



# MANUAL TEÓRICO-PRÁTICO DA FERRAMENTA

## WARM-GIS Tools – versão QGIS

(maio de 2022)

Rafael Kayser

Walter Collischonn

## 1. Introdução

O pacote de ferramentas WARM-GIS Tools consiste num conjunto de operações que visam facilitar a gestão de bacias hidrográficas em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Possibilita, a partir de uma base hidrográfica pré-definida, a inserção de dados de disponibilidade hídrica e de usos de água (retiradas, lançamentos de efluentes e reservatórios), permitindo a simulação quali-quantitativa e verificando os impactos dos usos sobre a disponibilidade e a qualidade da água.

O modelo é operado em regime permanente, ou seja, sem variação no tempo, permitindo um retrato da bacia hidrográfica em um determinado momento. Este momento, geralmente é definido como um cenário de pouca disponibilidade hídrica, podendo ser caracterizado estatisticamente como a vazão com 90% ou 95% de permanência, extraída a partir de séries observadas ou calculadas de vazões. Assim, é possível ter uma base dos impactos das retiradas de água em momentos de escassez, ou ainda do impacto dos lançamentos de efluentes em períodos de reduzida disponibilidade de água para diluição.

O pacote de ferramentas WARM-GIS é dividido em dois módulos distintos, a saber:

- Módulo de Simulação de Balanço Hídrico: realiza o balanço hídrico entre disponibilidades e demandas, permitindo a simulação de até 12 cenários simultaneamente;
- Módulo de Simulação Integrada de Qualidade da Água e Balanço Hídrico: realiza a simulação da qualidade da água, considerando os lançamentos de efluentes e captações de água, permitindo a simulação de apenas um cenário por vez.

Este manual descreve a sequência de etapas para a aplicação do WARM-GIS Tools, considerando a obtenção da base topológica a partir do pacote de ferramentas IPH HydroTools. No capítulo 2 será apresentado um embasamento teórico de ambos os módulos do WARM-GIS, e em seguida, no capítulo 3, serão apresentados exemplos práticos de aplicação do modelo na bacia do Alto São Francisco.

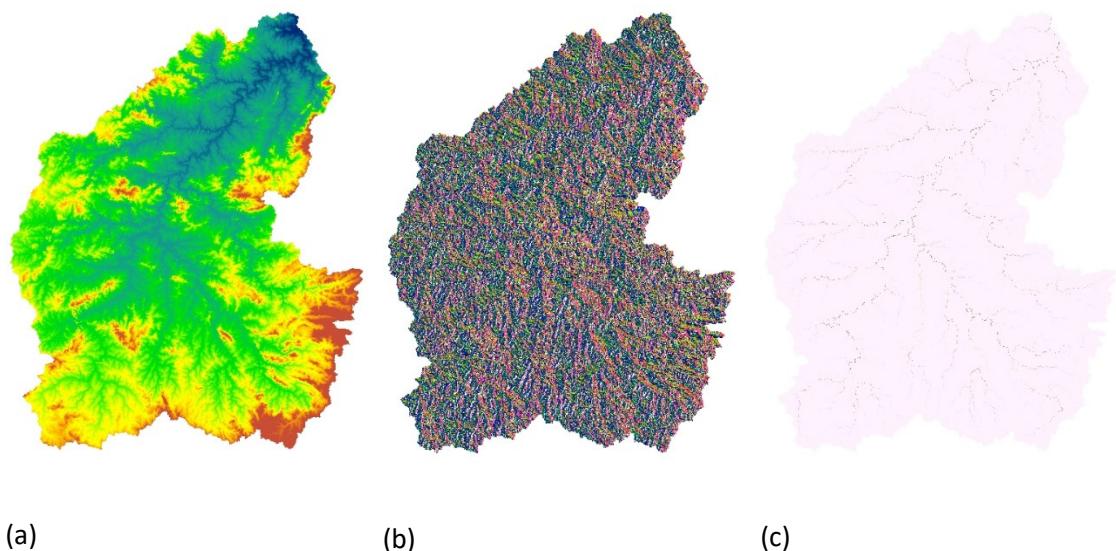
## 2. Embasamento Teórico

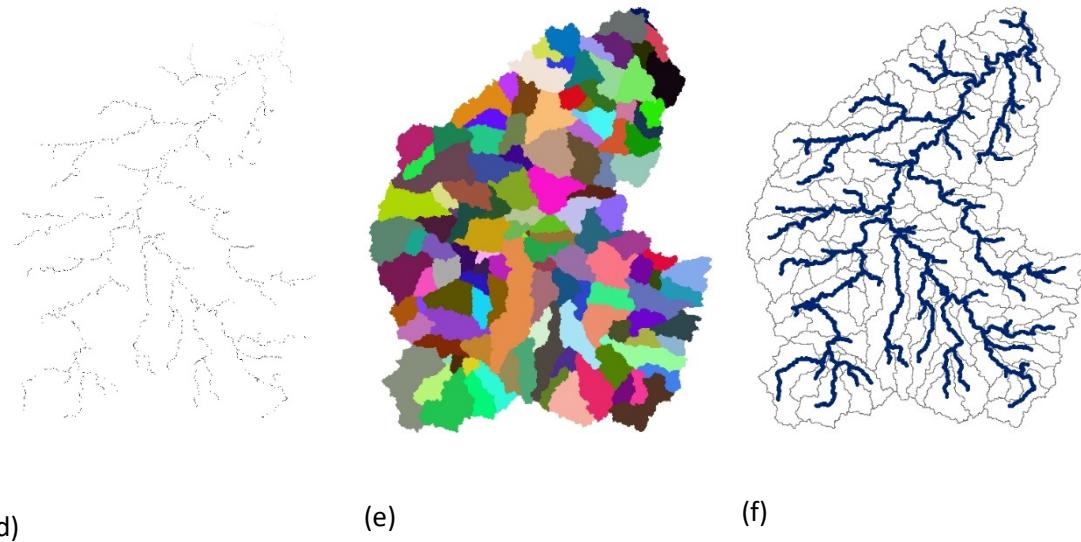
### 2.1. Conceito geral

O modelo a ser apresentado neste manual baseia-se na estrutura topológica de bacias hidrográficas, a qual é extraída de Modelos Digitais de Elevação (MDE), a qual consiste em um arquivo do tipo raster onde cada célula apresenta a cota do terreno para uma certa resolução espacial. Ao final do processamento do MDE, obtemos uma discretização irregular em unidades chamadas de minibacias, obtendo-se também informações como área de drenagem a montante, comprimento do trecho de rede, código da minibacia e da minibacia de jusante, entre outros.

O processamento do MDE pode ser realizado utilizando diversas plataformas de geoprocessamento aplicado a recursos hídricos. Umas das ferramentas mais conhecidas de processamento é utilizando o ArchHydro, um pacote de ferramentas associado ao ArcGIS (Maidment, 2002). É possível utilizar as saídas vetoriais provenientes do ArchHydro como dado de entrada do WARM-GIS Tools, embora não seja tratado neste manual. A forma de obtenção recomendada e abordada neste manual é utilizando a ferramenta IPH-Hydro Tools (Siqueira et al, 2016), utilizado também como pré-processamento do modelo hidrológico MGB-IPH. Dessa forma, recomenda-se a leitura do Manual de Exemplo de Aplicação do Modelo MGB-IPH 2017 Utilizando o IPH-Hydro Tools, especialmente o item que aborda a discretização.

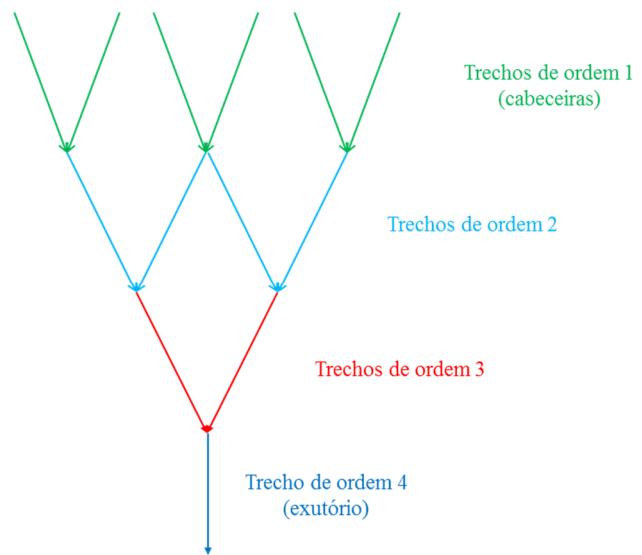
A Figura 1 apresenta um esquema de geração dos arquivos de entrada do modelo WARM-GIS Tools a partir de um Modelo Digital de Elevação. Nesta etapa, são realizadas algumas operações, como a definição das direções de fluxo (representa as direções de fluxo de cada célula, ou seja, demonstra para onde a água está indo de acordo com uma determinada codificação), área acumulada (representa o número acumulado de células à montante em cada célula da grade), definição dos trechos de drenagem, minibacias em formato raster, e por fim, a conversão dos arquivos de rede de drenagem e minibacias para o formato de shapefile.





**Figura 1.** Esquema de geração dos arquivos vetoriais de entrada que representam a bacia hidrográfica: a) Modelo Digital de Elevação, b) cálculo das direções de fluxo, c) cálculo da área acumulada, d) definição dos trechos de drenagem formato raster, e) discretização em minibacias – formato raster, f) rede de drenagem e minibacias em formato vetorial.

O esquema de processamento do WARM-GIS Tools, de forma geral, é representado na Figura 2. Todos os trechos possuem codificações que identificam o trecho de jusante, e além disso, possuem outro código que determinam a ordem do trecho. Primeiramente, são identificados todos os trechos de cabeceira (ou ordem 1), definindo-se uma condição inicial e verificando a existência de usuários de água e realizando as operações correspondentes. Uma vez simuladas todas as minibacias de ordem 1, são identificados os trechos de ordem seguinte, utilizando os resultados de montante e verificando os usos existentes na minibacia atual, e assim sucessivamente até chegar ao exutório.

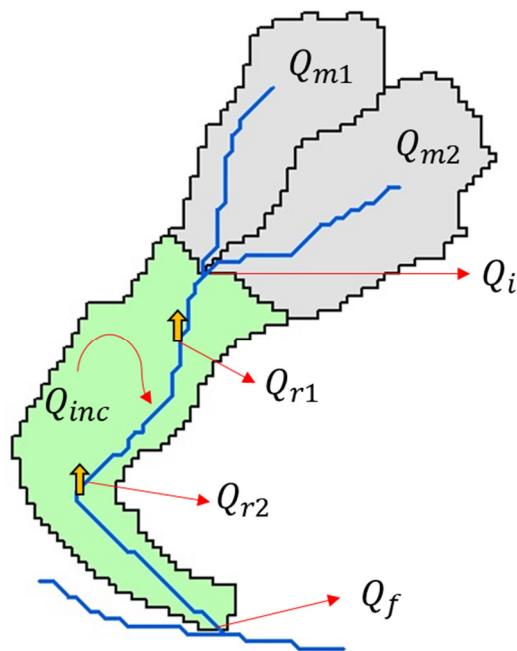


**Figura 2.** Esquema de simulação por ordem de trecho no modelo WARM-GIS Tools.

## 2.2. Módulo de Balanço Hídrico

O esquema de balanço hídrico consiste na contabilização dos pontos de captação inseridos no sistema, calculando-se a vazão remanescente e os possíveis déficits de não atendimento, caso a vazão remanescente atinja um nível inferior a um patamar mínimo. O modelo opera em modo permanente, através de valores únicos de vazão por minibacia, representando estatísticas das séries hidrológicas como a  $Q_{7,10}$  (vazão média de 7 dias e 10 anos de ser menor ou igual em um ano qualquer) ou a  $Q_{95}$  (vazão com 95% da curva de duração), entre outros indicadores. O modelo ainda permite a simulação de até 12 cenários simultaneamente, podendo-se trabalhar de diversas formas, como por exemplo a simulação de um cenário para mês do ano, calculando-se a vazão com determinado percentual de permanência extraída para cada mês e observando-se as sazonais das captações, como também é possível fixar o cenário de vazão e testar diferentes cenários de retiradas e vice-versa.

Os dados de retiradas podem ser considerados de forma pontual ou difusa, o primeiro com o fornecimento de pontos nos quais a captação será atribuída à minibacia sobre a qual estiver localizado o respectivo ponto, e o segundo com o fornecimento de polígonos sobre os quais se assume que exista uma retirada específica constante. A Figura 3 apresenta um esquema do modelo de balanço hídrico, onde as variáveis são explicitadas na sequência.



**Figura 3 – Esquema de representação do módulo de Balanço Hídrico do WARM-GIS Tools.**

Onde:

$Q_{m1}, Q_{m2}, \dots, Q_{mn}$  = vazões remanescentes das minibacias de montante;

$Q_i$  = vazão inicial da minibacia;

$Q_{inc}$  = vazão incremental da minibacia;

$Q_{r1}, Q_{r2}, \dots, Q_{rn}$  = pontos de retirada localizados em qualquer local no interior da minibacia;

$Q_f$  = vazão remanescente final da minibacia;

O primeiro passo da simulação é o cálculo da vazão inicial da minibacia, sendo igual a zero nas minibacias de ordem 1, e dada pelo somatório das saídas das minibacias de montante para as minibacias de demais ordens, de acordo com a equação:

$$\begin{aligned} Q_i &= 0, \text{ se } Ord = 1 \\ Q_i &= \sum_{n=1}^{NM} Q_{mn}, \text{ se } Ord > 1 \end{aligned} \quad (1)$$

Sendo NM o número de minibacias à montante. Em seguida, calcula-se a vazão incremental da minibacia, dado pela seguinte equação:

$$Q_{inc} = Q_{ent} - Q_{i,nat} \quad (2)$$

Sendo  $Q_{ent}$  o valor de vazão fornecido como dado de entrada pelo usuário, e  $Q_{i,nat}$  o valor de vazão inicial da minibacia, desconsiderando-se o efeito das retiradas de montante. A vazão final remanescente da minibacia será calculada em função de um critério da vazão ambiental ( $Q_{amb}$ ), que pode ser atribuído como zero ou algum percentual da vazão natural do trecho, de acordo com a relação:

$$Q_f = Q_i + Q_{inc} - \sum_{n=1}^{NR} Q_{rn}, \text{ se } Q_f \geq Q_{amb} \quad (3)$$

$$Q_f = Q_{amb}, \text{ se } Q_f < Q_{amb}$$

Por fim, são calculados os déficits de não atendimento para os casos em que a vazão remanescente atinge o patamar da vazão ambiental, de acordo com a relação:

$$\begin{aligned} Q_{def} &= 0, \text{ se } Q_f \geq Q_{amb} \\ Q_{def} &= \sum_{n=1}^{NR} Q_{rn} - Q_i - Q_{inc} + Q_{amb}, \text{ se } Q_f < Q_{amb} \end{aligned} \quad (4)$$

No caso da existência de reservatórios, a vazão final no ponto de barramento é substituída pela vazão liberada à jusante ( $Q_{jus}$ ), cujo valor é fornecido pelo usuário.

$$Q_f = Q_{jus} \quad (5)$$

O resultado do módulo do balanço hídrico é expresso através do Saldo Hídrico, índice que relaciona a quantidade de água disponível e a quantidade de água remanescente ( $Q_f$ ) em cada trecho de rio. O índice é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$SH = \frac{Q_{disp} - Q_f}{Q_{disp}} \quad (6)$$

onde  $Q_{disp}$  é a vazão disponível, representada pela vazão natural acrescida do efeito dos reservatórios e transposições.

