

Modelagem hidrológica utilizando o HEC-HMS 4.4

Maio 2020

Preparado por:

Prof. Dr. Venkatesh Merwade
Lyles School of Civil Engineering
Purdue University
vmerwade@purdue.edu

Traduzido e adaptado por:

Gabriela Rezende de Souza
PPG Recursos Hídricos
UFLA
gabriela.souza2@estudante.ufla.br

Introdução

O objetivo desse material é criar um modelo do HEC-HMS utilizando dados de SIG para um evento hidrológico. Nessa versão serão utilizados dados da Bacia do Rio do Cervo, localizada em Nepomuceno-MG-Brasil, delimitada na estação fluviométrica Marechal Mascarenhas. Porém, o processo pode ser facilmente replicado para qualquer localidade desde que existam dados disponíveis.

Resultados da aprendizagem

- Criar modelo HEC-HMS utilizando as funções SIG acopladas ao software;
- Entender os componentes de um modelo HMS;
- Parametrização dos métodos do HMS associados com o método SCS e propagação de onda de cheia de Muskingum;
- Adicionar informação meteorológica no HMS;
- Criar uma simulação hidrológica para um evento independente no HMS.

Requisitos computacionais

- Sistema operacional Windows;
- HEC-HMS versão 4.4 disponível para download em:
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>

Dados de entrada

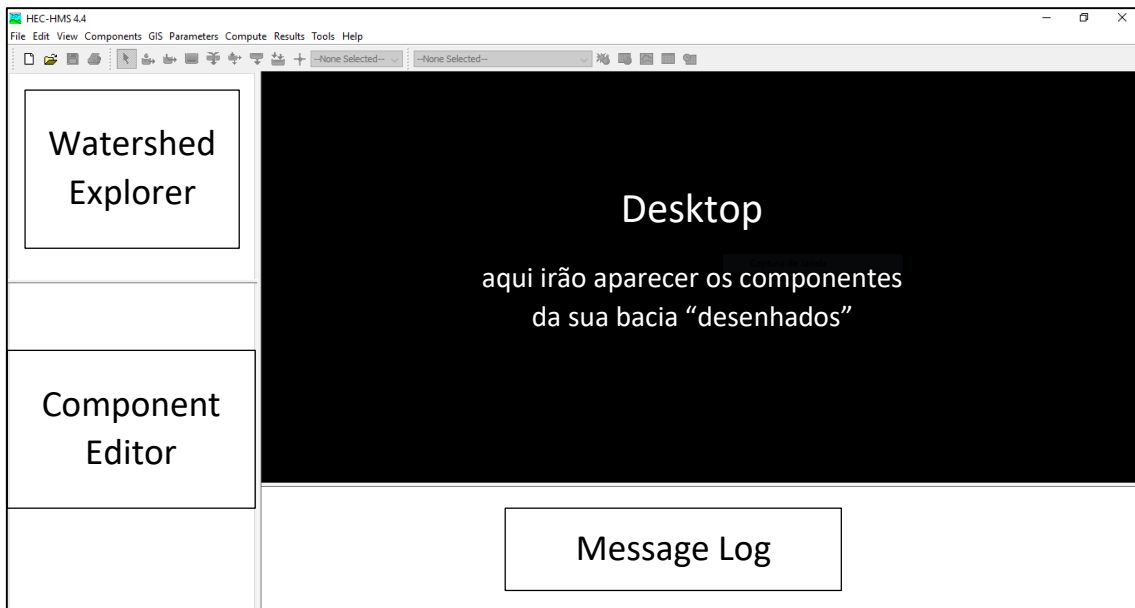
- Modelo digital de elevação (DEM – digital elevation model) da Bacia do Rio do Cervo, em formato GeoTiff (.tif);
- Arquivo Excel com dados referentes a CN (curve number para o modelo de escoamento SCS-CN) e Lag Time (tempo de “atraso” da onda de cheia pelo método SCS-CN);
- Arquivo Excel com os dados observados de vazão e precipitação na estação Marechal Mascarenhas para um evento.
- **Link do material:**
<https://drive.google.com/drive/folders/1rLQRI9CulgpXLtWamntWqGawoYSzz-z-u?usp=sharing>

Primeiros passos

Após instalar o software HEC-HMS 4.4, inicie o programa e você deverá ver o seguinte:

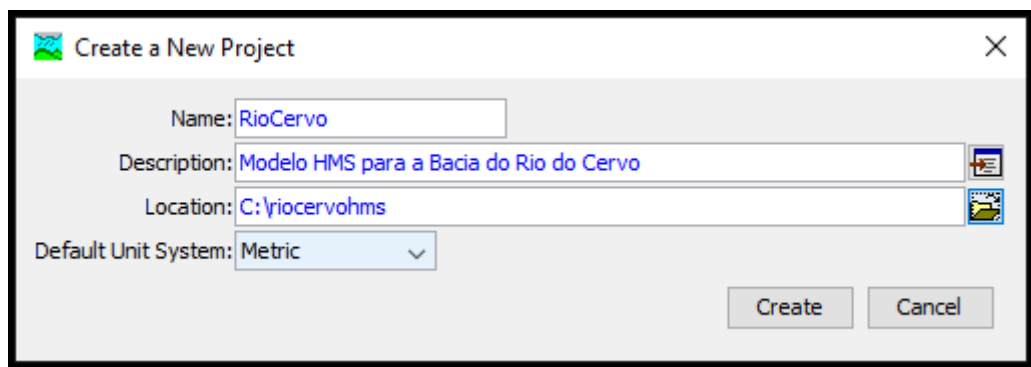
Essa janela é a “Interface do HMS”. A interface do HMS consiste em uma barra de menu, barra de ferramentas e quatro painéis: *Watershed Explorer* (explorador da bacia), *Component Editor* (editor dos componentes), *Message log* (painel de mensagens) e

Desktop (área de trabalho). Maiores detalhes desses painéis serão dados à medida que os usamos nos próximos passos.



Abrindo/Criando um projeto no HEC-HMS

- 1) Clique em *File > New* (ou Ctrl+N)
- 2) Entre como o nome do projeto como “RioCervo”
- 3) Em *Description* forneça algumas informações básicas do seu projeto: Modelo HMS para a Bacia do Rio do Cervo
- 4) Forneça a sua pasta de trabalho (lembre-se: quanto menor o caminho que o programa tem que percorre no PC, mais rápido e com menores erros é o processamento. Prefira salvar em uma pasta no diretório \C:\)
- 5) Selecione o sistema de unidades: *Metric*
- 6) Clique no botão *Create*



Componentes do modelo HMS

HMS tem quatro principais componentes de modelo: *Basin Model* (modelo da bacia), *Meteorologic Model* (modelo meteorológico), *Control Specifications* (controle de

especificações) e *Input Data* (dados de entrada – series temporais, dados em grid, dados de terreno).

O modelo da bacia (*Basin Model*) contém informações relevantes para os atributos físicos do modelo, como área de drenagem, conectividade entre os rios, dados de armazenamento de água, etc.

O modelo meteorológico (*Meteorologic Model*) possui dados de chuva.

O controle de especificações (*Control Specifications*) tem informações temporais do modelo, como quando a precipitação inicia, o intervalo de tempo das observações e da modelagem, etc.

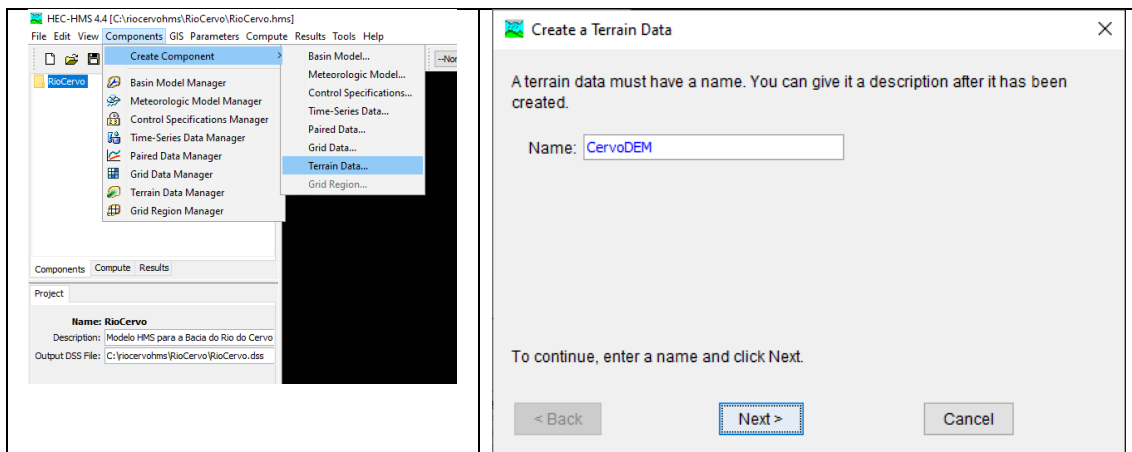
Alguns componentes dos dados de entrada armazenam parâmetros ou condições de controle para a bacia e modelos meteorológicos, enquanto o componente “*Terrain Data*” armazena dados de elevação para o processamento em SIG.

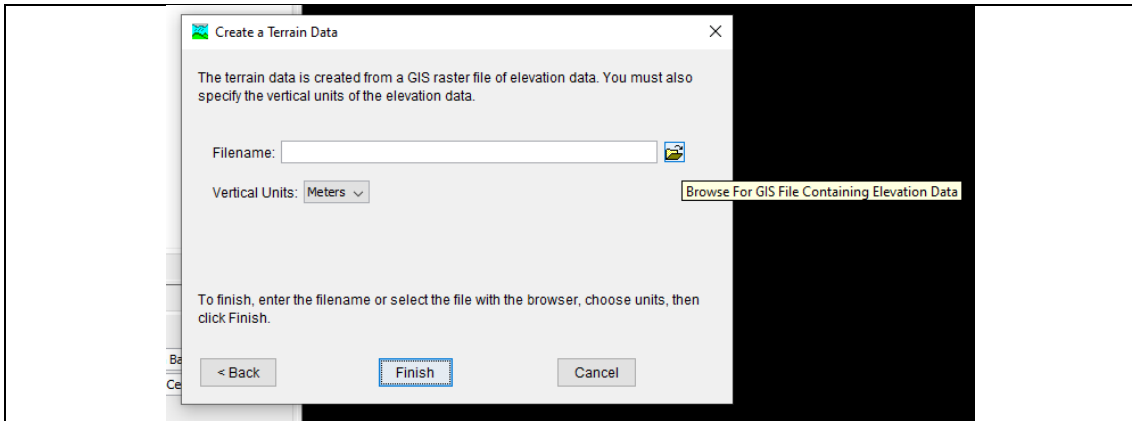
Cada um dos componentes é explorado a seguir.

Terrain Data Manager

O “*Terrain Data manager*” é utilizado para se trabalhar com dados de terreno, ou seja, um modelo digital de elevação da área estudada. Um vez que o terreno é importado para o HMS, pode ser usado para criar o modelo da bacia.

- 1) Clique em *Components > Create Component > Terrain Data*
- 2) Nomeie o terreno como “*CervoDEM*” e clique em *Next*
- 3) Procure pelo arquivo *DEMMarechal.tif*
- 4) Escolha *meters* para *vertical units*
- 5) Clique em *Finish*

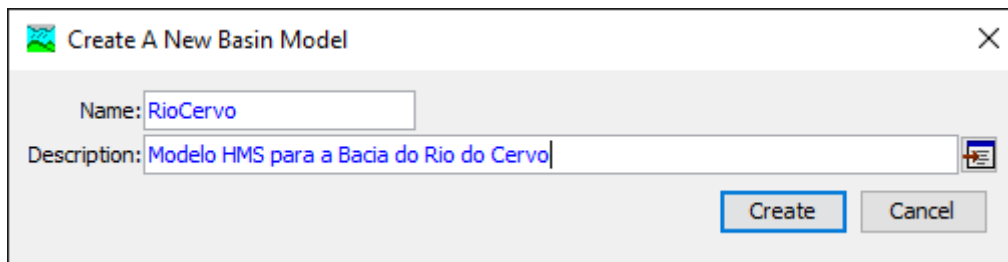




Esses passos vão criar um “*Terrain Data Component*” (uma pasta) no editor de componentes. Se você abrir essa pasta (clique no + do lado da pasta), você deve ver o terreno “Cervo”, mas só o nome. O DEM ainda não vai aparecer na Desktop. Agora vamos criar o modelo da bacia.

