

3 CONFIGURANDO UM PROJETO NO EPANET

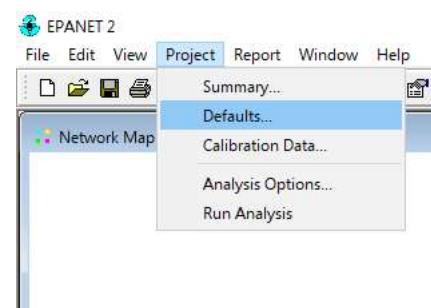
Cada exercício ou trabalho feito no EPANET é denominado de **projeto**.

Antes de iniciar cada projeto é necessário configurar o EPANET para que ele possa realizar os cálculos adequadamente.

Assim, **TODA VEZ** que iniciar o EPANET, faz-se necessário aplicar este ritual.

3.1 Alterando as propriedades Default

Na barra de Menu, selecione **Project>>> Defaults...**



Surgirá na tela, uma Tabela com valores Padrão (**Default**) usado pelo EPANET e que podem, e muitas vezes devem, ser alterados pelo usuário.

Essa Tabela **Default** possui três abas: **ID Labels**, **Properties** e **Hydraulics**. A

Figura 62 ilustra parte das três abas citadas:

Figura 62: Tabela Default e as abas **ID Labels**, **Properties** e **Hydraulics**.

| Defaults | | Defaults | | Defaults | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|--|------------|--|-------|--|-------|--|-------|--|--------|--|----------|--|--------|--|--|--|----------|---------------|----------------|---|---------------|----|-------------|----|-------------|------|-------------|-----|---------------|----|----------------|-----|--|--|--------|---------------|------------|-----|------------------|-----|------------------|---|--------------------|---|----------------|----|----------|-------|---------------|----------|-----------------|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ID Labels Properties Hydraulics | | ID Labels Properties Hydraulics | | ID Labels Properties Hydraulics | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Object</th> <th>ID Prefix</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Junctions</td><td></td></tr> <tr><td>Reservoirs</td><td></td></tr> <tr><td>Tanks</td><td></td></tr> <tr><td>Pipes</td><td></td></tr> <tr><td>Pumps</td><td></td></tr> <tr><td>Valves</td><td></td></tr> <tr><td>Patterns</td><td></td></tr> <tr><td>Curves</td><td></td></tr> </tbody> </table> <input type="checkbox"/> Save as defaults for all new projects | | Object | ID Prefix | Junctions | | Reservoirs | | Tanks | | Pipes | | Pumps | | Valves | | Patterns | | Curves | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Default Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Node Elevation</td><td>0</td></tr> <tr><td>Tank Diameter</td><td>50</td></tr> <tr><td>Tank Height</td><td>20</td></tr> <tr><td>Pipe Length</td><td>1000</td></tr> <tr><td>Auto Length</td><td>Off</td></tr> <tr><td>Pipe Diameter</td><td>12</td></tr> <tr><td>Pipe Roughness</td><td>100</td></tr> </tbody> </table> <input type="checkbox"/> Save as defaults for all new projects | | Property | Default Value | Node Elevation | 0 | Tank Diameter | 50 | Tank Height | 20 | Pipe Length | 1000 | Auto Length | Off | Pipe Diameter | 12 | Pipe Roughness | 100 | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Option</th> <th>Default Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Flow Units</td><td>GPM</td></tr> <tr><td>Headloss Formula</td><td>H-W</td></tr> <tr><td>Specific Gravity</td><td>1</td></tr> <tr><td>Relative Viscosity</td><td>1</td></tr> <tr><td>Maximum Trials</td><td>40</td></tr> <tr><td>Accuracy</td><td>0.001</td></tr> <tr><td>If Unbalanced</td><td>Continue</td></tr> <tr><td>Default Pattern</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <input type="checkbox"/> Save as defaults for all new projects | | Option | Default Value | Flow Units | GPM | Headloss Formula | H-W | Specific Gravity | 1 | Relative Viscosity | 1 | Maximum Trials | 40 | Accuracy | 0.001 | If Unbalanced | Continue | Default Pattern | 1 |
| Object | ID Prefix | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Junctions | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reservoirs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tanks | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pipes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pumps | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Valves | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Patterns | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Curves | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Property | Default Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Node Elevation | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tank Diameter | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tank Height | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pipe Length | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Auto Length | Off | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pipe Diameter | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pipe Roughness | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Option | Default Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Flow Units | GPM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Headloss Formula | H-W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Specific Gravity | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relative Viscosity | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maximum Trials | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Accuracy | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| If Unbalanced | Continue | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Default Pattern | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="button"/> OK | | <input type="button"/> Cancel | | <input type="button"/> Help | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: O autor

Vale mencionar que os valores tidos como **Default** são empregados automaticamente pelo EPANET quando são inseridos em um projeto, podendo, no entanto, ser alterados posteriormente.

No caso das propriedades apresentadas em **Properties** pode ser vantajoso fazer a alteração do **Default**. Ainda que possam ser alterados posteriormente, pode-se economizar tempo. Imagine uma rede de distribuição de água com 50 trechos com diâmetro 50mm. Já imaginou ter que alterar manualmente cada um dos trechos?

- A aba **ID Labels**, permite que o usuário insira prefixos de identificação para os Nós (**Junctions**), Reservatórios (**Reservoirs**), Tanques (**Tanks**), Tubulações (**Pipes**), Bombas (**pumps**), Padrões (**patterns**), Curvas características (**Curves**), ou mesmo a taxa de variação da numeração de cada item identificado (**ID Increment**), que como padrão é 1.

Nas abas **Properties** e **Hydraulics** é que, normalmente, são necessárias alterações para adequação a utilização rotineira.

- Na aba **Properties**, o usuário pode alterar algumas das propriedades de alguns objetos, considerados, como: Cota de elevação dos nós (**Node Elevation**), diâmetro do tanque (**Tank Diameter**), altura do tanque (**Tank Height**), comprimento da tubulação (**pipe lenght**), diâmetro da tubulação (**pipe diameter**) e rugosidade da tubulação (**pipe roughness**).

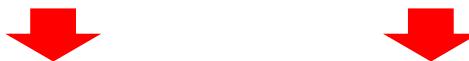
No entanto, embora na aba não sejam informadas as unidades dos parâmetros, elas estão associadas a alguns dos parâmetros hidráulicos indicados na aba **Hydraulics**. As unidades empregadas nos parâmetros ficam estabelecidas em função da escolha da unidade de vazão a ser empregada, como será apresentado adiante.

- A aba **Hydraulics** permite que usuário altere a unidade de vazão (**Flow Units**); fórmula da perda de carga (**Headloss Formula**); peso específico (**Especific Gravity**); viscosidade relativa (**Viscosity Relative**); fator multiplicativo do padrão de consumo (**Default Pattern**); fator multiplicativo da demanda (**Demand Multiplier**); expoente do emissor (**Emitter Exponent**) e alguns outros parâmetros referentes ao processo numérico e que não serão aqui abordados.

A **Tabela 8** apresenta as unidades de vazão utilizadas pelo EPANET e, consequentemente, as unidades dos demais parâmetros empregados nos cálculos.

Tabela 8: Unidades de medida empregada pelo EPANET a partir da unidade de vazão adotada.

| PARÂMETRO | Unidade usual Americana disponibilizada no EPANET | Unidades do Sistema métrico SI disponibilizado pelo EPANET |
|------------------|--|--|
| Vazão | CFS (pés cubic./s) GPM (galões/min) MGD (milhões de galões/dia) IMGD (Imperial MGD) AFD (acre-pés/dia) | LPS (litros/s) LPM (litros / min.) MLD (megalitros / dia) CMH (metros cúbicos/ hora) CMD (metros cúbicos/ dia) |

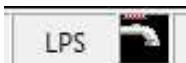


| | | |
|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Diâmetro (tubulação) | polegadas | milímetros |
| Diâmetro (tanks) | pés | metros |
| Eficiência | % | % |
| Elevação | pés | metros |
| Coeficiente de emissão | Unidade de vazão / psi ^{0,5} | Unidade de vazão/m ^{0,5} |
| Carga Hidráulica | Pés | Metros |
| Comprimento | Pés | Metros |
| Pressão | Libras/polegada ² | Metros de coluna d'água |
| Velocidade | Pés/s | Metros/s |

Fonte: Adaptado de ROSSMAN (2000).

Dessa maneira, por exemplo, ao selecionar a vazão em **LPS** (litros por segundo) no EPANET, fica implícito que o diâmetro da tubulação deverá ser fornecido em metros.

Ao selecionar a unidade de vazão a ser utilizada, e consequentemente as demais unidades dos outros parâmetros, fica aparente no lado inferior esquerdo da tela do EPANET.



Com relação ao cálculo da perda de carga, o EPANET poderá empregar as fórmulas de Hazen-Willians (**H-W**), Darcy-Weisbach (**D-W**) e Chezzy com coeficiente de Manning (**C-M**).

Assim, no sistema internacional de medidas (SI), o coeficiente de perda de carga da tubulação (**Pipe Roughness**), pode ter as unidades em função da equação de perda de carga escolhida, conforme apresentado na **Tabela 9**:

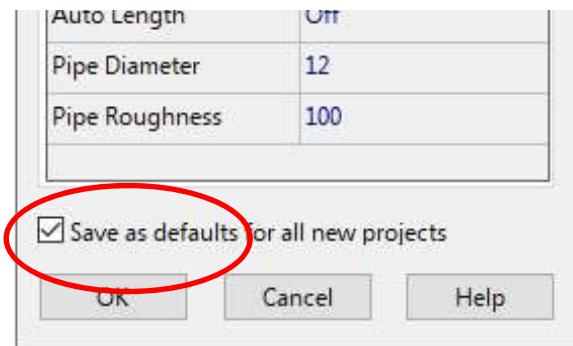
Tabela 9: Unidade de medida no SI para o parâmetro Rugosidade da Tubulação (**Pipe Roughness**) utilizado no EPANET.

| Equação de Perda de Carga empregada pelo EPANET | | Símbolo | Unidade no SI |
|--|------------|----------------|----------------------------|
| Hazen-Willians | H-W | <i>C</i> | $m^{0,68} \cdot s^{-1,85}$ |
| Darcy-Weisbach | D-W | ε | mm |
| Chézzy-Manning | C-M | <i>n</i> | $m^{1/3} \cdot s^{-1}$ |

Fonte: Adaptado de ROSSMAN (2000)

Após adotar os valores padrão (**Defaults**) é possível salvá-los para usar em futuros projetos, selecionando a opção **Save...**, na parte inferior de cada uma das abas, conforme apresentado na **Figura 63**:

Figura 63: Armazenando os padrões (**Default**) para futuros projetos.