### 2.3. Módulo Integrado de Simulação da Qualidade da Água e Balanço Hídrico

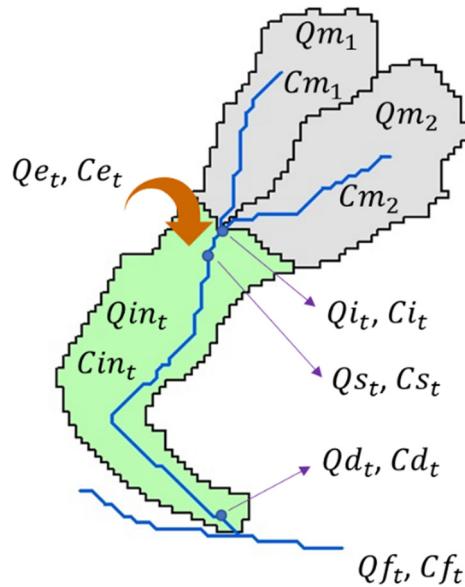
O processo de modelagem qualitativa adotado pelo WARM-GIS Tools corresponde na inserção de lançamentos de efluentes de forma contínua no sistema hídrico, podendo ser incluídas também as abstrações de água, adotando um conjunto de soluções analíticas em regime permanente, utilizando modelos de transporte advectivo com reações cinéticas simplificadas. As equações utilizadas são apresentadas em Sperling (2007), todas em sua forma analítica de resolução. Ao contrário do módulo de balanço hídrico, no módulo de qualidade é possível simular apenas um cenário por vez, devendo-se eleger algum dos cenários de disponibilidade hídrica fornecidos como dado de entrada.

O módulo possibilita a modelagem dos seguintes constituintes ao longo do rio:

- Demanda bioquímica de oxigênio;
- Oxigênio dissolvido;
- Nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal e nitrato);
- Fósforo total e suas frações (orgânico e inorgânico);
- Coliformes termotolerantes (fecais) ou E. Coli.

Os lançamentos de efluentes correspondem às cargas pontuais e difusas. As cargas pontuais são representadas por lançamentos diretos e contínuos, normalmente representadas por fontes oriundas do esgotamento urbano ou de indústrias. A inserção no modelo pode ser feita utilizando o próprio mapa, selecionando o local de lançamento com o cursor do mouse, ou então a partir de tabelas com dados de coordenadas e respectivas vazões e concentrações dos efluentes. As cargas difusas são caracterizadas em função do uso do solo, neste caso é possível inserir bases com a identificação de cada uso, juntamente com os respectivos valores característicos de carga específica gerada (kg/dia.ha).

Na Figura 4 são apresentadas as principais variáveis no processo de diluição e transformação dos constituintes de qualidade, sendo descritas logo a seguir.



**Figura 4. Representação das principais variáveis de simulação por microbacia.**

Sendo:

- $Qm_j$  e  $Cm_{j,p}$ : vazão e concentração final do trecho j à montante do trecho;
- $Qi_t$  e  $Ci_{t,p}$ : vazão e concentração inicial do trecho t;
- $Qe_t$  e  $Ce_{t,p}$ : vazão e concentração (ou somatório) das cargas pontuais existentes em qualquer ponto da microbacia correspondente ao trecho t;
- $Qs_t$  e  $Cs_{t,p}$ : vazão e concentração de mistura após a entrada das cargas pontuais no trecho t;
- $Qd_t$  e  $Cd_{t,p}$ : vazão e concentração após os processos de transformação dos constituintes ao longo do trecho t;
- $Qd_t$  e  $Cd_{t,p}$ : vazão e concentração incremental do trecho t, correspondendo à entrada das cargas difusas;
- $Qf_t$  e  $Cf_{t,p}$ : vazão e concentração final do trecho t, após a inserção da vazão e concentração incremental.

A seguir, será apresentada uma descrição de cada etapa do processo de diluição e transformação dos constituintes considerados no modelo proposto:

- **Verificação das condições iniciais**

Para os trechos de ordem 1, as vazões e concentrações no início do trecho serão dados de entrada do modelo, de acordo com as relações:

$$Qi_t = perc * Qent_t, \quad se \ Ord = 1 \quad (6)$$

$$Ci_{t,p} = Co_{t,p}, \quad se \ Ord = 1$$

Onde  $Qent_t$  é o valor de vazão de entrada fornecido pelo modelo e  $perc$  é um percentual que deve ser admitido para a condição inicial do trecho.  $Co_{t,p}$  representa a concentração inicial

do parâmetro  $p$  para todos os trechos, fornecido como dado de entrada. Para os trechos de ordem superior, essas variáveis serão dadas utilizando as saídas dos trechos de montante, de acordo com as seguintes relações:

$$Qi_t = \sum_{j=1}^{nM} Qm_j, \quad \text{se } Ord = 1 \quad (7)$$

$$Ci_{t,p} = \frac{\sum_{j=1}^{nM} (Cm_{j,p} * Qm_{j,p})}{\sum_{j=1}^{nM} Qm_{j,p}}, \quad \text{se } Ord > 1$$

Onde  $nM$  é o número de trechos à montante, sendo normalmente igual a 2 para os modelos de discretização citados anteriormente.

- **Mistura da carga pontual no trecho de rio**

Nesta etapa é feita a diluição da carga pontual no curso principal do rio. Para efeito de simplificação, considera-se que o ponto de lançamento esteja localizado imediatamente no ponto inicial do trecho, logo após a confluência dos trechos de montante, ainda que o ponto esteja localizado em qualquer outra região da minibacia correspondente ao trecho. Também se considera aí o somatório dos lançamentos e a diluição das concentrações, caso existam mais um ponto de lançamento por minibacia. A vazão e concentração do trecho logo após a diluição da carga pontual será dada por:

$$Qs_t = Qi_t + Qe_t \quad (8)$$

$$Cs_{t,p} = \frac{(Ci_{t,p} \cdot Qi_t) + (Ce_{t,p} \cdot Qe_t)}{Qi_t + Qe_t}$$

- **Transformação dos constituintes ao longo do trecho**

Nesta etapa são consideradas as transformações devido aos processos de decomposição, sedimentação, além de outras transformações dos constituintes simulados. As equações partem do esquema clássico de Streeter-Phelps, agregando-se, porém, outras variáveis, como a sedimentação da matéria orgânica, além da consideração dos elementos fosfatados e nitrogenados e também da modelagem dos coliformes termotolerantes. As variáveis relacionadas com a modelagem da matéria orgânica merecem atenção especial e são descritas a seguir:

$$Cd_{t,DBO} = Cs_{t,DBO} \cdot e^{-(K_d + K_s) \cdot T} \quad (9)$$

$$Cd_{t,OD} = C_{OD_s} - Def_{pon} - Def_{DBO} - Def_{Nitri} \quad (10)$$

$$Def_{pon} = (C_{OD_s} - Cs_{t,OD}) \cdot e^{-(K_a \cdot T)} \quad (11)$$

$$Def_{DBO} = \left( \frac{K_d \cdot Cs_{t,DBO}}{K_a - K_r} \right) \cdot (e^{-(K_r \cdot T)} - e^{-(K_a \cdot T)}) \quad (12)$$

$$Def_{Nitri} = \left( \frac{R_{O_2, amon} \cdot K_{an} \cdot Cs_{t,NA}}{K_a - K_{an}} \right) \cdot (e^{-(K_{an} \cdot T)} - e^{-(K_a \cdot T)}) \quad (13)$$

Sendo  $Cd_{t,DBO}$  a concentração resultante da DBO,  $Cd_{t,OD}$  do oxigênio dissolvido,  $Def_{pon}$  o déficit pontual de OD,  $Def_{DBO}$  o déficit de OD ocasionado pela concentração de DBO e  $Def_{Nitri}$  o déficit de OD ocasionado por processos de nitrificação. As equações das demais variáveis são apresentadas a seguir:

$$Cd_{t,PO} = Cs_{t,PO} \cdot e^{-(K_{oi} + K_{spt}) \cdot T} \quad (14)$$

$$Cd_{t,PI} = Cs_{t,PI} \cdot e^{-(K_{spt} \cdot T)} + \left( \frac{K_{oi} \cdot Cs_{t,PO}}{K_{spt} - K_{oi}} \right) \cdot \left( e^{-(K_{oi} \cdot T)} - e^{-(K_{spt} \cdot T)} \right) \quad (15)$$

$$Cd_{t,NO} = Cs_{t,NO} \cdot e^{-(K_{oa} \cdot T)} \quad (16)$$

$$Cd_{t,NA} = Cs_{t,NA} \cdot e^{-(K_{an} \cdot T)} + \left( \frac{K_{oa} \cdot Cs_{t,NO}}{K_{an} - K_{oa}} \right) \cdot \left( e^{-(K_{oa} \cdot T)} - e^{-(K_{an} \cdot T)} \right) \quad (17)$$

$$Cd_{t>NN} = (Cs_{t,NA} - Cd_{t,NA} + Cs_{t>NN}) \cdot e^{-(K_{den} \cdot T)} \quad (18)$$

Sendo  $Cd_{t,PO}$  a concentração resultante do fósforo orgânico,  $Cd_{t,PI}$ , do fósforo inorgânico  $Cd_{t,Coli}$ , dos coliformes  $Cd_{t,NO}$  do nitrogênio orgânico,  $Cd_{t,NA}$  do nitrogênio amoniacal e  $Cd_{t>NN}$  do nitrato. A descrição dos demais parâmetros é listada na Tabela 1.

**Tabela 1. Descrição dos coeficientes de transformação dos parâmetros do modelo.**

Parâmetro	Descrição	Obtenção	Unidade	Faixa de valores
$T^*$	tempo de percurso no trecho	razão entre a velocidade e o comprimento do trecho	d	-
$K_d$	Coeficiente de decomposição	parâmetro calibrado	$d^{-1}$	Para rios rasos ( $K_{ds}$ ): 0,1 a 1; Para rios profundos ( $K_{dd}$ ): 0,1 a 0,5
$K_s^*$	Coeficiente de sedimentação da matéria orgânica	razão entre a velocidade de sedimentação da matéria orgânica ( $V_{smo}$ ) e a profundidade	$d^{-1}$	Para rios rasos: 0,1 a 0,5 Para rios profundos: 0,0 a 0,2
$V_{smo}$	Velocidade de sedimentação da matéria orgânica	parâmetro calibrado	$m.d^{-1}$	0,01 a 0,1
$K_r^*$	Coeficiente de remoção	$K_d + K_s$	$d^{-1}$	-
$K_a$	Coeficiente de reaeração	parâmetro calibrado ou calculado**	$d^{-1}$	0,12 a > 10
$C_{OD_s}$	Oxigênio dissolvido de saturação	condição inicial (verificar dados observados sem influência antrópica)	$mg.L^{-1}$	8,5 a 10
$K_{oi}$	Coeficiente de transformação do fósforo orgânico para inorgânico	parâmetro calibrado	$d^{-1}$	0,01 a 0,7
$K_{spt}^*$	Coeficiente de sedimentação do fósforo total	razão entre a veloc. de sedimentação do fósforo total ( $V_{spt}$ ) e a profundidade	$d^{-1}$	0,001 a 0,1

$V_{spt}$	Velocidade de sedimentação do fósforo total	parâmetro calibrado	$m \cdot d^{-1}$	0,01 a 0,05
$K_{col}$	Coeficiente de decaimento dos coliformes termotolerantes	parâmetro calibrado	$d^{-1}$	0,5 a 1,5
$K_{oa}$	Coeficiente de transformação do nit. orgânico para nit. amoniacal	parâmetro calibrado	$d^{-1}$	0,02 a 0,4
$K_{an}$	Coeficiente de transformação do nit. amoniacal para nitrato	parâmetro calibrado	$d^{-1}$	0,10 a 2,00
$K_{den}$	Coeficiente de desnitrificação	parâmetro calibrado	$d^{-1}$	0,01 a 0,5
$R_{O_2 \text{ amon}}$ *	Relação entre o oxigênio consumido por cada unidade de amônia oxidada	Parâmetro fixo	$\text{mg}_{O_2} / \text{mg}_{\text{Na}}$	4,3

\* não é necessário inserir no modelo pois são calculados em função de outras variáveis ou estão fixos no modelo

\*\* pode ser calculado em função das equações de O'Connor (1958), Churchill (1962 e Owens (1978), Tsivoglou (1987) ou Melching e Flores (1999). Para maiores detalhes, consultar Von Sperling (2014).

- **Vazão incremental e cargas difusas:**

Nesta parte, considera-se a entrada da vazão gerada pela própria minibacia correspondente ao trecho e de sua respectiva concentração resultante dos processos de entrada da carga difusa. Neste contexto, há várias simplificações, a começar por considerar a entrada incremental como uma fonte pontual ao fim do trecho, sendo que na verdade, a entrada é contínua e distribuída ao longo do segmento. Outra simplificação reside no fato de considerar toda a vazão incremental como decorrente do escoamento superficial, responsável por carregar a carga do uso do solo para o curso principal, sem considerar as porções subsuperficial e subterrânea. O modelo possui uma opção que inclui ou não a entrada de cargas difusas na simulação. No caso de serem incluídas, a concentração incremental da minibacia é então dada pela seguinte relação:

$$C_{inc,t,p} = \frac{\sum_{k=1}^{n_U} (W_{t,p,U} \cdot A_U)}{Q_{inc,t}} * 0.01157 \quad (19)$$

Onde  $W_{t,p,U}$  é a carga atribuída ao tipo de solo U e ao parâmetro p, fornecido em kg/ha.ano,  $A_U$  é a área do tipo de solo U na minibacia e 0,01157 é um fator de conversão de unidades. No caso de não serem incluídas as cargas difusas, assume-se que a concentração incremental é igual a concentração inicial de cabeceira dos trechos.

- **Vazão e concentração final do trecho**

A vazão e concentração final do trecho se dará pela soma e diluição da carga incremental com as vazões e concentrações provenientes do processo de transformação dos constituintes ao longo do trecho.

$$Cf_t = \frac{(Cd_t \cdot Qs_t) + (Cin_t \cdot Qin_t)}{Qs_t + Qin_t} \quad (20)$$

$$Qf_t = Qs_t + Qin_t$$

### **3. Exemplo de Aplicação**

A seguir, será apresentado um exemplo de aplicação da ferramenta WARM-GIS Tools na bacia do Alto São Francisco (MG). Os dados de entrada para aplicação deste manual também são fornecidos na página do WARM-GIS Tools, incluindo os arquivos de rede de drenagem, minibacias, saídas do modelo MGB-IPH para bacia do Alto São Francisco, além de tabelas com usos de água para a bacia.

