua vez, a guia *Results* mostra os

resultados do modelo e através do mesmo gráfico podendo comparar os resultados de várias execuções.

Figura 7- Componentes hidrológicos da bacia

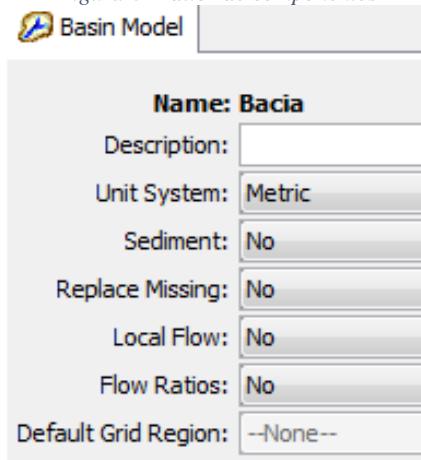


Fonte- Autoria própria.

### 3.2.6. Editor de componentes

Um componente ou subcomponente no explorador de bacia está ativo quando está indicado com o mouse e, com isso, uma janela é aberta para editar esse componente. Por meio do editor de componentes todos os dados podem ser especificados e os obrigatórios serão identificados com a marcação de um asterisco. A Figura 8 mostra o editor de componentes quando a bacia é selecionada.

Figura 8- Editor de componentes



Fonte - Autoria própria.



### 3.2.7. Mensagens de Log

Notas quaisquer, avisos e erros são exibidos na área de mensagens de log como mostra a Figura 9. São mensagens muito úteis que podem explicar e identificar a falha de uma simulação ou o motivo de uma ação não ter sido executada.

Figura 9- Área das mensagens de Log

```
WARNING 40503: Missing precipitation for 86 grid cells at 20ene1996, 19:30 for gridded subbasin "127".
WARNING 40503: Missing precipitation for 129 grid cells at 20ene1996, 19:30 for gridded subbasin "86".
WARNING 12508: Could not find Precipitation grid for the period 20 January 1996, 20:00 to 20 January 1996, 21:00.
NOTE 20130: No gridded precipitation found for time 20ene1996, 21:30. Precipitation set to zero.
WARNING 40503: Missing precipitation for 84 grid cells at 20ene1996, 21:30 for gridded subbasin "85".
WARNING 40503: Missing precipitation for 78 grid cells at 20ene1996, 21:30 for gridded subbasin "113".
WARNING 40503: Missing precipitation for 86 grid cells at 20ene1996, 21:30 for gridded subbasin "127".
WARNING 40503: Missing precipitation for 129 grid cells at 20ene1996, 21:30 for gridded subbasin "86".
WARNING 12508: Could not find Precipitation grid for the period 20 January 1996, 21:00 to 20 January 1996, 22:00.
NOTE 20130: No gridded precipitation found for time 20ene1996, 22:30. Precipitation set to zero.
WARNING 40503: Missing precipitation for 84 grid cells at 20ene1996, 22:30 for gridded subbasin "85".
WARNING 40503: Missing precipitation for 78 grid cells at 20ene1996, 22:30 for gridded subbasin "113".
WARNING 40503: Missing precipitation for 86 grid cells at 20ene1996, 22:30 for gridded subbasin "127".
WARNING 40503: Missing precipitation for 129 grid cells at 20ene1996, 22:30 for gridded subbasin "86".
WARNING 40017: Observed flow gage "TAHL" at element "Tahlequah" has some missing data.
NOTE 10616: Data type "PER-AVER" is usually used for time intervals of 24 hours or longer. Gage "TENK".
WARNING 40017: Observed flow gage "TENK" at element "Tenkiller" has some missing data.
NOTE 10185: Finished computing simulation run "Run 1" at time 03may2010, 10:06:05.
```

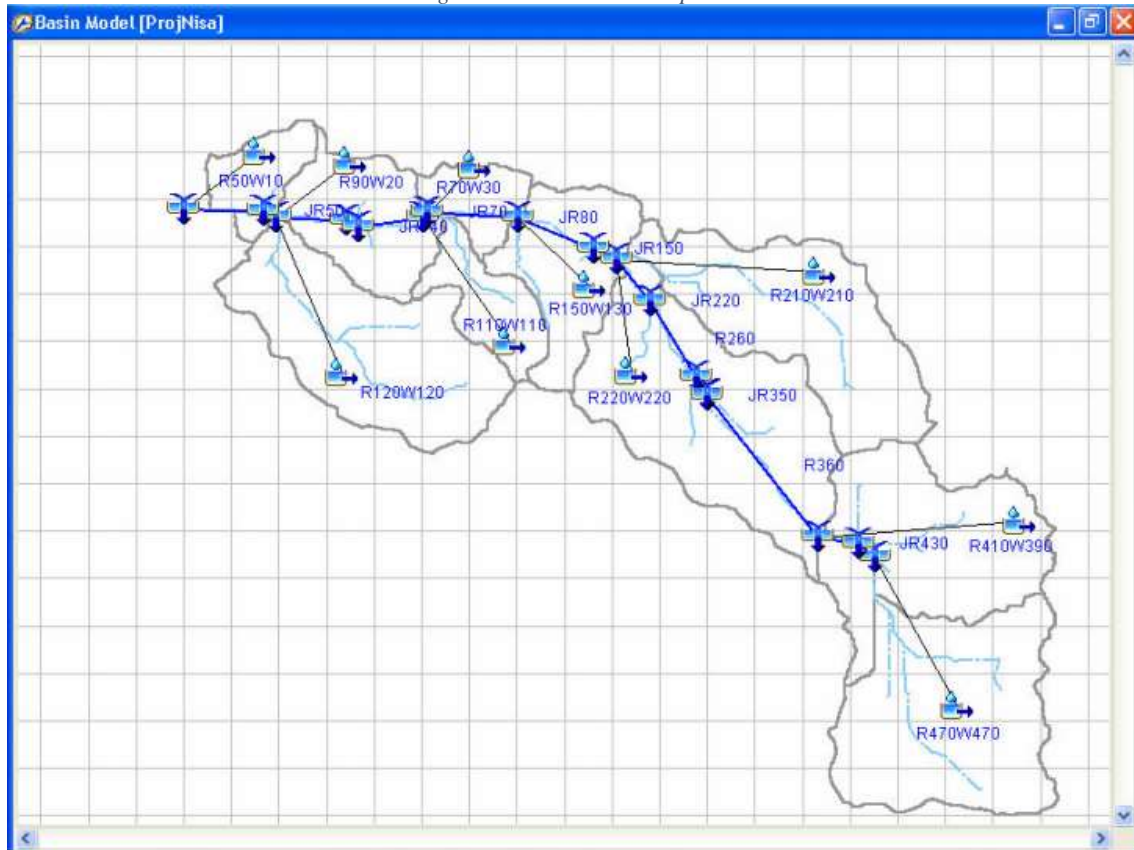
Fonte-Bastidas, 2005

### 3.2.8. Área de trabalho

São mantidas na área de trabalho várias janelas, como: tabelas de resumo, séries temporais, gráficos, editores globais e o mapa do modelo da bacia. Porém, os resultados não estão nesta área de trabalho, pois eles necessitam da simulação do projeto para que apareçam.

Para conter fisicamente à rede de drenagem da bacia da área de estudo, os elementos são arrastados da barra de ferramentas e conectados. De jeito que a visualização da forma da bacia seja mais clara, mapas de fundo podem ser carregados. A bacia a ser trabalhada pode ser mais simples ou mais complexa, como o exemplo da Figura 10 que mostra uma bacia mais complexa.

Figura 10- Bacia mais complexa




Fonte – Santos Monteiro, 2006

#### 4. ESTUDO DE CASO

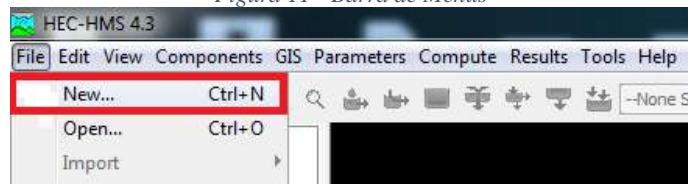
Neste tópico será abordado como foi realizado um projeto no HEC-HMS, de forma a expor as ferramentas e procedimentos utilizados no *software*. Aliado a isso, foi feita a exemplificação com a reprodução de um estudo de caso, mostrado nas figuras apresentadas a seguir. O exemplo se trata da execução de projeto referente à simulação hidrológica da bacia de detenção Santa Lúcia utilizando o programa HEC-HMS, sendo os dados obtidos em Perché (2015).

##### 4.1 Criar um novo projeto

Para a criação de um novo projeto basta selecionar **File** e depois em **New** na barra de menus (Figura 11). Em seguida, deve-se digitar um nome para o projeto, uma descrição, o diretório em que o projeto será salvo e selecionar o sistema de unidades do projeto na guia **Create a New Project** (Figura 12). Será criada uma nova pasta com esse nome no diretório de destino onde todos os arquivos criados neste projeto serão salvos. Outra opção para se criar um novo projeto é clicar no botão .

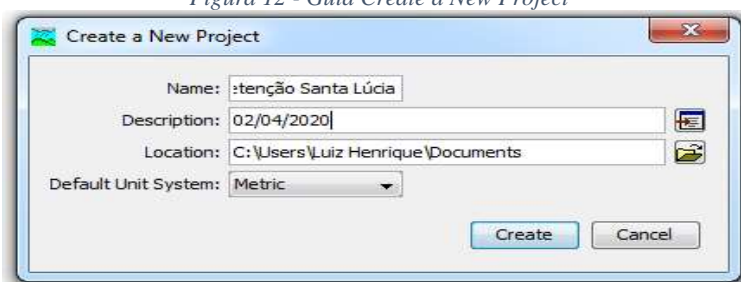
Na guia **File** são encontradas as opções para manipular um projeto, como **Open**, **Save** (salve apenas na pasta Documentos para evitar erros do *software*), **Delete** e **Rename**. Por sua vez, os dois primeiros citados acima também se encontram na barra de ferramentas.

Figura 11 - Barra de Menus



Fonte - Autoria própria.

Figura 12 - Guia Create a New Project



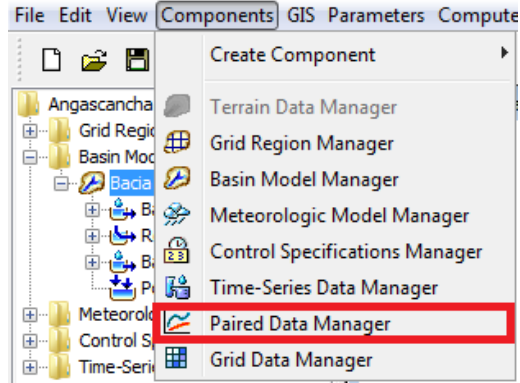
Fonte - Autoria própria.

## 4.2 Criar e gerenciar séries emparelhadas

No menu **Components** são encontradas as funções como **Paired Data Manager**, **Time-Series Data Manager** ou **Grid Data Manager**. Cada uma dessas opções apresenta uma guia na qual você pode criar novos dados, editar, excluir ou renomear os dados. Na Figura 13 se encontra selecionada a opção **Paired Data Manager**.

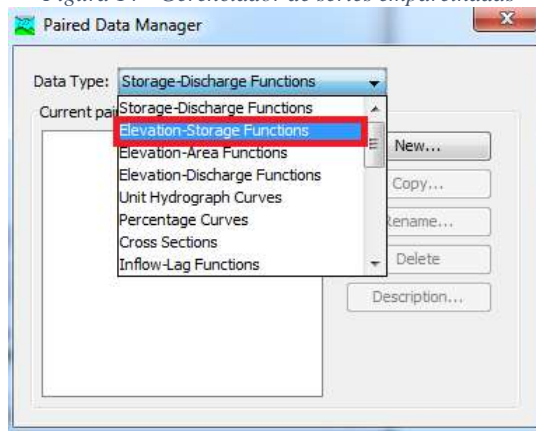
As Figuras 14, 16 e 18 mostram o gerenciador de séries emparelhadas com as opções **Elevation-Storage Functions**, **Elevation-Discharge Functions** e **Storage- Discharge Functions** selecionadas, respectivamente. Aliada a essas, tem-se as Figuras 15, 17 e 19 com a criação de cada uma delas, sendo a primeira de **Cota x Volume**, a segunda de **Cota x Descarga** e a terceira de **Volume x Descarga**.

Figura 13- Criação de Séries emparelhadas



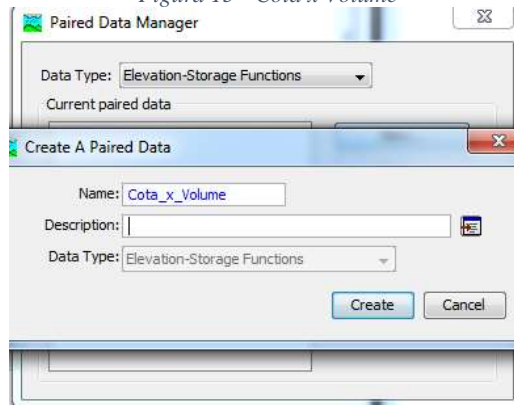
Fonte - Autoria própria.