Fonte: o autor

3.1.1 Diâmetro Comercial e Diâmetro Interno

O Diâmetro Nominal (DN) representa, aproximadamente, o diâmetro interno das tubulações. Trata-se de um número inteiro, em geral, múltiplo de 10, empregado para facilitar a identificação da tubulação.

Alguns materiais são especificados por seu diâmetro externo (DE), como o caso dos tubos em PEAD, já para outros materiais são especificados pelo diâmetro nominal (DN), como o ferro fundido e o PVC.

No entanto, nos cálculos hidráulicos, deve-se sempre utilizar o diâmetro interno das tubulações. Deve-se tomar cuidado ao selecionar o diâmetro, pois no cálculo da perda de carga é a variável mais sensível, já que seu valor é elevado a, aproximadamente 5 ou 6!

Os diâmetros internos das tubulações podem variar segundo sua classe de pressão. Portanto, sempre que for dimensionar uma tubulação, consulte o manual do fabricante.

A **Tabela 10**, **Tabela 11** e **Tabela 12** apresentam os diâmetros Nominais (DN), os diâmetros Internos (DI) e as classes de pressão de algumas tubulações.

Tabela 10: Dimensões características dos diâmetros das tubulações de PVC PBA.


| Classe de Pressão | Dimensões Características dos Diâmetros (mm) | | |
|-------------------|--|-------------|--------------|
| | DN | De | Di |
| 12 (0,6MPa) | 50 | (60) 60,4 | 55,0 |
| | 75 | (85) 85,6 | 77,8 |
| | 100 | (110) 110,6 | 100,6 |
| 15 (0,75MPa) | 50 | (60) 60,4 | 53,8 |
| | 75 | (85) 85,6 | 76,2 |
| | 100 | (110) 110,6 | 98,4 |
| 20 (1,0 MPa) | 50 | (60) 60,4 | 51,8 |
| | 75 | (85) 85,6 | 73,4 |
| | 100 | (110) 110,6 | 95,0 |

Fonte: Adaptado de TIGRE (s.d.) (DN – Diâmetro Nominal, De – Diâmetro Externo, Di – Diâmetro Interno).

Tabela 11: Dimensões características dos diâmetros das tubulações de PVC DEFoFo.


| Classe de Pressão | Dimensões Características dos Diâmetros (mm) | | |
|-------------------|--|-----|------------|
| | DN | De | Di |
| 20 (1,0 MPa) | 100 | 118 | 103 |
| | 150 | 170 | 149 |
| | 200 | 222 | 194 |
| | 250 | 274 | 240 |
| | 300 | 326 | 285 |
| | 350 | 378 | 331 |

Fonte: adaptado de TIGRE (s.d.). (DN – Diâmetro Nominal, De – Diâmetro Externo, Di – Diâmetro Interno).

Tabela 12: Dimensões características dos diâmetros das tubulações de FoFo junta elástica (J2GS).



| Classe de Pressão | Dimensões Características dos Diâmetros (mm) | | |
|-------------------|--|-----|------------|
| | DN | De | Di |
| K7 (6,4 MPa) | 80 | 98 | 88 |
| | 100 | 118 | 108 |
| | 150 | 170 | 160 |
| K7 (5,3 MPa) | 200 | 222 | 211 |
| K7 (4,4 MPa) | 250 | 274 | 263 |
| K7 (3,8 MPa) | 300 | 326 | 314 |
| K7 (3,4 MPa) | 350 | 378 | 366 |
| K7 (3,0 MPa) | 400 | 429 | 416 |
| K7 (2,9 MPa) | 450 | 480 | 467 |
| K7 (2,8 MPa) | 500 | 532 | 518 |

Fonte: adaptado de Saint-Gobain (2015). (DN – Diâmetro Nominal, De – Diâmetro Externo, Di – Diâmetro Interno).

3.1.2 Coeficientes de Perda de Carga Distribuída (*Pipe Roughness*)

O coeficiente de perda de carga distribuída deve ser compatível com a equação de perda de carga considerada.

A **Tabela 13** apresenta alguns coeficientes de perda de carga distribuída (*Pipe Roughness*) para tubos novos:

Tabela 13: Coeficientes de perda de carga distribuída (*Pipe Roughness*) para tubos novos.

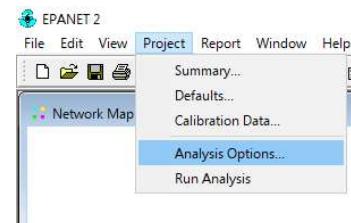
| Material | Hazen-Willians ($m^{0,68} \cdot s^{-1,85}$) | Darcy-Weisbach (adimensional) | Chézzy-Manning ($m^{1/3} \cdot s^{-1}$) |
|-------------------|--|----------------------------------|--|
| Ferro Fundido | 130-140 | 0,85 | 0,012-0,015 |
| Ferro galvanizado | 120 | 0,5 | 0,015-0,017 |
| Plástico | 140-150 | 0,005 | 0,011-0,015 |

Fonte: Adaptado de ROSSMAN (2000).

3.2 Verificando as opções adotadas no projeto (Analysis Options...)

A qualquer momento, é possível verificar, de maneira conjunta, todas as opções consideradas para o cálculo do projeto.

Na barra de Menu, selecione **Project>>> Analysis Options...**



Após a seleção de **Analysis Options** é apresentado um quadro com as opções hidráulicas consideradas no projeto, semelhante ao da **Figura 64**.

Figura 64: Opções hidráulicas (**Hydraulics Options**) consideradas no projeto.

| Hydraulics Options | |
|--------------------|----------|
| Property | Value |
| Flow Units | LPS |
| Headloss Formula | H-W |
| Specific Gravity | 1 |
| Relative Viscosity | 1 |
| Maximum Trials | 40 |
| Accuracy | 0.001 |
| If Unbalanced | Continue |
| Default Pattern | 1 |
| Demand Multiplier | 1.0 |
| Emitter Exponent | 0.5 |
| Status Report | No |
| CHECKFREQ | 2 |

Fonte: O autor

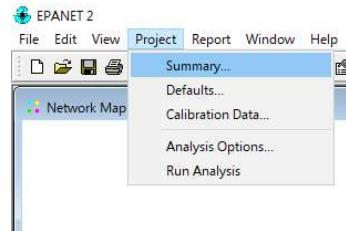
Nesse quadro, é possível fazer alterações de qualquer um dos parâmetros hidráulicos adotados no projeto, de maneira semelhante ao apresentado anteriormente em **Project>>>Defaults...>>> aba Hydraulics**.

3.3 Preenchendo o Sumário do Projeto

Após a configuração das propriedades **Default** do projeto, resta preencher as informações acerca do projeto, completando o **Summary...**

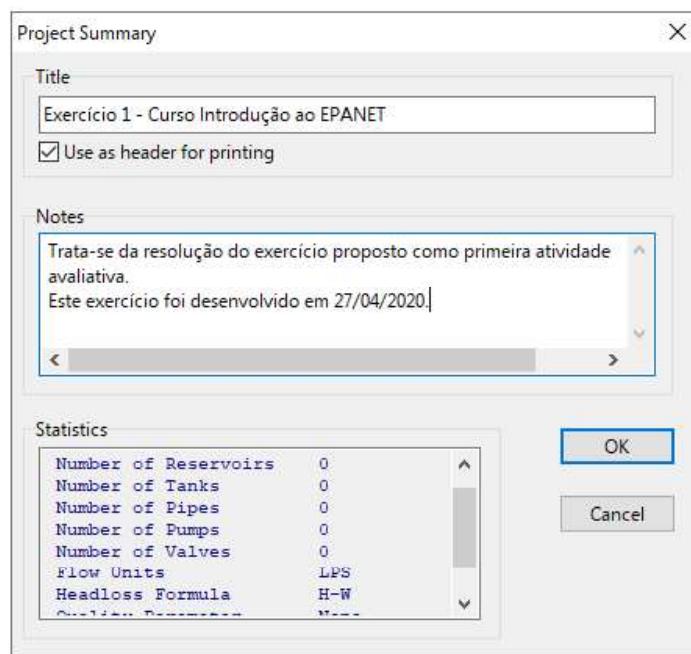
O cumprimento ou não desta etapa em nada afeta o desempenho dos cálculos a serem realizados, porém, permite que sejam armazenados detalhes e características específicas do projeto.

Na barra de Menu, selecione **Project>>> Summary...**



Surgirá um quadro semelhante ao apresentado na **Figura 65**.

Figura 65: Preenchendo o Sumário (**Summary**) do projeto.



Fonte: O autor

Nesse quadro, é possível dar um título ao projeto (não é o nome do arquivo!), bem como alguma descrição a seu respeito. Na parte inferior são apresentadas algumas informações do projeto, como número de nós (**junctions**), tubulações (**links**), bombas (**pumps**) e válvulas (**valves**), assim como características como unidade de vazão (**flow units**), equação da perda de carga (**headloss formula**) entre outras que foram estabelecidas nas condições **Default**.

Terminado o preenchimento do **Summary**, deve-se concordar selecionando .

Ressaltamos que as informações contidas no **Summary** são únicas para cada projeto, diferentemente das condições **Default** que podem ser salvas para utilização futura.