#### **3.1. Instalação e visão geral da ferramenta**

O modelo WARM-GIS Tools é um plugin que é adicionado ao Quantum GIS depois que o mesmo já está instalado no computador. Para instalar o plugin no Quantum GIS, baixe o plugin disponível na página da ferramenta e siga os passos abaixo:

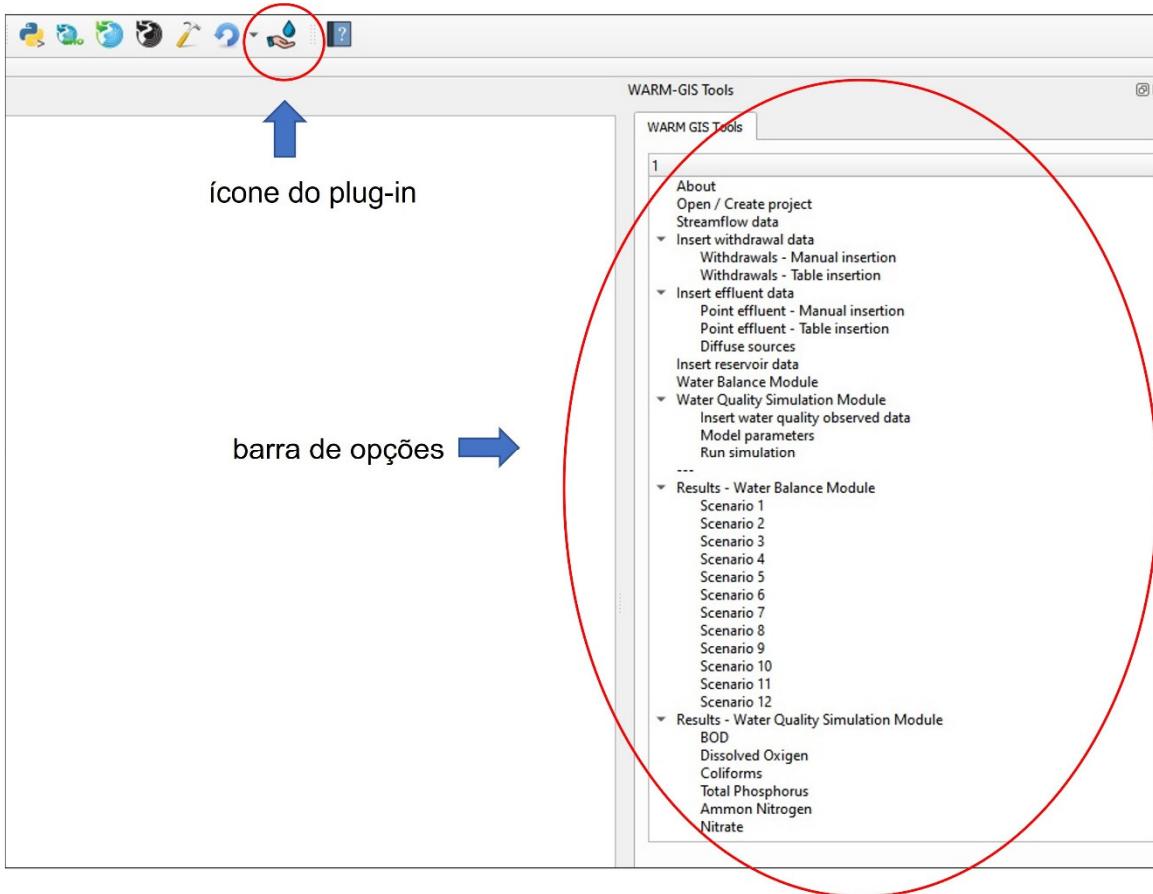
1º) Com o QGIS aberto, acesse a aba “Complementos” e selecione “Gerenciar e Instalar Complementos”.

2º) Selecione a opção “Instalar a partir do ZIP”.

3º) Selecione o arquivo ZIP do plugin desejado e clique em “Instalar Complemento”.

4º) Instalado! A ferramenta estará disponível na parte superior do QGIS juntamente com outras extensões. Caso contrário, volte para “Gerenciar e Instalar Complementos” e selecione a aba “Instalados” e certifique se a caixa ao lado esteja selecionada.

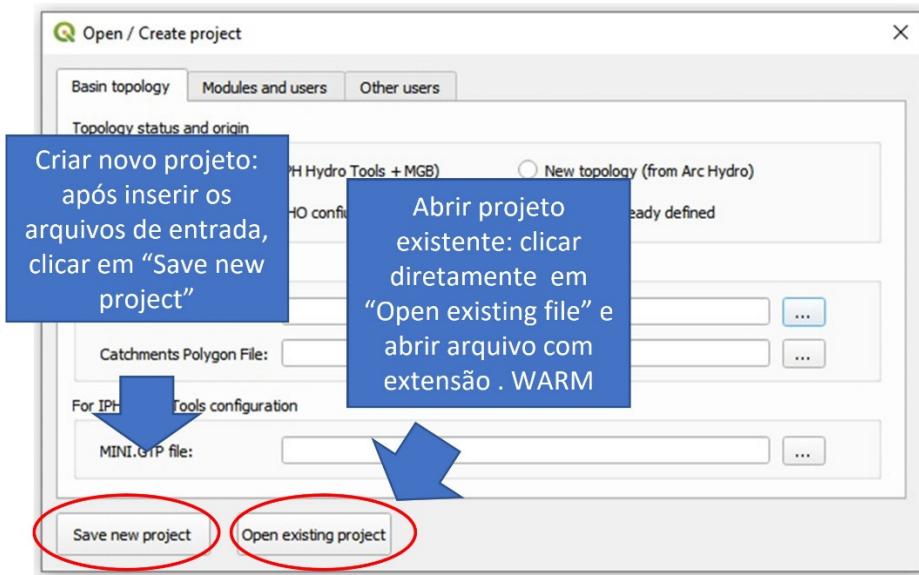
Após a instalação do plug-in, a interface da plataforma QGIS com o SIG acoplado terá a feição como a indicada na Figura 5, com o ícone do plug-in localizado na parte de cima juntamente com outros plug-ins já instalados, e clicando no mesmo aparecerá a barra de opções à direita da tela.



**Figura 5. Interface do software QGIS com o plug-in WARM-GIS Tools.**

### 3.2. Criação de um novo projeto ou abertura de um projeto existente

O primeiro passo consiste na criação de um arquivo de projeto com a extensão .WARM, onde serão salvos os caminhos dos arquivos de entrada do modelo. Ou alternativamente, caso este arquivo já tenha sido criado, é possível abrir algum projeto salvo anteriormente. Clicando na opção “Open/Create project”, será exibida uma janela como apresentada na Figura 6, onde serão solicitados os arquivos de entrada da ferramenta e as opções de salvar um novo projeto ou abrir um projeto existente.



**Figura 6. Janela de abertura ou criação de um novo projeto**

### 3.2.1. Criação de um novo projeto

No caso da criação de um novo projeto, deverão ser inseridos os shapefiles de entrada do modelo para posterior criação do arquivo de projeto. Os dados de entrada consistem nos seguintes arquivos

- **Topologia da bacia**

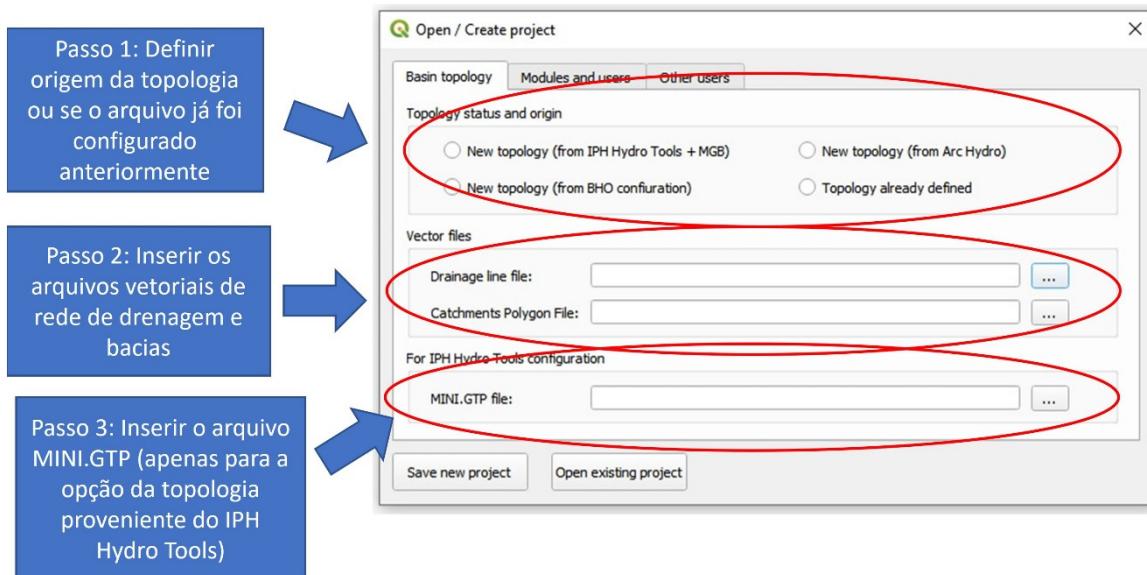
Na primeira aba da janela de projeto deverão ser selecionados os arquivos vetoriais da rede de drenagem e respectivas unidades de bacia, resultantes do processamento de um Modelo Digital de Elevação e gerados anteriormente por um software de discretização de bacias. Nesta aba, o usuário deve identificar a origem desta topologia, dentre as opções disponíveis, ou então indicar que os arquivos já foram configurados anteriormente na plataforma WARM-GIS. A Tabela 2 apresenta os tipos de topologia que podem ser utilizados no programa.

**Tabela 2. Opções disponíveis para a origem da topografia dos arquivos vetoriais**

Origem da topografia e status	Descrição
Nova topografia (a partir do IPH Hydro Tools)	Correspondem aos arquivos vetoriais de DrainageLine e Watersheds gerados ao final do processo de discretização do IPH Hydro Tools. Nesse caso, também é necessário informar o arquivo MINI.GTP, o qual corresponde ao principal arquivo de entrada do modelo MGB-IPH, e produto final da ferramenta IPH-Hydro Tools.
Nova topografia (a partir da configuração BHO produzido pela Agência Nacional de Águas)	Correspondem aos arquivos Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas produzido pela ANA. Devem ser inseridos os

	ottotreichos e ottobacias, sendo que devem estar recortadas para a bacia de aplicação.
Nova topologia (a partir do programa ArcHydro)	* não disponível
Topologia existente	Selecionar no caso de os arquivos já terem sido configurados anteriormente no WARM-GIS.

A Figura 7 apresenta o passo a passo para a definição da topologia e inserção dos arquivos vetoriais de rede de drenagem e unidades de bacia. No caso da aplicação dos arquivos da pasta de exemplos, em *Drainage line file* deve ser inserido o arquivo “[arquivos\\_vetoriais/drainage\\_line.shp](#)” e em *Catchment Polygon file* deve ser inserido o arquivo “[arquivos\\_vetoriais/catchment.shp](#)”. O MINI.GTP também está disponível, localizado em “[mgb/MINI.GTP](#)”.



**Figura 7. Janela de criação de novo projeto: aba de seleção dos arquivos de topologia da bacia.**

- **Módulos e usuários**

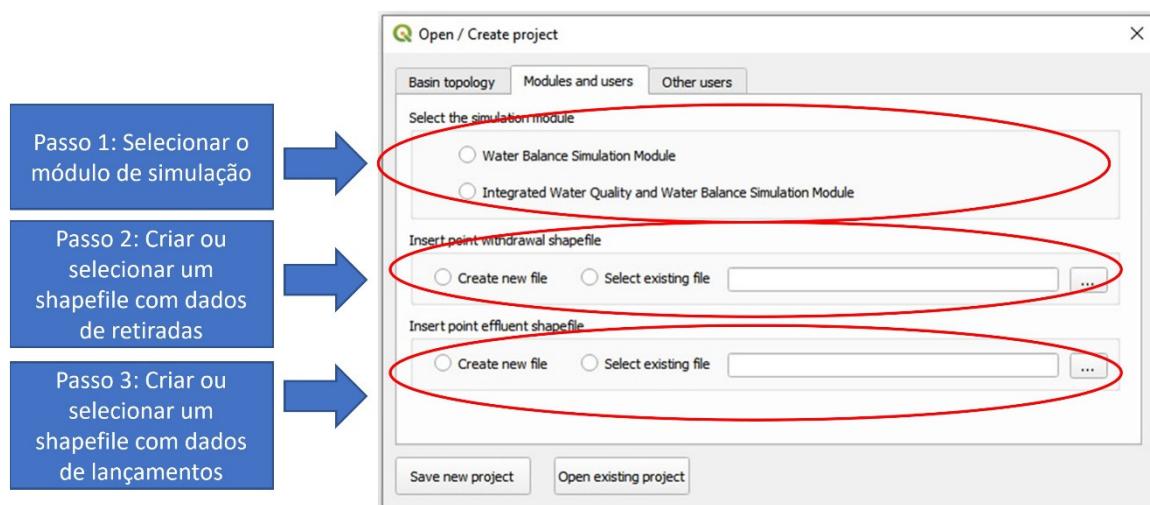
Na próxima aba, o usuário deve definir se fará uso do módulo de Balanço Hídrico ou do módulo de Qualidade da Água. A Tabela 3 apresenta uma descrição resumida dos módulos de simulação.