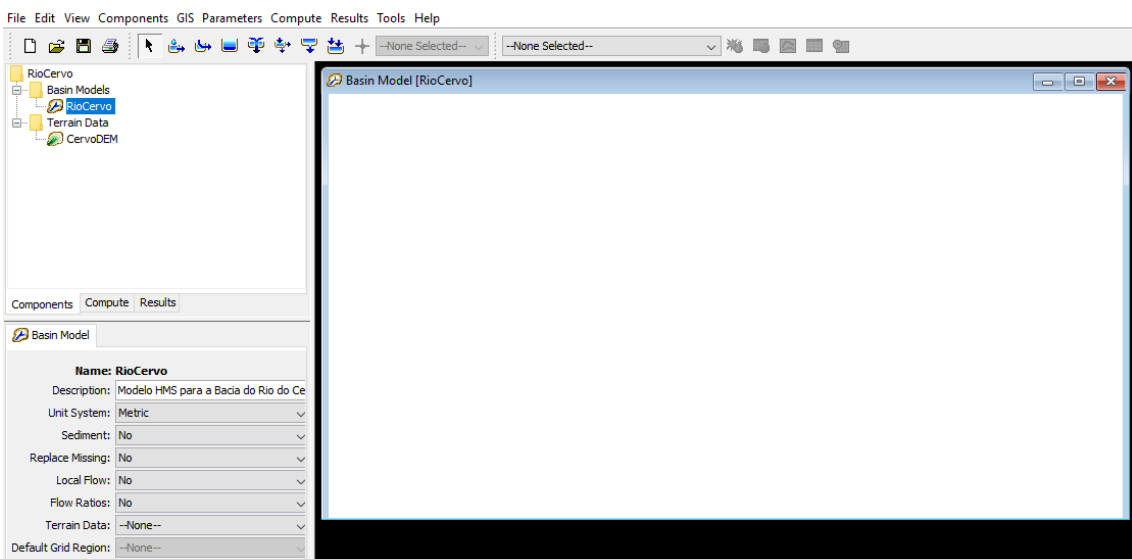
Basin Model Manager

- 1) *Components > Create Component > Basin Model*
- 2) Nomeie a bacia como RioCervo
- 3) Forneça a descrição
- 4) Clique em *Create*



Esses passos vão criar um componente de bacia vazio.

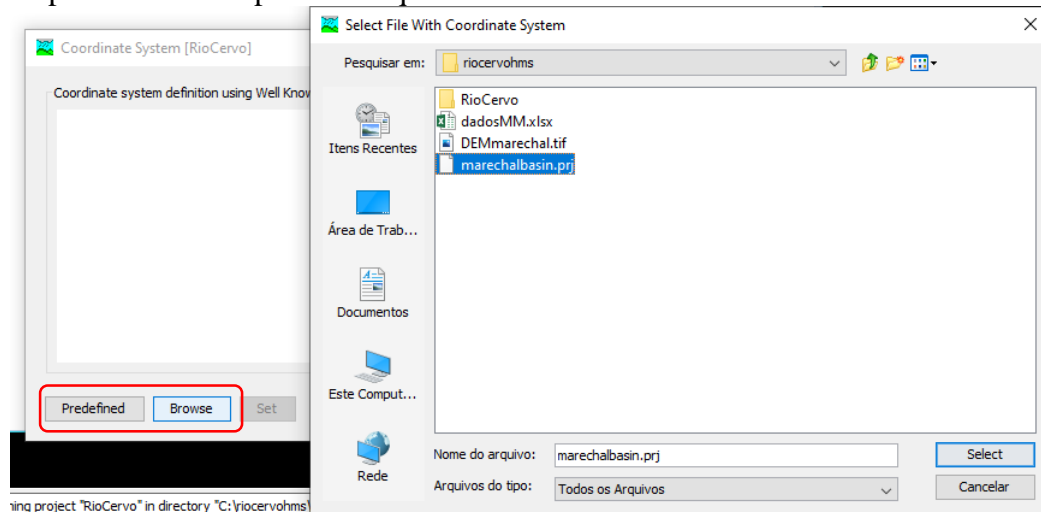
Abra o *Models Components* da bacia e clique em RioCervo para abrir o modelo de bacia vazio.



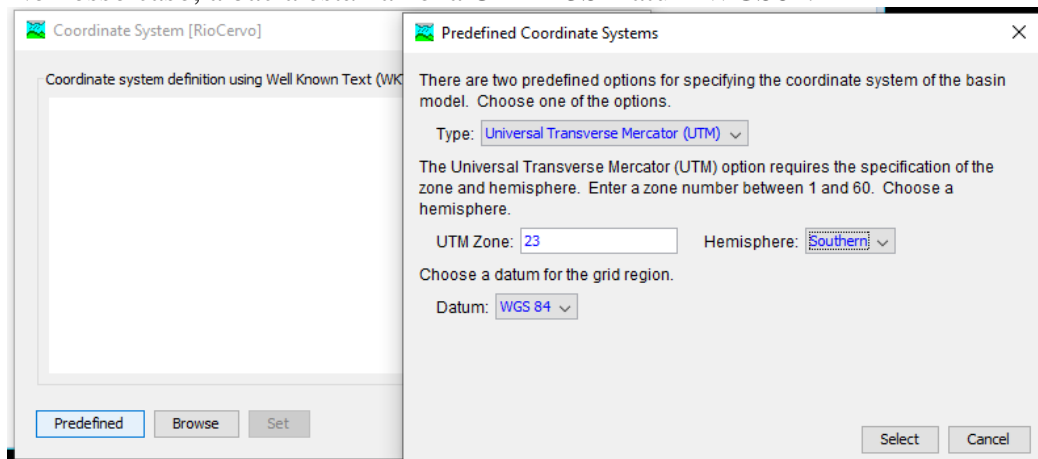
Especificando o Sistema de Coordenadas

O que nós temos na tela é um modelo vazio da bacia, que vamos preencher processando o modelo de terreno do Rio do Cervo. O primeiro passo é geo-referenciar o modelo da bacia no nosso terreno.

- 1) Clique em *GIS > Coordinate System*
- 2) Você verá duas opções: *Predefined* e *Browse*
- 3) Se você tiver um arquivo com a projeção (.prj) para o DEM, você pode adicioná-lo com a ferramenta de busca (*browse*). O arquivo “marechalbasin.prj” está disponibilizado na pasta de arquivos desse tutorial.



- 4) Se você sabe qual a projeção do seu DEM, você pode utilizar a opção *Predefined*. No nosso caso, a bacia está na zona UTM 23S Datum WGS84.

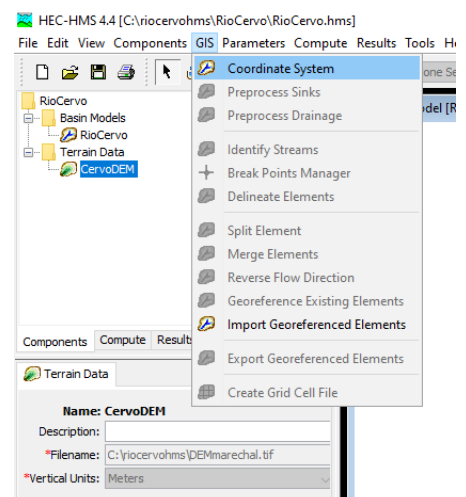


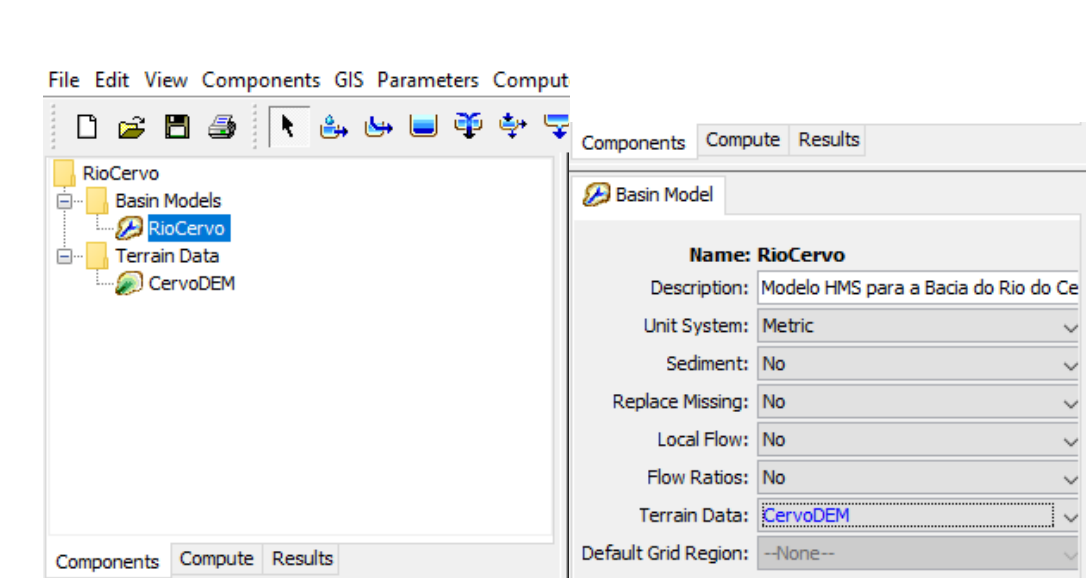
Lembre-se: o sistema de coordenadas a ser escolhido vai depender da localidade da bacia que está sendo trabalhada.

- 5) Selecione *Select* e então *Set*

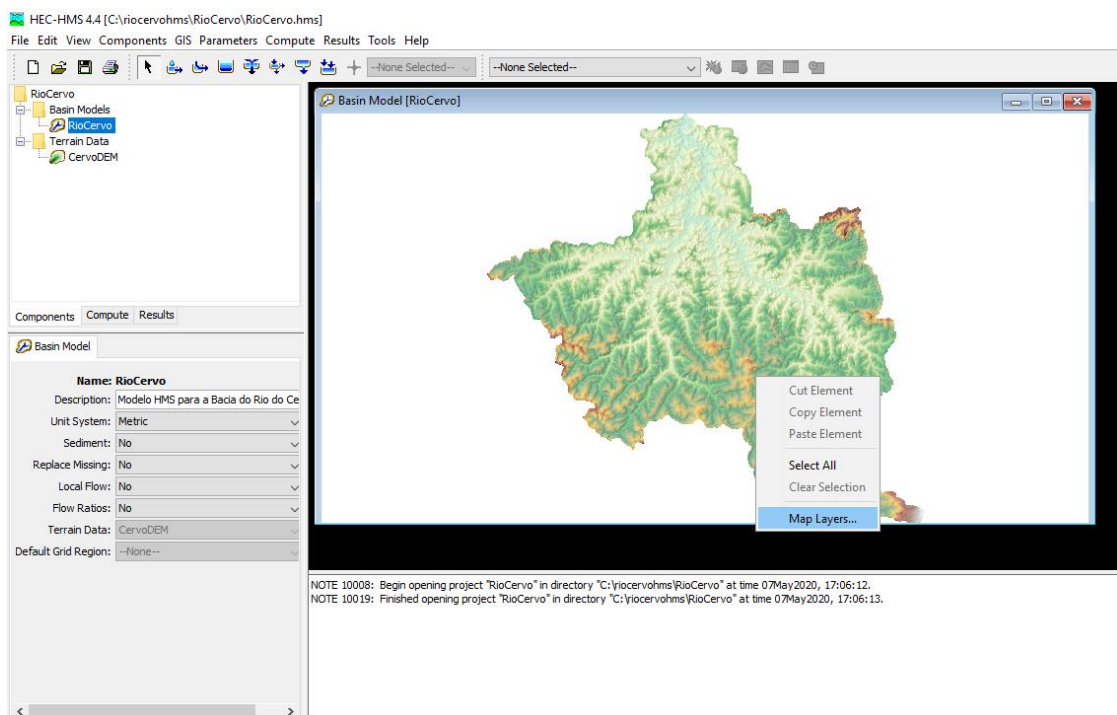
Feche a janela do *Coordinate System* e então o DEM da bacia deve aparecer no Desktop. Se não aparecer, vá até o *Component Editor* e selecione o DEM do Rio do Cervo no *Terrain Data*. E confira se o modelo da bacia do Rio do Cervo está selecionado na janela de componentes.