3.4 Alterando as Opções do Map (MapOptions)

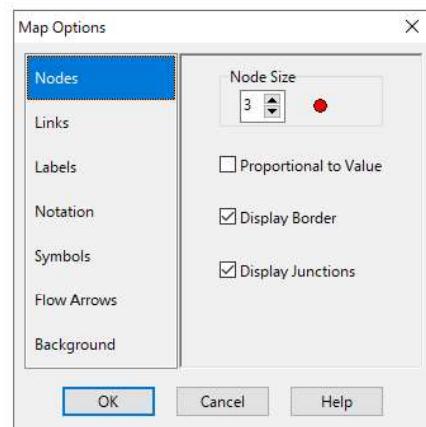
O EPANET permite que o usuário faça algumas alterações na forma de apresentação em tela dos projetos.

Pelo ícone  , ou na barra de Menu, selecione **View>> Options...** Será apresentado um quadro semelhante ao da **Figura 66**.

Nesse quadro é possível alterar algumas configurações usadas pelo EPANET para:

- Nós (**Nodes**);
- Tubulações (**Links**);
- Identificação visual (**Notation**);
- Ícones de alguns componentes físicos (**Symbols**);
- Sentido do fluxo (**Flow Arrows**);
- Fundo da tela (**Background**).

Figura 66: Alterando as Opções do **Map**.



Fonte: O autor

Na opção “Nós” (**Nodes**) é possível alterar o tamanho da apresentação na tela; permitir que o tamanho de visualização do nó seja proporcional ao valor da propriedade estabelecida no Visualizador/Navegador (elevação, pressão, altura manométrica...); ou apresentar o nó na tela.

Na opção “Tubulações” (**Links**) as opções são basicamente as mesmas que as dos Nós, exceto pela opção de desenhar ou não as tubulações.

A opção de ter apresentado o tamanho do Nó ou a espessura da tubulação (**Proportional to Value**) somente se verifica se no Visualizador/Navegador do EPANET a opção **view**, do nó e/ou do trecho, estiverem selecionadas e com alguma característica selecionada.

Em **Notation**, é possível selecionar opções para apresentar a identificação dos nós (**nodes**) e tubulações (**Links**), assim como seus valores característicos: pressão para os nós e vazão para as tubulações. Deve-se prestar atenção aos valores apresentados em Tela, já que podem estar próximos entre si e por não apresentarem unidades de medidas. Aí é muito fácil confundir-se! Apenas no caso de o **cursor** do EPANET ser posicionado sobre o nó ou o trecho é que são apresentados os valores com suas respectivas unidades.

Em **Symbols**, o usuário tem a opção de permitir a apresentação em tela (é o padrão!) ou não a identificação dos reservatórios, válvulas e bombas.

Em **Sentido do Fluxo** (**Flow Arrows**), é possível optar pelo EPANET indicar o sentido do fluxo em uma tubulação após a realização dos cálculos hidráulicos. O padrão adotado pelo EPANET é não apresentar o sentido.

Na opção “Fundo da tela” (**Background**), é possível que o usuário troque a cor de fundo da tela do EPANET.

3.5 Alterando as Legendas dos Mapas (Maps Legends)

Antes de alterar as legendas, é necessário entender que elas somente são apresentadas quando, no Visualizador/Navegador do EPANET é selecionada a visualização do Nó e/ou da tubulação, assim como definido os parâmetros que serão apresentados na legenda: para os nós - cota de elevação; pressão; cota piezométrica...; para os trechos – vazão, velocidade, perda de carga unitária, etc...

Dessa maneira, é possível criar uma legenda para a componente **Nó (Node)** e para a componente **tubulação (Link)**. O “problema” é que a legenda criada, com os intervalos de pressão estabelecidos, por exemplo, para pressão, será a mesma utilizada para representar as cotas piezométricas.

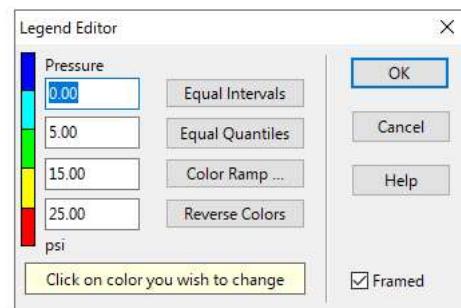
Assim o usuário deverá ficar atento e, sempre que necessário, adequar os intervalos estabelecidos na legenda para os valores característicos do parâmetro adotado.

Na barra de Menu, selecione **View>> Legends**
Escolha a legenda a ser alterada: **Nó (Node)** ou **tubulação (Link)**.

Será apresentado o Editor de legenda, semelhante ao da **Figura 67**.

Nesse editor é possível definir as cores e os intervalos da legenda.

Figura 67: Editor da Legenda.



Fonte: O autor

4 MEU PRIMEIRO PROJETO NO EPANET

O conteúdo apresentado até aqui, aborda alguns aspectos básicos que o usuário do EPANET deverá possuir para o desenvolvimento de um projeto.

Neste capítulo, serão apresentados alguns exercícios de hidráulica para treinar as habilidades do leitor na construção de um modelo.

Parte dos exercícios aqui apresentados é baseada na obra Hidráulica Básica, do Prof. Rodrigo de Melo Porto (Porto, 1998).

Vamos a eles!

4.1 Testando Meus Conhecimentos

Para todo projeto construído no EPANET é necessário seguir o ritual apresentado no *Capítulo 3*:

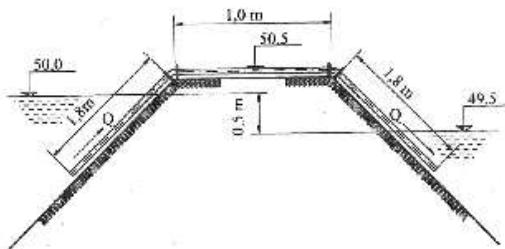
1. Verifique as opções adotadas no projeto (**Sessão 3.2**). Aqui vamos trabalhar com a vazão em litros/segundo. Os demais parâmetros serão apresentados em cada exercício.
2. Preencha o sumário do projeto (**Sessão 3.3**). Preencha o título do exercício e nos comentários coloque seu nome e demais informações que julgar importante.
3. Insira as componentes físicas (nós, trechos, reservatórios, bombas e válvulas) conforme o esquema proposto para cada exercício. Se for necessário, reveja a sessão **2.2.1**.
4. Complete e verifique as propriedades de cada componente não físico (cotas de elevação, cota piezométrica, tipo de válvula, comprimentos e diâmetros dos trechos, etc). Se for necessário, reveja a sessão **3.1**.
5. Verifique se há necessidade de relacionar algum componente físico a algum componente não físico (curvas, padrões, etc.). Se necessário, reveja a sessão **2.2.2**.
6. Insira a opção para o EPANET mostrar o sentido do escoamento (Sessão **3.4**).
7. Execute o modelo gerado empregando o comando **Run** (Sessão **2.4.1**).
8. Analise os resultados calculados pelo EPANET.
9. Salve o modelo gerado em um arquivo .NET (sessão **2.5**).

4.1.1 EXERCÍCIO 1: Trabalhando com perdas de carga localizada-Sifão¹

Em um distrito de irrigação, um sifão de 2" de diâmetro possui as dimensões indicadas na Figura 68 e é colocado sobre um dique. Estime a vazão esperada sob uma carga hidráulica de 0,50m e a carga de pressão disponível no ponto médio do trecho horizontal do sifão. Adote os seguintes coeficientes de perda de carga localizada: entrada $K_e=0,5$, saída $K_s=1,0$, curva de 45° $K=0,2$. Material da tubulação ferro fundido com revestimento asfáltico. Utilize a equação de Darcy-Weisbach.

$$\left[Q \cong 2,9 \frac{l}{s}; p/\gamma = -0,83mH_2 O \right]$$

Figura 68: Sifão.



Fonte: PORTO (1998)

- **Explicações/considerações:**

- Para tubulação de Ferro Fundido 2" - $\phi_i \cong 50mm$.
- Para tubo de Ferro Fundido com revestimento asfáltico² – Rugosidade $\epsilon = 0,15mm$
→ $f = 0,0281$.

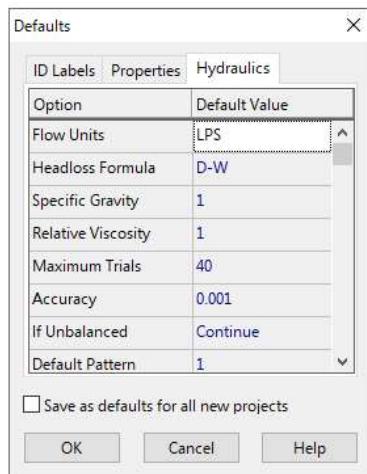
- **Construção do modelo no EPANET:**

- No menu de comandos vá em **Project >> Defaults >>** aba **Hydraulic** e altere o cálculo da perda de carga para Darcy-Weisbach (D-W), observando que a vazão será aplicada na unidade de litros/segundo (LPS), conforme apresentado na **Figura 69**.

¹ PORTO, R.M. **Hidráulica Básica**. EESC/USP. 1ª Ed, Exercício 3.1. Pág. 88.

² No exercício de hidráulica, um dos objetivos é treinar a habilidade para determinar, por tentativa e erro, o fator de rugosidade. Na aplicação do modelo computacional basta fornecer o fator f .

Figura 69: Alterando as opções de Unidade de Fluxo (**Flow Units**) e fórmula da perda de carga (**Headloss Formula**) para o Exercício 1.

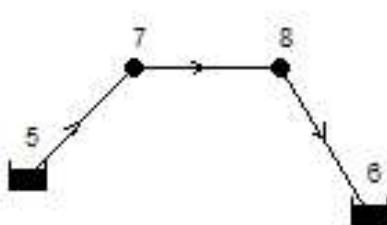


Fonte: O autor

- Usando as componentes físicas do EPANET, desenhe o esquema conforme a **Figura 68.** A

Figura 70 ilustra o esquema do modelo:

Figura 70: Esquema do sifão no EPANET.