**Tabela 3. Descrição dos módulos de simulação disponíveis no programa**

Módulo	Descrição
Módulo de Simulação do Balanço Hídrico	realiza o balanço hídrico entre disponibilidades e demandas, permitindo a simulação de até 12 cenários simultaneamente

Módulo Integrado de Simulação da Qualidade de Água e Balanço Hídrico	realiza a simulação da qualidade da água, considerando os lançamentos de efluentes e captações de água, permitindo a simulação de apenas um cenário por vez.
--	--

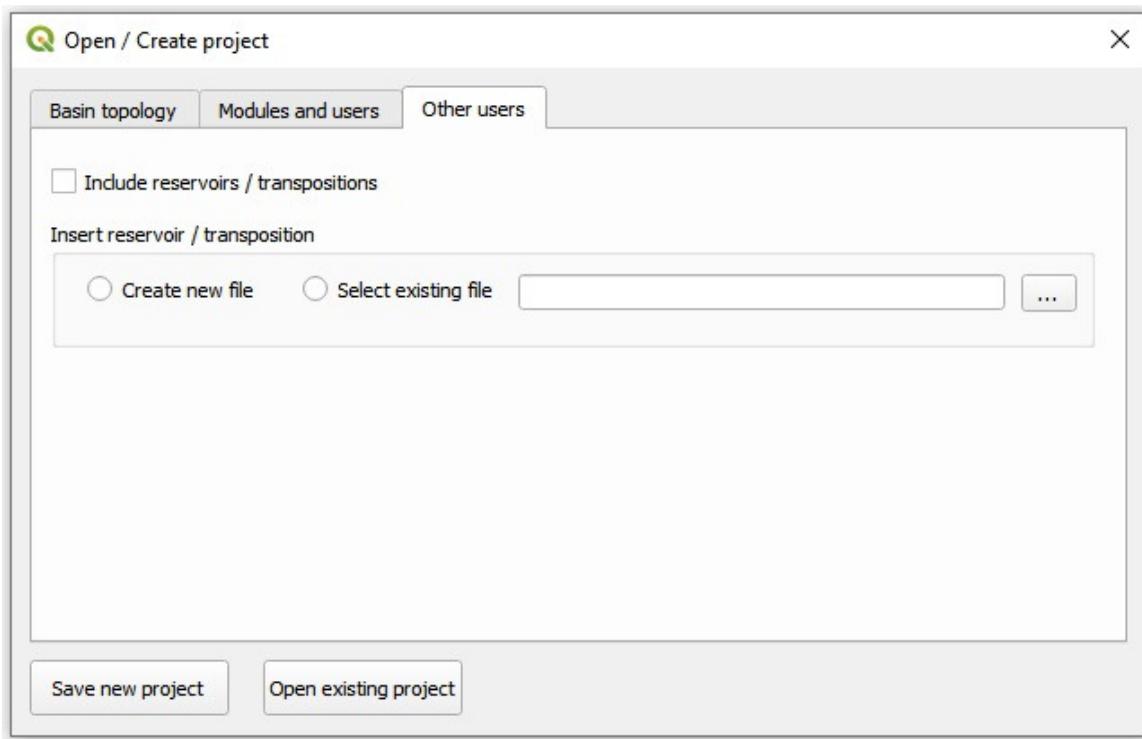
Nesta aba, o usuário ainda deve ainda definir os shapefiles correspondentes às retiradas de água e de lançamentos de efluentes. A Figura 8 apresenta o passo a passo para a configuração da aba de definição do módulo e de inserção dos usuários. Em relação à inserção dos shapefiles de usos, deve-se selecionar a opção de criar um novo usuário ou selecionar algum arquivo existente. É importante ressaltar que no caso de selecionar a opção de arquivo existente, este arquivo refere-se a um arquivo já criado pelo WARM-GIS, e não a uma base de usuários vetorial qualquer. Ainda que o usuário já possua um arquivo vetorial correspondendo a pontos ou lançamentos na bacia, é necessário selecionar a opção “Create file”, e então posteriormente transferir as informações para este shapefile criado. Também é importante ressaltar que os módulos de simulação atuam de maneira independente, de forma que uma vez selecionada uma das opções, não é possível utilizar a mesma base vetorial para o outro módulo.



**Figura 8 . Janela de criação de novo projeto: aba de definição do módulo de simulação e inserção dos usos de água.**

- **Outros usos**

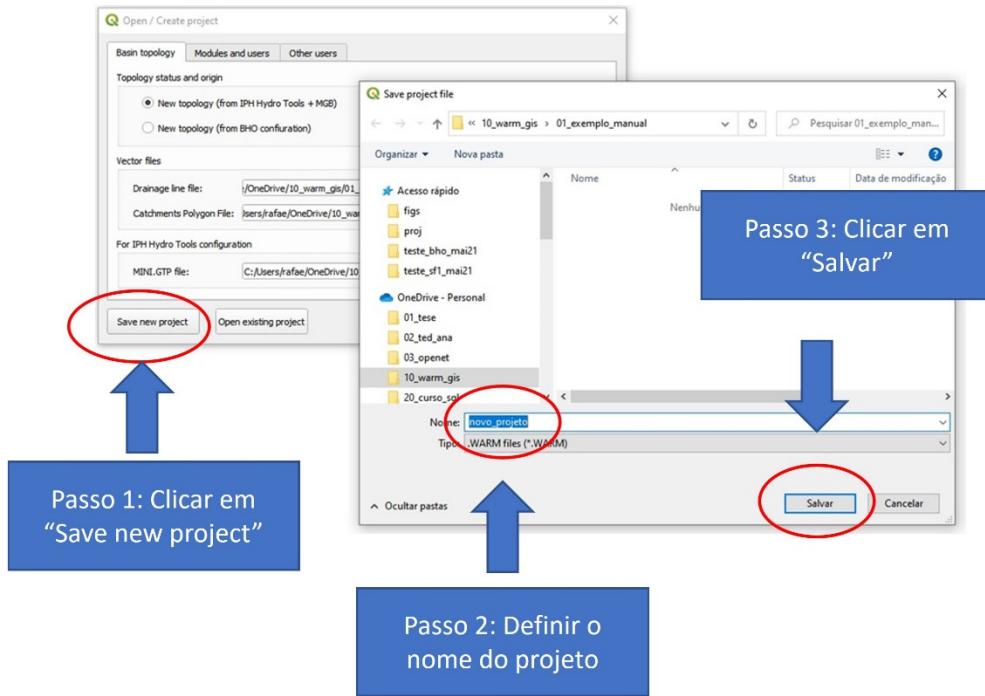
A última aba corresponde a inserção de reservatórios, podendo ser tratado também como uma saída de transposição de bacias. O arquivo corresponde a um shapefile de pontos que corresponde ao barramento de cada estrutura, onde serão armazenadas as informações de vazão substituída nos trechos de reservatório e de vazão liberada para os trechos de jusante. A Figura 9 apresenta a aba correspondente. No caso da opção de utilizar reservatórios, deve-se marcar a opção na aba e criar/selecionar o shapefile.



**Figura 9. Janela de criação de novo projeto: aba de seleção de outros usos (reservatórios).**

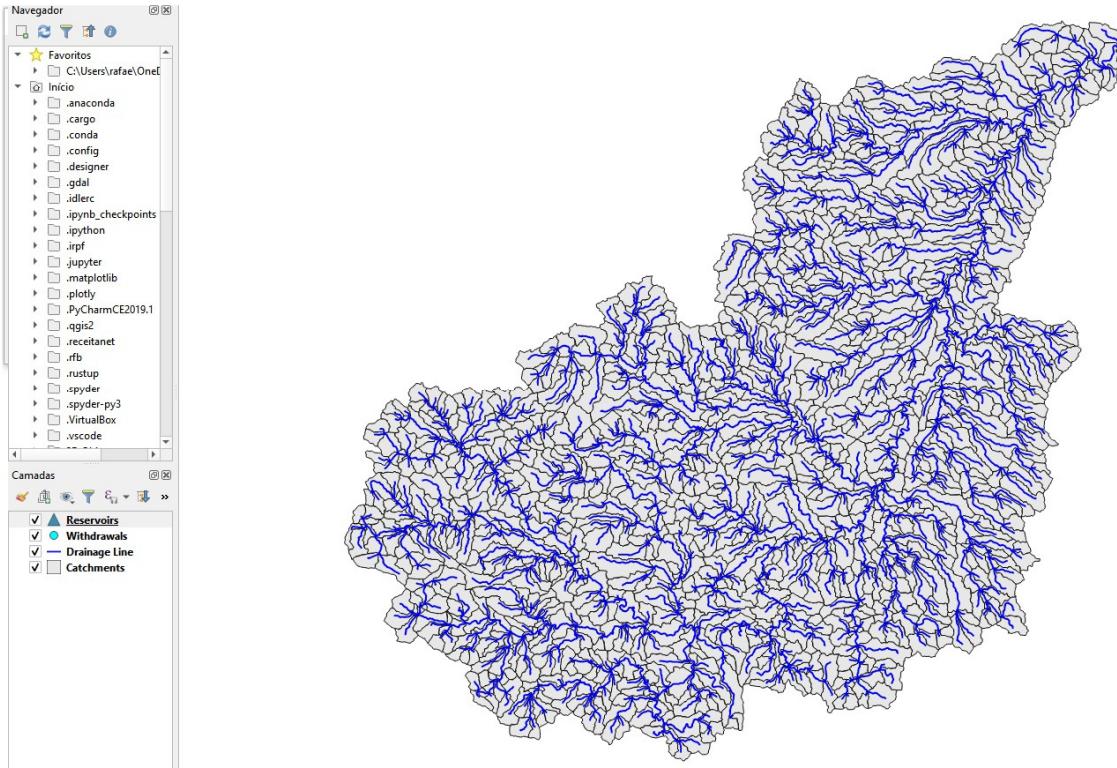
- **Criação do novo projeto**

Uma vez selecionados e criados os arquivos do projeto, é necessário criar um arquivo texto onde serão salvos os caminhos e as opções selecionadas. Clicando em “Save new project”, será exibida uma nova janela onde será solicitado um local e o nome do arquivo a ser criado com extensão .warm (Figura 10). Caso o usuário deseje fechar o QGIS e trabalhar no projeto novamente, não recomenda-se salvar o projeto via QGIS, e sim abrir um projeto em branco, selecionar a opção “Open / Create project”, e então clicar em “Open project” e selecionar o arquivo .warm.



**Figura 10 . Janela de criação de novo projeto: salvando o novo projeto.**

Ao final do processo, os shapefiles serão inseridos na área de trabalho do SIG, e terão estrutura similar à que é apresentada na Figura 11.



**Figura 11. Tela do QGIS após a criação do novo projeto (exemplo com o módulo de Balanço Hídrico e com inclusão de reservatórios).**

### 3.2.2. Abrir projeto existente

Caso esse processo já tenha sido realizado anteriormente e o usuário queira continuar trabalhando com os mesmos arquivos de entrada, é possível recuperar o projeto criado e continuar desenvolvendo suas análises. Neste caso, após clicar em “Open / Create project”, o usuário deve clicar diretamente em “Open existing project” e seguir os passos indicados a Figura 12.

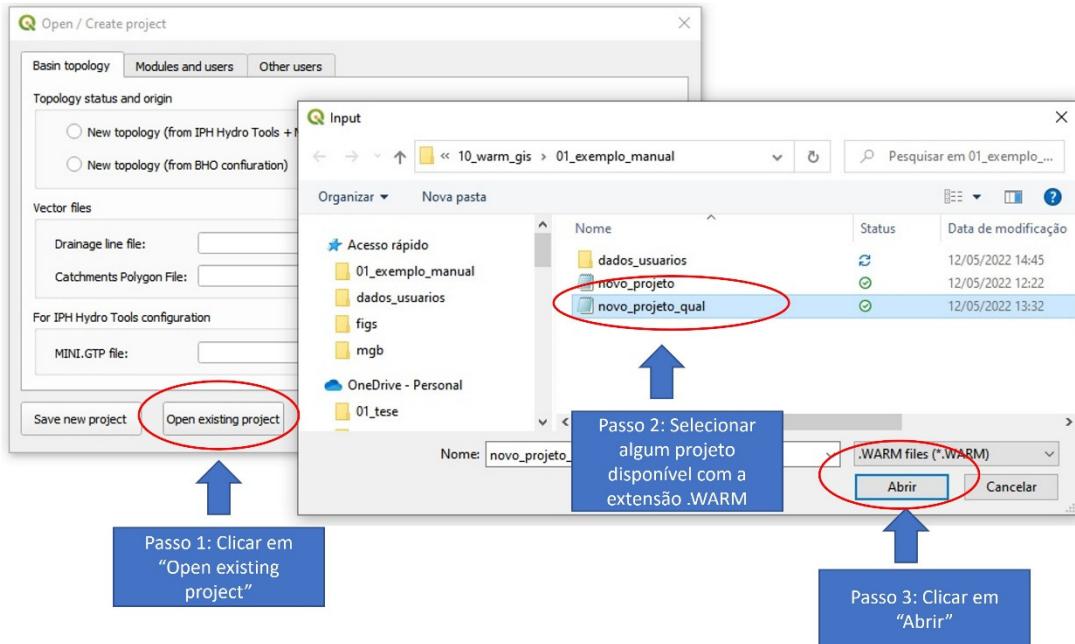
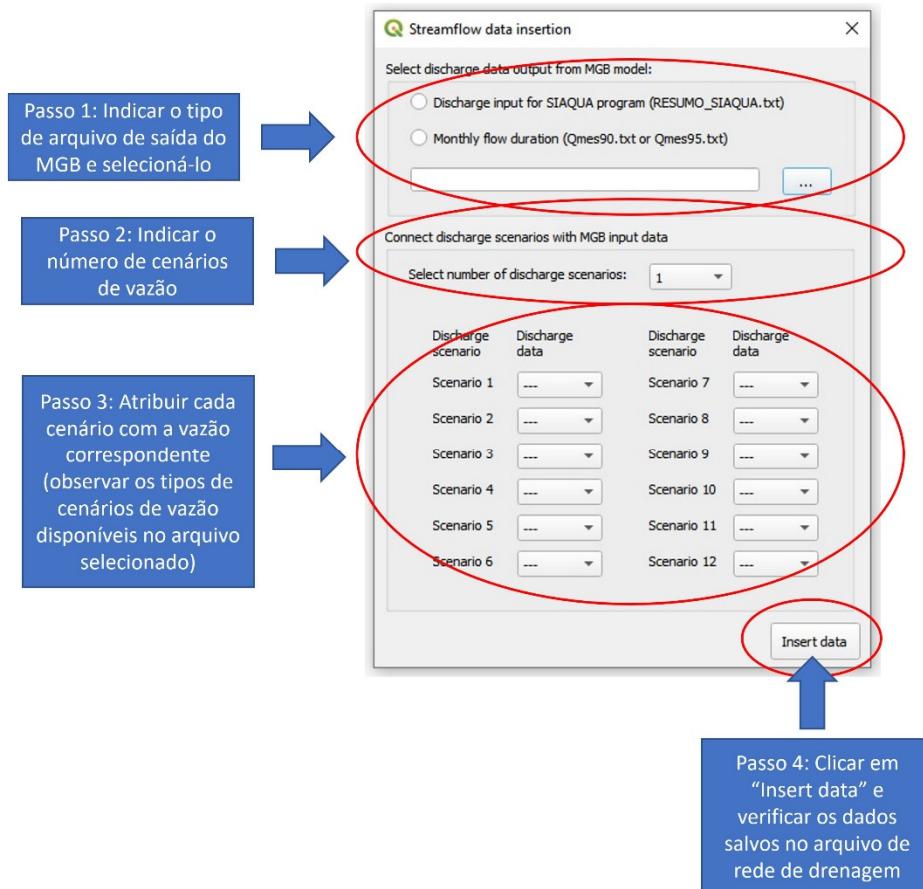


Figura 12. Passo a passo para a abertura de um projeto existente.