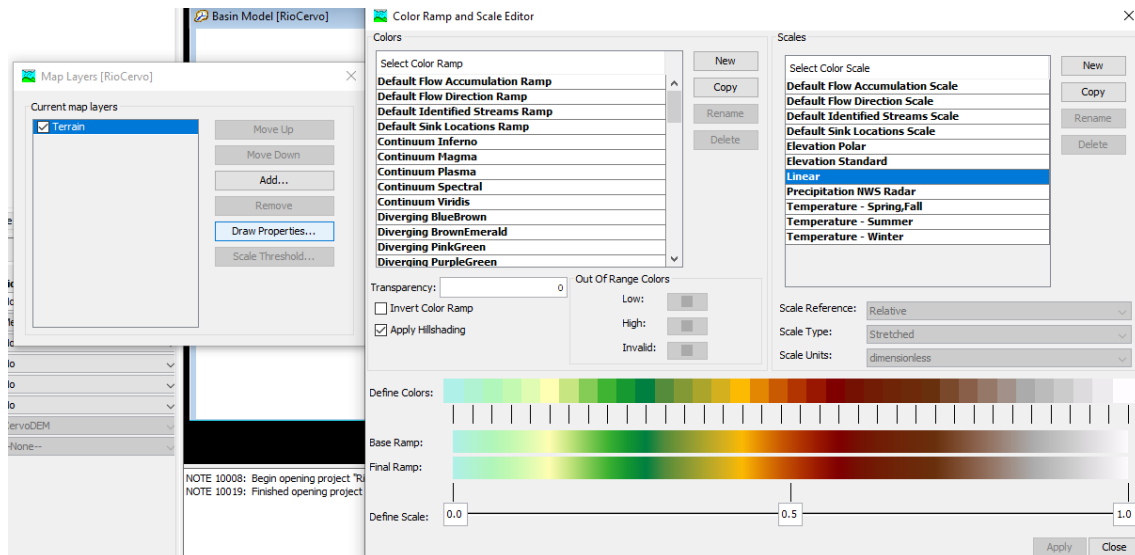
Preparado por Prof. Dr. Venkatesh Merwade – Purdue University
Traduzido e adaptado por MSc. Gabriela Rezende de Souza – UFLA





Você também pode clicar com o botão direito na janela do modelo da bacia (desktop) e selecionar *Map Layers* para mudar as propriedades de desenho (simbologia) de qualquer layer (camada) que estiver trabalhando no modelo da bacia.

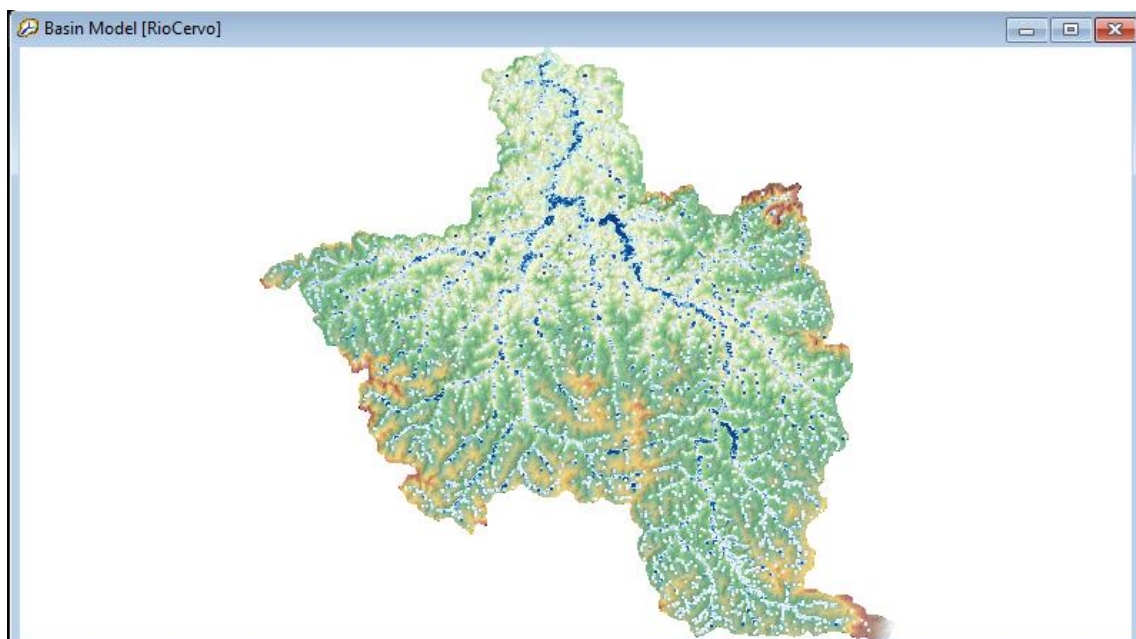




Pré-processamento do DEM e SIG

Fill sinks:

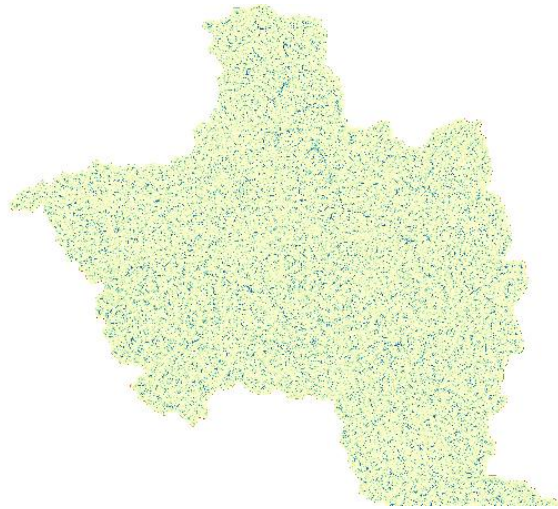
- 1) *GIS > Preprocess Sinks* (serão criados dois layers, o DEM preenchido e um mostrando a localização das depressões no DEM. Os layers são adicionados automaticamente na desktop, mas você pode “desligar” um layer no menu *Map Layer*. Por exemplo, não precisamos da localização das depressões.



Direção de Fluxo e Fluxo Acumulado (*Flow Direction e Flow Accumulation*):

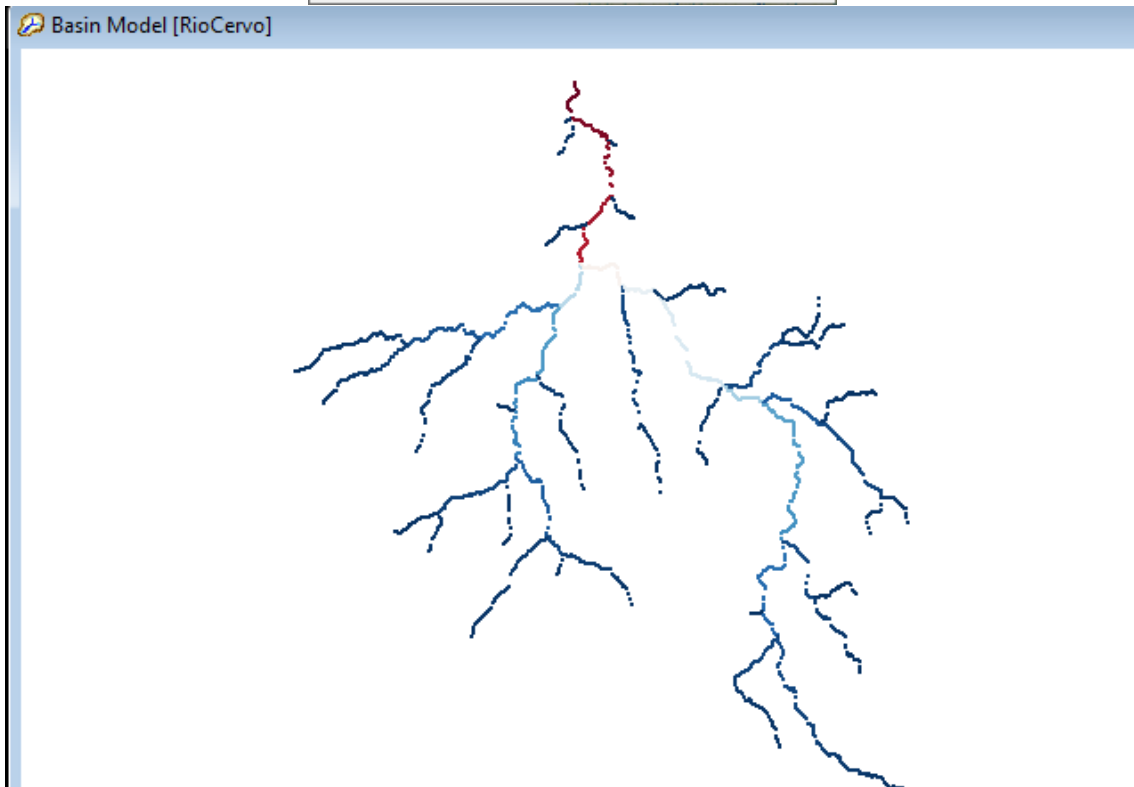
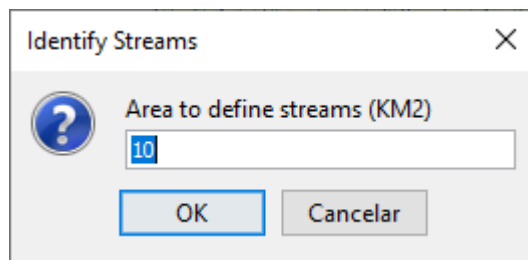
- 1) *GIS > Preprocess Drainage*

Essa etapa vai criar os layers da direção de fluxo e fluxo acumulado. Vai demorar um pouquinho, mas não muito.



Rede de Drenagem:

- 1) *GIS > Identify streams*
- 2) Especifique a área de fluxo que acumulada vai iniciar um curso d'água. Para esse tutorial vamos utilizar 10 km².



Especificar a foz da bacia/estação fluviométrica

- 1) Dê um zoom na foz da bacia, no nosso caso, onde está localizada a estação fluviométrica Marechal Mascarenhas (veja na figura).

Figura

- 2) Use a ferramenta *Break Point Tool* para criar o ponto de saída da bacia (foz) e clique sobre o curso d'água que foi criado anteriormente.

Nem sempre a localização de uma estação vai coincidir com o curso d'água criado, mas não é um grande problema, basta ajustarmos para coincidir.

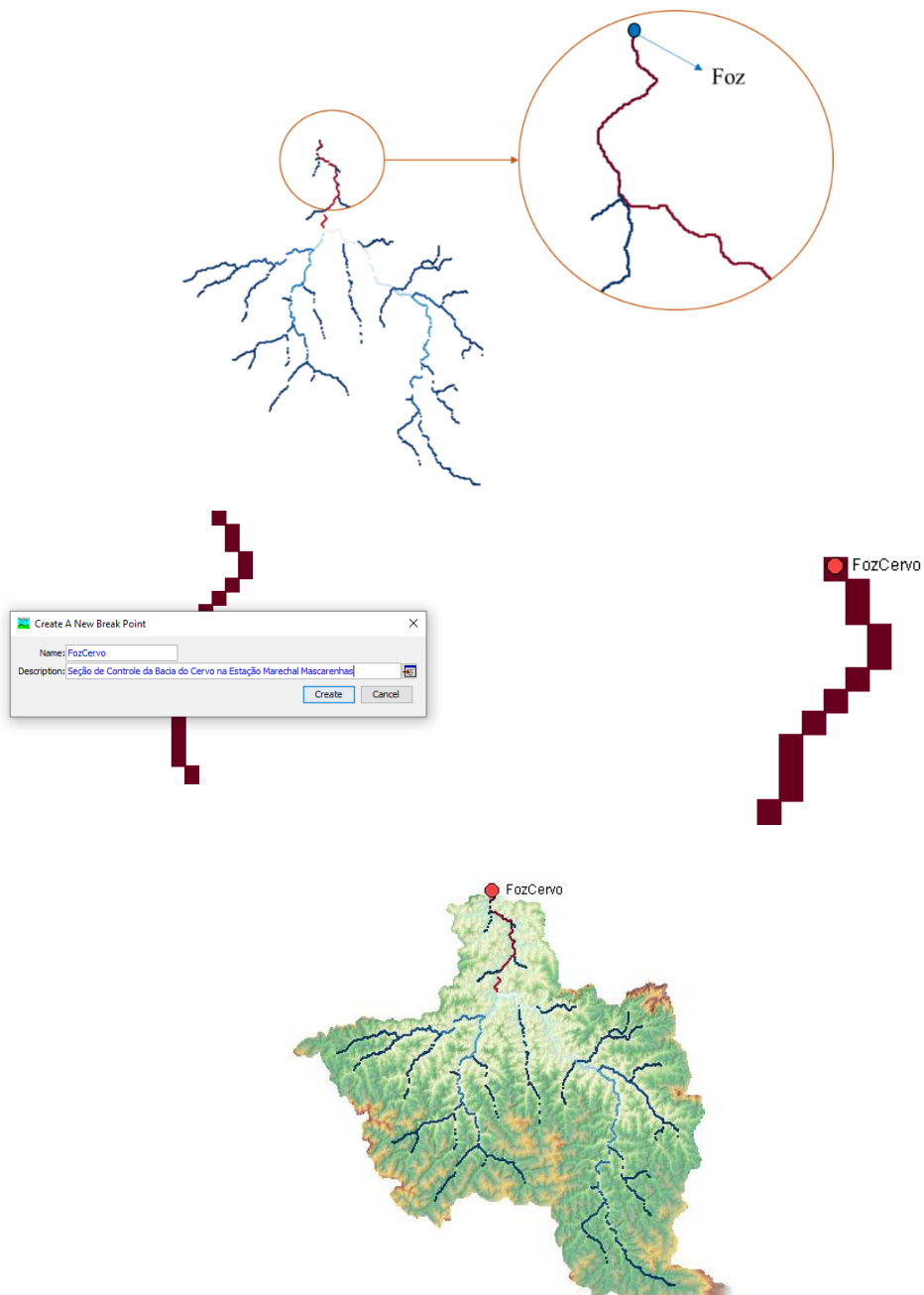
Figura

- 3) Nomeie o estuário como FozCervo, coloque informações na descrição

- 4) Clique em *Create*

Figura

Um ponto chamado FozCervo será adicionado ao modelo da bacia na desktop.