Para o EPANET os reservatórios de nível constante – **RNC** possuem as identificações ID=5 e ID=6.

De maneira semelhante, os nós superiores possuem a identificação ID=7 e ID=8.

Fonte: O autor

- Clicando duas vezes sobre os RNC (Reservoir), anote as cotas piezométricas (**Total Head**) com os valores 50.0 e 49.5.
- Clique duas vezes sobre os nós superiores, neste caso com ID=7 e ID=8, e insira as cotas de elevação (**Elevation**) para cada um deles, cujos valores são iguais a 50.5, conforme indicado na

Figura 71.

Figura 71: Correção das cotas piezométricas dos RNC.

| Reservoir 5 | |
|-----------------|-------|
| Property | Value |
| Tag | |
| *Total Head | 50 |
| Head Pattern | |
| Initial Quality | |
| Source Quality | |
| Net Inflow | #N/A |
| Elevation | #N/A |
| Pressure | #N/A |
| Quality | #N/A |

| Reservoir 6 | |
|-----------------|-------|
| Property | Value |
| Tag | |
| *Total Head | 49.5 |
| Head Pattern | |
| Initial Quality | |
| Source Quality | |
| Net Inflow | #N/A |
| Elevation | #N/A |
| Pressure | #N/A |
| Quality | #N/A |

Fonte: O autor

- Edite as características específicas dos trechos compreendidos entre os nós 5-7, 7-8 e 8-6, individualmente. Será necessário inserir o comprimento, diâmetro, rugosidade e coeficiente de perda de carga localizada em cada um dos trechos, conforme indicado na **Tabela 14:**

Tabela 14: Parâmetros a serem alterados nos componentes físicas do Exercício 1.

| Trecho | Comprimento (Length) [m] | Diâmetro Interno (Diameter) [mm] | Rugosidade (Roughness) | Coeficiente de Perda de Carga – K (Coeff. Headloss) |
|--------|----------------------------------|--|---------------------------|---|
| 5 - 7 | 1.8 | 50 | 0.15 | 0.5 |
| 7 - 8 | 1.0 | 50 | 0.15 | 0.2 |
| 8 - 6 | 1.8 | 50 | 0.15 | 0.2 + 1.0 = 1.2 |

Fonte: O autor

- A **Figura 72** ilustra as alterações realizadas nos campos comprimento (**Length**), diâmetro (**Diameter**), rugosidade (**Roughness**) e Coeficiente de Perda de Carga (**Coeff. Headloss**), dos trechos de tubulações empregadas no modelo.

Figura 72: Alterações das propriedades das tubulações do Exercício 1.

| Pipe 7 | | Pipe 5 | | Pipe 6 | |
|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Property | Value | Property | Value | Property | Value |
| *Length | 1.8 | *Length | 1 | *Length | 1.8 |
| *Diameter | 50 | *Diameter | 50 | *Diameter | 50 |
| *Roughness | 0.15 | *Roughness | 0.15 | *Roughness | 0.15 |
| Loss Coeff. | 0.5 | Loss Coeff. | 0.2 | Loss Coeff. | 1.2 |
| Initial Status | Open | Initial Status | Open | Initial Status | Open |
| Bulk Coeff. | | Bulk Coeff. | | Bulk Coeff. | |
| Wall Coeff. | | Wall Coeff. | | Wall Coeff. | |
| Flow | -2.90 | Flow | 2.90 | Flow | 2.90 |
| Velocity | 1.48 | Velocity | 1.48 | Velocity | 1.48 |

Trecho 5 - 7 **Trecho 7 - 8** **Trecho 8 - 6**

Fonte: O autor

- Rode o modelo (**Run**) e visualize na forma de tabela (**Table**) os resultados, eles devem ser iguais aos valores apresentados na **Figura 73**:

Figura 73: Resultados obtidos pelo EPANET para o Exercício 1.

| Network Table - Nodes | | | | |
|-----------------------|------------|--------|------------|---------|
| Node ID | Demand LPS | Head m | Pressure m | Quality |
| Junc 7 | 0.00 | 49.83 | -0.67 | 0.00 |
| Junc 8 | 0.00 | 49.75 | -0.75 | 0.00 |
| Resvr 5 | -2.90 | 50.00 | 0.00 | 0.00 |
| Resvr 6 | 2.90 | 49.50 | 0.00 | 0.00 |

Fonte: O autor

- **Comentários:**

Analisando os resultados contidos na **Figura 73**, percebe-se que a vazão que passa pela tubulação é de 2,91 l/s. O sinal negativo no RNV (ID=5) indica que a vazão está saindo dele; já no RNC (ID=6) a vazão possui sinal positivo, pois indica que está entrando no reservatório.

A carga de pressão no meio do trecho 7 – 8 é da ordem de $\left(\frac{-0.67-0.75}{2}\right) = -0.71\text{mH}_2\text{O}$, valor muito próximo ao informado como resposta.

Para qualquer um dos trechos, ao se observar o fator de atrito, no caso f , calculado pelo EPANET, o usuário mais atento perceberá que o valor calculado está diferente daquele apontado nas considerações iniciais, conforme apresentado na **Figura 74**, referente ao trecho entre os nós 5 e 7.

Figura 74: Atenção ao fator de atrito (**Friction Factor**) calculado pelo EPANET.

| Pipe 7 | |
|-----------------|-------|
| Property | Value |
| Loss Coeff. | 0.5 |
| Initial Status | Open |
| Bulk Coeff. | |
| Wall Coeff. | |
| Flow | -2.90 |
| Velocity | 1.48 |
| Unit Headloss | 93.65 |
| Friction Factor | 0.042 |
| Reaction Rate | 0.00 |

Fonte: O autor

Essa diferença ocorre, pois como há perda de carga localizada considerada no trecho, o EPANET determina o fator de atrito da tubulação a partir da soma da perda de carga distribuída e da perda de carga localizada.

Apenas para ilustrar essa situação, ao se retirar o coeficiente de perda de carga -K (**Loss Coeff.**), anula-se a perda de carga localizada no trecho. Ao rodar o modelo, restará a perda de carga distribuída, convergido o fator de atrito, no caso f, para o valor considerado no início do exercício.

A **Figura 75** ilustra a convergência do valor do fator de atrito:

Figura 75: Exemplificação da influência da perda de carga localizada no fator de atrito (f) calculado pelo EPANET.

| Pipe 7 | |
|-----------------|-------|
| Property | Value |
| Loss Coeff. | 0 |
| Initial Status | Open |
| Bulk Coeff. | |
| Wall Coeff. | |
| Flow | -3.08 |
| Velocity | 1.57 |
| Unit Headloss | 70.52 |
| Friction Factor | 0.028 |
| Reaction Rate | 0.00 |

Fonte: O autor

4.1.2 EXERCÍCIO 2: Variação temporal do consumo de água

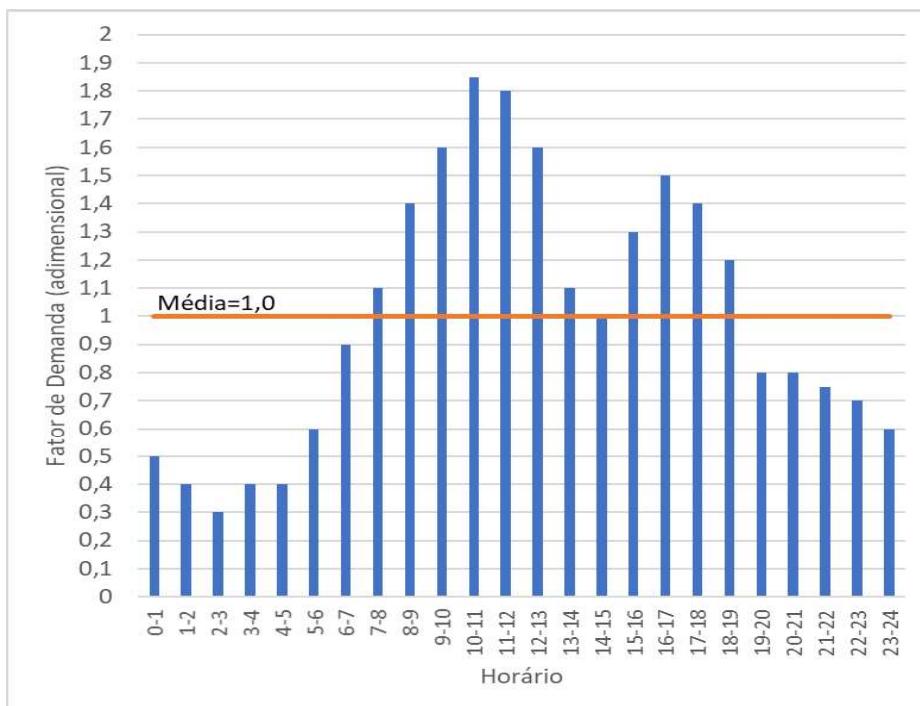
Uma ETA abastece um reservatório elevado que atende um determinado bairro. A ETA, situada na cota 550,00m, está interligada ao reservatório por uma adutora EM Ferro Fundido ($C=120$) DN100 com 1000m de extensão. O reservatório elevado é do tipo cilíndrico, com diâmetro de 4,00m e está assentado na cota 500m. O nível mínimo desse reservatório está a 12,00m e o nível máximo está a 16,00m ambos acima da cota de assentamento. A rede de distribuição que interliga o reservatório ao primeiro ponto de consumo é em PVC ($C=140$), possui diâmetro de DN 75 e extensão de 500,00m, cuja outra extremidade está na cota 470,00m.

A comunidade possui 1000 habitantes que consomem, em média, 150 l/pessoa/dia de água e apresenta variação temporal diária do consumo conforme **Figura 76**.