### 3.3. Inserção dos dados de vazão

O próximo passo é a inserção dos dados de vazão, considerando os cenários definidos na criação do arquivo de projeto. Nesta versão, a única opção oferecida para obtenção da base de dados de vazão é selecionando os arquivos de saída do modelo MGB-IPH. Existem dois tipos de arquivos disponíveis, o primeiro que corresponde ao arquivo de entrada da ferramenta SIAQUA, e o segundo que corresponde a valores mensais com 90% ou 95% da curva de duração. Ambos os arquivos fornecem valores únicos de vazão por minibacia por cenário, não sendo possível adicionar séries diárias ou mensais de vazão. A Figura 13 apresenta o passo a passo para a inserção dos dados de vazão provenientes do modelo MGB. Ao final, os dados de vazão serão salvos no arquivo de rede de drenagem nas colunas com os nomes Q\_Read\_1, Q\_Read\_2, Q\_Read\_3, etc. Na pasta de exemplos estão disponíveis os arquivos de saída do MGB para a bacia do Alto São Francisco, podendo ser utilizados como exercício de aplicação.



**Figura 13. Tela de inserção dos dados de vazão a partir dos arquivos de saída do MGB-IPH.**

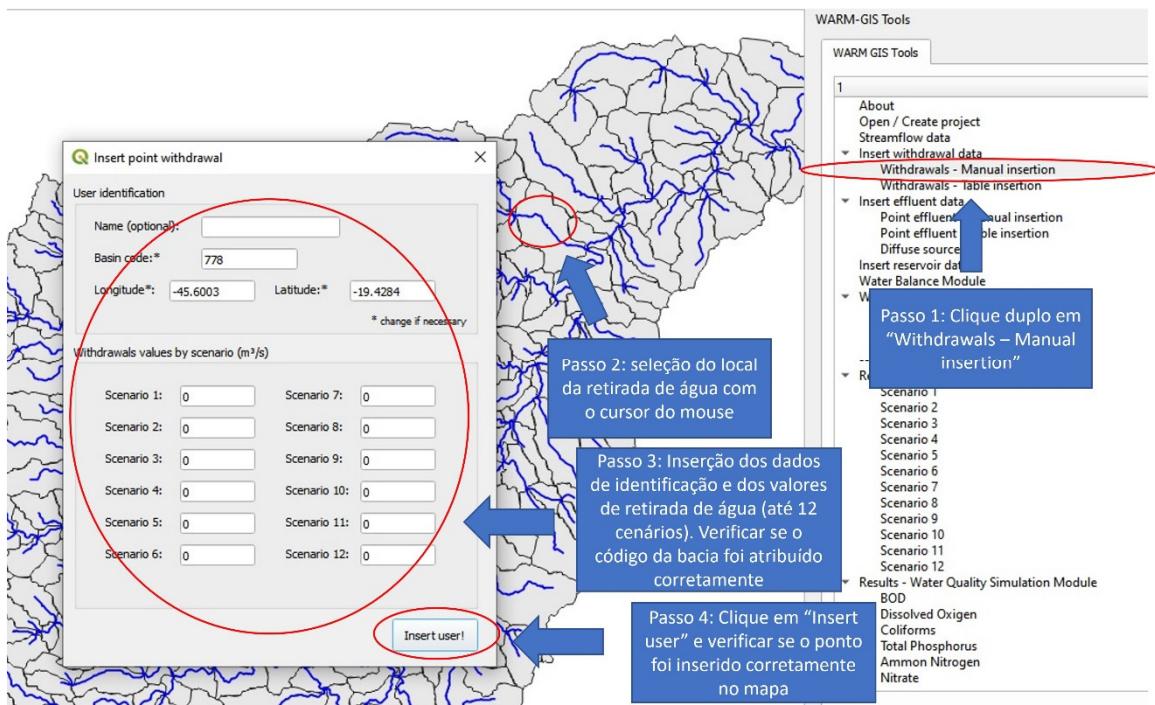
Também é possível utilizar uma base de vazões diferente da fornecida pelo MGB-IPH. A partir da relação de área de drenagem, e também de outras variáveis como a precipitação, é possível gerar valores de vazão para cada minibacia a partir de equações de regionalização, embora esta ferramenta não tenha sido disponibilizada nesta versão do programa. Ao abrir a tabela de atributos da rede de drenagem, as séries de vazão são salvas nas colunas “Q\_Read\_1”, “Q\_Read\_2”, até “Q\_Read\_12”, podendo ser inseridos manualmente através de operações de geoprocessamento.

### 3.4. Inserção dos usuários de água

#### 3.4.1. Inserção das retiradas de água

- **Inserção manual**

A forma mais clássica de inserção de usuários é a partir da seleção manual do trecho com o clique do mouse e criação do ponto, embora não seja a solução mais prática no caso da necessidade de inserção de um grande volume de usuários. No caso de uma retirada, clicando em “Withdrawal – Manual insertion”, o cursor do mouse será modificado, ativando o modo de seleção. A Figura 14 apresenta o passo a passo para a inserção manual de uma retirada de água, lembrando que podem ser definidos até 12 cenários diferentes de demanda.



**Figura 14. Processo de inserção manual de usuários de retirada a partir do cursor do mouse.**

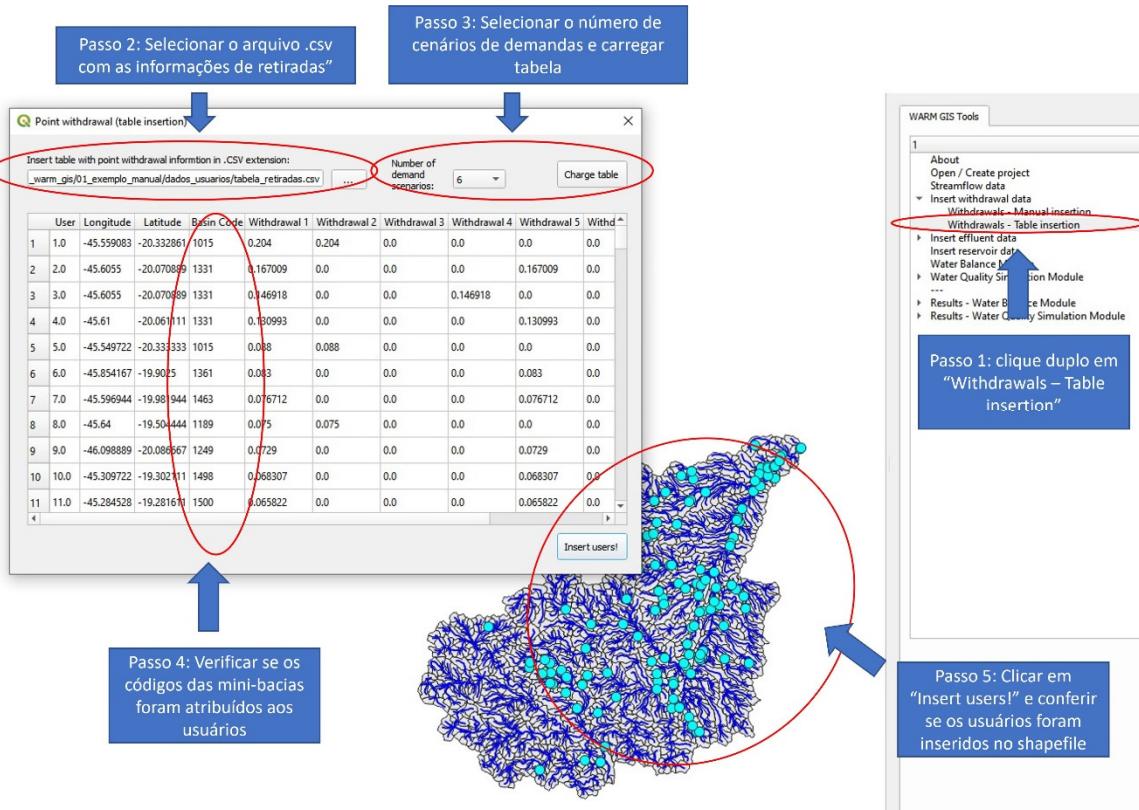
- **Inserção via tabela**

No caso da inserção de um grande volume de usuários, a solução mais interessante é a partir do carregamento de uma tabela pré configurada com as informações dos nomes, coordenadas e dos valores de retiradas para cada cenário. Este arquivo pode ser criado no Excel, porém deve ser salvo em formato .csv, o qual separa as colunas do arquivo com um sinal de ponto e vírgula. A Figura 15 apresenta um exemplo de como deve ser a configuração destas tabelas, onde a ordem das colunas deve ser seguida nesta ordem, primeiramente com uma coluna com um identificador qualquer, em seguida com a longitude e latitude do ponto, e em seguida com as colunas dos cenários de retiradas (até 12). Na pasta de exemplos, o arquivo localizado em “[tabelas\\_usuarios/retiradas.csv](#)” pode ser utilizado como modelo e como teste para aplicação desta ferramenta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	id	Longitude	Latitude	demand 1	demand 2	demand 3	demand 4	demand 5	demand 6
2	1	-45.559083	-20.332861	0.204	0.204	0	0	0	0
3	2	-45.6055	-20.070889	0.167009	0	0	0	0.167009	0
4	3	-45.6055	-20.070889	0.146918	0	0	0.146918	0	0
5	4	-45.61	-20.061111	0.130993	0	0	0	0.130993	0
6	5	-45.549722	-20.333333	0.088	0.088	0	0	0	0

**Figura 15. Exemplo de tabela de inserção de múltiplos usuários de retiradas de água.**

A Figura 16 apresenta o passo a passo para a inserção de retiradas múltiplas de água a partir de uma tabela. É importante verificar se os “Basin Code” estão sendo atribuídos, pois são eles os responsáveis pela ligação dos usos com a rede de drenagem.

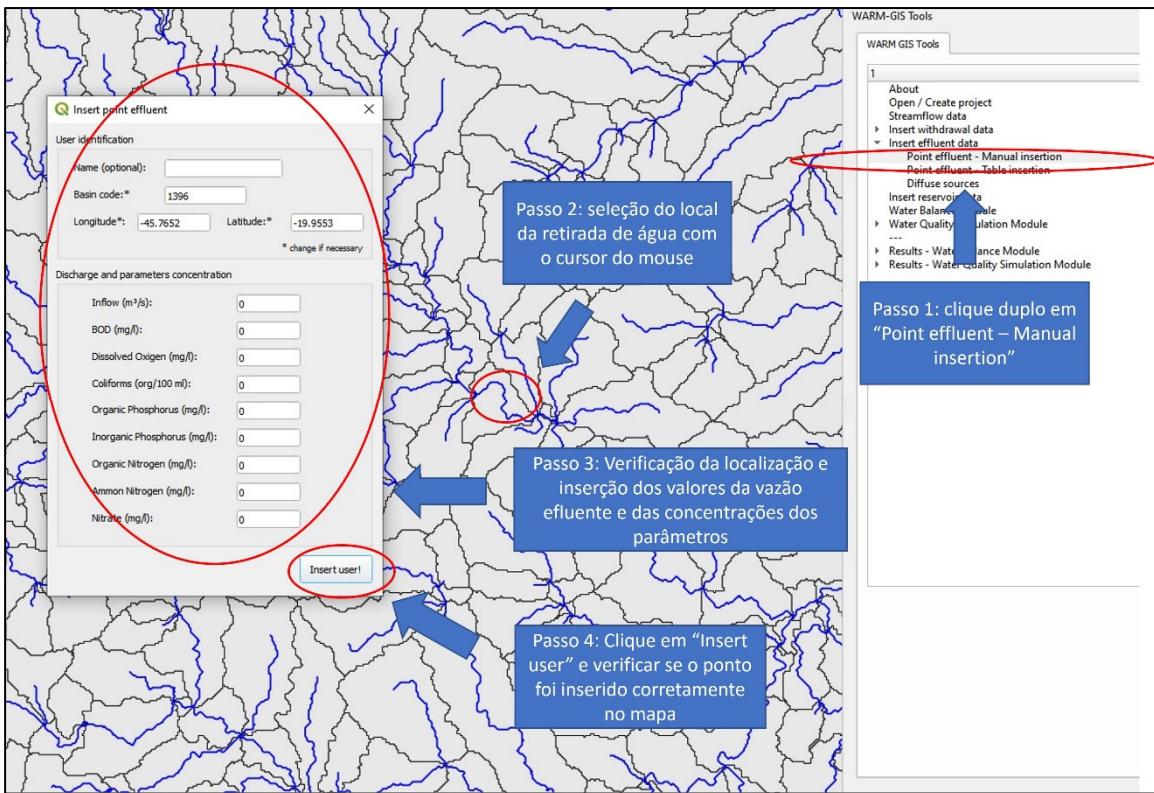


**Figura 16.** Passo a passo para a inserção múltipla de retiradas de água via tabela.

### 3.4.2. Inserção dos lançamentos de efluentes

- **Inserção manual**

O processo de inserção manual de lançamentos de efluentes segue o mesmo processo em relação à inserção manual de retiradas. A Figura 17 apresenta o passo a passo de inserção de lançamentos pontuais de forma manual.



**Figura 17. Processo de inserção manual de usuários de lançamentos de água a partir do cursor do mouse.**

- **Inserção via tabela**

No caso da inserção de um grande volume de lançamentos de efluentes, a solução mais interessante é a partir do carregamento de uma tabela pré configurada com as informações dos nomes, coordenadas e dos valores da vazão efluente e das concentrações dos parâmetros de qualidade disponíveis. Este arquivo pode ser criado no Excel, porém deve ser salvo em formato .csv, o qual separa as colunas do arquivo com um sinal de ponto e vírgula. A Figura 18 apresenta um exemplo de como deve ser a configuração destas tabelas, onde a ordem das colunas deve ser seguida nesta ordem, primeiramente com uma coluna com um identificador qualquer, em seguida com a longitude e latitude do ponto, e em seguida com a coluna da vazão efluente e por fim com as colunas das concentrações, nesta ordem: DBO, OD, coliformes, fósforo orgânico, fósforo inorgânico, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal e nitrato. Na pasta de exemplos, o arquivo “*tabelas\_usuarios/efluentes.csv*” pode ser utilizado como modelo e como teste para aplicação desta ferramenta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	id	x	y	Q_efl	BOD	DO	Col	Po	Pi	No	Na	Nn
2	1	-45.5172	-19.2737	0.003482	322.5078		0	583105.6	1.9189	4.477434	21.01949	25.69049
3	2	-45.2462	-19.3166	0.003914	358.609		0	659510.5	2.033507	4.744851	23.74767	29.02493
4	3	-45.7709	-19.4559	0.000879	375.479		0	695214.3	2.087063	4.869813	25.03525	30.59863
5	4	-45.3209	-19.4917	0.000774	357.9488		0	658113.3	2.031412	4.73996	23.7263	28.99881
6	5	-45.5698	-19.4772	0.020413	51.77676	3.645561	88985.13	1.701164	3.969382	18.05599	22.06844	0
7	6	-45.7782	-19.5095	0.001491	372.1274		0	688121	2.076423	4.844987	24.79687	30.30729

Figura 18. Exemplo de tabela de inserção de múltiplos usuários de lançamentos de efluentes.