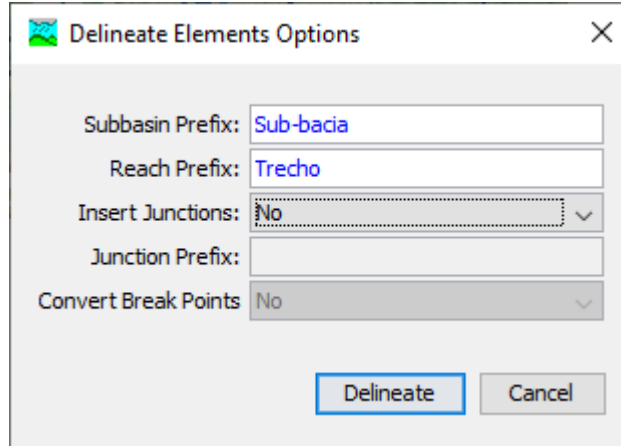


Delimitação da bacia e sub-bacias

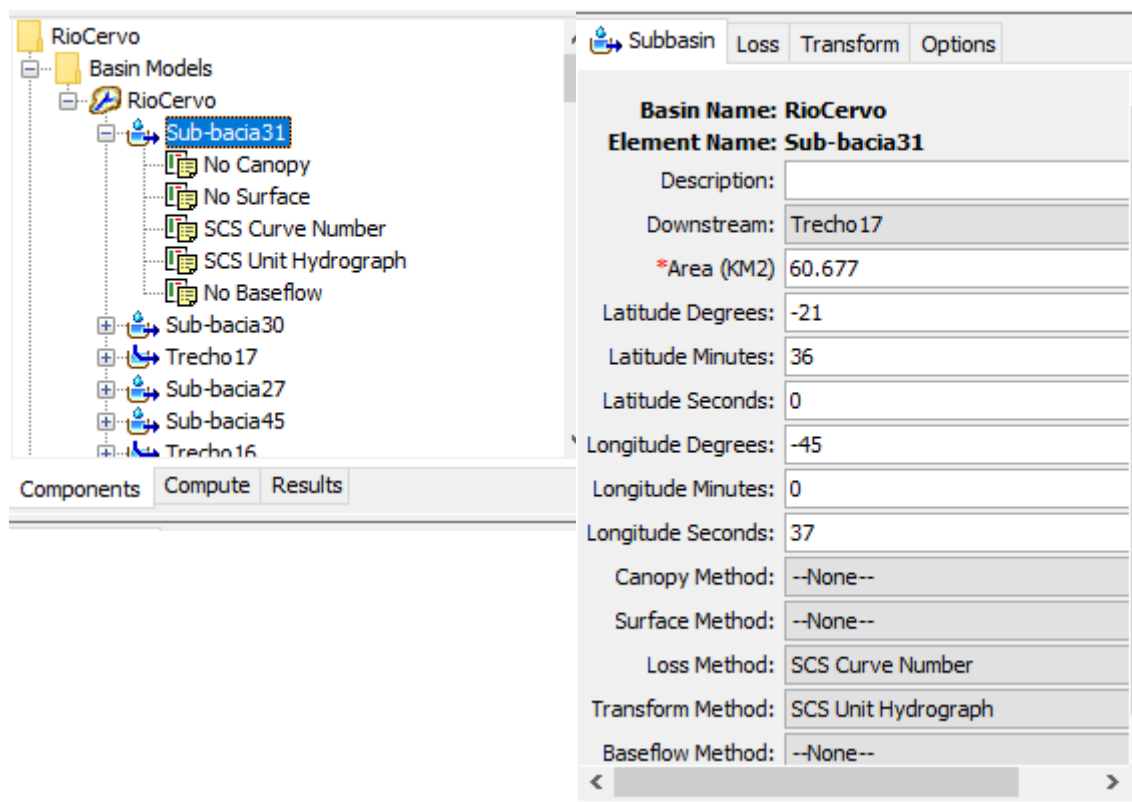
1) *GIS > Delineate Elements*

Essa etapa vai criar sub-bacias e os trechos de rio (canais) como mostrado na figura a seguir.








- 2) Forneça o prefixo para as sub-bacias e canais, como na figura abaixo
- 3) Clique em *Delineate*



No *Watershed Explorer* você pode ver os detalhes do modelo da bacia do Rio do Cervo. Basicamente temos dois elementos: *Sub-basin* e *Reach*. Se você expandir qualquer sub-bacia ou trecho/canal, você vai ver os métodos e parâmetros associados à eles na janela *Component Editor*.



O HEC-HMS também tem outros elementos:

-  *Sub-basin*: usado para calcular as transformações chuva-vazão na bacia;
-  *Reach*: usado para propagar (transportar) a vazão à jusante no modelo da bacia;
-  *Reservoir*: usado para modelar a detenção ou atenuação de uma hidrógrafa causada pela presença de um reservatório/barragem;
-  *Junction*: usado para combinar as vazões (fluxos) de trechos (canais) e bacias à montante;
-  *Diversion*: Usado para modelar retirada de vazão (fluxo) do canal principal;
-  *Source*: usado para introduzir vazão no modelo da bacia (de um curso d'água fora do limite da região modelada). Source não tem entrada de vazão (afluente).
-  *Sink*: usado para representar a foz da bacia. Sink não tem saída (efluente).

Métodos Hidrológicos

Nesse tutorial vamos utilizar os seguintes métodos:

Para sub-bacias:

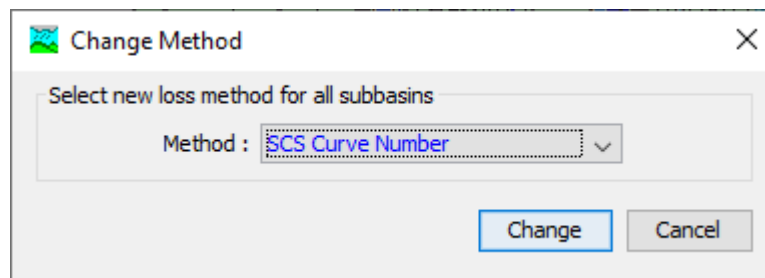
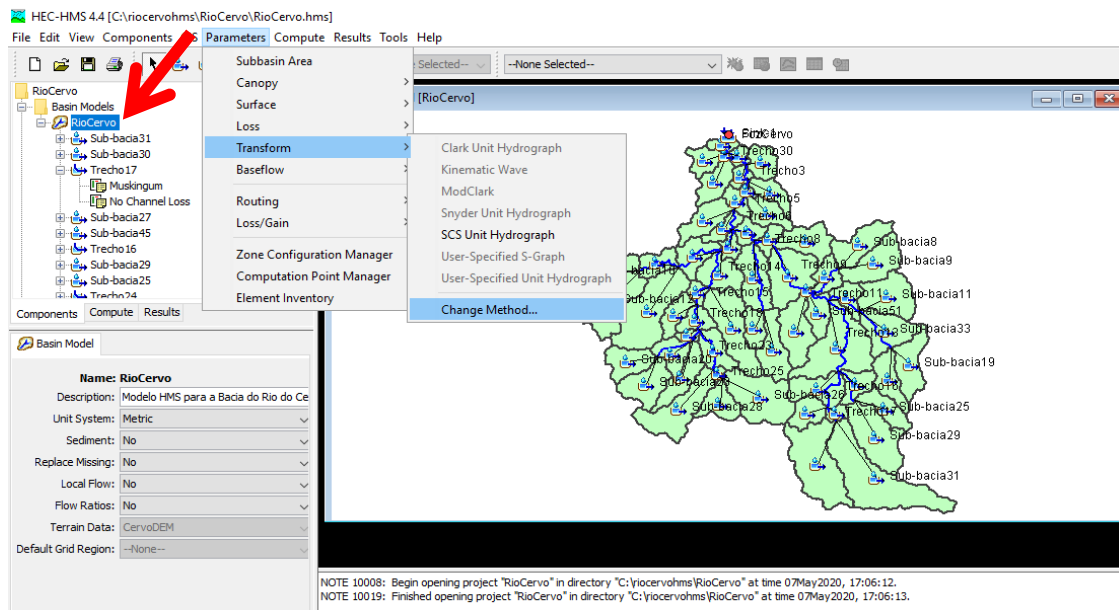
- *Loss*: SCS-CN Curve Number
- *Transform*: SCS Unit Hydrograph
- *Base flow*: none

Para os canais:

- *Routing*: Muskingum
- *Loss/Gain*: none

Para fornecer os métodos para cada sub-bacia ou trecho, você pode clicar sobre cada elemento no *Watershed Explorer* e mudar os métodos no *Component Editor*. Como vamos usar os mesmos métodos para todas sub-bacias e canais, podemos fazer da seguinte maneira.

- 1) Selecione o modelo da bacia no *Watershed Explorer* (para que o método de todos os elementos seja mudado)
- 2) Clique em *Parameters > Loss > Change Method*
- 3) Selecione *SCS-CN Curve Number*
- 4) Repita os passos para os outros métodos