Figura 14 - Gerenciador de séries emparelhadas



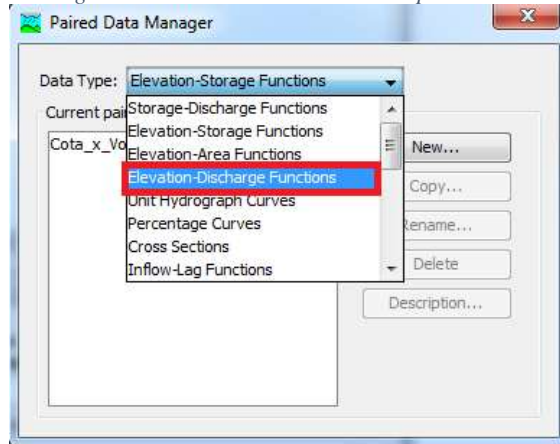
Fonte - Autoria própria.

Figura 15 - Cota x Volume



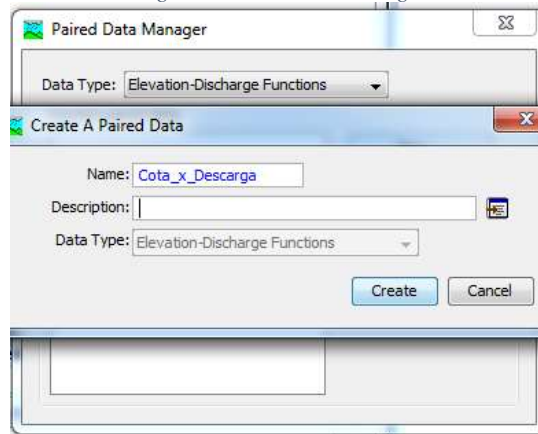
Fonte - Autoria própria.

Figura 16 - Gerenciador de séries emparelhadas



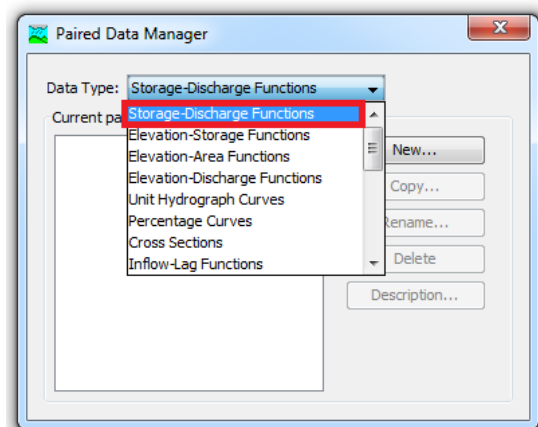
Fonte - Autoria própria.

Figura 17 - Cota x Descarga



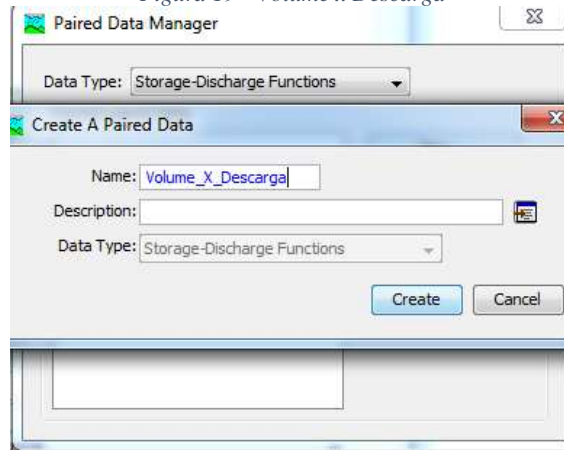
Fonte - Autoria própria.

Figura 18 - Gerenciador de séries emparelhadas



Fonte - Autoria própria.

Figura 19 - Volume x Descarga



Fonte - Autoria própria.

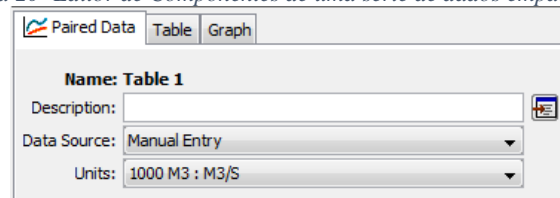
Após o arquivo ser criado, os dados podem ser inseridos por meio do editor de componente, mostrado na Figura 20, o qual é aberto clicando na série de dados emparelhada criada no explorador de bacia. Existem duas opções para inserir os dados, a opção manual ou de um arquivo Hec-DSS. Na opção manual, o usuário deve clicar na tabela e inserir manualmente cada um dos dados como nas Figuras 21, 22 e 23. A Tabela 3 foi retirada Perché (2015) e fornece os dados utilizados nas Figuras 21, 22 e 23.

Tabela 3 - Relação Cota x Volume x Descarga

Cota (m)	Volume (1000 m <sup>3</sup> )	Descarga (m <sup>3</sup> /s)
898,0	0,000	0,00
900,3	75,330	5,60
903,1	180,211	28,88
903,3	188,920	37,17
907,0	350,000	483,90

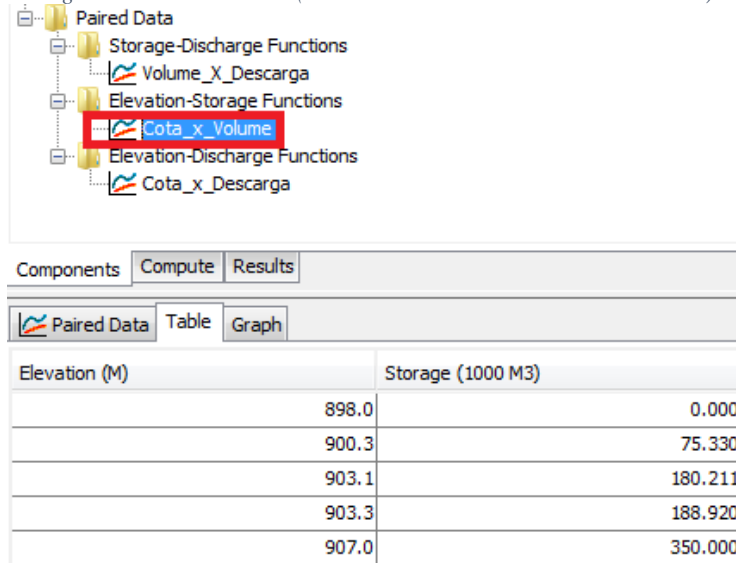
Fonte - Perché (2015).

Figura 20- Editor de Componentes de uma série de dados emparelhados



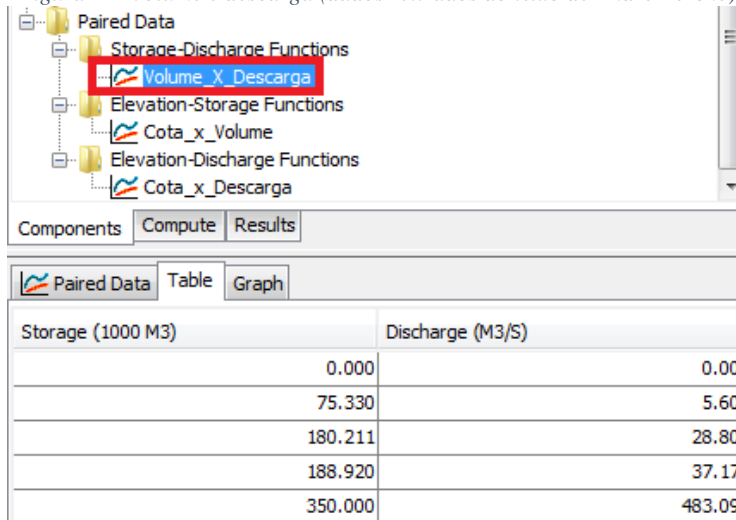
Fonte - Autoria própria

Figura 21- Cota e volume (dados retirados do texto de André Perché)

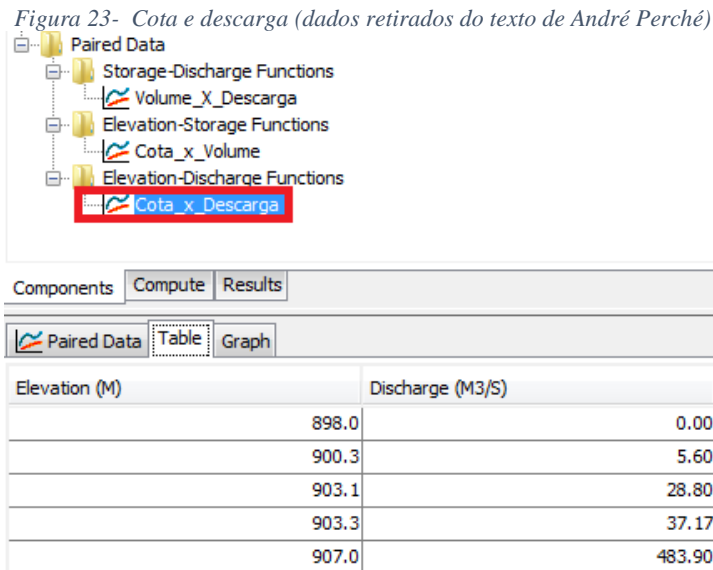


Fonte - Autoria própria.

Figura 22- Volume e descarga (dados retirados do texto de André Perché)



Fonte - Autoria própria.

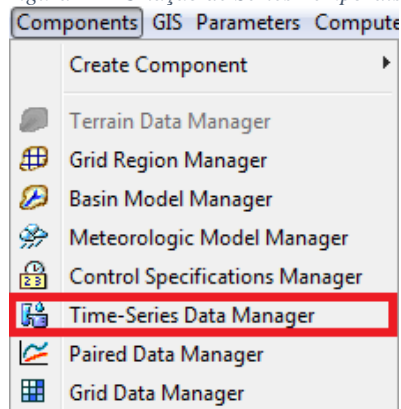


Fonte - Autoria própria.

### 4.3 Criar e gerenciar séries temporais

Uma janela de tempo é necessária para que os dados da série temporal possam ser inseridos ou visualizados. Ela é fornecida quando uma série temporal de alguma estação é adicionada ao projeto. Para adicioná-la, basta entrar no menu **Components** e selecionar **Time-Series Data Manager** (Figura 24). Em seguida abrirá o gerenciador de séries temporais, onde aparecerão todas as séries criadas no projeto (Figura 25).

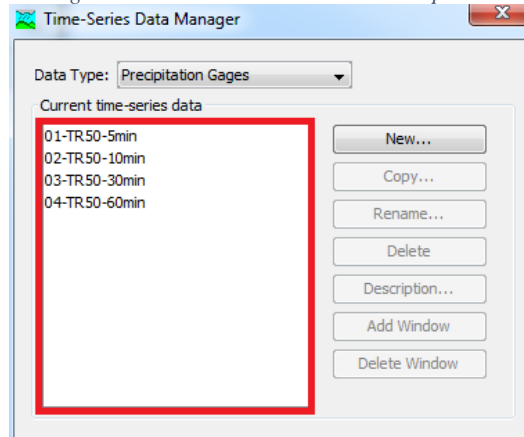
Figura 24 - Criação de Séries Temporais



Fonte - autoria própria.



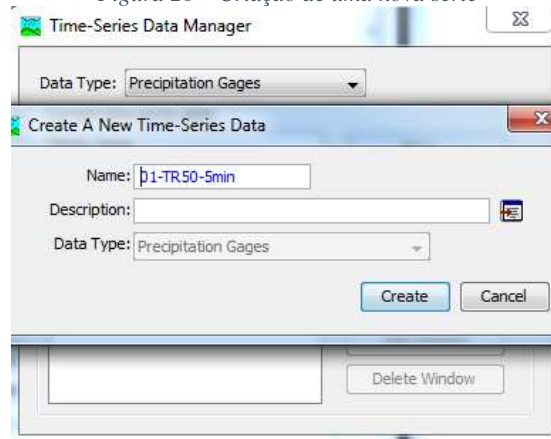
Figura 25 – Gerenciador de Séries Temporais



Fonte - Autoria própria.

Para criar uma nova série basta clicar em **New**, nomeá-la e descrevê-la (Figura 26).

Figura 26 – Criação de uma nova série



Fonte - Autoria própria.

Os dados utilizados na parte da série temporal do estudo de caso foram obtidos em Matta (2015). Estes dados se encontram na Tabela 4 e foram utilizados na execução do projeto no HEC-HMS, como mostram as figuras seguintes desse tópico.

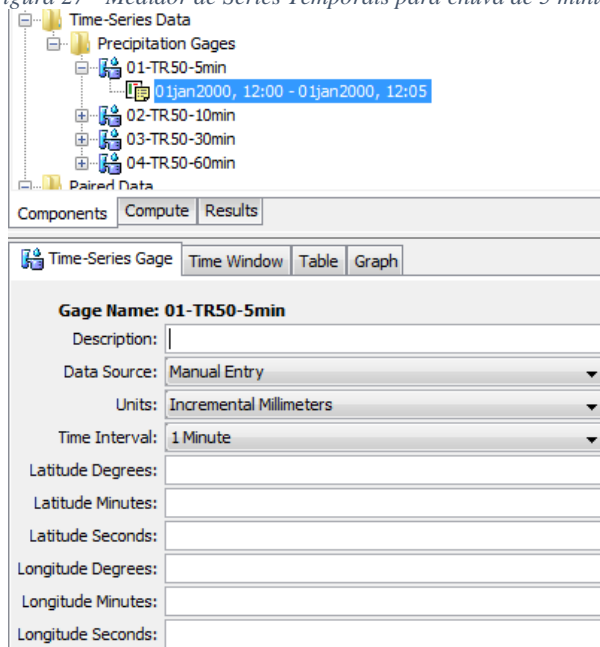
Tabela 4 -Distribuição Temporal das chuvas para TR = 50 anos

Duração(min)	5	10	30	60
<b>Tr = 50 anos</b>	2,37	5,14	4,55	5,84
	7,26	15,73	16,09	20,64
	5,97	12,94	18,04	23,15
	1,86	4,03	10,17	13,05
	0,54	1,17	2,87	3,68
				1,64

Fonte - Matta (2015).