### 3.4.3. Inserção dos reservatórios

Os reservatórios podem ser inseridos no modelo de forma manual, da mesma forma como ocorre em relação às retiradas e aos lançamentos, a partir do clique duplo em “Insert reservoir data”. Existem dois valores a serem preenchidos, o primeiro refere-se ao valor de vazão que será utilizado em substituição aos trechos assumidos como espelho d’água no modelo, especialmente útil em reservatórios de grandes proporções, cujo espelho d’água ocupa diversos trechos. Nos trechos de espelho d’água, o modelo não fará o balanço e simplesmente assumirá os valores aqui definidos. O segundo dado refere-se ao valor de vazão de lançamento na barragem, sendo este valor substituído no trecho e propagado para jusante (Figura 19).

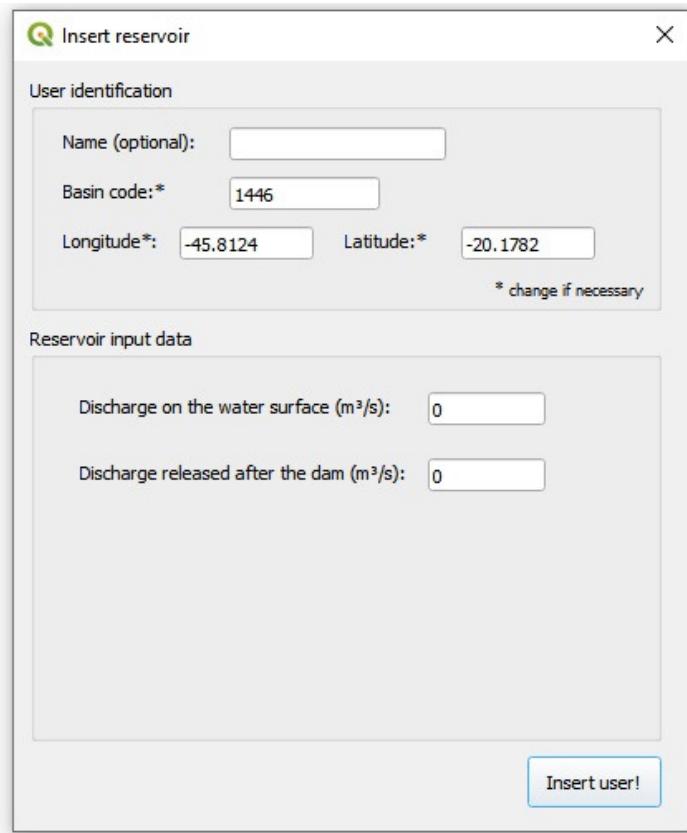


Figura 19. Janela de inserção de reservatórios.

### 3.5. Execução do Módulo de Simulação de Balanço Hídrico

#### 3.5.1. Execução do modelo

Neste item é apresentado o processo de simulação do módulo de balanço hídrico. Como indicado anteriormente, este módulo possui a vantagem de rodar simultaneamente até 12 cenários. Estes cenários podem corresponder à diferentes cenários de vazão (e.g., uma vazão de referência por mês ou diferentes estatísticas como a Qm1t, Q90 e Q7,10), ou ainda diferentes cenários de demanda (um valor de demanda por mês, demandas por setor, etc). Clicando em “Water Balance Modulo”, aparecerá uma janela como a indicada na Figura 20. A figura também apresenta um passo a passo para a simulação do balanço de balanço.

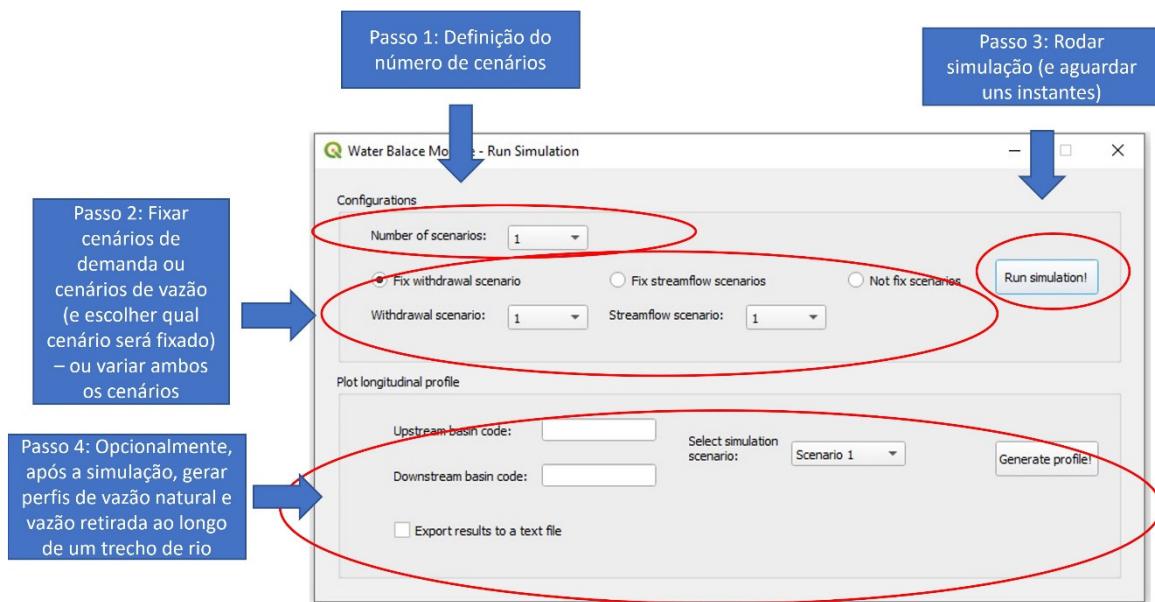


Figura 20. Passo a passo para a simulação do módulo de balanço hídrico.

#### 3.5.2. Visualização dos resultados

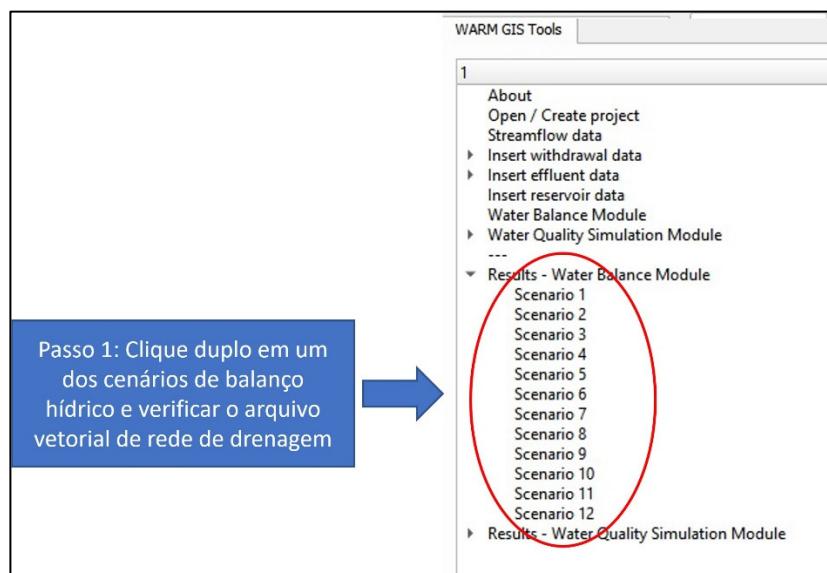
Os resultados da simulação são salvos no arquivo de rede de drenagem, sendo expressos a partir de três variáveis descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Variáveis de saída do módulo de balanço hídrico

Variável	Descrição	Colunas no arquivo de rede de drenagem
Vazão remanescente	Valor da vazão considerando as abstrações de água, os lançamentos de efluentes e reservatórios. Não pode ser menor do que zero.	Q_Rem_1, Q_Rem_2, Q_Rem_3, ..., Q_Rem_12

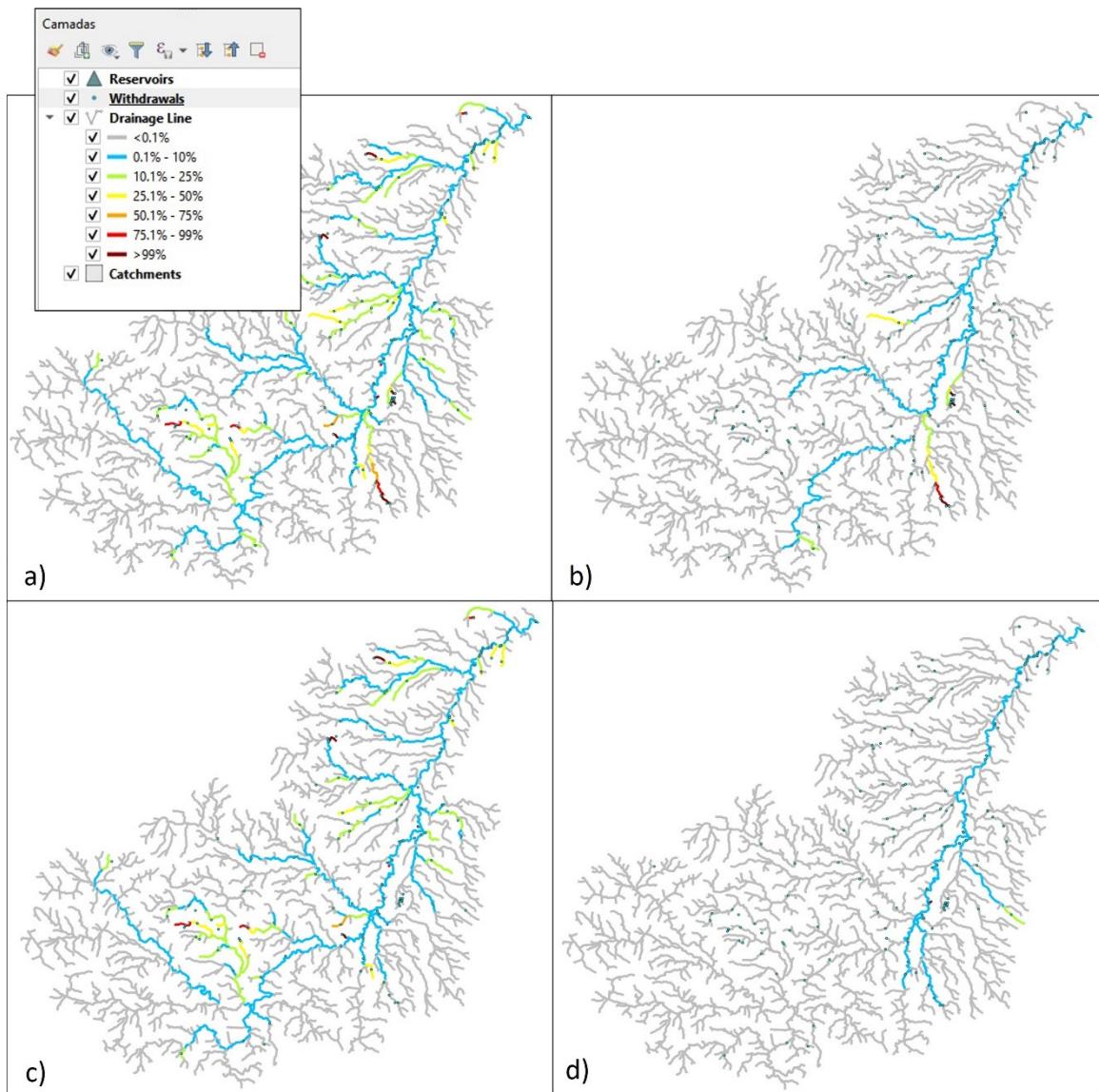
Balanço hídrico	Balanço entre a vazão natural e a vazão remanescente expresso pela seguinte relação:  $BH = \left( \frac{Q_{nat} - Q_{rem}}{Q_{nat}} \right) * 100$	<i>W_Bal_1, W_Bal_2, W_Bal_3, ..., W_Bal_12</i>
Déficit hídrico	Toda demanda hídrica maior do que a disponibilidade em algum trecho é convertida em déficit hídrico que é acumulado ao longo dos trechos	<i>Q_Def_1, Q_Def_2, Q_Def_3, ..., Q_Def_12</i>

Os resultados podem ser visualizados a partir da construção de gráficos com os perfis de vazão natural e vazão remanescente entre um ponto qualquer de montante e um ponto qualquer jusante. Esta ferramenta está disponível na própria janela de simulação, sendo necessário informar os respectivos códigos de montante e jusante. Também é possível visualizar os resultados de balanço hídrico no próprio mapa, configurando o arquivo de rede de drenagem para a definição de classes pré-definidas de simbologias. Esta função é ativada utilizando os subitens da opção “Results – Water Balance Module”. A Figura 21 apresenta como a opção deve ser utilizada.



**Figura 21. Ferramenta de visualização dos resultados de balanço hídrico no arquivo de rede de drenagem.**

A Figura 22 apresenta um exemplo de utilização da ferramenta, onde o modelo de balanço hídrico foi aplicado considerando diferentes cenários de demanda, onde cada cenário representa um determinado setor de uso, além do cenário com o somatório entre todos os usos. A partir de clique em um dos cenários, a simbologia do arquivo de rede de drenagem se alterará automaticamente, utilizando o campo correspondente ao cenário definido.



**Figura 22. Exemplo de aplicação do módulo de balanço hídrico, onde cada cenário representa um setor de uso de água, mantendo fixo o cenário de vazão: a) demandas totais, b) abastecimento público, c) irrigação e d) indústrias.**

### 3.6. Execução do Módulo de Simulação Integrada de Qualidade da Água e Balanço Hídrico

Neste item será avaliado o módulo de simulação integrada de qualidade da água e balanço hídrico. Para isso, deve-se criar um novo projeto com novos arquivos vetoriais de rede de drenagem e minibacias, e então seguir os passos indicados no item 1.2, selecionando-se a opção “Integrated Water Quality and Water Balance Simulation Module”, e criando novos arquivos de retiradas e lançamentos de efluentes.

### 3.6.1. Inserção dos dados de monitoramento

Os dados de monitoramento são importantes para que seja feita adequadamente a calibração do modelo, pois existem muitos parâmetros que representam os processos de transformação dos principais constituintes que necessitam ser ajustados de acordo com as observações. É possível inserir no sistema estes dados, e testar diferentes valores dos coeficientes, ainda que de forma manual. Após a simulação, os dados de monitoramento podem ser plotados em gráficos de perfis longitudinais de concentração entre um trecho à montante e um trecho à jusante, comparando os valores observados e calculados. Os dados de monitoramento podem ser inseridos considerando uma configuração pré-definida. Devem ser inseridos dois arquivos, cuja configuração é descrita a seguir:

- **Lista com as estações de monitoramento da qualidade de água:** arquivo contendo o nome de cada estação e o código da mini-bacia correspondente (por enquanto este processo deve ser feito manualmente por alguma ferramenta de SIG)
- **Arquivo com os dados observados de qualidade da água de todas as estações:** arquivo contendo a série de dados observados de todas as estações de monitoramento. Não há limitação do número de campanhas por ponto.