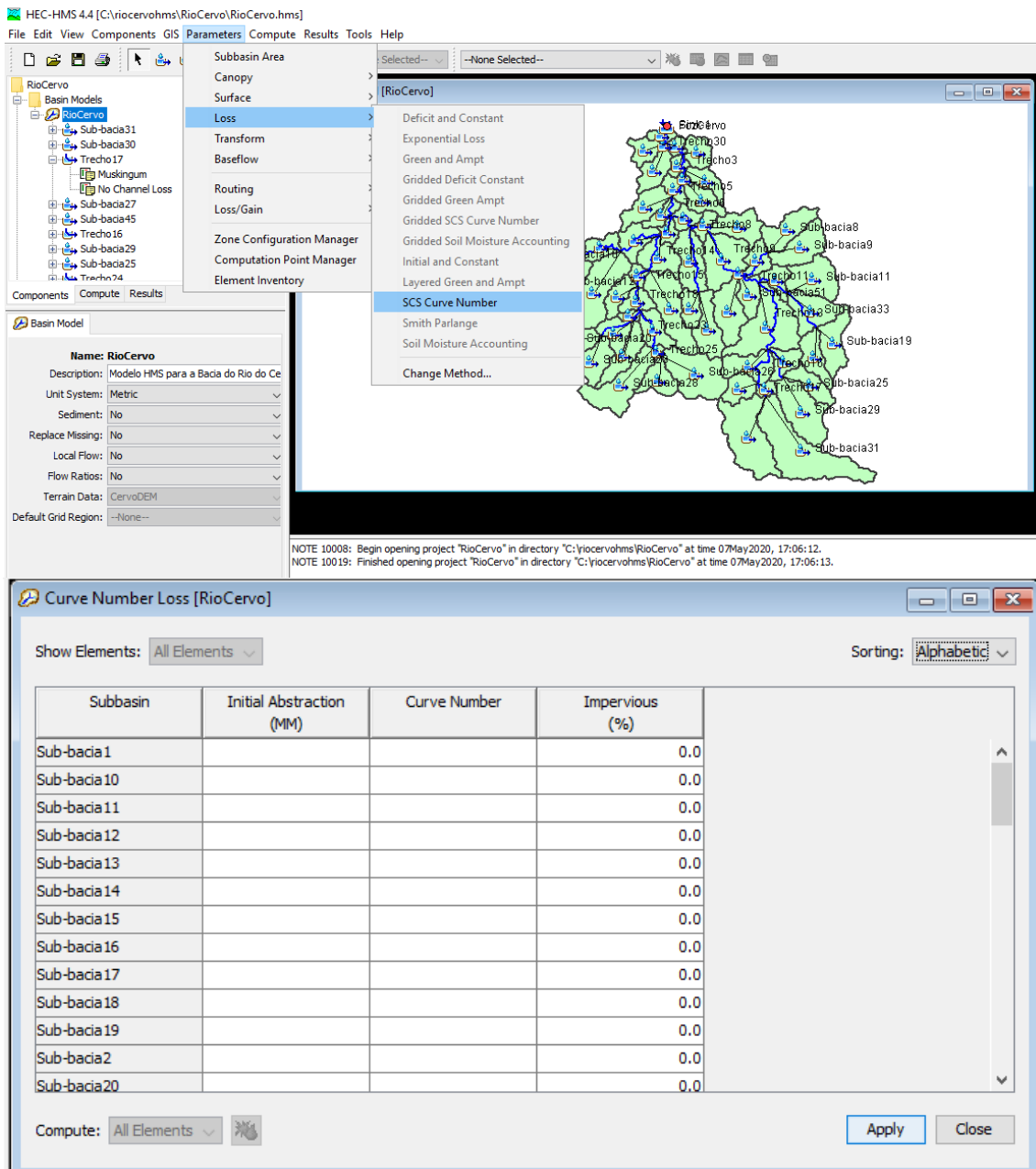


Parâmetros

Agora, nós vamos entrar com os valores dos parâmetros para cada método. Eles estão disponíveis no arquivo Excel “parametros_cervo”. A obtenção do CN é feita com a ajuda do ArcGIS ou qualquer outro software SIG (mais detalhes serão dados em outro tutorial). Com os valores de CN, calculamos o *LagTime* para cada bacia, utilizando também dados do comprimento do talvegue e declividade (isso também é assunto para outro tutorial). Os parâmetros do método de Muskingum também podem ser estimados, mas aqui usaremos 0.5 para K e 0.25 para X. Para entrar com os parâmetros siga esses passos:

- 1) Clique em *Parameters > Loss > SCS-CN Curve Number*
- 2) Selecione *All Elements* em *Show Elements* (caso já não esteja selecionado)
- 3) Copie os valores de CN disponibilizados (confira o nome das sub-bacias, o HMS coloca as sub-bacias em ordem hidrológica, mude para a ordem alfabética)
- 4) Clique em *Apply* e então *Close*

5) Repita os mesmos passos para os outros métodos.



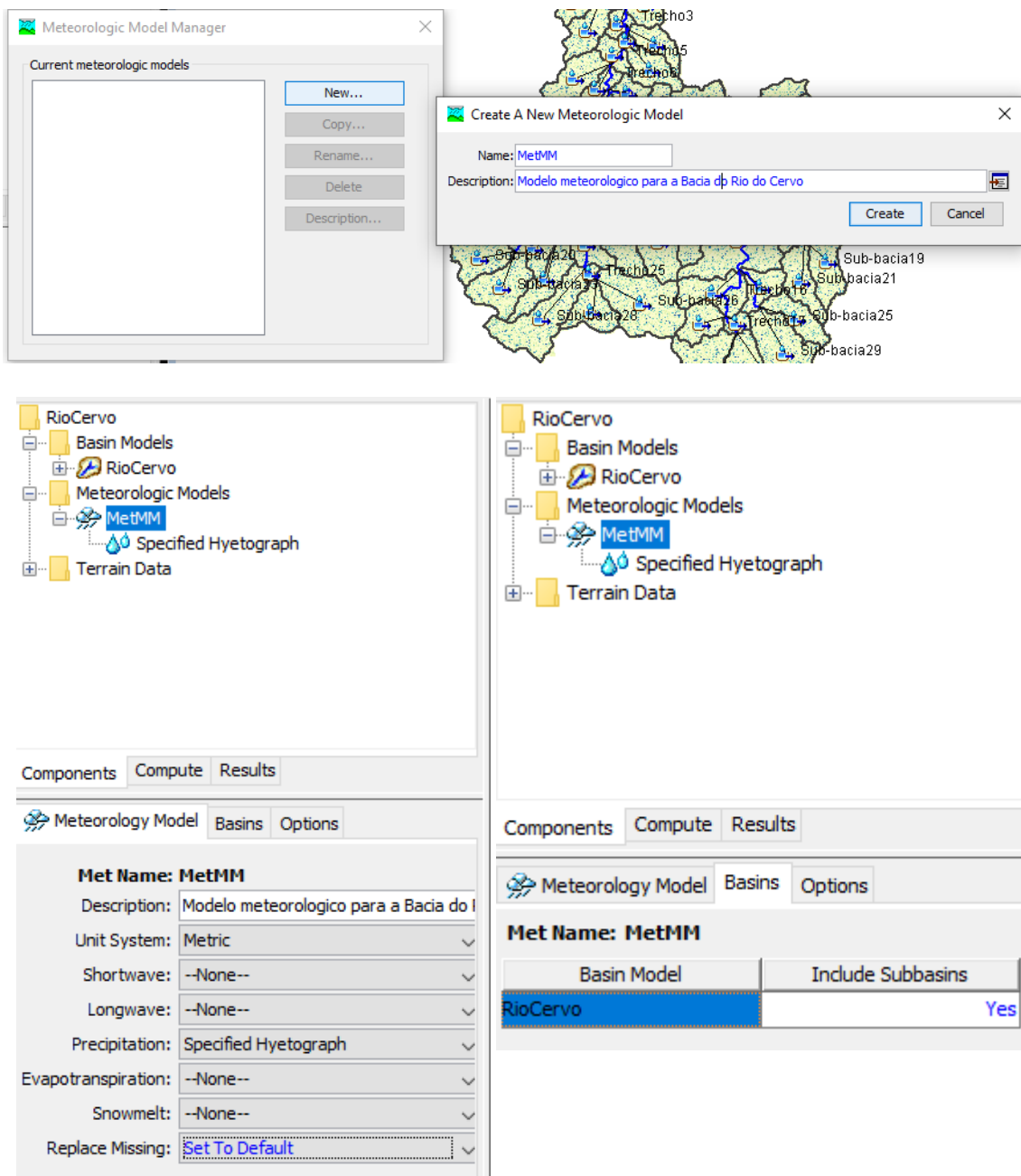
Salve o projeto. Agora que já preparamos o nosso modelo da bacia, vamos entrar com os dados meteorológicos, ou seja, com a precipitação observada na estação Marechal Mascarenhas.

Criando o modelo meteorológico

O modelo da bacia fornece o esqueleto físico de uma bacia hidrográfica, incluindo suas propriedades, como área das sub-bacias, métodos chuva-vazão e a conectividade entre os elementos da bacia para levar a água (chuva) até a foz.

- 1) Clique em *Components > Meteorologic Model Manager > New*
- 2) Nomeie o modelo
- 3) Forneça a descrição
- 4) Clique em *Create* e feche a janela

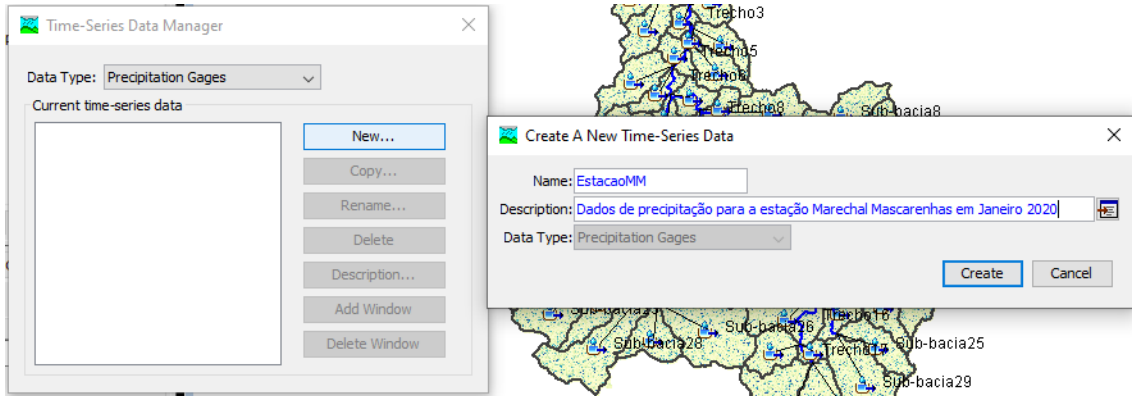
- 5) Expanda o *Meteorologic Model*, clique no modelo que você acabou de criar e no *Components Editor*, selecione *Specified Hyetograph* em *Precipitation* e *Set to default* em *Replace Missing* (roda o modelo mesmo que estejam faltando alguns dados de precipitação)
- 6) Clique no *Meteorologic Model* e no *Components Editor* > *Basins*, selecione *Yes* em *include Subbasins* para o basin model RioCervo



Usando os dados de uma estação pluviométrica

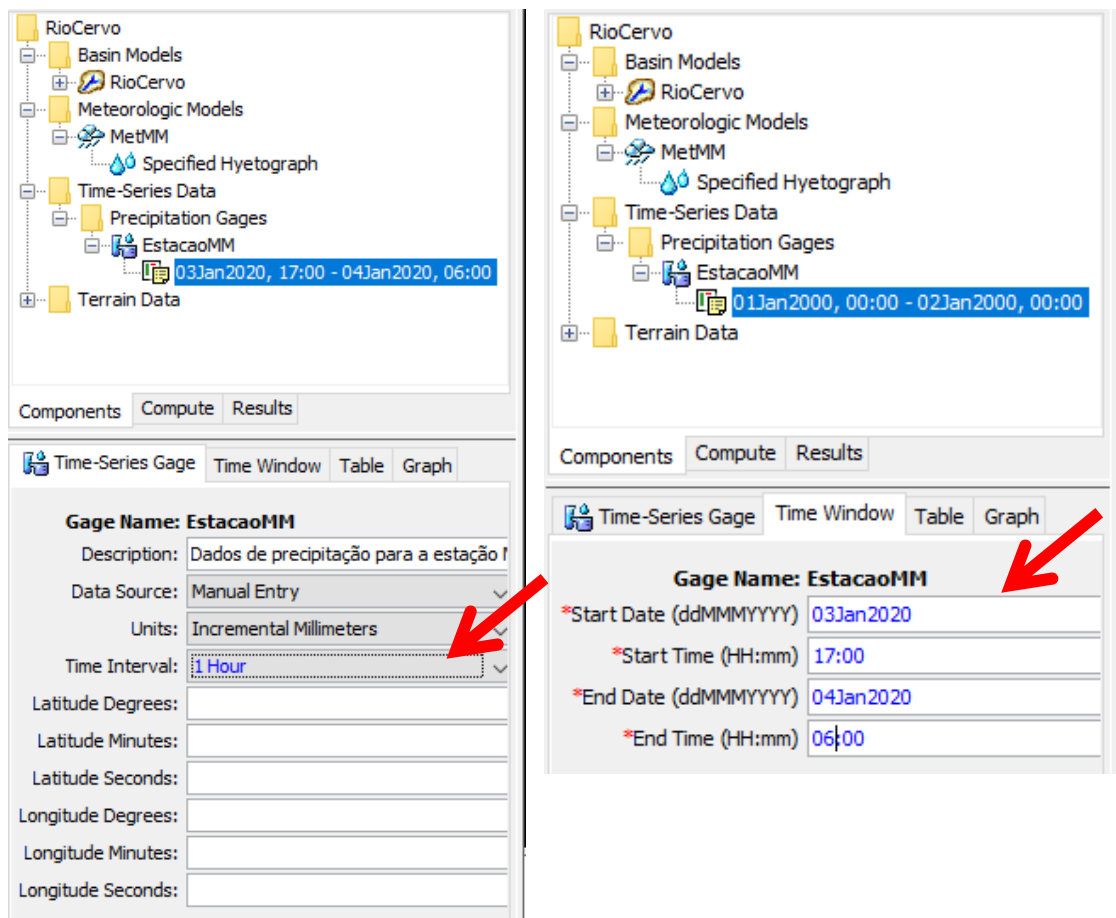
Aqui nós vamos usar os dados de chuva observados na estação Marechal Mascarenhas para fazer a simulação de um evento de chuva. Para isso selecionamos um evento de chuva e criamos uma série temporal. A estação Marechal Mascarenhas possui dados telemétricos, ou seja, dados de chuva (e também de vazão) horários. Os valores observados para o evento escolhido estão no arquivo Excel dadosMM.xlsx.