Uma válvula de controle de fluxo (FCV) está instalada na adutora, junto ao RNV de maneira a limitar a vazão encaminhada pela ETA em 1,75 l/s ao reservatório de abastecimento e que, às 10h o nível desse reservatório está em seu máximo pergunta-se:

- Nas primeiras 48h de simulação, em quais horários ocorrerão às máximas e mínimas pressões no primeiro ponto de abastecimento de água e quais os valores de pressão observados?
- Nas primeiras 48h de simulação, em quais horários ocorrerão às vazões máxima e mínima de consumo no primeiro ponto de abastecimento de água e quais seus valores?
- Nas primeiras 48h de simulação, em quais horários ocorreram os níveis máximo e mínimo no reservatório de nível variável?

Figura 76: Fatores de demanda pelo consumo de água - Exercício 2.



Fonte: O autor.

- **Explicações/considerações:**

- Vazão média de consumo: $\bar{Q} = \frac{P \cdot q}{86400} = \frac{1000\text{hab} \cdot 150\frac{l}{\text{hab.dia}}}{86400\text{s/dia}} = 1,74\frac{l}{s}$.

- Fator mínimo de demanda = 0,3 (ver gráfico da **Figura 76**).

- Fator máximo de demanda = 1,85 (ver gráfico da **Figura 76**).

$$\text{- Vazão máxima de consumo: } Q_{max} = \frac{\frac{Fator\ de\ Demanda\ Máximo\ Considerado}{K_1 \cdot K_2} \cdot P \cdot q}{86400} = 1,85 \cdot 1,74\frac{l}{s} = 3,22\frac{l}{s}$$

$$\text{- Vazão mínima de consumo: } Q_{min} = \frac{\frac{Fator\ de\ Demanda\ Mínimo\ Considerado}{K_3} \cdot P \cdot q}{86400} = 0,3 \cdot 1,74\frac{l}{s} = 0,52\frac{l}{s}$$

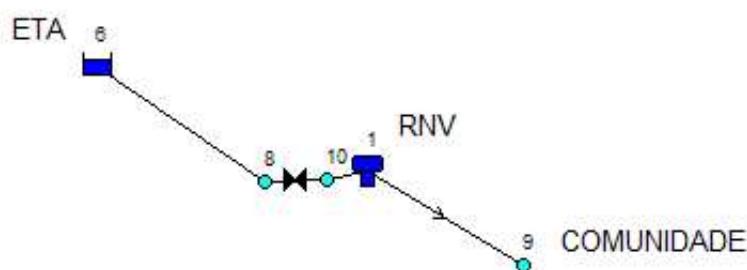
- Vazões esperadas para consumo: $Q_{min} \leq \text{Fato de Demanda} \cdot \bar{Q} \leq Q_{max}$.

- **Construção do modelo no EPANET:**

- No menu de comandos vá em **Project >> Defaults >>** aba **Hydraulic** e altere o cálculo da perda de carga para Hazen-Willam (H-W), observando que a vazão será aplicada na unidade de litros/segundo (**LPS**).

- Usando as componentes físicas do EPANET, desenhe o esquema enunciado. A **Figura 77** ilustra o esquema do enunciado:

Figura 77: Esquema do sistema de abastecimento - Exercício 2.



Fonte: O autor

- Na ETA, representada pelo Reservatório de Nível Constante – **RNC**, identificado neste modelo pelo ID=6, defina a cota piezométrica (**Total Head**) em 550,00. Para isso, basta clicar duas vezes sobre o reservatório e será aberta a tabela com as características específicas dessa componente física.

- No Reservatório de nível variável – **RNC**, identificado neste pelo ID=1, defina os seguintes parâmetros: *Cota de Elevação (Elevation)* = 500,00; *Nível inicial (Initial level)* = 16,00; *Nível mínimo (Minimun Level)* = 12,00; *Nível máximo (Maximum Level)* = 16,00; *diâmetro (Diameter)* = 4,00.
- Nos **nós** identificados aqui pelos ID's 8, 9 e 10, defina as cotas de elevação para cada um deles. Os valores das cotas de elevação são, respectivamente: 500; 470; 500.
- Após traçar as tubulações entre os **nós** 6-8; 10-1 e 1-9; altere os parâmetros comprimento, diâmetro e rugosidade, conforme **Tabela 15**.

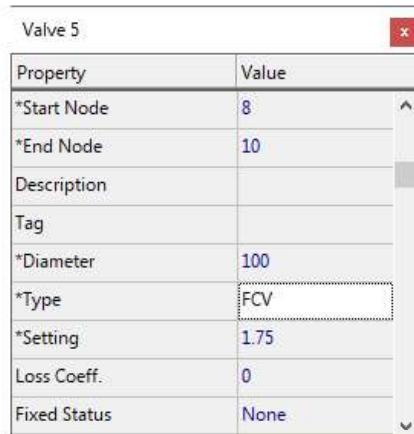
Tabela 15: Parâmetros a serem alterados nas componentes físicas do Exercício 2.

| Trecho | Comprimento (Length) [m] | Diâmetro Interno (Diameter) [mm] | Rugosidade (Roughness) |
|--------|----------------------------------|--|---------------------------|
| 6-8 | 999,00 | 100 | 120 |
| 10-1 | 1,00 | 100 | 120 |
| 1 - 9 | 500 | 75 | 140 |

Fonte: O autor

- Insira uma válvula do tipo controle de fluxo (**FCV**), tendo como parâmetros o *diâmetro (Diameter)* 75 e estabelecendo a vazão limite de 1.75 l/s em *setting*. A **Figura 78** ilustra os parâmetros característicos da válvula:

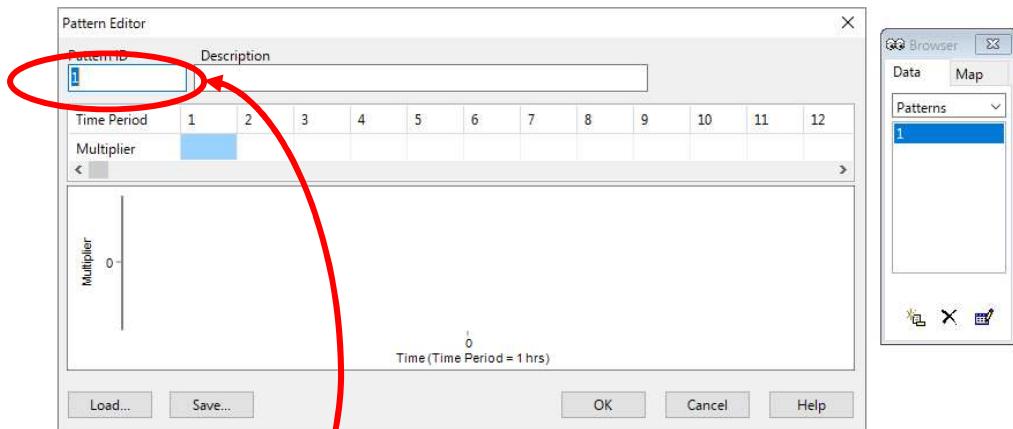
Figura 78: Alterando os parâmetros de uma válvula de controle de fluxo (**FCV**) - Exercício 2.



Fonte: O autor

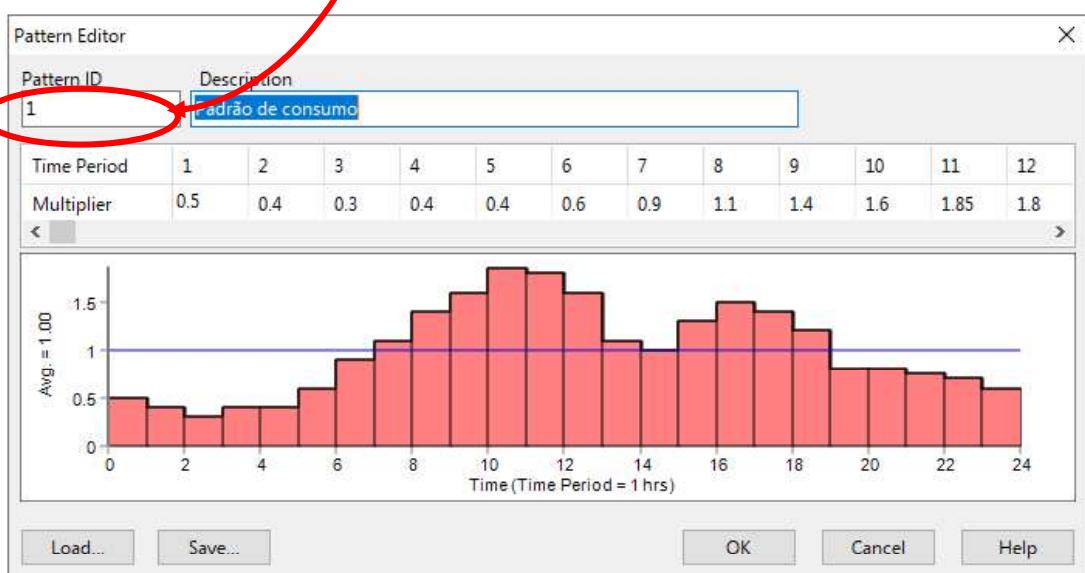
- Vá até o visualizador/navegador do EPANET e na aba **Date**, selecione **Pattern** e clique em *adicionar (Add)* para abrir o Editor de Padrão e permitir a adição do padrão de consumo de água, conforme indicado na **Figura 79**. Em seguida, entre os fatores de demanda apresentados no gráfico da **Figura 76**. O resultado deve ser semelhante ao apresentado na **Figura 80**:

Figura 79: Abrindo o editor de padrão do EPANET - Exercício 2.



Fonte: O autor

Figura 80: Inclusão dos fatores de consumo no Editor de Padrão - Exercício 2.



Fonte: O autor

- Clique duas vezes sobre o nó que representa a comunidade (aqui ID=9) e insira o consumo médio de água (**Base Demand**) estabelecido em 1,74 l/s e indique o número do padrão (**Pattern ID**) de consumo no campo padrão de demanda (**Demand Pattern**), conforme indicado na

Figura 81.