Após criadas as séries temporais, elas aparecerão dispostas como nas Figuras 27, 30, 33 e 36, de modo a entrar com os dados de cada uma delas. Nesse estudo de caso foram utilizados intervalos de tempos de 1, 2, 5 e 10 minutos, respectivamente para as chuvas de 5, 10, 30 e 60 minutos, os quais são preenchidos na aba **Times-Series Gage**.

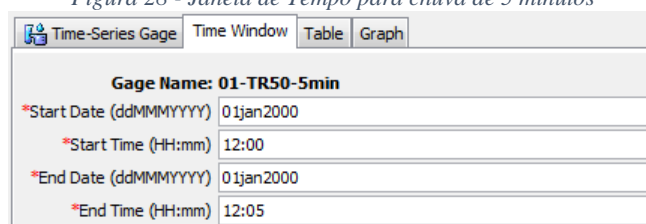
Figura 27 - Medidor de Séries Temporais para chuva de 5 minutos



Fonte - Autoria Própria.

Na aba **Time Window** são preenchidos a data e horário de início e de fim de cada chuva (Figuras 28, 31, 34 e 37).

Figura 28 - Janela de Tempo para chuva de 5 minutos



Fonte - Autoria Própria.

Para entrar com os dados da Tabela 4 (que são as precipitações de chuva para cada intervalo de tempo predefinido das chuvas), deve-se abrir a aba **Table** e inserir manualmente os valores, como pode-se visualizar nas Figuras 29, 32, 35 e 38.

Figura 29 - Aba contendo os dados da tabela 4, informando a precipitação em mm para cada intervalo de tempo definido na figura 27

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01jan2000, 12:00	
01jan2000, 12:01	2.37
01jan2000, 12:02	7.26
01jan2000, 12:03	5.97
01jan2000, 12:04	1.86
01jan2000, 12:05	0.54

Fonte - Autoria Própria.

Figura 30 - Medidor de Séries Temporais para chuva de 10 minutos

The screenshot shows a software interface with a tree view on the left and a configuration window on the right. The tree view is under 'Time-Series Data' and includes 'Precipitation Gages' with sub-items: '01-TR50-5min', '02-TR50-10min' (highlighted), '03-TR50-30min', and '04-TR50-60min'. Below the tree are 'Components', 'Compute', and 'Results' buttons. The configuration window for 'Gage Name: 02-TR50-10min' includes fields for Description, Data Source (Manual Entry), Units (Incremental Millimeters), Time Interval (2 Minutes), and Latitude/Longitude coordinates.

Fonte - Autoria Própria.

Figura 31 - Janela de Tempo para chuva de 10 minutos

Time-Series Gage	Time Window	Table	Graph
<b>Gage Name: 02-TR50-10min</b>			
*Start Date (ddMMYYYY)	01jan2000		
*Start Time (HH:mm)	12:00		
*End Date (ddMMYYYY)	01jan2000		
*End Time (HH:mm)	12:10		

Fonte - Autoria Própria.

Figura 32 - Aba contendo os dados da tabela 4, informando a precipitação em mm para cada intervalo de tempo definido na figura 30

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01jan2000, 12:00	
01jan2000, 12:02	5.14
01jan2000, 12:04	15.73
01jan2000, 12:06	12.94
01jan2000, 12:08	4.03
01jan2000, 12:10	1.17

Fonte - Autoria Própria.

Figura 33 - Medidor de Séries Temporais para chuva de 30 minutos

The screenshot shows a software interface for managing time-series data. At the top, there are tabs for 'Time-Series Gage', 'Time Window', 'Table', and 'Graph'. Below this is a tree view under 'Time-Series Data' containing 'Precipitation Gages'. Four gages are listed: '01-TR50-5min', '02-TR50-10min', '03-TR50-30min' (highlighted in blue), and '04-TR50-60min'. Each gage has a corresponding time range. Below the tree view are tabs for 'Components', 'Compute', and 'Results'. The main panel displays configuration for 'Gage Name: 03-TR50-30min'. The configuration includes: Description (empty), Data Source (Manual Entry), Units (Incremental Millimeters), Time Interval (5 Minutes), and fields for Latitude and Longitude in Degrees, Minutes, and Seconds.

Fonte - Autoria Própria.

Figura 34 - Janela de Tempo para chuva de 30 minutos

The screenshot shows a software interface for configuring the time window for a gage. At the top, there are tabs for 'Time-Series Gage', 'Time Window', 'Table', and 'Graph'. The main panel displays configuration for 'Gage Name: 03-TR50-30min'. The configuration includes: \*Start Date (ddMMYYYY) 01jan2000, \*Start Time (HH:mm) 12:00, \*End Date (ddMMYYYY) 01jan2000, and \*End Time (HH:mm) 12:30.

Fonte - Autoria Própria.

Figura 35 - Aba contendo os dados da tabela 4, informando a precipitação em mm para cada intervalo de tempo definido na figura 33

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01jan2000, 12:00	
01jan2000, 12:05	4.55
01jan2000, 12:10	16.09
01jan2000, 12:15	18.04
01jan2000, 12:20	10.17
01jan2000, 12:25	2.87
01jan2000, 12:30	1.28

Fonte - Autoria Própria.

Figura 36 - Medidor de Séries Temporais para chuva de 60 minutos

The screenshot shows a software interface for configuring a precipitation gage. The top part is a tree view under 'Time-Series Data' with 'Precipitation Gages' expanded. It lists four gages: '01-TR50-5min', '02-TR50-10min', '03-TR50-30min', and '04-TR50-60min'. The '04-TR50-60min' gage is selected, and its time window is shown as '01jan2000, 12:00 - 01jan2000, 13:00'. Below the tree is a configuration panel for the selected gage.

Time-Series Gage	Time Window	Table	Graph
<b>Gage Name: 04-TR50-60min</b>			
Description:			
Data Source: Manual Entry			
Units: Incremental Millimeters			
Time Interval: 10 Minutes			
Latitude Degrees:			
Latitude Minutes:			
Latitude Seconds:			
Longitude Degrees:			
Longitude Minutes:			
Longitude Seconds:			

Fonte - Autoria Própria.

Figura 37 - Janela de Tempo para chuva de 60 minutos

The screenshot shows the 'Time Window' tab of the configuration panel for the '04-TR50-60min' gage. It displays the start and end dates and times for the data collection period.

Time-Series Gage	Time Window	Table	Graph
<b>Gage Name: 04-TR50-60min</b>			
*Start Date (ddMMYYYY)	01jan2000		
*Start Time (HH:mm)	12:00		
*End Date (ddMMYYYY)	01jan2000		
*End Time (HH:mm)	13:00		

Fonte - Autoria Própria

Figura 38 - Aba contendo os dados da tabela 4, informando a precipitação em mm para cada intervalo de tempo definido na figura 36

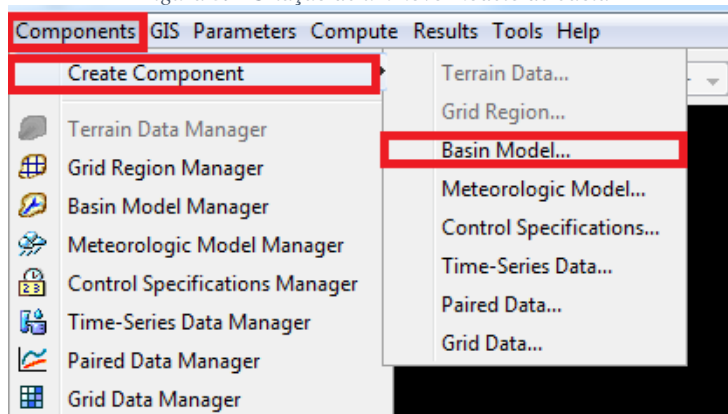
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01jan2000, 12:00	
01jan2000, 12:10	5.84
01jan2000, 12:20	20.64
01jan2000, 12:30	23.15
01jan2000, 12:40	13.05
01jan2000, 12:50	3.68
01jan2000, 13:00	1.64

Fonte - Autoria Própria.

#### 4.4 Criar um modelo de bacia

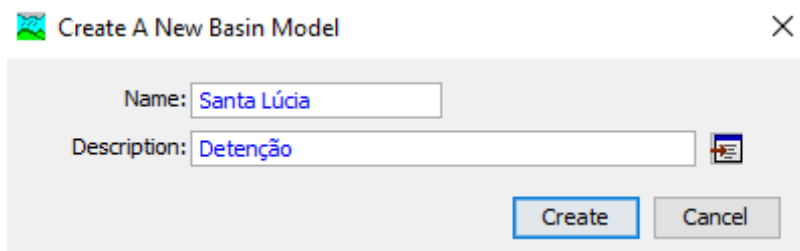
Para criar um novo modelo de bacia basta selecionar o menu **Components**, em seguida a opção **Create Component** e clicar em **Basin model** como na Figura 39. Digite um nome e uma descrição para o modelo da bacia e clique no botão **create** (Figura 40) e ela será exposta em sua tela como exemplificado na Figura 41.

Figura 39- Criação de um novo modelo de bacia



Fonte - Autoria própria.

Figura 40 - Nomeação e descrição da bacia

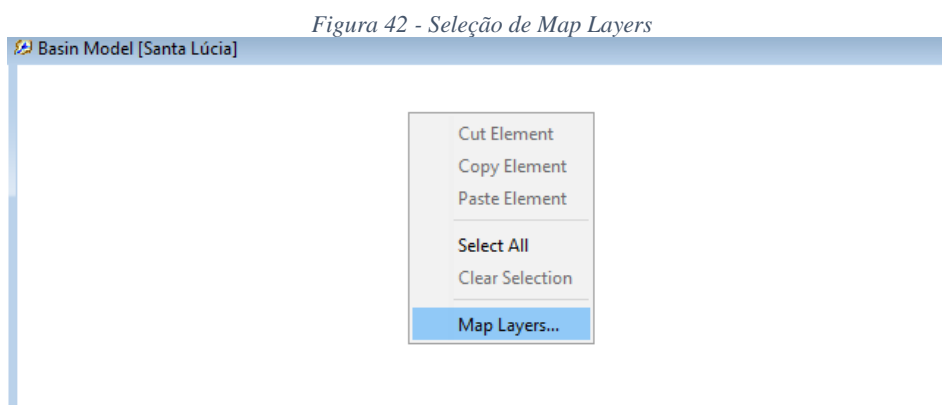


Fonte - Autoria própria.



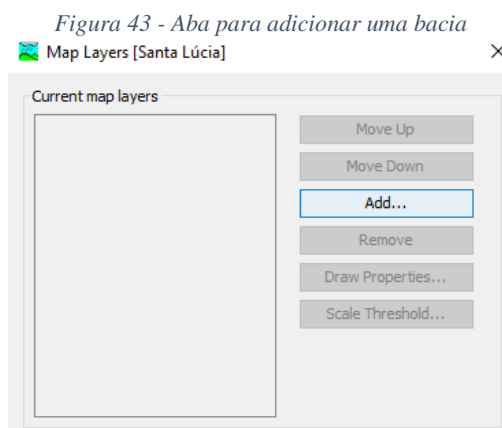
Fonte - Autoria própria.

Para inserir o desenho da bacia a ser trabalhada, clique com o botão direito do mouse sobre a nova janela que aparece na tela e selecione **Map Layers...** como na Figura 42. Este passo é só um exemplo de como isso é feito e não tem relação com o projeto em trabalho, ou seja, trata-se somente de uma demonstração.



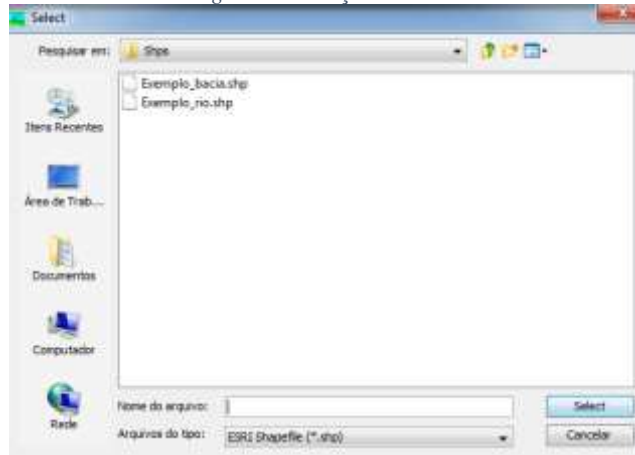
Fonte - Autoria própria.