- 1) Clique em *Components > Time Series Manager*
- 2) Em *Data Type* selecione *Precipitation gauges*
- 3) Clique em *New* para criar a série
- 4) Forneça as informações de nome (*EstacaoMM*) e descrição
- 5) Clique em *Create* e feche a janela

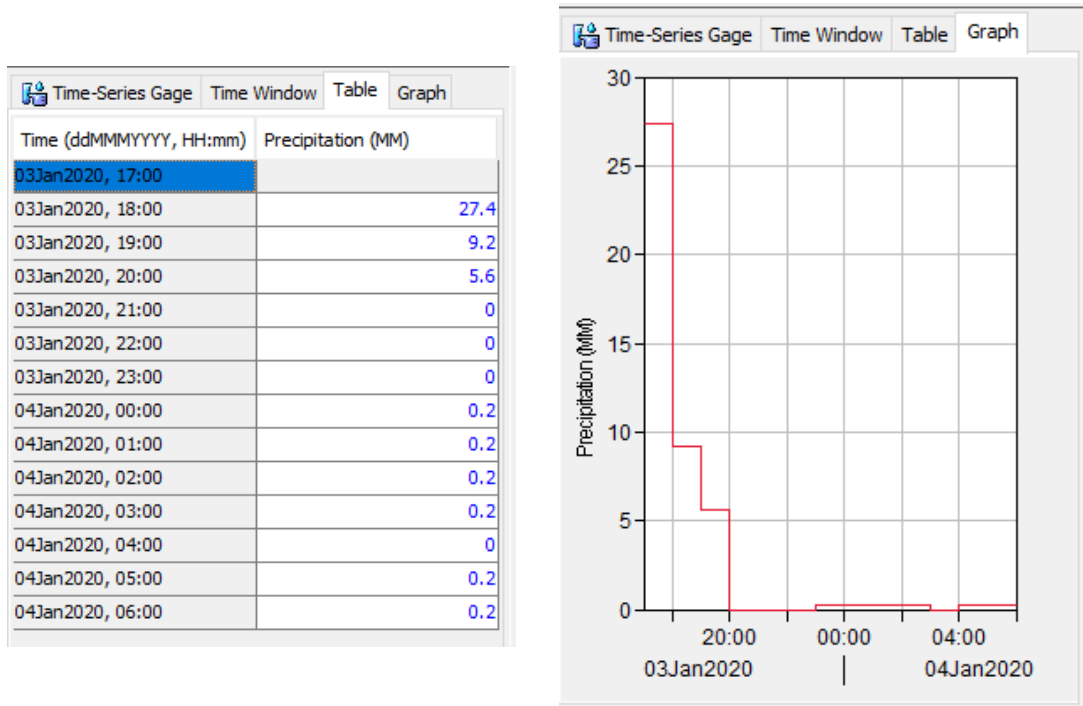


Agora expanda o *Time Series* no *Watershed Explorer* e entre com os dados de chuva para a estação Marechal Mascarenhas que foram fornecidos no arquivo Excel “dadosMM”.

Baseado nos dados, forneça as informações de intervalo de tempo, intervalo da série, etc. O intervalo de dados é de 1h.

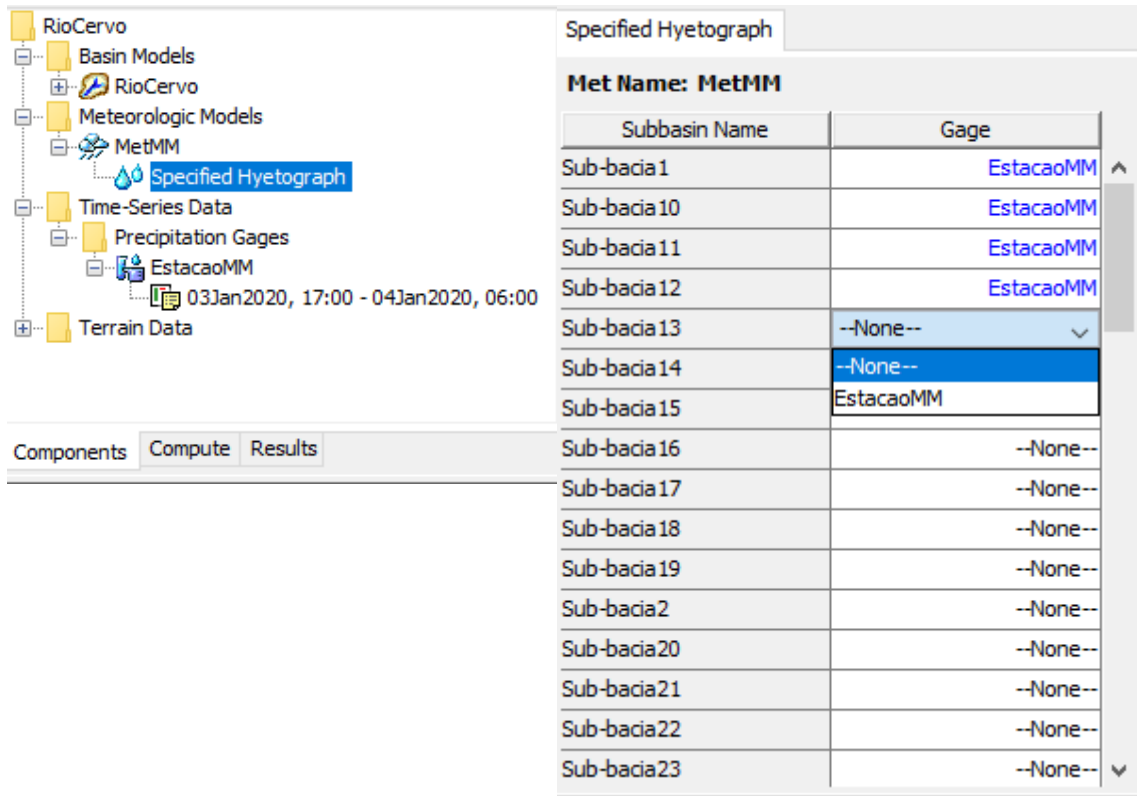


Depois de preencher *Table* com os dados, você poderá ver um gráfico (hietograma) da chuva.



Agora, os dados dessa estação devem ser associados com as sub-bacias do nosso modelo. Caso tenha mais de uma estação na sua bacia, você também pode associar cada bacia a uma estação diferente que você criou.

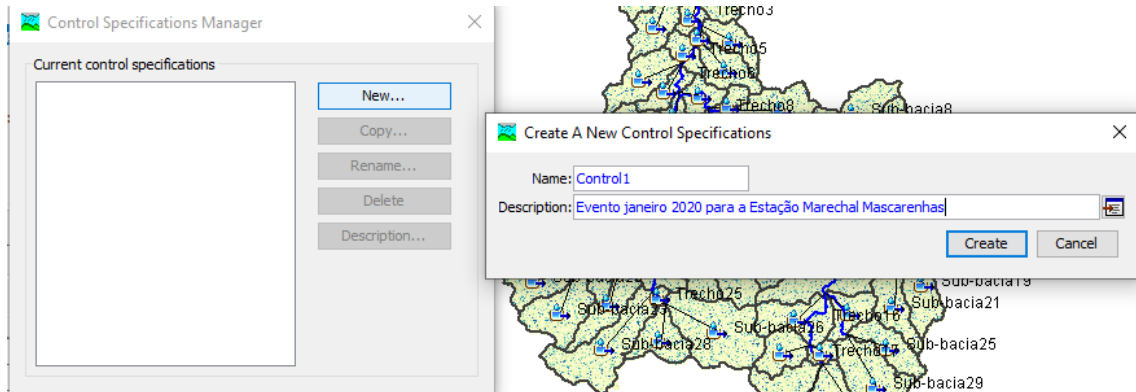
- Agora clique em *Speciefied Hyetograph* abaixo no *Meteorologic Model* e selecione *EstacaoMM* para todas as sub-bacias.



Definindo as Especificações de Controle *(os passos descritos aqui são específicos para quando usamos Specified Hyetograph, outras entradas de dados vão ter especificações diferentes)*

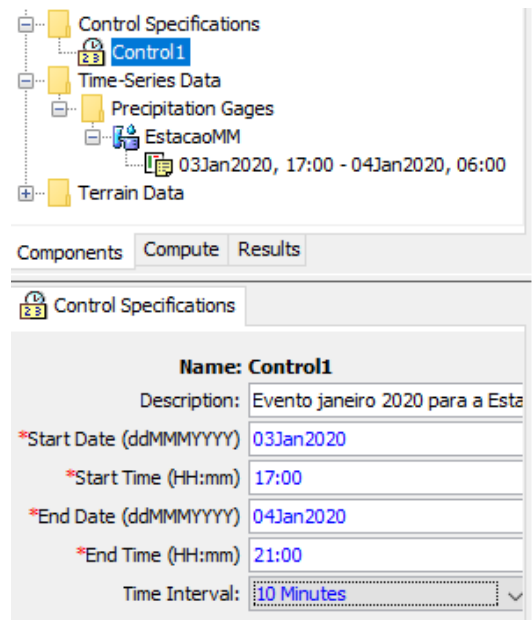
Aqui vamos definir os “limites” do modelo.

- 1) Clique em *Components > Control Specifications Manager > New*
- 2) Nomeie (Control 1) e forneça informações relacionadas ao evento de chuva que você está modelando (ex. Simulação para evento de janeiro de 2020 no Rio do Cervo)
- 3) Clique em *Create* e feche a janela



Expanda o *Control Specifications* no *Watershed Explorer* e edite as especificações no *Component Editor*. O tempo de simulação deve ser maior que o tempo da chuva (não é instantaneamente que a chuva é transportada como vazão, não é mesmo?). O intervalo da simulação também pode ser menor que o intervalo das observações.

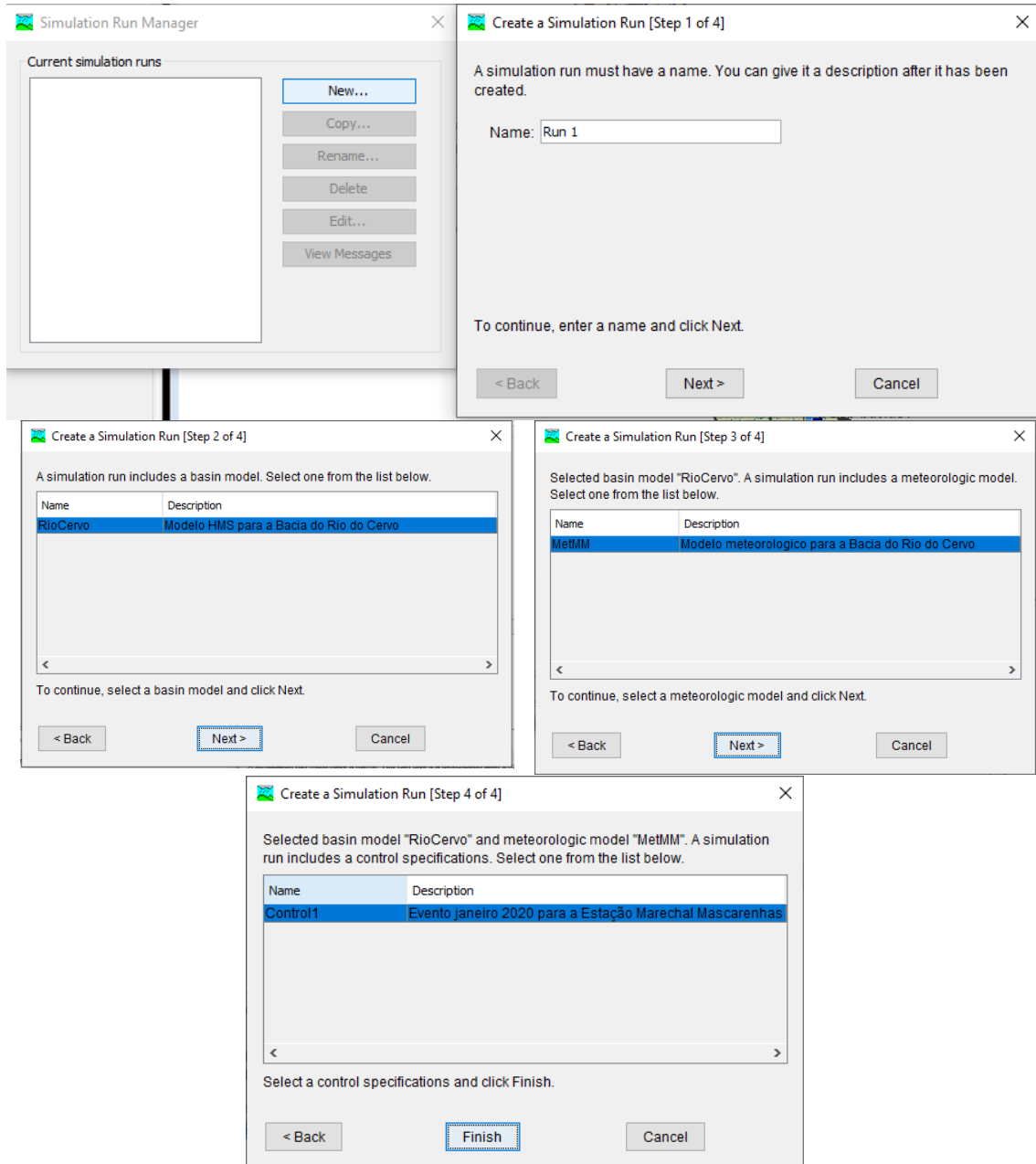
Start Date: 03Jan2020
Star Time: 17:00
End Date: 04Jan2020
End Time: 21:00
Time Interval: 10 minutes
(para o nosso modelo)



Executando o HMS

Vamos rodar nosso modelo?