Na pasta de exemplos existem arquivos que podem servir como modelo para a criação da entrada da lista de estações e da série de dados observados, correspondendo respectivamente a “*dados\_qualidade/lista\_estacoes.csv*” e “*dados\_qualidade/serie\_dados\_observados.csv*”

Para a inserção dos dados no modelo, dentro de “Water Quality Simulation Module” há um subitem chamado “Insert water quality observed data” onde o usuário deve clicar e inserir os arquivos, conforme a janela indicada na Figura 23.

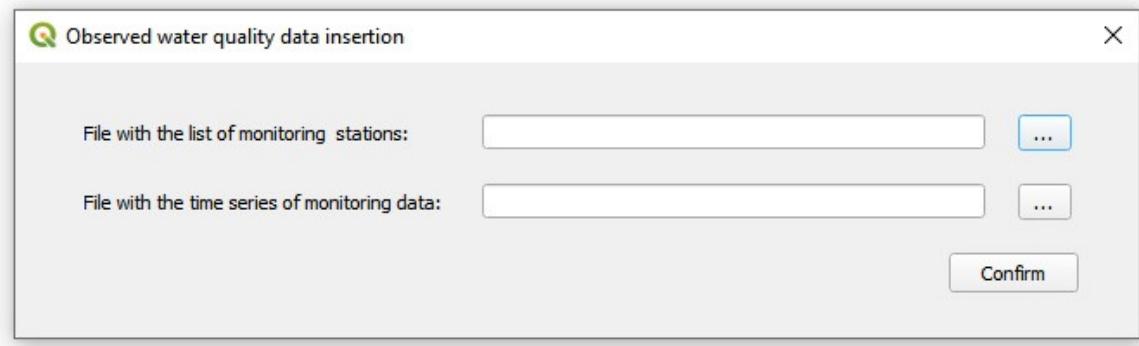


Figura 23. Janela de inserção dos dados de monitoramento da qualidade da água.

### 3.6.2. Definição do arquivo de parâmetros

Os parâmetros do modelo de qualidade correspondem ao conjunto de variáveis que descrevem os processos de transformação dos constituintes ao longo dos trechos de rio, como coeficientes de decaimento, de transformação em novos elementos, velocidade do rio e de velocidades de sedimentação, além da definição de variáveis como a profundidade e largura do

trecho de rio, que são importantes para a definição de alguns desses parâmetros e para o processo de simulação em geral.

Clicando em “Model Parameters”, será exibida a janela apresentada na Figura 24. Nesta janela será criado um arquivo .csv onde serão armazenados os parâmetros do modelo. Também é possível abrir um arquivo já criado anteriormente, caso o objetivo seja fazer alguma alteração, como a calibração de algum parâmetro. No quadro “Quality Parameters File Status”, mantenha a opção “Save new Quality Parameters File” ou selecione “Open existing file”, caso se queira abrir algum arquivo existente.

Abaixo deste quadro, são solicitadas as condições iniciais do modelo, como as concentrações nos pontos de cabeceira e oxigênio dissolvido de saturação. Como default, são sugeridos alguns valores, sendo possível também alterá-los neste campo. Logo abaixo, são solicitados os parâmetros de calibração por subbacia. O modelo permite a aplicação de diferentes conjuntos de parâmetros por sub-regiões, tal qual ocorre na calibração dos parâmetros do MGB-IPH. No entanto, nesta versão ainda não há nenhum recurso automático para a atribuição das subbacias, podendo ser feito manualmente através da manipulação do arquivo de rede de drenagem, alterando o código da coluna “SubWat”. Também são apresentados alguns valores por default, de acordo com a faixa de valores apresenta por Von Sperling (2007). Mais abaixo, é possível atribuir percentuais de redução de carga, tanto pontuais como difusas, a fim de possibilitar um melhor ajuste em relação aos dados observados.

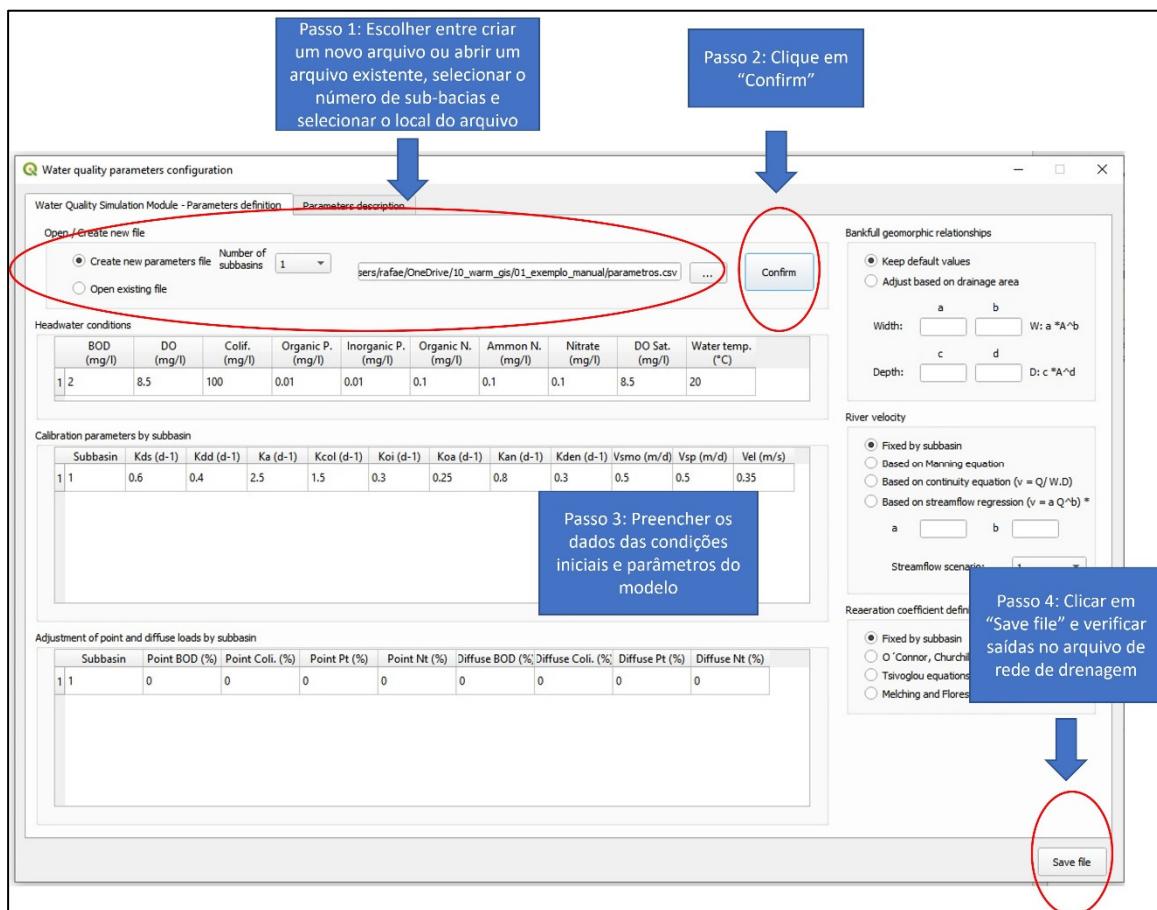


Figura 24. Janela de criação do arquivo de parâmetros de calibração do modelo de qualidade.

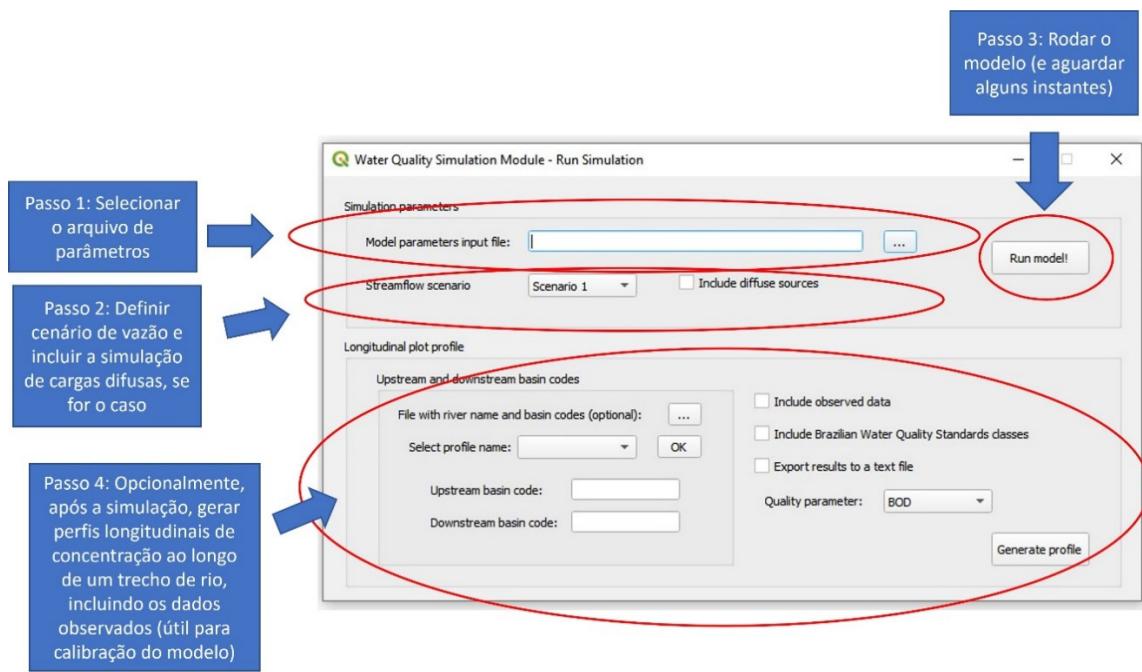
Seguindo a descrição da janela de parâmetros, no canto superior direito do painel encontra-se a opção “Channel width e channel depth”. Caso tenha sido utilizado o IPH Hydro Tools, esses dados são extraídos do arquivo MINI.GTP, uma vez que o arquivo apresenta estimativas das características geométricas para cada trecho. Também é possível ajustar uma equação em função da área de drenagem, selecionando a segunda opção e inserindo os coeficientes das equações. O dado de profundidade tem maior importância devido ao fato que de alguns componentes de qualidade envolvem a sedimentação no fundo do canal, sendo utilizado em conjunto com os valores de velocidade de sedimentação na modelagem.

Na sequência, abaixo deste painel, existe a configuração do cálculo da velocidade dos trechos de rio, variável bastante importante no cálculo do transporte dos parâmetros de qualidade. Existem quatro opções disponíveis, a primeira, fixando um valor por subbacia (neste caso, o valor fornecido no quadro ao lado é mantido), calculado a partir da equação de Manning, considerando a equação da velocidade em função da vazão e da área do canal, ou então a partir de uma equação de regressão em função da vazão. A equação de Manning tende a representar melhor a velocidade, uma vez que permite considerar a declividade dos trechos de rio, no entanto para sua aplicação é necessário que a profundidade e a largura estejam bem ajustados para a área de aplicação do modelo. Uma sugestão é a utilização dos arquivos de resumo de descarga, obtidos no download de dados de estações fluviométricas no portal Hidroweb da ANA. Nestes arquivos existem registros observados de dados de vazões, profundidade e largura, além dos dados de velocidade que podem ser utilizados para fins de validação.

Por fim, também é possível gerar estimativas do coeficiente de reaeração por trecho ( $K_a$ ) através da utilização de equações que relacionam esta variável com a profundidade e a largura, ao invés de utilizar valores fixos por subbacia.

### 3.6.3. Execução do modelo

Uma vez tendo gerado o arquivo de parâmetros (e opcionalmente o arquivo de dados observados), é possível executar o módulo de qualidade da água. Clicando em “Run Simulation”, será exibida a tela apresentada na Figura 25, onde na parte superior deve ser inserido o arquivo de parâmetros, deve ser definido o cenário de vazão a ser simulado e também, no caso de serem inseridos os valores de carga difusa, deve ser selecionada a opção para serem inseridos estes valores.