Em seguida abrirá uma aba com a opção **Add...** (Figura 43). Clicando nessa opção aparecerá uma outra aba para selecionar um modelo de bacia pronto (Figura 44).



Fonte -Autoria própria.

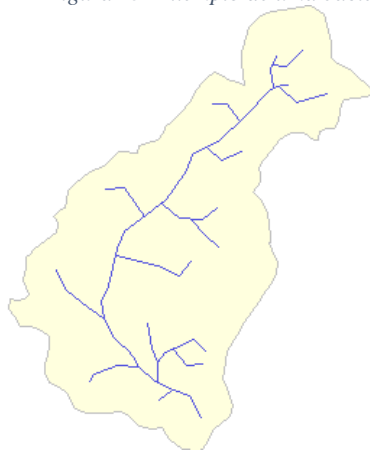
Figura 44- Seleção da bacia



Fonte -Autoria própria.

A bacia será exposta como, por exemplo, esta mostrada na Figura 45.

Figura 45- Exemplo de uma bacia



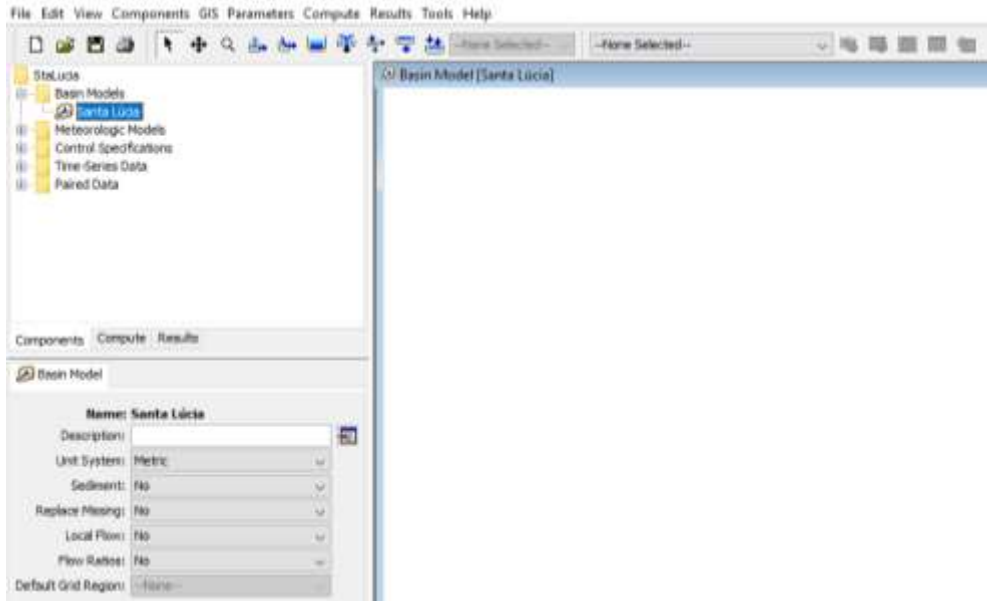
Fonte - Autoria própria.

O projeto pode ser executado sem inserir uma bacia como foi mostrado no processo anterior. Isso se deve ao fato de ser muito complicada a elaboração dela, sendo necessário outro *software* chamado ARCGIS com a extensão HEC-GEO HMS para elaboração de um arquivo compatível com o programa, como este mostrado acima. A não utilização do desenho da bacia pronto não interfere nos resultados finais.

Após um novo modelo de bacia ser criado, elementos hidrológicos podem ser adicionados e conectados para representar a hidrologia desta bacia. Para isso, primeiramente o modelo de bacia deve ser aberto na área de trabalho, selecionando o modelo no explorador de bacia (Figura 46).



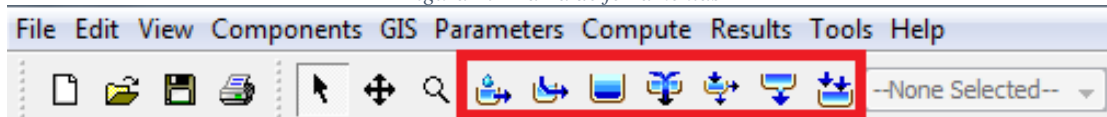
Figura 46 - Seleção da Bacia Santa Lúcia



Fonte - Autoria própria.








Elementos hidrológicos são adicionados a partir da barra de ferramentas (Figura 47). Esses elementos já foram definidos na Tabela 1 deste documento e são ilustrados na Tabela 5.

Figura 47- Barra de ferramentas



Fonte - Autoria própria.

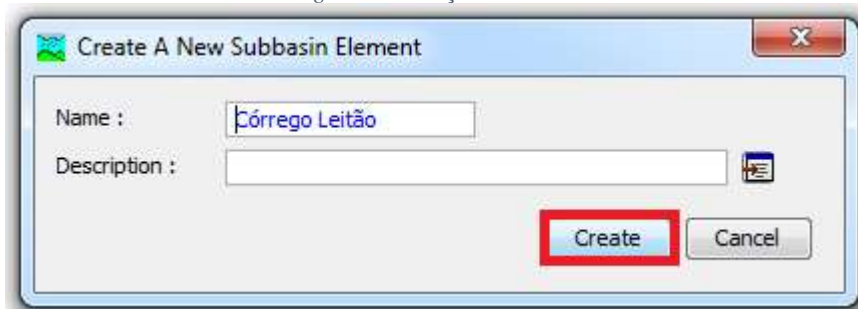
Tabela 5 – Ilustração dos elementos hidrológicos

Ferramenta	Ícone
Subbasin Creation Tool	
Reach Creation Tool	
Reservoir Creation Tool	
Junction Creation Tool	
Diversion Creation Tool	
Source Creation Tool	
Sink Creation Tool	

Fonte - Manual de utilización del programa HEC-HMS – Flumen

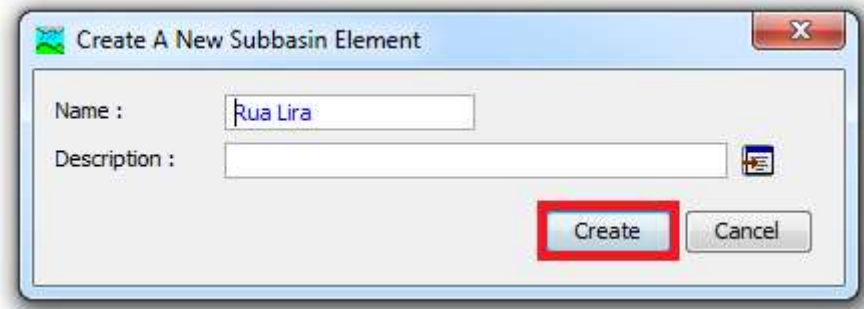
Esse estudo de caso contém duas sub-bacias: Córrego Leitão e Rua Lira (Figuras 48 e 49) e um reservatório (Figura 50)

Figura 48- Criação Sub-bacia



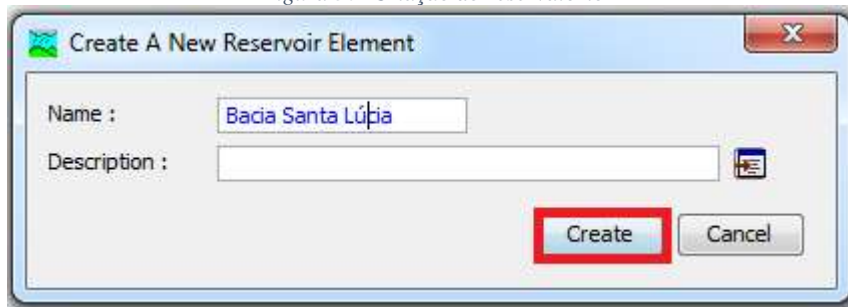
Fonte - Autoria própria.

Figura 49 - Criação Sub-bacia



Fonte - Autoria própria.

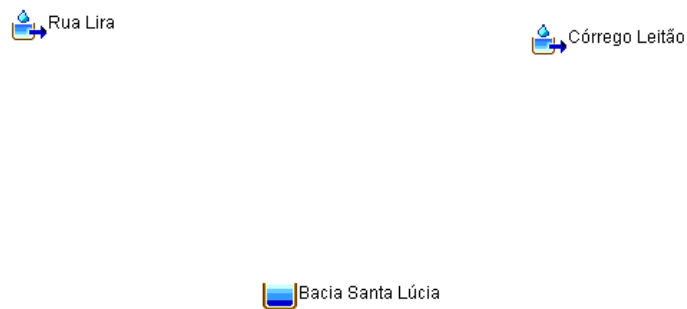
Figura 50- Criação do reservatório



Fonte - Autoria própria.

Abaixo, pode-se ver a disposição dos elementos no estudo de caso em questão (Figura 51).

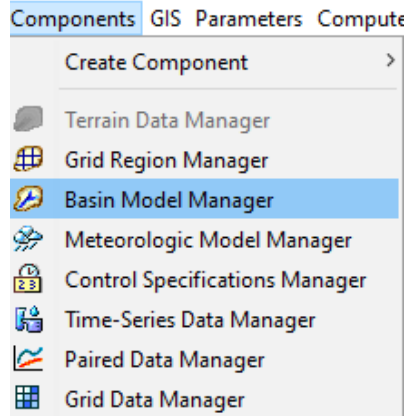
Figura 51- Distribuição dos componentes



Fonte - Autoria própria.

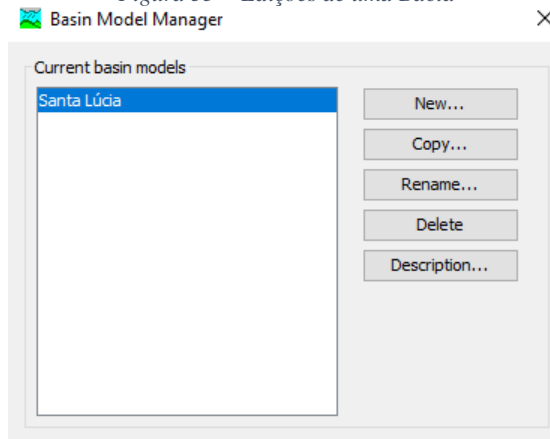
Para criar, copiar, renomear ou excluir um modelo de bacia basta abrir o menu **Componentes** e selecionar **Basin model manager** (Figuras 52 e 53).

Figura 52 - Seleção de Basin Model Manager



Fonte - Autoria própria.

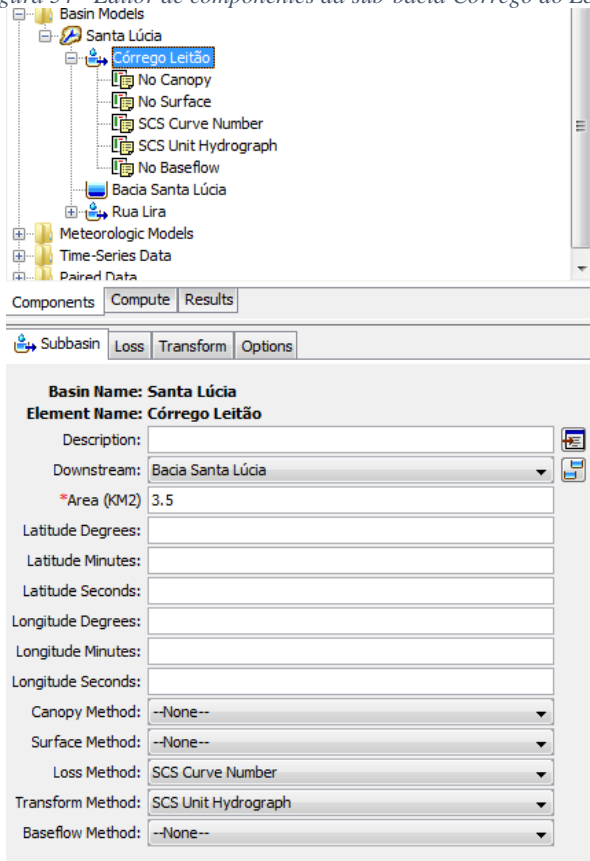
Figura 53 - Edições de uma Bacia



Fonte - Autoria própria.

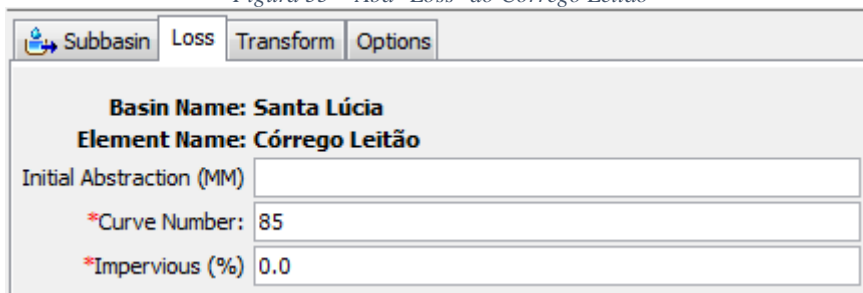
Os dados da bacia e os elementos hidrológicos são inseridos no editor de componentes, sendo também abertos clicando em cada um dos elementos (Figuras 54, 58 e 62). Abaixo, têm-se os editores de componentes das sub-bacias e do reservatório com os dados do estudo de caso da Bacia Santa Lúcia, mostrados nas Figuras 55, 56, 57, 59, 60, 61 e 63.