Figura 81: Inserindo o um nó - Exercício 2.

padrão de consumo em

| Junction 9 | |
|-------------------|---------|
| Property | Value |
| X-Coordinate | 6499.44 |
| Y-Coordinate | 6499.44 |
| Description | |
| Tag | |
| *Elevation | 470 |
| Base Demand | 1.74 |
| Demand Pattern | 1 |
| Demand Categories | 1 |
| Emitter Coeff. | |

- No visualizador/navegador (**Browser**) do EPANET, na aba **Date**, escolha **Options** e selecione **Times**. Estabeleça o tempo de simulação como sendo 48 horas, conforme apresentado na

Figura 82.

Figura 82: Preenchendo o editor de Opções de Tempo - Exercício 2.

| Times Options | |
|---------------------|---------|
| Property | Hrs:Min |
| Total Duration | 48 |
| Hydraulic Time Step | 1 |
| Quality Time Step | 0:05 |
| Pattern Time Step | 1 |
| Pattern Start Time | 0 |
| Reporting Time Step | 1 |
| Report Start Time | 0 |
| Clock Start Time | 0 |
| Statistic | None |

Fonte: O autor

- Rode (**Run**) o modelo e despreze o aviso de Atenção (**Warning!**) que será apresentado.
- Selecione o nó que corresponde à comunidade (aqui ID=9) e verifique os resultados em uma tabela, conforme apresentado na **Figura 83**.

Figura 83: Resultados de pressão e vazão obtidos após simulação de 48h de consumo no nó ID=9.

| Time Series Table - Node 9 | | | | |
|----------------------------|------------|--------|------------|---------|
| Time Hours | Demand LPS | Head m | Pressure m | Quality |
| 3:00 | 0.70 | 515.62 | 45.62 | 0.00 |
| 4:00 | 0.70 | 515.65 | 45.65 | 0.00 |
| 5:00 | 1.04 | 515.36 | 45.36 | 0.00 |
| 6:00 | 1.57 | 514.80 | 44.80 | 0.00 |
| 7:00 | 1.91 | 514.36 | 44.36 | 0.00 |
| 8:00 | 2.44 | 513.43 | 43.43 | 0.00 |
| 9:00 | 2.78 | 512.54 | 42.54 | 0.00 |
| 10:00 | 3.22 | 511.27 | 41.27 | 0.00 |
| 11:00 | 3.13 | 511.05 | 41.05 | 0.00 |
| 12:00 | 2.78 | 511.43 | 41.43 | 0.00 |
| 13:00 | 1.91 | 512.71 | 42.71 | 0.00 |
| 14:00 | 1.74 | 512.92 | 42.92 | 0.00 |
| 15:00 | 2.26 | 512.09 | 42.09 | 0.00 |
| 16:00 | 2.61 | 511.29 | 41.29 | 0.00 |
| 17:00 | 2.44 | 511.38 | 41.38 | 0.00 |
| 18:00 | 2.09 | 511.80 | 41.80 | 0.00 |
| 19:00 | 1.39 | 512.68 | 42.68 | 0.00 |
| 20:00 | 1.39 | 512.79 | 42.79 | 0.00 |
| 21:00 | 1.31 | 512.99 | 42.99 | 0.00 |
| 22:00 | 1.22 | 513.21 | 43.21 | 0.00 |
| 23:00 | 1.04 | 513.53 | 43.53 | 0.00 |
| 24:00 | 0.87 | 513.88 | 43.88 | 0.00 |
| 25:00 | 0.70 | 514.25 | 44.25 | 0.00 |
| 26:00 | 0.52 | 514.66 | 44.66 | 0.00 |
| 27:00 | 0.70 | 514.91 | 44.91 | 0.00 |
| 28:00 | 0.70 | 515.21 | 45.21 | 0.00 |
| 29:00 | 1.04 | 515.24 | 45.24 | 0.00 |
| 30:00 | 1.57 | 514.87 | 44.87 | 0.00 |
| 31:00 | 1.91 | 514.34 | 44.34 | 0.00 |
| 32:00 | 2.44 | 513.40 | 43.40 | 0.00 |
| 33:00 | 2.78 | 512.52 | 42.52 | 0.00 |
| 34:00 | 3.22 | 511.24 | 41.24 | 0.00 |
| 35:00 | 3.13 | 511.03 | 41.03 | 0.00 |
| 36:00 | 2.78 | 511.40 | 41.40 | 0.00 |

Fonte: O autor

a) Durante as primeiras 48h de simulação as mínimas pressões observadas no primeiro nó que atende a comunidade (aqui ID=9) foram:

- $P_{min}=41,05 \text{ mH}_2\text{O}$ às 11h00 do primeiro dia (11h de simulação)
- $P_{min}=41,03 \text{ mH}_2\text{O}$ às 11h00 do segundo dia (35H de simulação).

Já as máximas pressões observadas foram:

- $P_{max} = 45,65 \text{ mH}_2\text{O}$ às 4h00 do primeiro dia (4h de simulação)
- $P_{max} = 45,24 \text{ mH}_2\text{O}$ às 5h00 do segundo dia (29h de simulação)

b) Durante as primeiras 48h de simulação às mínimas vazões de consumo foram:

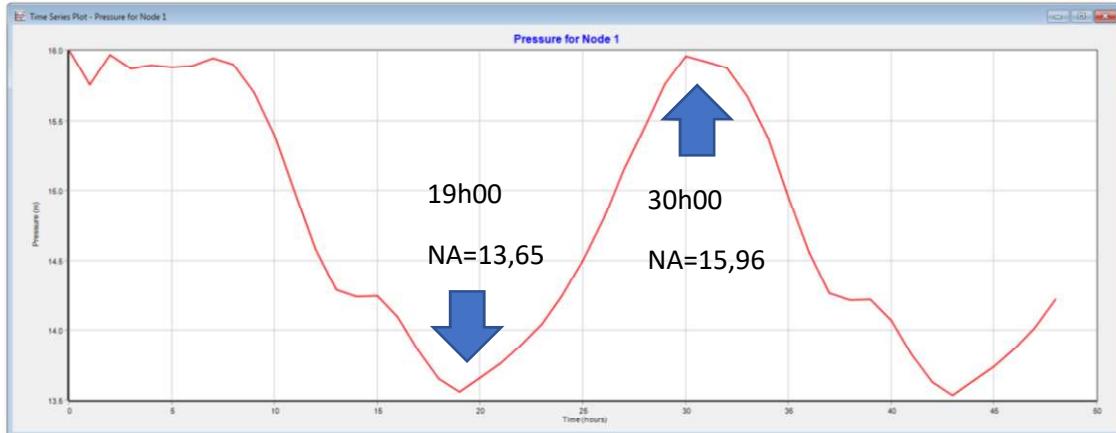
- $Q_{min}=0,7 \text{ l/s}$ às 3h00 do primeiro dia (3h de simulação)
- $Q_{min} = 0,52 \text{ l/s}$ às 2h00 do segundo dia (26h de simulação).

Já as máximas vazões observadas foram:

- $Q_{max} = 3,22 \text{ l/s}$ às 10h00 do primeiro dia (10h de simulação)
- $Q_{max} = 3,22 \text{ l/s}$ às 10h00 do segundo dia (34h de simulação)

- Clicando uma vez sobre o reservatório de nível variável – RNV (aqui ID=1), e selecione os resultados em forma de gráfico, conforme apresentado na **Figura 84**.

Figura 84: Variação do nível do reservatório ao longo do período de simulação - Exercício 2.

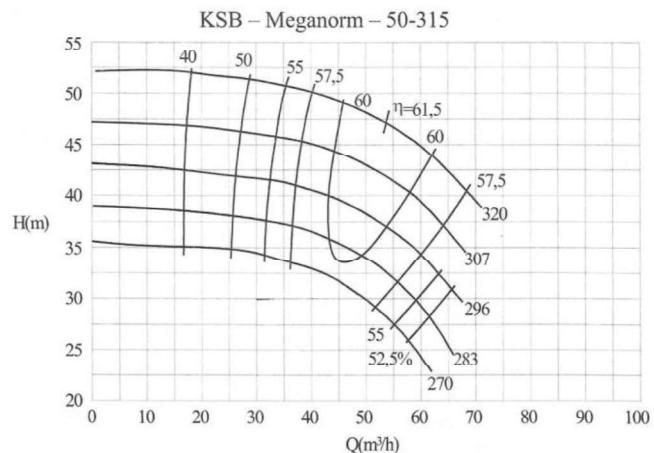


Fonte: O autor

4.1.3 EXERCÍCIO 3: Sistema de Recalque³

Considere uma adutora com $C=140$, altura geométrica $H_g=21\text{m}$, diâmetro de recalque $D_r=0,10\text{m}$, diâmetro de sucção $D_s=0,15\text{m}$, comprimento total, incluindo comprimentos equivalentes, da linha de recalque $L_r=444,37\text{m}$, da sucção $L_s=45,87$. Considerando que a rotação da bomba é de 1750rpm , o diâmetro do rotor de 296mm , cuja curva característica esta apresentada na **Figura 85**. Determine a vazão de recalque e a potência da bomba.

Figura 85: Curva característica da bomba-Exercício 3.



Fonte: Porto (1998).

- **Explicações/considerações:**

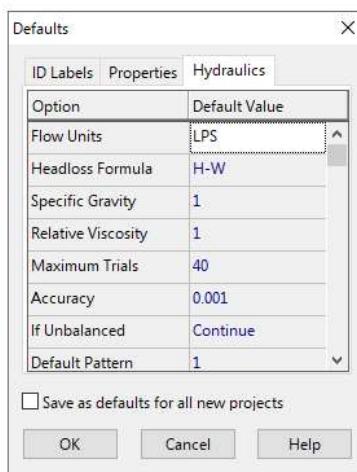
- Para construção da curva característica no EPANET, será utilizado o método de múltiplos pontos. Assim, para o rotor 296mm , os pontos escolhidos para determinação da curva foram: $60 \text{ m}^3/\text{h}$ (16.7 l/s) e $35 \text{ mH}_2\text{O}$; $45 \text{ m}^3/\text{h}$ (12.5 l/s) e $40 \text{ mH}_2\text{O}$; $20 \text{ m}^3/\text{h}$ (5.6 l/s) e $42.5 \text{ mH}_2\text{O}$; $0 \text{ m}^3/\text{h}$ (0 l/s) e $43 \text{ mH}_2\text{O}$.