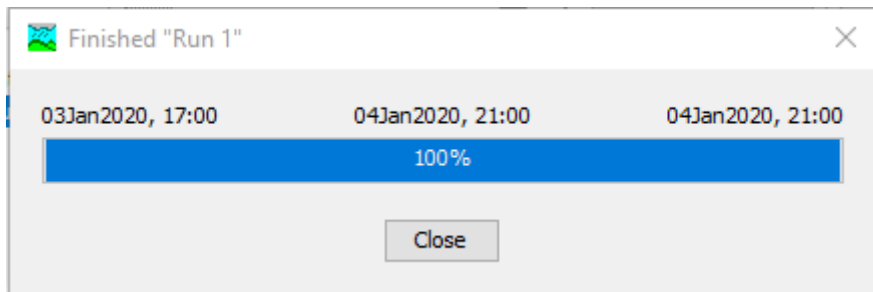
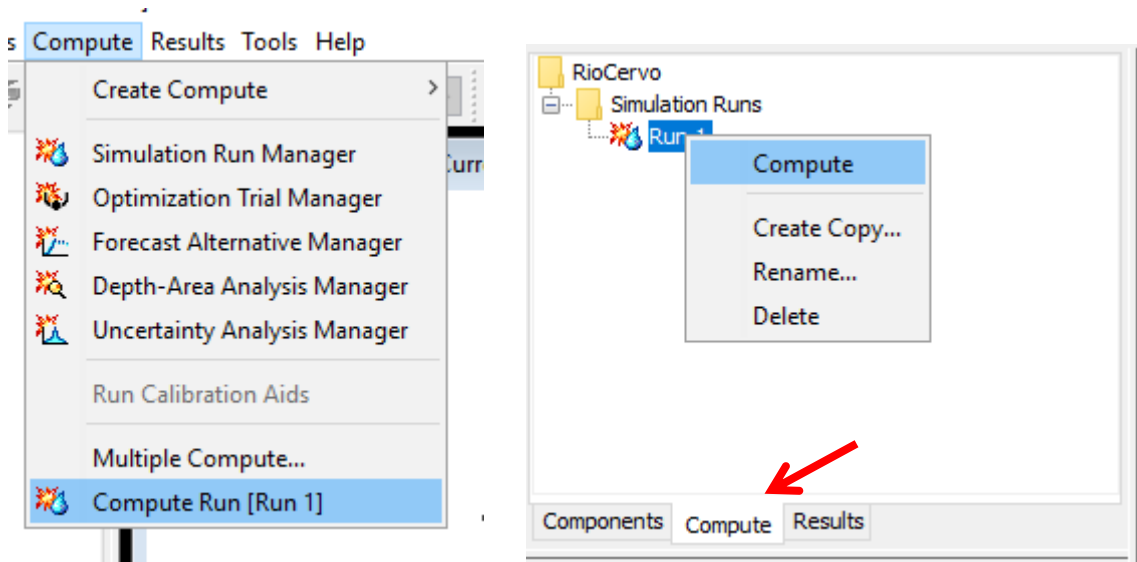
- 1) *Compute* > *Create Simulation Run*
- 2) Nomeie a simulação
- 3) Clique em *Next* e confira se os modelos da bacia, meteorológico e especificações estão selecionados corretamente
- 4) Clique em *Finish* e feche a janela



Para rodar o modelo você pode clicar em *Compute* > *Select Run* > *Run 1*

Ou

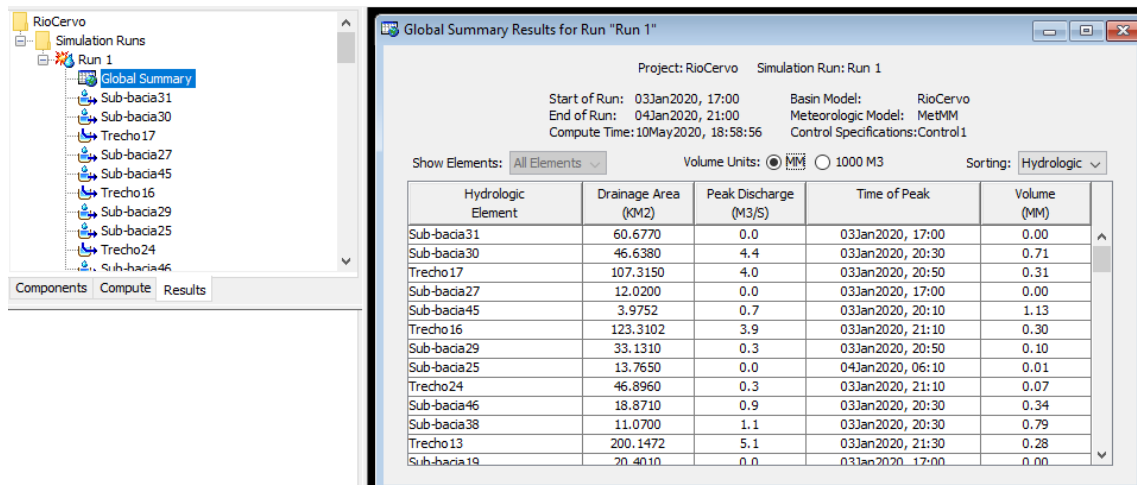
Clique em na aba *Compute* abaixo do *Watershed Explorer*, expanda *Simulation*, clique com o botão direito em *Run 1* e *Compute*.



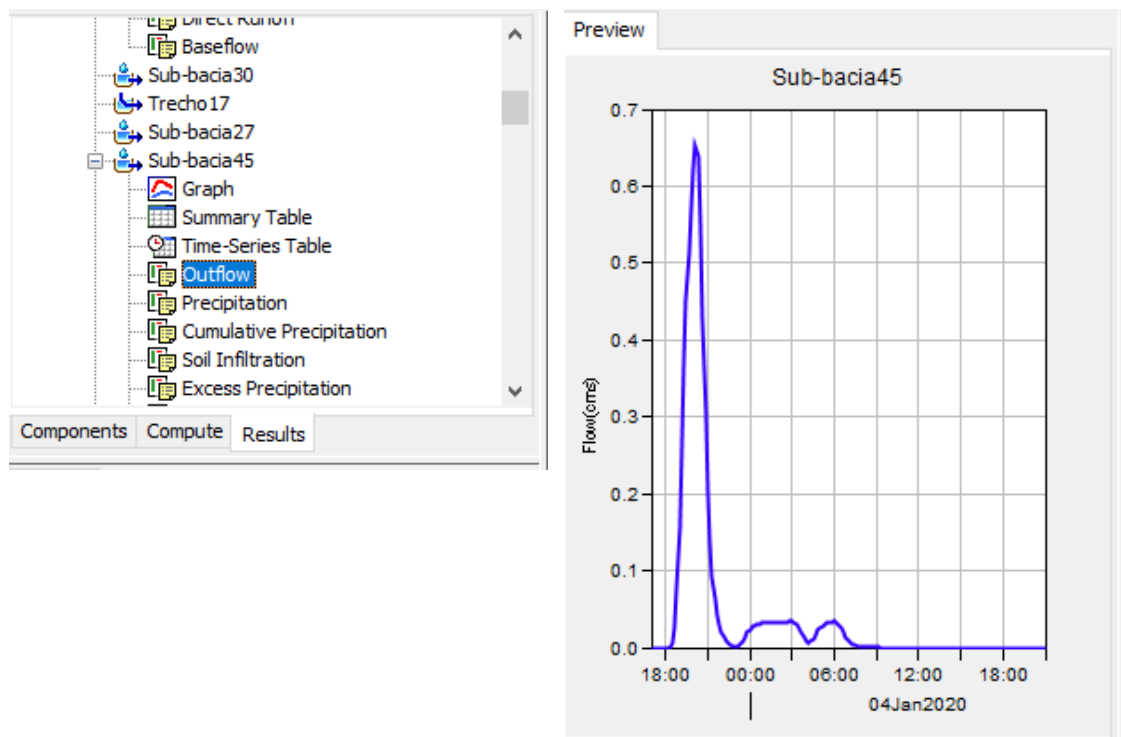
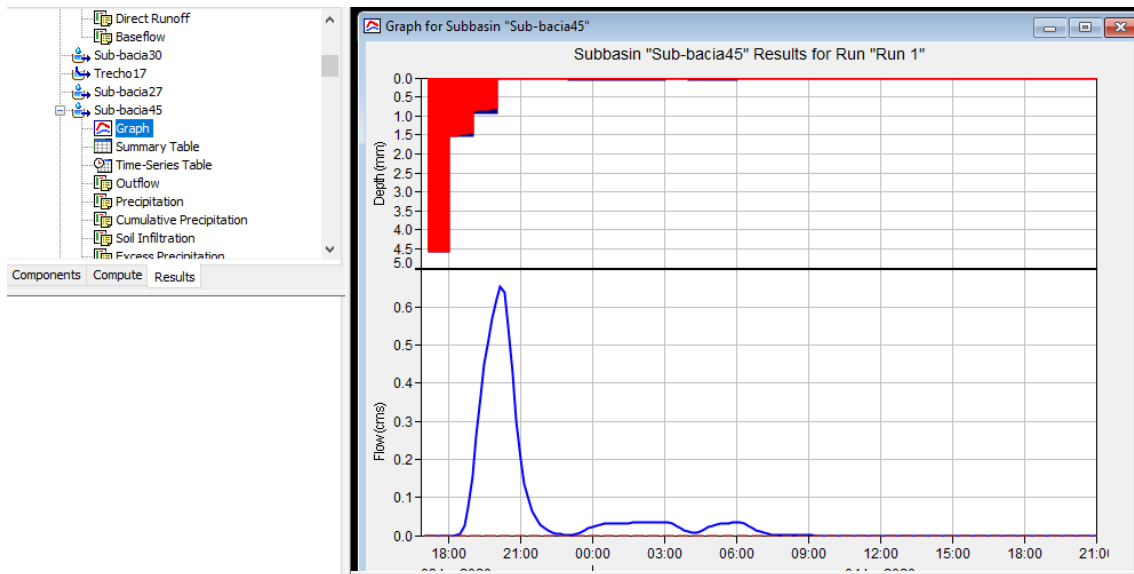
Pronto! A simulação foi feita, vamos olhar os resultados?


Visualizando os resultados do HMS

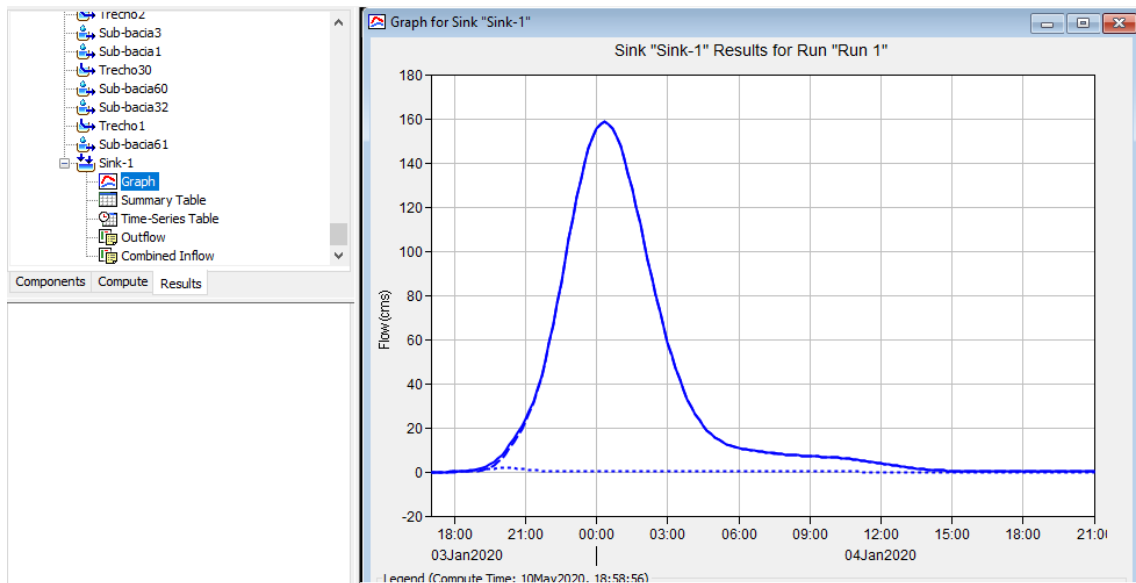
O HMS permite visualizar os resultados em gráficos e tabelas. Para visualizar os resultados globais, vá na aba *Results* > *Run 1* > *Global Summary*. Essa tabela sumariza os resultados da vazão de pico e o tempo em que ocorreu, bem como o volume total do escoamento e a área de drenagem.