Figura 54 - Editor de componentes da sub-bacia Córrego do Leitão



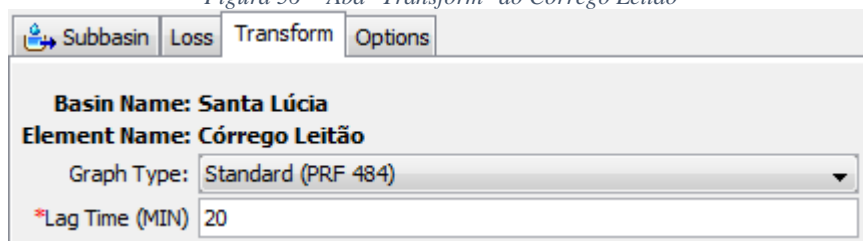
Fonte - Autoria própria.

Figura 55 - Aba "Loss" do Córrego Leitão



Fonte - Autoria própria.

Figura 56 - Aba "Transform" do Córrego Leitão



Fonte - Autoria própria.

Figura 57 - Aba "Options" do Córrego Leitão

The screenshot shows the 'Options' tab for the 'Córrego Leitão' element. The interface includes a navigation bar with 'Subbasin', 'Loss', 'Transform', and 'Options' tabs. The main area displays the following fields:

- Basin Name:** Santa Lúcia
- Element Name:** Córrego Leitão
- Observed Flow:** --None--
- Observed Stage:** --None--
- Observed SWE:** --None--
- Elev-Discharge:** Cota x Descarga
- Ref Flow (M3/S):** [Empty text box]
- Ref Label:** [Empty text box]

On the right side, there are several icons: a refresh icon, a save icon, a print icon, and a graph icon.

Fonte - Autoria própria.

Figura 58- Editor de componentes da sub-bacia Rua Lira

The screenshot shows the 'Editor de componentes da sub-bacia Rua Lira' interface. It features a tree view on the left with the following structure:

- Rua Lira (selected)
- Bacia Santa Lúcia
- Meteorologic Models
- Time-Series Data
- Paired Data

Below the tree view are tabs for 'Components', 'Compute', and 'Results'. The main area displays the 'Options' tab for the 'Rua Lira' element. The interface includes the following fields:

- Basin Name:** Santa Lúcia
- Element Name:** Rua Lira
- Description:** [Empty text box]
- Downstream:** Bacia Santa Lúcia
- \*Area (KM2):** 0.6
- Latitude Degrees:** [Empty text box]
- Latitude Minutes:** [Empty text box]
- Latitude Seconds:** [Empty text box]
- Longitude Degrees:** [Empty text box]
- Longitude Minutes:** [Empty text box]
- Longitude Seconds:** [Empty text box]
- Canopy Method:** --None--
- Surface Method:** --None--
- Loss Method:** SCS Curve Number
- Transform Method:** SCS Unit Hydrograph
- Baseflow Method:** --None--

On the right side, there are icons for a help document, a save icon, and a print icon.

Fonte - Autoria própria.

Figura 59 - Aba "Loss" da Rua Lira

Subbasin Loss Transform Options

**Basin Name: Santa Lúcia**  
**Element Name: Rua Lira**

Initial Abstraction (MM)

\*Curve Number: 85

\*Impervious (%) 0.0

Fonte - Autoria própria.

Figura 60 - Aba "Transform" da Rua Lira

Subbasin Loss Transform Options

**Basin Name: Santa Lúcia**  
**Element Name: Rua Lira**

Graph Type: Standard (PRF 484)

\*Lag Time (MIN) 7

Fonte - Autoria própria.

Figura 61 - Aba "Options" da Rua Lira

Subbasin Loss Transform Options

**Basin Name: Santa Lúcia**  
**Element Name: Rua Lira**

Observed Flow: --None--

Observed Stage: --None--

Observed SWE: --None--

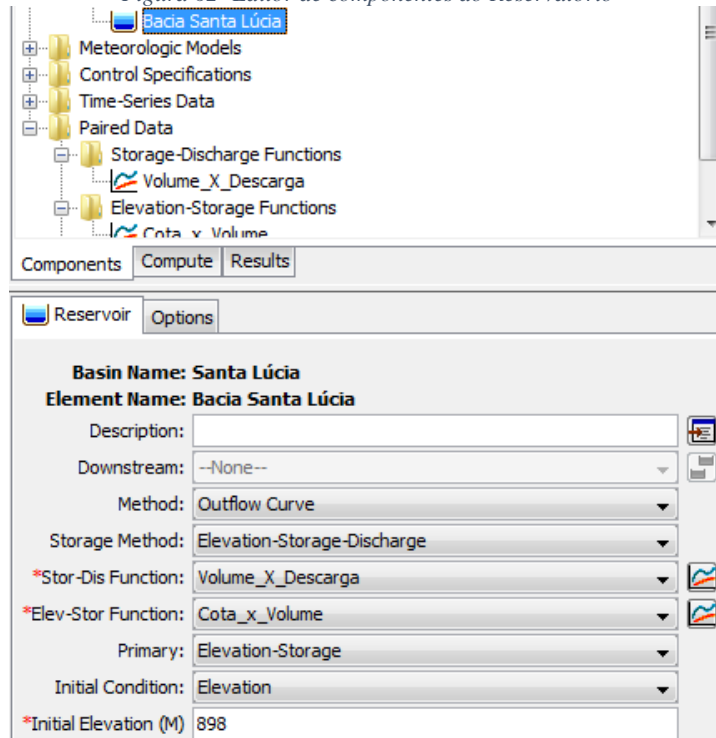
Elev-Discharge: Cota\_x\_Descarga

Ref Flow (M3/S)

RefLabel:

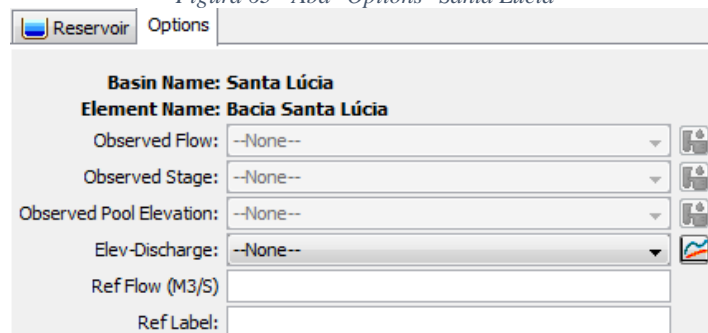
Fonte - Autoria própria.

Figura 62- Editor de componentes do Reservatório



Fonte - Autoria própria.

Figura 63 - Aba "Options" Santa Lúcia



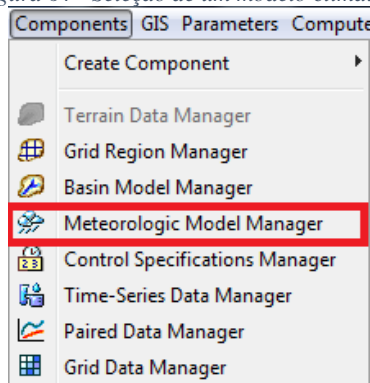
Fonte - Autoria própria.

#### 4.5 Criar um modelo climático

Um modelo climático também é adicionado a um projeto no menu **Components**, selecionando a opção **Meteorologic Model Manager** e em seguida **New**, como mostram as Figuras 64 e 65. Após isso, aparecerá a aba para nomeá-lo (Figura 66).

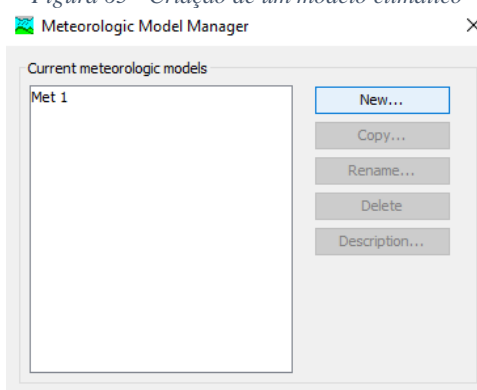


Figura 64 - Seleção de um modelo climático



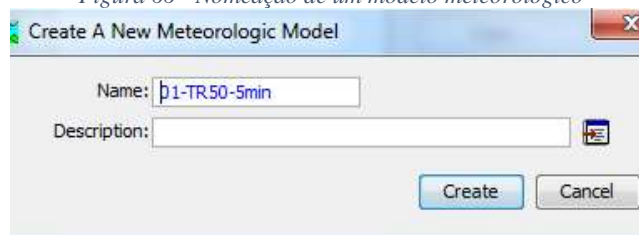
Fonte - Autoria própria.

Figura 65 - Criação de um modelo climático



Fonte - Autoria própria.

Figura 66 - Nomeação de um modelo meteorológico



Fonte - Autoria própria.

Um passo na definição do modelo meteorológico é definir qual modelo de bacia requer precipitação do modelo meteorológico. O editor de componentes é aberto para o modelo climático, na guia *basins*, selecionando *yes*, inclui-se um modelo da precipitação do modelo meteorológico (Figura 67). Com isso, todas as sub-bacias incluídas nesse modelo de bacia serão adicionadas ao modelo meteorológico.

Figura 67 - Guia "Basins"

Basins	
<b>Met Name: 01-TR50-5min</b>	
Basin Model	Include Subbasins
Santa Lúcia	Yes

Fonte - Autoria própria.

A Figura 68 mostra as especificações gerais a serem definidas para os modelos meteorológicos.

Figura 68 – Especificações gerais dos modelos meteorológicos

Options	
<b>Met Name: 01-TR50-5min</b>	
Description:	<input type="text"/>
Unit System:	Metric
Shortwave:	--None--
Longwave:	--None--
Precipitation:	Specified Hyetograph
Evapotranspiration:	--None--
Snowmelt:	--None--
Replace Missing:	Abort Compute

Fonte - Autoria própria.

As Figuras 69, 70, 71 e 72 mostram os editores de componentes dos modelos climáticos e seus dados para as chuvas de 5, 10, 30 e 60 minutos, respectivamente.

Figura 69 – Especificação do modelo meteorológico 5min

**Meteorologic Models**

- 01-TR50-5min
  - Specified Hyetograph
- 02-TR50-10min
  - Specified Hyetograph
- 03-TR50-30min
  - Specified Hyetograph
- 04-TR50-60min
  - Specified Hyetograph

**Time-Series Data**

**Precipitation Gages**

---

Components    Compute    Results

**Specified Hyetograph**

Met Name: 01-TR50-5min	
Subbasin Name	Gage
Córrego Leitão	01-TR50-5min
Rua Lira	01-TR50-5min

Fonte - Autoria própria.

Figura 70 – Especificação do modelo meteorológico 10min

Components Compute Results

Specified Hyetograph

**Met Name: 02-TR50-10min**

Subbasin Name	Gage
Córrego Leitão	02-TR50-10min
Rua Lira	02-TR50-10min

Fonte - Autoria própria.

Figura 71 – Especificação do modelo meteorológico 30min

Components Compute Results

Specified Hyetograph

**Met Name: 03-TR50-30min**

Subbasin Name	Gage
Córrego Leitão	03-TR50-30min
Rua Lira	03-TR50-30min

Fonte - Autoria própria.

Figura 72 – Especificação do modelo meteorológico 60min

Components Compute Results

Specified Hyetograph

**Met Name: 04-TR50-60min**

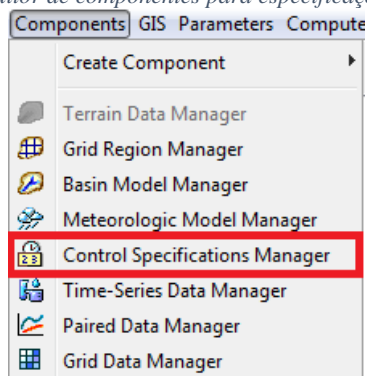
Subbasin Name	Gage
Córrego Leitão	04-TR50-60min
Rua Lira	04-TR50-60min

Fonte - Autoria própria.

## 4.6 Definir especificações de controle

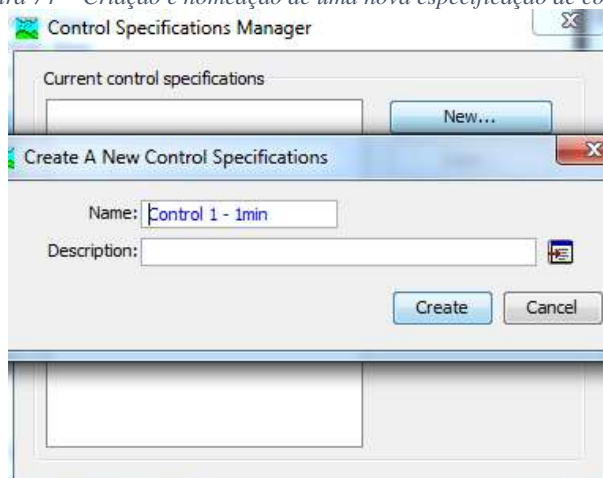
As especificações de controle são adicionadas ao projeto no menu **Components**, selecionando **Control specifications manager** (Figura 73). Para criar uma nova especificação basta clicar na opção **New** e inserir um nome e uma descrição para o controle. Com isso, todos os controles criados ficarão dispostos como na Figura 74.