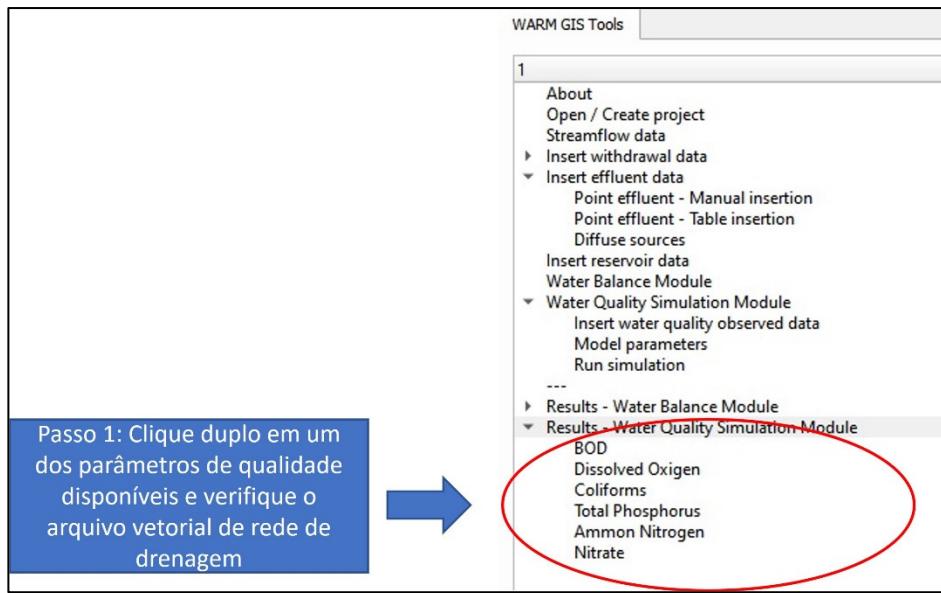


**Figura 25.** Janela de simulação do módulo de qualidade da água e de geração dos perfis longitudinais de concentração.

### 3.6.4. Visualização dos resultados

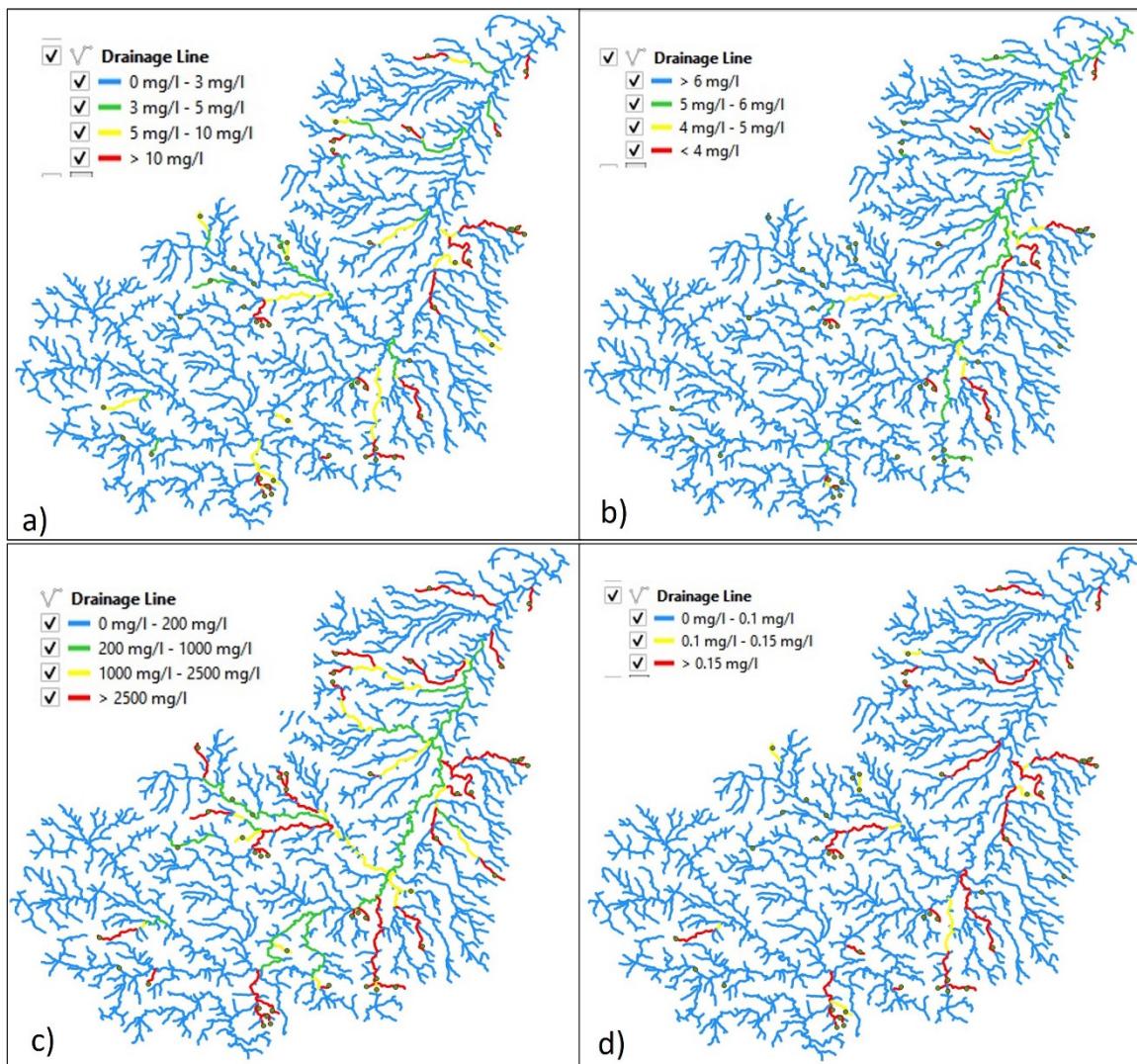
- **Visualização no mapa**

Em relação à visualização dos resultados, é possível visualizar diretamente na tela de trabalho do SIG, através da alteração da simbologia do arquivo da rede de drenagem e criação de classes de visualização. No caso da qualidade da água, é adotado o esquema de classes de enquadramento definido pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA. Na opção “Results – Water Quality Simulation Module”, e selecionando um dos 6 parâmetros disponíveis, o esquema de visualização da base da rede de drenagem é alterado para as classes conforme definido pela resolução. A Figura 26 indica a ferramenta de visualização dos resultados de qualidade da água a partir da alteração da simbologia da rede de drenagem.



**Figura 26. Ferramenta de visualização dos resultados de qualidade da água na rede de drenagem.**

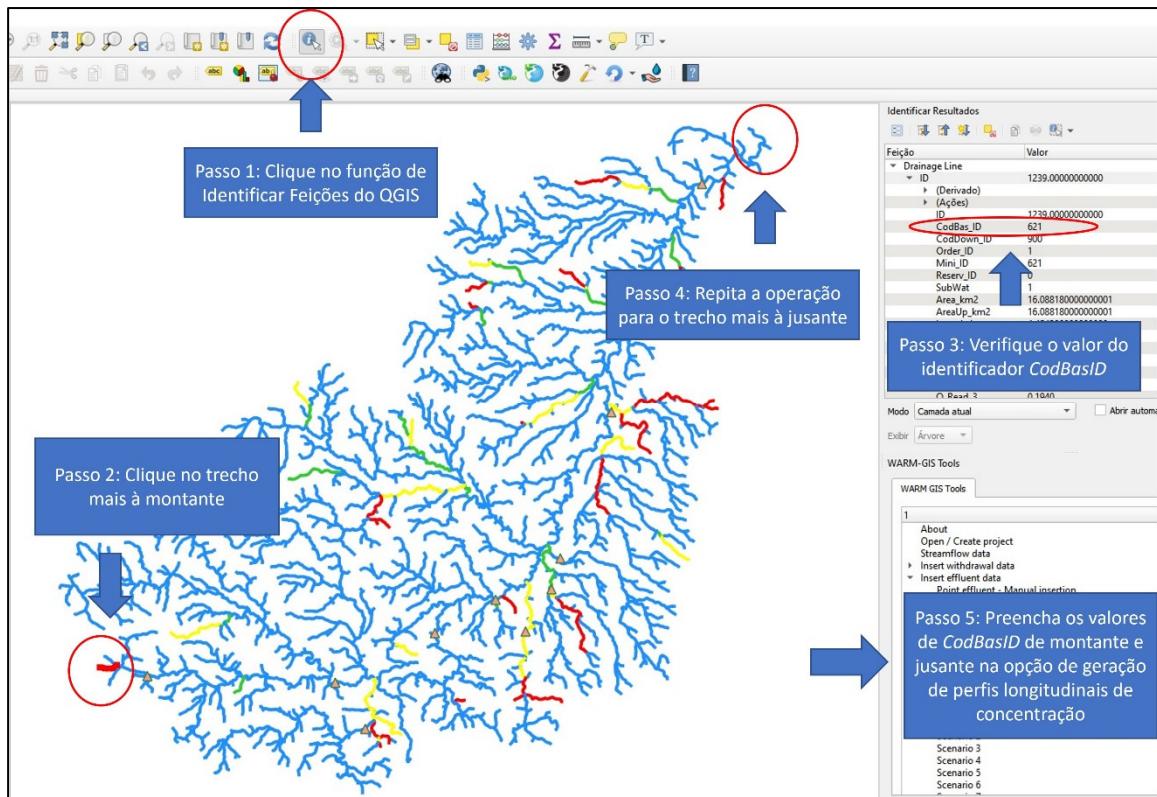
A Figura 27 apresenta um exemplo de utilização da ferramenta, onde é possível verificar os resultados do modelo a partir da seleção de um determinado parâmetro. A partir do duplo clique em um dos parâmetros, a simbologia do arquivo de rede de drenagem se alterará automaticamente, utilizando o campo correspondente ao parâmetro definido.



**Figura 27. Resultados da simulação da qualidade da água por trecho de rio de acordo com a Resolução n° 357/2005 do CONAMA e os seguintes parâmetros: a) DBO, b) OD, c) coliformes e d) fósforo total.**

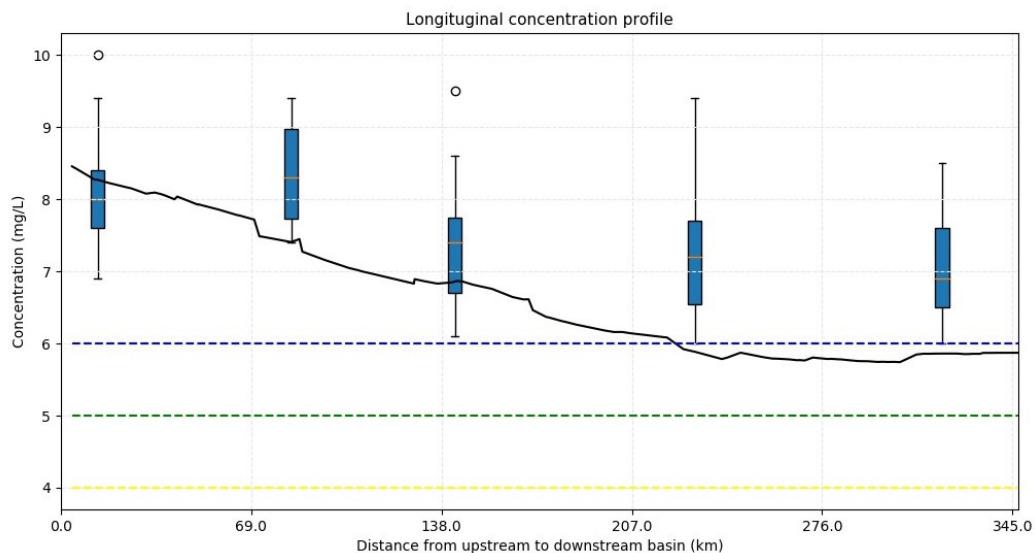
- **Geração de perfis longitudinais de concentração**

A geração de gráficos representando perfis longitudinais de concentração e verificação dos dados observados entre um ponto qualquer de montante e um ponto qualquer jusante é configurada na própria janela de simulação, sendo necessário informar os respectivos códigos de montante e jusante. A Figura 28 apresenta o passo a passo para definição dos códigos de montante e jusante, a serem inseridos posteriormente na opção mais abaixo na janela indicada na Figura 25.

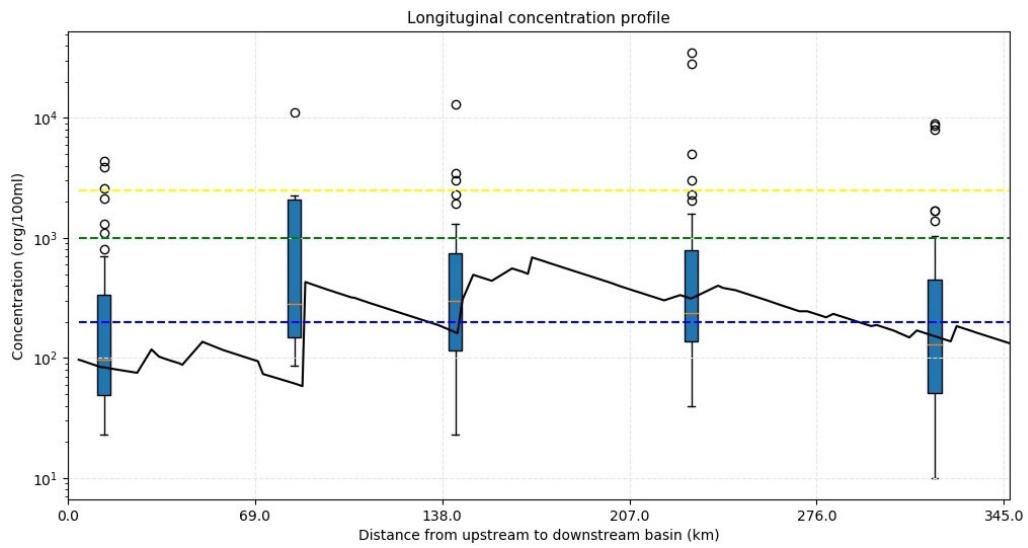


**Figura 28.** Seleção do trecho de montante e de jusante para geração do perfil longitudinal de concentrações.

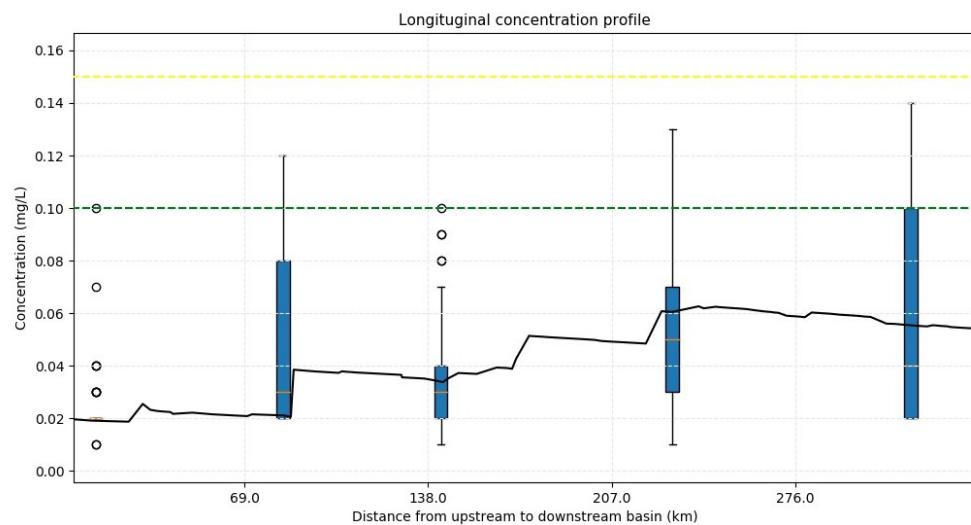
As opções de geração de gráficos incluem ainda a opção de inserir os dados observados, a inclusão dos limites das classes de enquadramento conforme a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, além da opção de exportar os valores da simulação para um arquivo de texto. A seguir, Figura 29, Figura 30 e Figura 31 apresentam os perfis de concentração para os parâmetros de oxigênio dissolvido, coliformes e fósforo total, respectivamente. Observa-se que os dados observados são inseridos na forma de gráficos box-plot, nas posições correspondentes à localização das estações nos trechos.



**Figura 29 – Perfil longitudinal de concentração do parâmetro Oxigênio Dissolvido.**



**Figura 30. Perfil longitudinal de concentração do parâmetro coliformes.**



**Figura 31. Perfil longitudinal de concentração do parâmetro fósforo total.**

#### 4. Referências

COLLISCHONN, W. Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. 2001. 194f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 194 p.

KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, W. Integrando Sistema de Suporte à Decisão para Gerenciamento de Recursos Hídricos a um SIG de Código Aberto. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. Anais do XX SBSR. Porto Alegre: ABRH, 2013.

KNAPIK, H. G.; FRANÇA, M. S.; MASINI, L. S.; *et al.* Análise crítica da calibração do modelo de qualidade de água QUAL2E – estudo de caso da bacia do Alto Iguaçu. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 5, n. 2, p. 25–37, 2008.

MAIDMENT D. R. Arc Hydro: GIS for Water Resources. Redlands, USA: ESRI Press. 2002

SIQUEIRA, V. A.; FLEISCHMANN, A. S.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology aquisition in open-source environment. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, p. 274-287, 2016.

RIO DE JANEIRO. Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé/Ostras. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, 2014.

SPERLING, M. V. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. UFMG. 2007.