Nós também podemos visualizar os resultados de cada elemento (sub-bacia ou trecho). Por exemplo, para visualizar a vazão a jusante de cada sub-bacia, você pode clicar na sub-bacia que deseja e em *Graph* ou também em *Outflow*.



Para visualizar a hidrógrafa da bacia como um todo, basta selecionar *Sink* > *Graph* na aba de resultados. Ou você pode ir até a aba *Components* > *Sink* e clicar na ferramenta de visualização de gráficos na barra de ferramentas superior ().

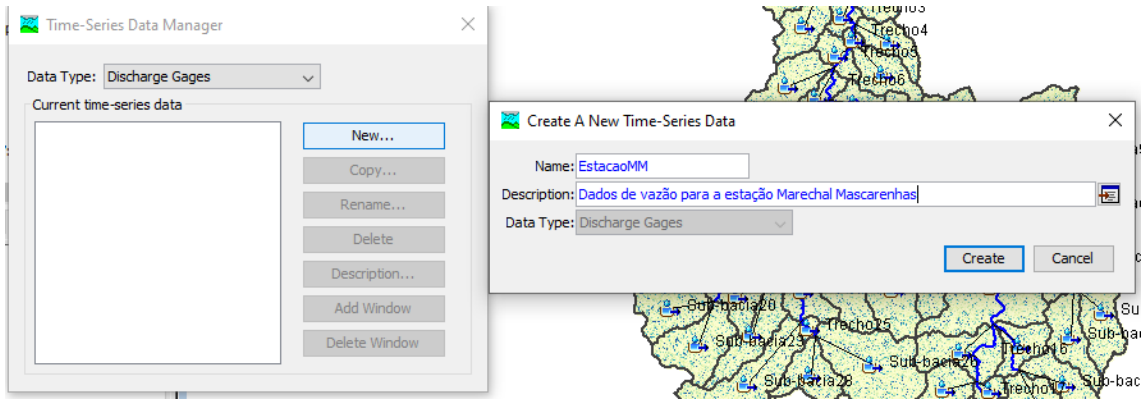


Date	Time	Inflow from Trecho 1 (M3/S)	Inflow from Sub-bacia61 (M3/S)	Total Inflow (M3/S)
03Jan2020	17:00	0.0	0.0	0.0
03Jan2020	17:10	0.0	0.0	0.0
03Jan2020	17:20	0.0	0.0	0.0
03Jan2020	17:30	0.0	0.0	0.0
03Jan2020	17:40	0.0	0.0	0.0
03Jan2020	17:50	-0.0	0.0	0.0
03Jan2020	18:00	-0.0	0.0	0.0
03Jan2020	18:10	0.0	0.0	0.0
03Jan2020	18:20	0.0	0.1	0.1
03Jan2020	18:30	0.1	0.2	0.3
03Jan2020	18:40	0.1	0.4	0.5
03Jan2020	18:50	0.3	0.6	0.9
03Jan2020	19:00	0.5	0.8	1.3
03Jan2020	19:10	0.8	1.0	1.8
03Jan2020	19:20	1.3	1.2	2.5
03Jan2020	19:30	2.0	1.4	3.4
03Jan2020	19:40	3.0	1.5	4.6
03Jan2020	19:50	4.4	1.6	6.0
03Jan2020	20:00	6.1	1.7	7.8

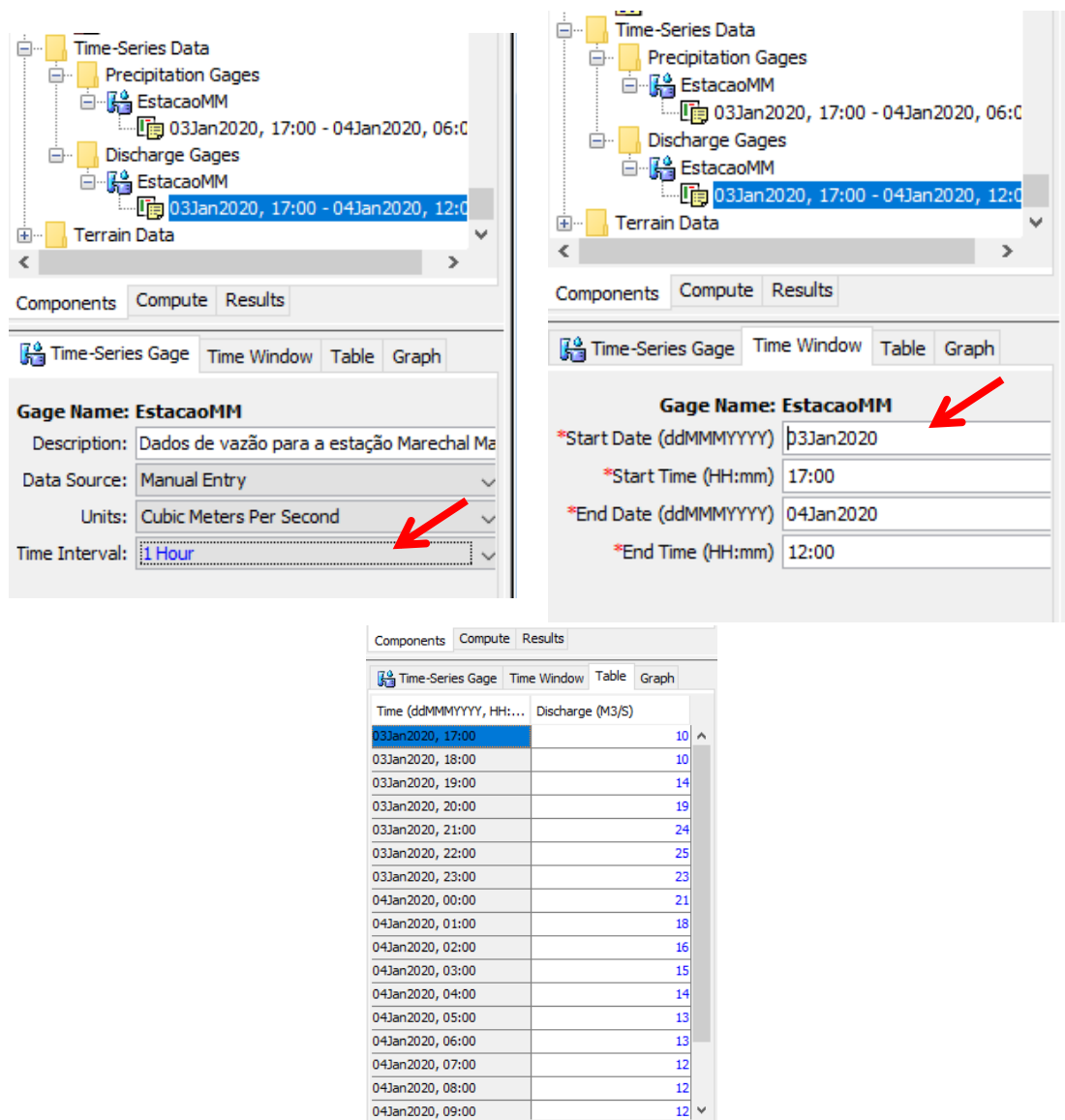
Comparando o resultado da simulação com dados observados na estação

Semelhante a entrada de dados de precipitação, nós podemos criar uma série temporal de vazão para comparar os resultados obtidos pelo modelo e a vazão observada na foz da bacia. Esse também é um passo importante para a calibração do modelo, que será feita posteriormente.

- 1) Clique em *Components > Time Series Data Manager*
- 2) Em *Data Type* selecione *Discharge Gage*
- 3) Clique em *New* e forneça as informações necessárias

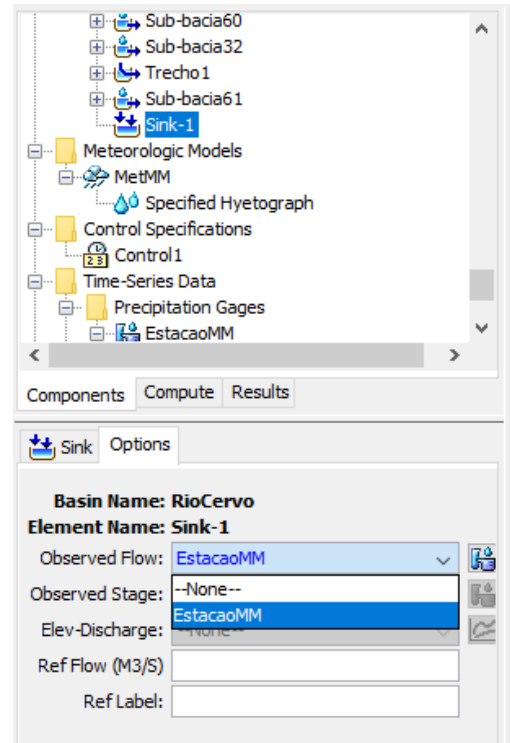


Para preencher a série com os dados de vazão siga os mesmos passos que fizemos para precipitação, atentando para o intervalo de tempo e a duração das observações.

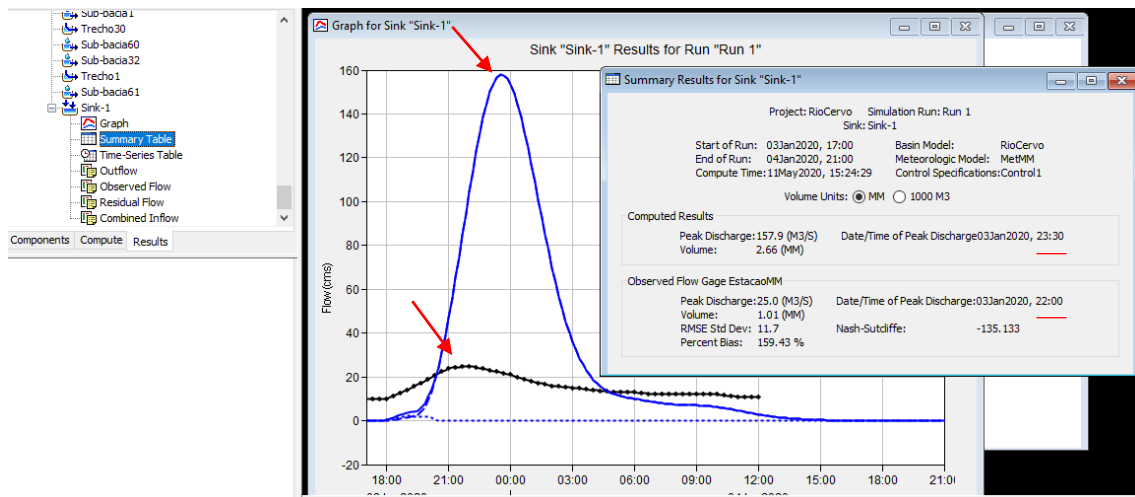


Após entrar com os dados de vazão, vamos vincular a estação com a saída da bacia (*Sink*).

- 1) Selecione *Sink-1* na aba *Components*
- 2) Clique em *Options* no *Components Editor*
- 3) Selecione *EstacaoMM* para *Observed Flow*



Faça a simulação novamente e observe a hidrógrafa observada no elemento *Sink-1* na aba *Results*. Você vai perceber que a vazão de pico simulada é bem maior que a vazão de pico observada, e que ocorre em um intervalo de tempo mais à frente.



Tudo feito! Nesse tutorial, aprendemos como fazer uma simulação chuva-vazão usando o HEC-HMS 4.4, no próximo vamos aprender como analisar qual parâmetro tem mais influência sobre os resultados (a qual parâmetro o modelo é mais sensível) e a calibrar nosso modelo com os dados observados.