Figura 73 - Editor de componentes para especificações de controle



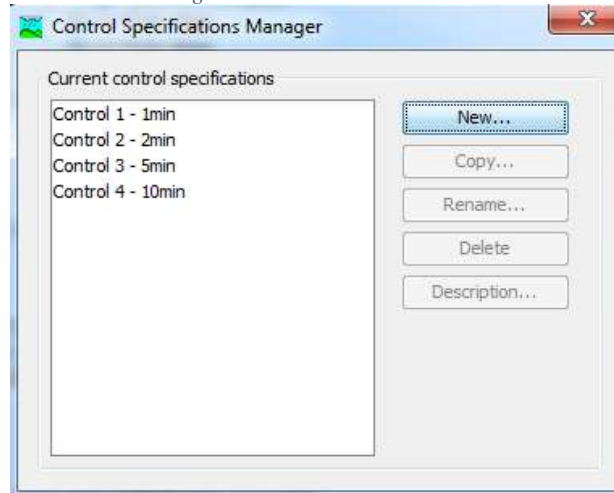
Fonte - Autoria própria.

Figura 74 - Criação e nomeação de uma nova especificação de controle



Fonte - Autoria própria.

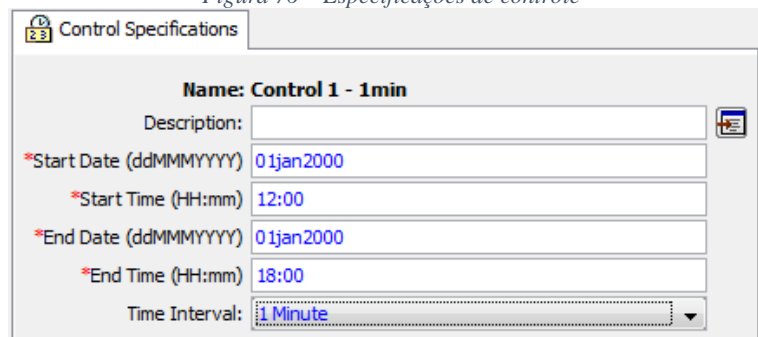
Figura 75 - Controles criados



Fonte - Autoria própria.

O editor de componentes para especificações de controle precisa de data e hora de início e de fim, além de um intervalo de tempo (Figura 76). Os formatos em que devem ser inseridos são observados no editor de componentes. A maioria dos cálculos para os métodos é realizada nesse intervalo de tempo e os resultados são sempre mostrados para o intervalo especificado aqui.

Figura 76 – Especificações de controle

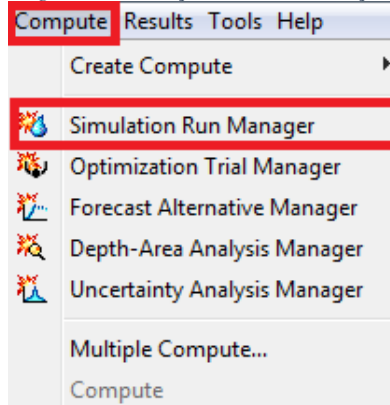


Fonte - Autoria própria.

#### 4.7 Criação de uma execução de simulação

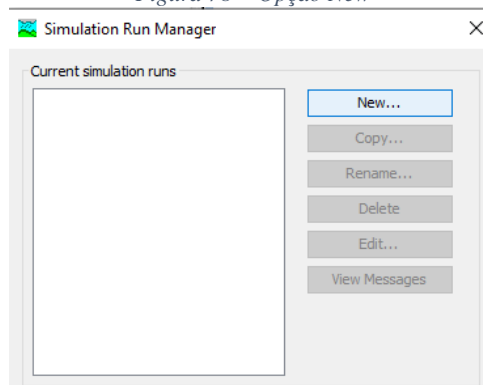
Para se criar uma execução de simulação basta entrar no menu **Compute** e em seguida em **Run manager** e selecionar a opção **New**, como nas Figuras 77 e 78.

Figura 77 - Criação de uma simulação



Fonte - Autoria própria.

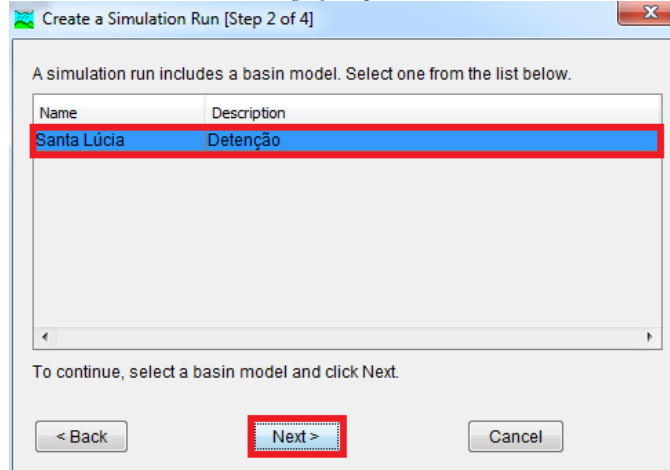
Figura 78 - Opção New



Fonte - Autoria própria.

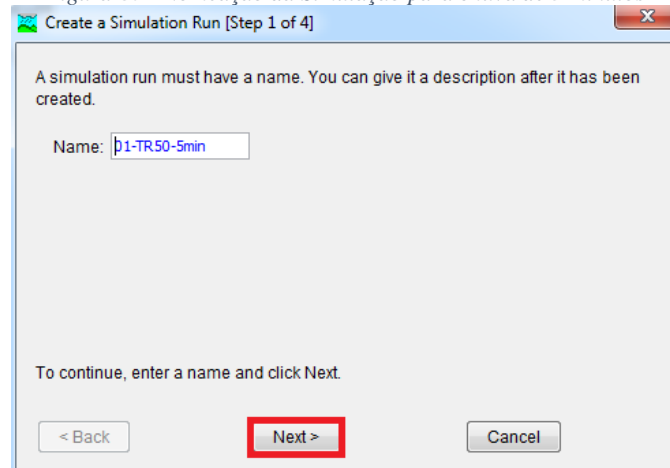
Após isso, deve-se inserir um nome para a simulação e, em seguida, escolher um modelo de bacia hidrográfica, um modelo climático e especificações de controle a serem utilizadas. A seguir são apresentadas as opções escolhidas para as chuvas de 5 minutos (Figuras 80, 81 e 82), 10 minutos (Figuras 83, 84 e 85), 30 minutos (Figuras 86, 87 e 88) e 60 minutos (Figura 89, 90 e 91), sendo a bacia “Santa Lúcia” selecionada para todas as chuvas (Figura 79).

Figura 79 - - Modelo de Bacia Hidrográfica para as chuvas de 5, 10, 30 e 60 minutos



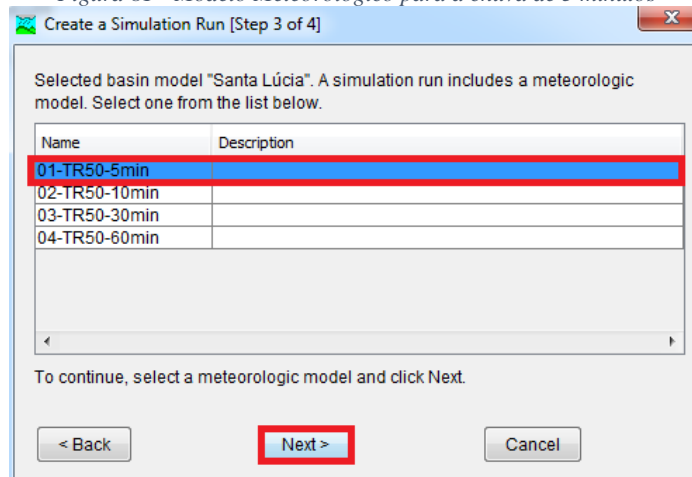
Fonte - Autoria própria.

Figura 80 - Nomeação da Simulação para chuva de 5 minutos



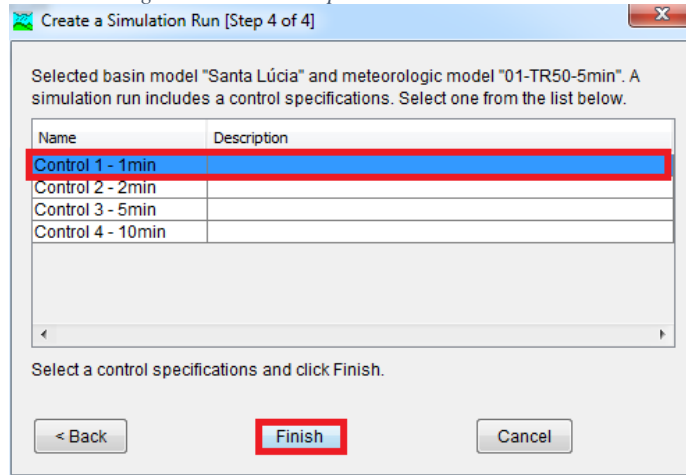
Fonte - Autoria própria.

Figura 81 - Modelo Meteorológico para a chuva de 5 minutos



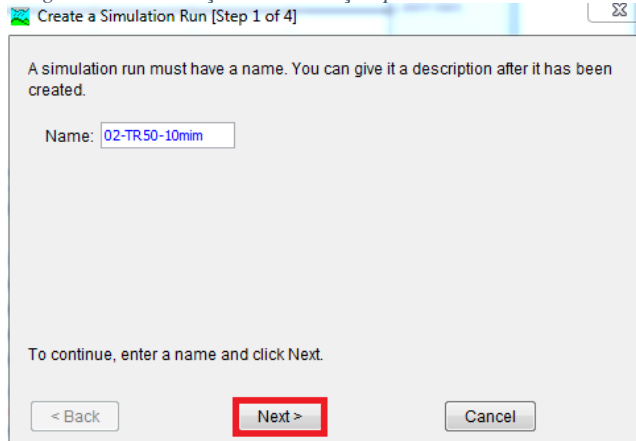
Fonte - Autoria própria.

Figura 82 - Controle para a chuva de 5 minutos



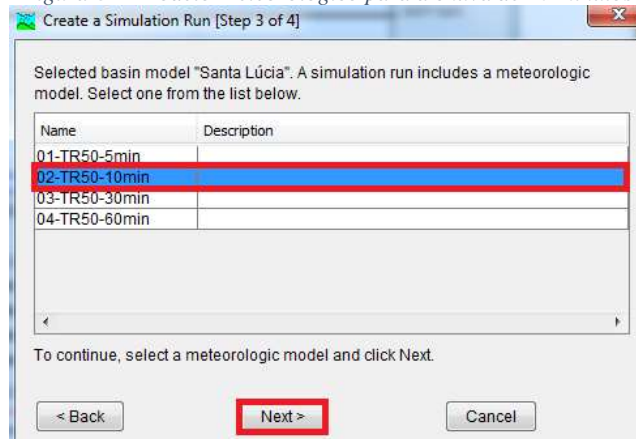
Fonte - Autoria própria.

Figura 83 - Nomeação da Simulação para chuva de 10 minutos



Fonte - Autoria própria.

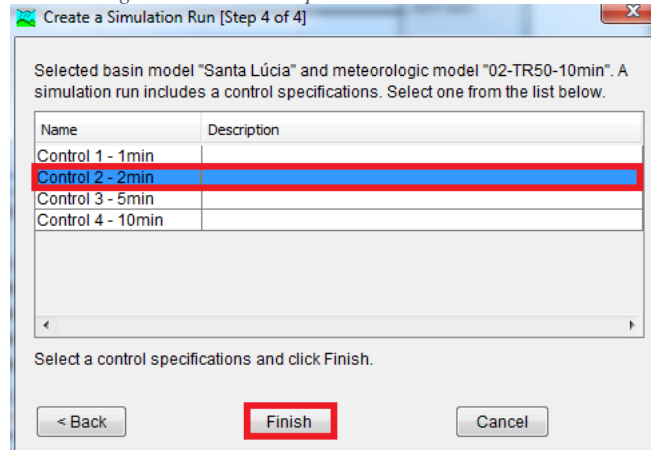
Figura 84 - Modelo Meteorológico para a chuva de 10 minutos



Fonte - Autoria própria.



Figura 85 - Controle para a chuva de 10 minutos



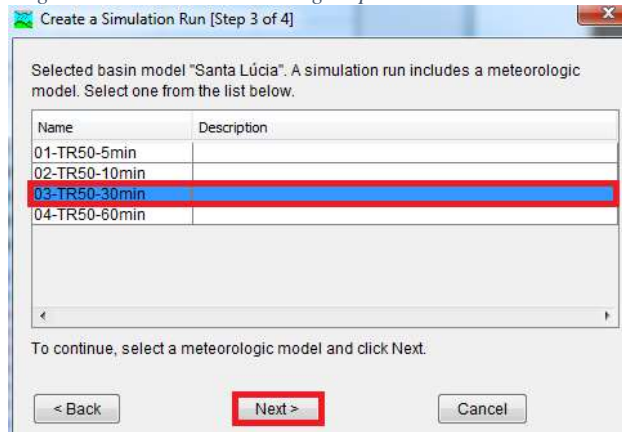
Fonte - Autoria própria.