- **Construção do modelo no EPANET:**

- No menu de comandos vá em **Project >> Defaults >>** aba **Hydraulic** e altere o cálculo da perda de carga para **Hazen-William (H-W)**, observando que a vazão será aplicada na unidade de litros/segundo (LPS), conforme apresentado na **Figura 86**.

³ PORTO, R.M. **Hidráulica Básica**. EESC/USP. 1^a Ed, adaptado do Exercício 5.5. Pág. 151.

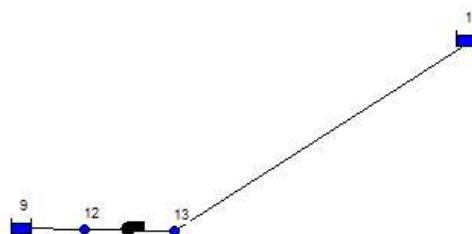
Figura 86: Alterando as opções de Unidade de Fluxo (**Flow Units**) e fórmula da perda de carga (**Headloss Formula**) para o Exercício 3.



Fonte: O autor

- Usando as componentes físicas do EPANET, desenhe o esquema enunciado. A **Figura 87** ilustra o esquema do modelo:

Figura 87: Esquema do sistema de recalque.



Fonte: O autor

Para o EPANET os reservatórios de nível constante – RNC possuem as identificações ID=9 e ID=11.

Os nós de interligação da bomba com as linhas de sucção e recalque possuem a identificação ID=12 e ID=13.

- Clicando duas vezes sobre os RNC (**Reservoir**), altere as cotas piezométricas (**Total Head**) com os valores 0.0 para o reservatório ID=9 e 21.0 para o reservatório ID=11.
- Clique duas vezes sobre os de ligação da bomba (ID=12 e ID=13) e insira as cotas de elevação (**Elevation**) para cada um deles, com o valor 0.0.
- Edite as características específicas dos trechos compreendidos entre os nós 9-12 e 13-11, individualmente. Será necessário inserir o comprimento, diâmetro e coeficiente de rugosidade de *Hazen-Wiliam* para cada um dos trechos, conforme indicado na **Tabela 16**.

Tabela 16: Parâmetros a serem alterados nas componentes físicas do Exercício 3.

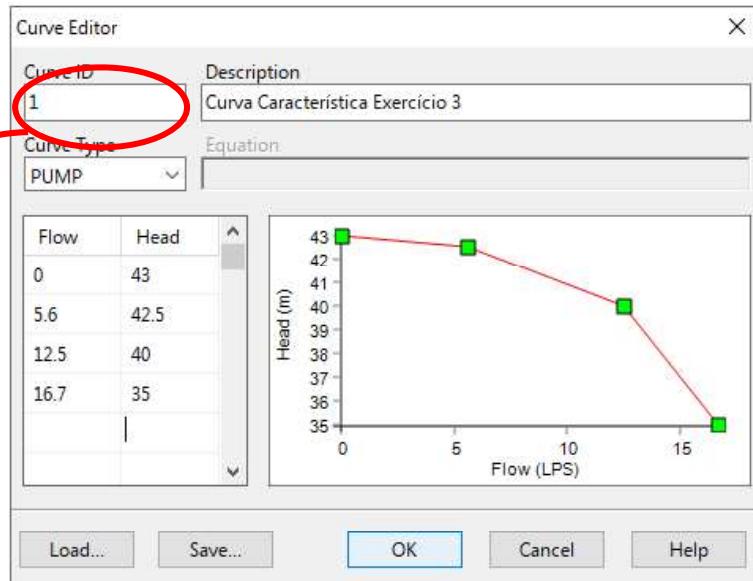
| Trecho | Comprimento (Length) [m] | Diâmetro Interno (Diameter) [mm] | Rugosidade (Roughness) |
|--------|---|---|------------------------------------|
| 9-12 | 45.87 | 150 | 140 |
| 13-11 | 444.37 | 100 | 140 |

Fonte: O autor

- No visualizador/navegador do EPANET, na aba **Date**, escolha **Curvas (Curves)** e clique no botão adicionar (**Add**).

- No editor de curvas, defina bomba (**Pump**) no tipo de curva e entre com os pontos característicos estabelecidos anteriormente. A **Figura 88** ilustra o Editor de Curvas após o preenchimento dos dados.

Figura 88: Construindo a curva característica a partir do Editor de Curvas - Exercício 3.



Fonte: O autor

- Clique duas vezes sobre o desenho da bomba e abra a Tabela com as características específicas da bomba. Associe o número da curva criada no Editor de Curvas à bomba selecionada. A **Figura 89** ilustra o processo.

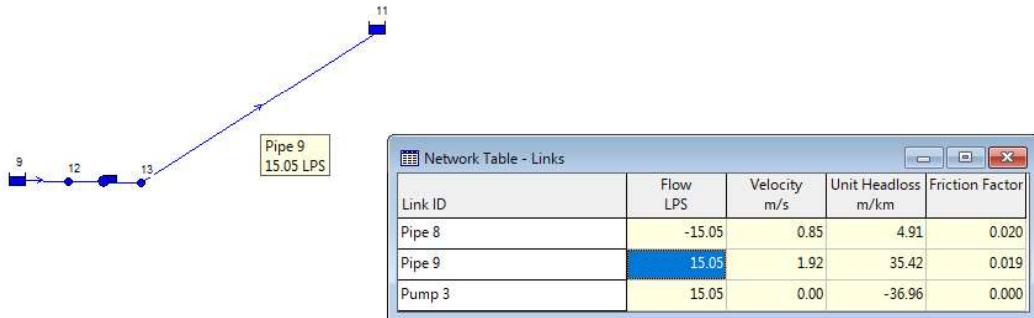
Figura 89: Associação do número da curva da bomba na tabela de características específicas da bomba.

| | |
|-------------|-------|
| Property | Value |
| *Pump ID | 3 |
| *Start Node | 12 |
| *End Node | 13 |
| Description | |
| Tag | |
| Pump Curve | 1 |
| Power | |
| Speed | |
| Pattern | |

Fonte: O autor

- Rode (**Run**) o modelo e verifique a vazão recalculada. A **Figura 90** ilustra o resultado do modelo.

Figura 90: Resultado da simulação do sistema de recalque - Exercício 3.



Fonte: O autor

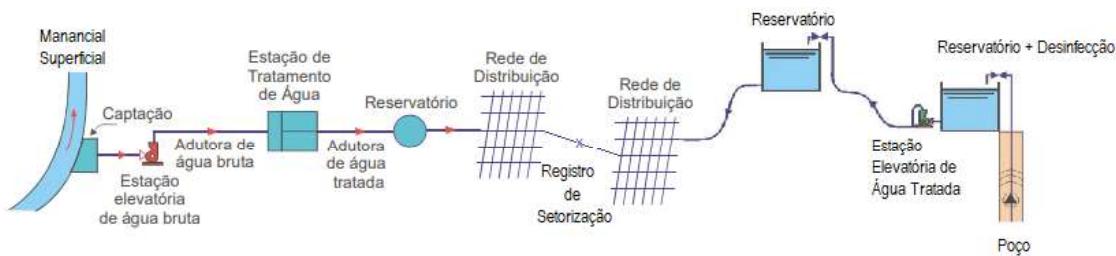
5 DESENHANDO E DIMENSIONANDO UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Neste capítulo, serão abordados os aspectos do desenho de um sistema de abastecimento no EPANET, assim como os critérios técnicos utilizados para o seu dimensionamento.

5.1 Características de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA)

Um sistema de abastecimento de água (SAA) é formado por mananciais, estações elevatórias de água, tubulações, válvulas, estações de tratamento de água (ETA) e reservatórios, sendo responsável por fornecer ao consumidor, água em quantidade e qualidade em conformidade com os padrões de potabilidade exigidos. A **Figura 91** ilustra o esquema de um sistema de abastecimento de água.

Figura 91: Desenho esquemático de um sistema de abastecimento de água (SAA).



Fonte: TSUTIYA (2004).

- **Manancial:**

É a fonte de suprimento de água que será utilizada, após o tratamento, para ser consumida. O manancial poderá ser superficial (rios, lagos, reservatórios) ou subterrâneo (aquíferos).

Independentemente do tipo de manancial, toda água destinada ao consumo humano deve atender aos padrões de potabilidade exigidos pelas autoridades sanitárias. No Brasil, o Ministério da Saúde, através do ANEXO XX⁴ da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, estabeleceu os padrões de potabilidade (BRASIL, 2017).

Dessa maneira, dependendo do tipo do manancial e da qualidade da água em seu estado bruto, pode ser necessário maior ou menor grau de tratamento, mas **SEMPRE** atendendo aos padrões de potabilidade.

⁴ Quando da aplicação do curso, em meados do ano 2020, estava em vigor o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Essa portaria que trata dos padrões de potabilidade da água para consumo humano, foi alterada pela Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021.

Por exemplo, a água extraída de um manancial subterrâneo poderá apresentar todos os parâmetros de qualidade em conformidade, exceto a temperatura (em geral, poços com profundidades superiores a 1000m apresentam temperatura elevada ~ 60°C. Nesse caso, o tratamento pode ser o resfriamento da água ou; ou em um manancial superficial, em determinados períodos do ano, a turbidez da água pode atingir valores elevados (~1.000uT) e com isso ser necessário tratamento de ciclo completo; ou, toda água proveniente de um manancial superficial deve passar por um sistema de filtração, já a água proveniente de um manancial subterrâneo é filtrada pela percolação no extrato rochoso e no pré-filtro do poço.