Figura 86 - Nomeação da Simulação para chuva de 30 minutos



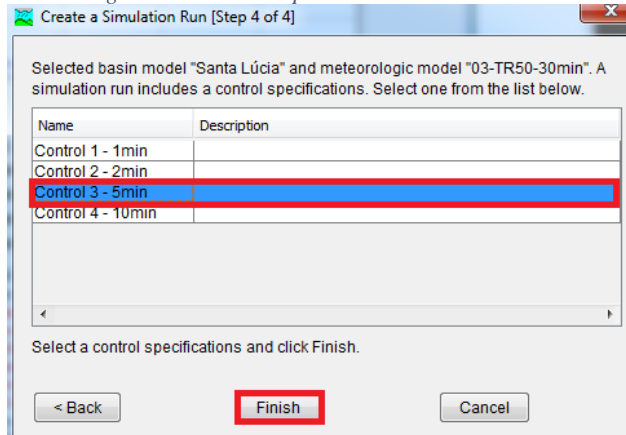
Fonte - Autoria própria.

Figura 87 - Modelo Meteorológico para a chuva de 30 minutos



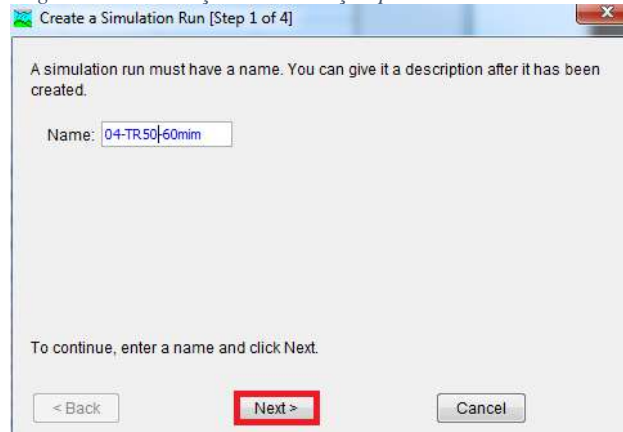
Fonte - Autoria própria.

Figura 88 - Controle para a chuva de 30 minutos



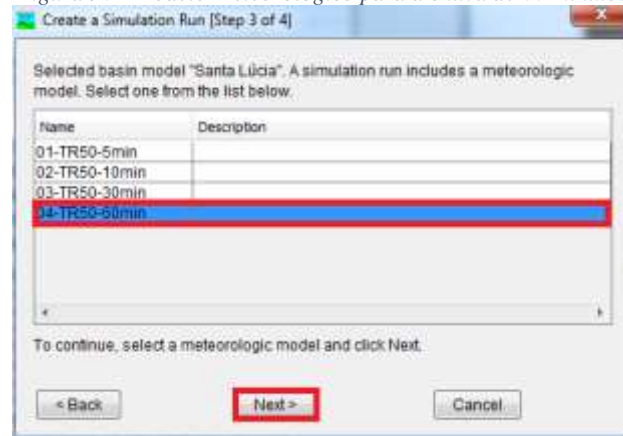
Fonte - Autoria própria.

Figura 89 - Nomeação da Simulação para chuva de 60 minutos



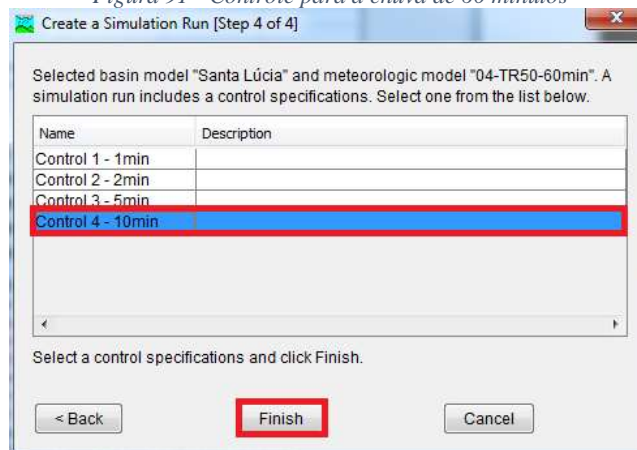
Fonte - Autoria própria.

Figura 90 - Modelo Meteorológico para a chuva de 60 minutos



Fonte - Autoria própria.

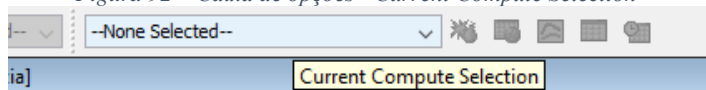
Figura 91 - Controle para a chuva de 60 minutos



Fonte - Autoria própria.

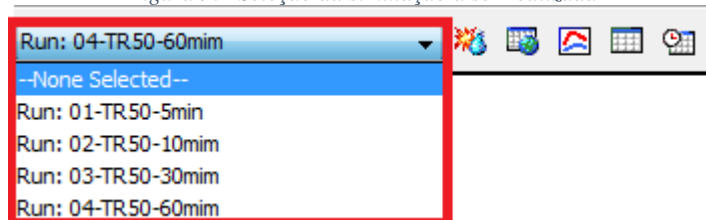
Para executar a simulação, deve selecionar **Current Compute Selection** no menu de opções (Figura 92) e escolher a simulação desejada (Figura 93). Deve-se clicar em **Compute Current Run** (Figura 94), assim, a simulação selecionada será executada.

Figura 92 – Caixa de opções “Current Compute Selection”



Fonte - Autoria própria.

Figura 93- Seleção da simulação a ser realizada



Fonte - Autoria própria.

Figura 94- Compute Current Run



Fonte - Autoria própria.

## 4.8 Ver resultados de um modelo


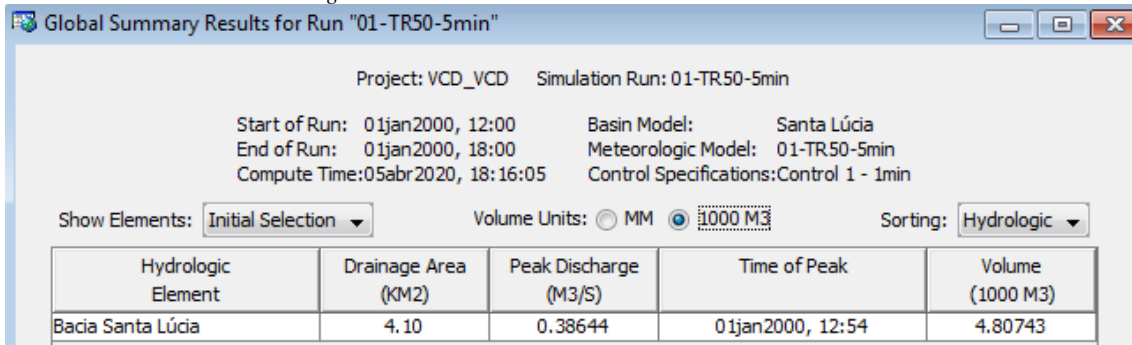
Para ver os resultados de uma simulação, pode-se pressionar o botão de resultados da simulação  ou selecionar **Global summary table** dentro do menu **Results**. As Figuras 95, 96, 97 e 98 mostram os resultados das simulações criadas e executadas neste estudo de caso, sendo elas para as chuvas de 5, 10, 30 e 60 minutos, respectivamente.

Figura 95 – Resultados Simulation Run: 01-TR50-5min



Project: VCD\_VCD Simulation Run: 01-TR50-5min

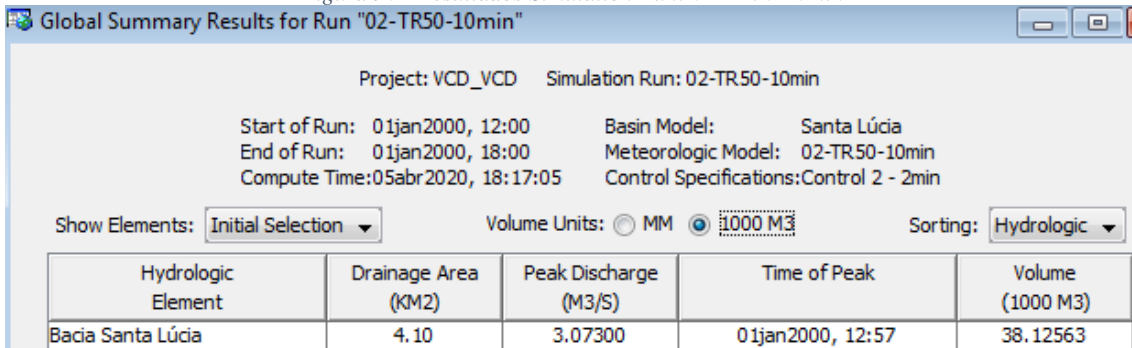
Start of Run: 01jan2000, 12:00 Basin Model: Santa Lúcia  
 End of Run: 01jan2000, 18:00 Meteorologic Model: 01-TR50-5min  
 Compute Time: 05abr2020, 18:16:05 Control Specifications: Control 1 - 1min

Show Elements: Initial Selection Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Bacia Santa Lúcia	4.10	0.38644	01jan2000, 12:54	4.80743

Fonte - Autoria própria.

Figura 96 - Resultados Simulation Run: 01-TR50-10min



Project: VCD\_VCD Simulation Run: 02-TR50-10min

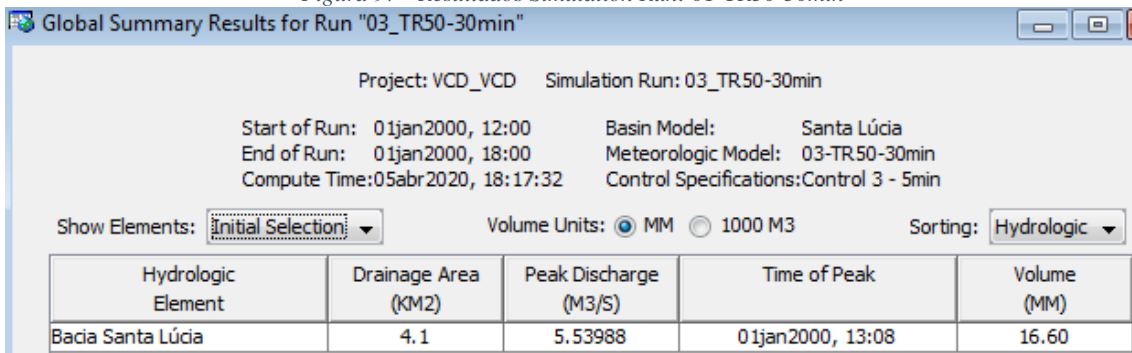
Start of Run: 01jan2000, 12:00 Basin Model: Santa Lúcia  
 End of Run: 01jan2000, 18:00 Meteorologic Model: 02-TR50-10min  
 Compute Time: 05abr2020, 18:17:05 Control Specifications: Control 2 - 2min

Show Elements: Initial Selection Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Bacia Santa Lúcia	4.10	3.07300	01jan2000, 12:57	38.12563

Fonte - Autoria própria.

Figura 97 - Resultados Simulation Run: 01-TR50-30min



Project: VCD\_VCD Simulation Run: 03\_TR50-30min

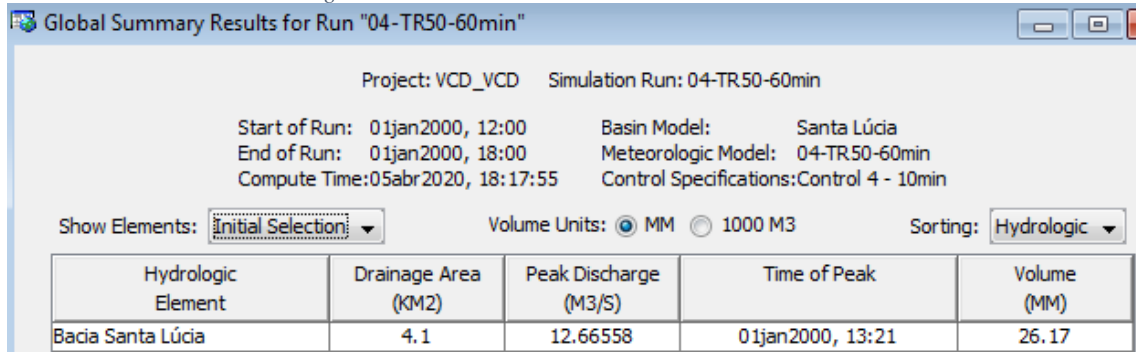
Start of Run: 01jan2000, 12:00 Basin Model: Santa Lúcia  
 End of Run: 01jan2000, 18:00 Meteorologic Model: 03-TR50-30min  
 Compute Time: 05abr2020, 18:17:32 Control Specifications: Control 3 - 5min

Show Elements: Initial Selection Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Bacia Santa Lúcia	4.1	5.53988	01jan2000, 13:08	16.60

Fonte - Autoria própria.

Figura 98 - Resultados Simulation Run: 01-TR50-60min



Fonte - Autoria própria.



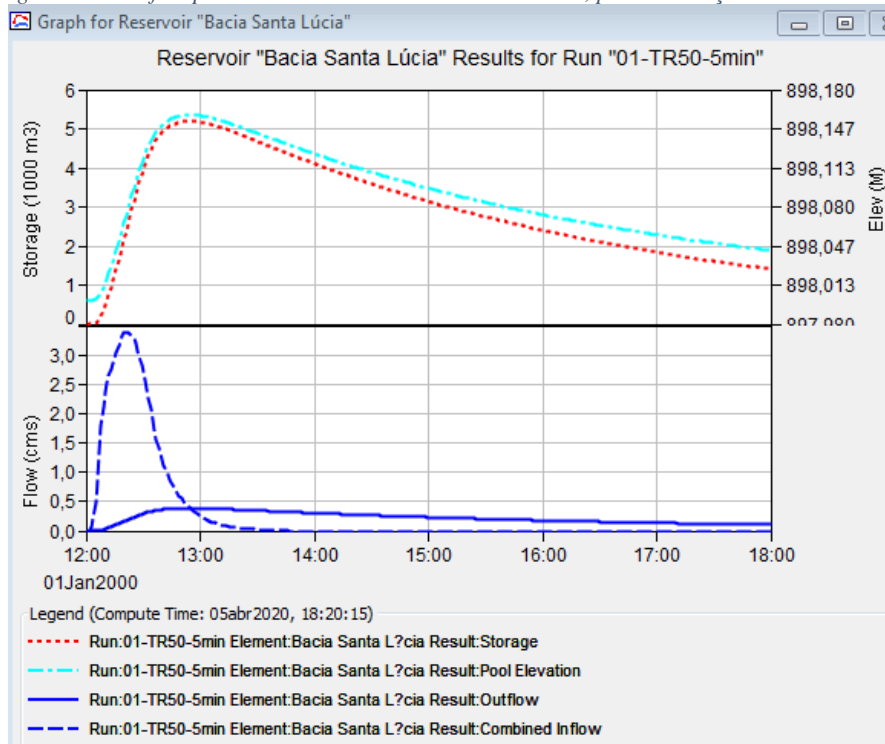
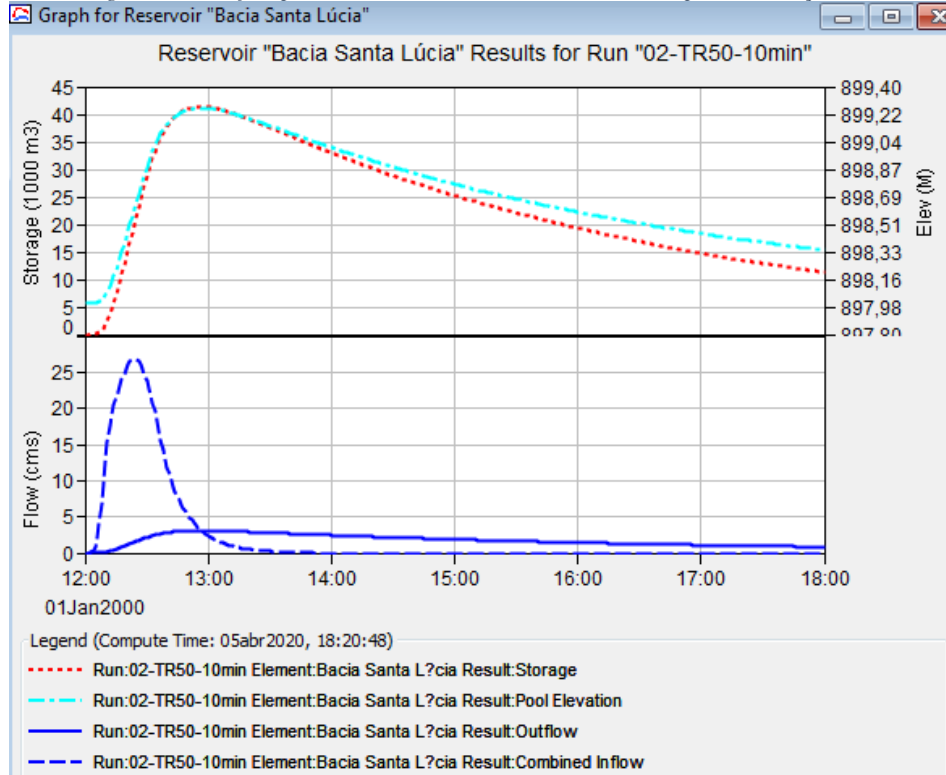
Ao seleccionar um elemento da sub-bacia no explorador da bacia ou na área de trabalho, os gráficos  (Figuras 99, 100, 101 e 102) e as séries temporais  podem ser observados.

Figura 99 - Gráfico para o reservatório "Bacia Santa Lúcia", para Simulação 01-TR50-5min"



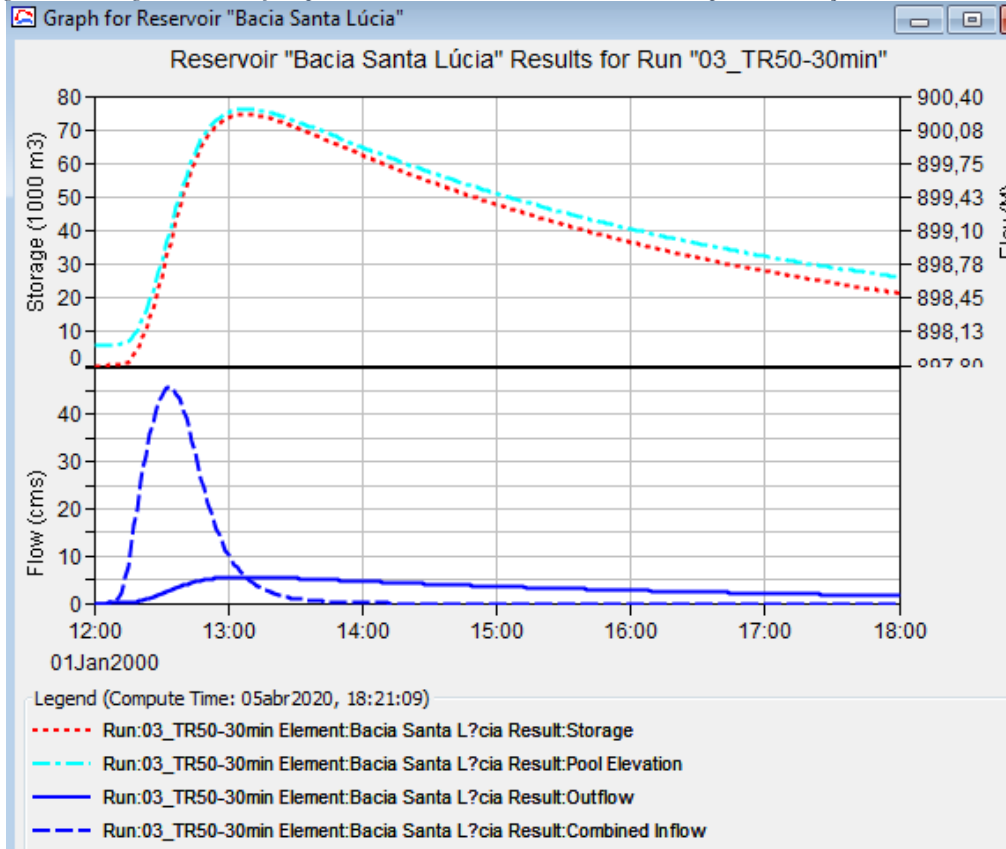
Fonte - Autoria própria.

Figura 100 - Figura 99 - Gráfico para o reservatório "Bacia Santa Lúcia", para Simulação 01-TR50-10min"



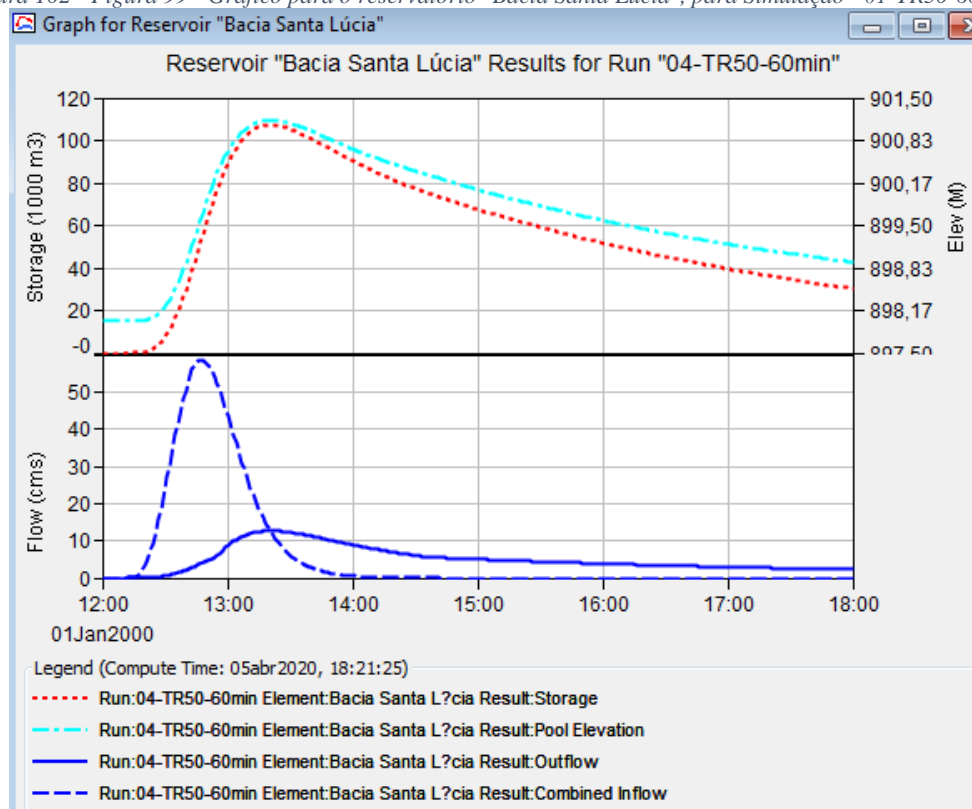
Fonte - Autoria própria.

Figura 101 - Figura 99 - Gráfico para o reservatório "Bacia Santa Lúcia", para Simulação 01-TR50-30min"



Fonte - Autoria própria.

Figura 102 - Figura 99 - Gráfico para o reservatório "Bacia Santa Lúcia", para Simulação "01-TR50-60min"



Fonte - Autoria própria.

## 5. RESULTADOS e DISCUSSÕES

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos por Perche (2015) e os resultados obtidos neste trabalho, mostrando uma similaridade muito grande entre os resultados. Essa pequena diferença nos resultados pode se dar por motivos como o projeto ter sido realizado em versões diferentes do *Software*, visto que um projeto foi elaborado em 2015 e o outro em 2021, podendo gerar arredondamentos diferentes nos valores utilizados, além de algum possível erro de digitação não observado.

Tabela 6- Comparação de Resultados

Duração da chuva (min)	Vazão de pico a montante da bacia de detenção (m³/s)		Vazão de pico a jusante da bacia de detenção (m³/s)		Volume armazenamento(m³)	
	Estudo de Caso	Perche (2015)	Estudo de Caso	Perche (2015)	Estudo de Caso	Perche (2015)
5	3,4	3,4	0,4	0,4	51983	52000
10	26,8	26,7	3,1	3,1	41337	41300
30	45,7	45,6	5,5	5,5	74521	74500
60	58,6	58,5	12,7	12,7	107271	107200

Fonte - Autoria própria.

## 6. CONCLUSÃO

A partir do entendimento dos conceitos de uma bacia hidrográfica, entre outros parâmetros que a envolvem, foi possível introduzir o programa estudado neste documento, o HEC-HMS.

Os componentes do modelo foram apresentados e detalhados, sendo esses: o Modelo da Bacia Hidrográfica, o Modelo Meteorológico e as Especificações de Controle.

Com isso, tornou-se possível reproduzir um estudo de caso da bacia de retenção Santa Lúcia, utilizando o HEC-HMS. Foi realizado, então, o passo a passo da criação de um projeto no *software*, sendo detalhado até o momento de sua simulação final.

Logo, obtiveram-se os resultados do modelo, que foram analisados e comparados. Os resultados alcançados a partir do exemplo descrito foram bem próximos aos obtidos por Perche (2015). Sendo assim, este trabalho se torna extremamente eficiente como guia de estudo do *software* HEC-HMS, assim como para a realização de um projeto utilizando-o.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<https://www.fema.gov/hydrologic-models-meeting-minimum-requirement-national-flood-insurance-program>

Manual para el uso del modelo hidrológico HEC–HMS. Camilo Bastidas. Departamento Ingeniería Hidrometeorológica. Fac.Ingeniería – UCV

<https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/wp-content/uploads/2015/12/inundacao.pdf>

Manual de utilización del programa HEC-HMS – Flumen

Dissertação de Mestrado: “Avaliação do modelo Hec-Hms versão 4.1 na simulação hidrossedimentométrica de pequenas bacias. Estudo de caso na região central do Rio Grande do Sul”. Santa Maria, RS. Pablo Weber Valcorte.

Trabalho de conclusão de curso: “Estimativa de vazões de enchente em bacias hidrográficas do Espírito Santo com o uso do modelo Hec-Hms”. Vitória (2011). Fernando Emanuel Lagassi Canal.