Esses breves exemplos servem para lembrar que cada captação de água bruta deve ter um tratamento adequado e de acordo com as características apresentadas.

- **Captação:**

É a estrutura composta por obras civis, responsáveis por captar, pré-tratar a água do manancial.

- **Sistema de adução de água bruta:**

É a estrutura responsável por conduzir a água da captação até a unidade de tratamento propriamente dita. No caso de uma captação localizada em cota superior a cota de implantação de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) a condução pode ser feita por gravidade, quando essa situação não é possível, empregam-se bombas para realização do recalque até o local de tratamento.

- **Tratamento da água bruta:**

É a etapa responsável por condicionar a água aos padrões de potabilidade exigidos. Dessa maneira, a tipologia do tratamento de água está interligada às características da água bruta captada. Por exemplo: em alguns mananciais subterrâneos, a estrutura geológica do poço, confere a água características que estão plenamente de acordo com os critérios de potabilidade, sendo necessária apenas a realização da desinfecção; já para mananciais superficiais, são necessárias outras etapas de tratamento além da desinfecção, como a coagulação, floculação, decantação e/ou filtração.

- **Sistemas de adução de água tratada:**

É a estrutura responsável pelo transporte da água tratada de um ponto a outro do sistema de abastecimento. A diferença em relação ao sistema de adução de água bruta é que este transporta a água bruta, ou seja, não potável, e o sistema de adução de água tratada transporta água em condição de consumo.

- **Reservação:**

Refere-se à estrutura para armazenamento temporário de água, com a finalidade de garantir reserva para os horários de maior demanda de consumo, estabelecer limites de pressão à rede de distribuição e para conter reserva para combate a incêndios.

- **Rede de distribuição:**

É o conjunto de válvulas e tubulações responsáveis por conduzir a água potável até o consumidor, de maneira a não permitir alterações da qualidade da água que possa colocar o consumidor em situação de risco de contaminação.

De maneira geral, as redes de distribuição podem ser classificadas como redes **ramificadas, malhadas ou mistas**. A **Figura 92** ilustra os tipos de redes de distribuição de água:

Figura 92: Classificação das redes de distribuição de água segundo sua topologia.

| | |
|------------------------|--|
| Rede Ramificada | |
| Rede Malhada | |
| Rede Mista | |

Fonte: Adaptado de TSUTIYA (2004).

As redes de distribuição de água podem também ser classificadas segundo sua “importância” em redes primárias e secundárias.

As redes primárias são as redes, ou trechos de rede, principais, que distribuem a vazão para os demais trechos (um reservatório sempre está ligado a uma rede primária). Quando o sistema de distribuição possui uma gama de diâmetros, pode-se dizer que as redes principais são aquelas com diâmetro igual ou superior a DN150.

Já as redes, ou trechos de rede, secundários, são os trechos estão ligados às ligações prediais dos imóveis. Em geral é formada por trechos de menor diâmetro, normalmente variando de DN50 a DN 100.

5.2 Modelando unidades de um SAA no EPANET

Na seção 2.2 foram descritas as formas para modelagem da vazão em um nó, a criação de padrões, caracterização das curvas da bomba, de perda de carga, de volume, entre outros.

Nesta seção, serão apresentadas as formas para se modelar, no EPANET, algumas unidades ou equipamentos específicos utilizados nas redes de distribuição de água.

Deve-se ter em mente que, no processo de modelagem, algumas vezes, é feito o uso de ferramentas, disponibilizadas pelo software, que embora não existam fisicamente na unidade que está sendo modelada, o efeito proporcionado na simulação é o adequado. Por exemplo: um registro de gaveta instalado na ponta seca de um trecho de uma rede de distribuição de água. Quando se abre o registro de gaveta, a pressão, nesse ponto, iguala-se a pressão atmosférica; para modelá-la, é comum usar uma válvula redutora de pressão (**PRV**) igualando-se a pressão de jusante a zero.

Feitas as abstrações, é hora de modelar alguns componentes do sistema de abastecimento de água.

5.2.1 Modelando um hidrante urbano de Coluna

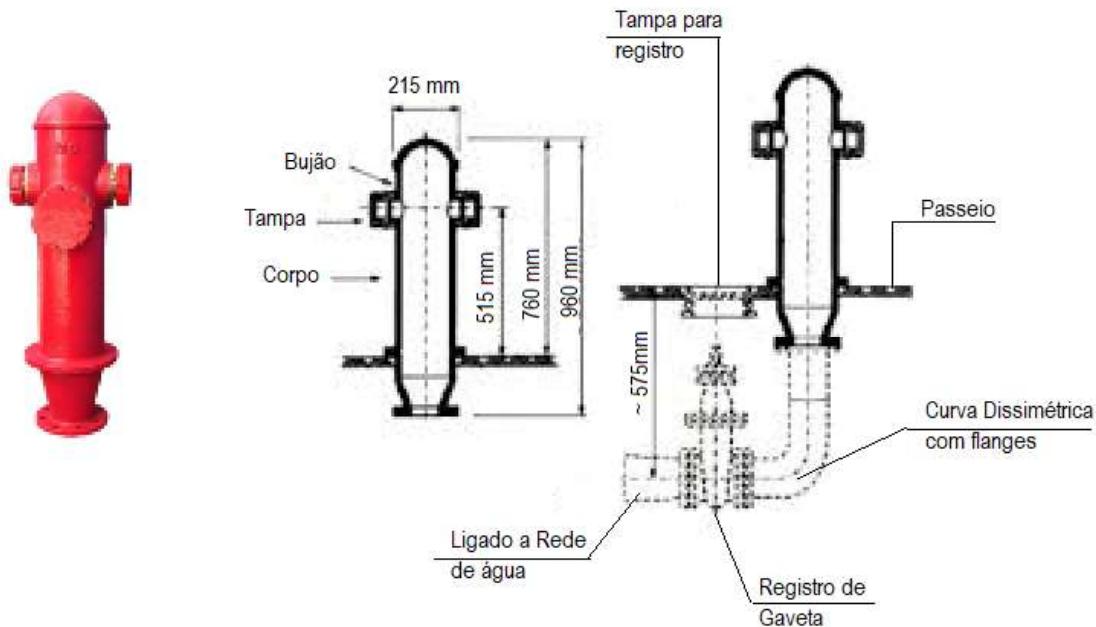
Um hidrante urbano de coluna é um dispositivo destinado ao combate a incêndio e é normalmente instalado no passeio (calçadas) e é conectado diretamente à rede de distribuição de água.

Geralmente, o hidrante urbano de coluna é constituído por um registro de gaveta (DN75), curva dissimétrica flangeada, cuja entrada possui DN75 e a saída, ligada ao hidrante, possui DN100, e o hidrante de coluna propriamente dito.

A

Figura 93 ilustra um hidrante de coluna, assim como apresenta o esquema de ligação desse dispositivo à rede de distribuição de água:

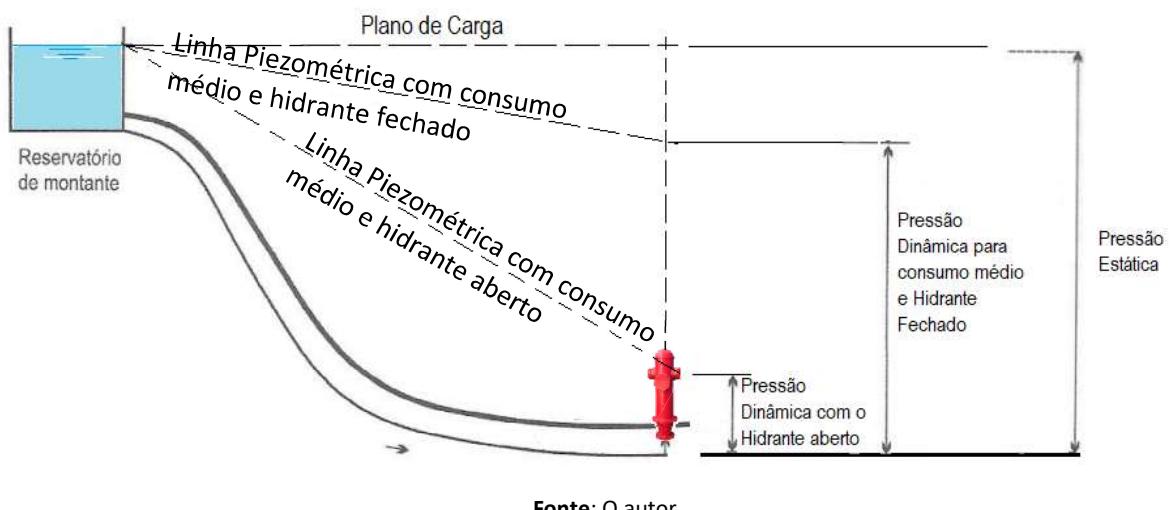
Figura 93: Características físicas e visuais de um hidrante urbano de coluna.



Fonte: Adaptado de BARBARÁ (1998).

A **Figura 94** ilustra as linhas piezométricas e as pressões (dinâmicas) na rede com o hidrante fechado e aberto:

Figura 94: Linhas piezométricas em função da situação operacional do hidrante.



Fonte: O autor

Ao observarmos a **Figura 94** percebemos que, ao abrir a tampa do hidrante de coluna, a linha piezométrica desloca-se para baixo, provocando a diminuição da pressão interna ao hidrante.

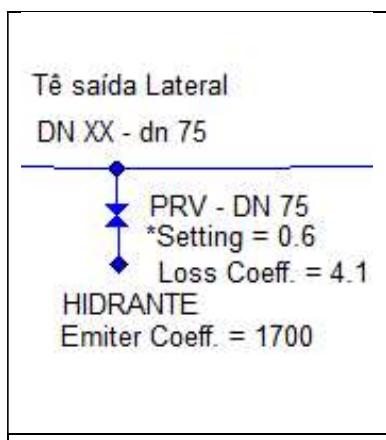
Como as pressões nas redes de distribuição são determinadas a partir das cotas do terreno, supõe-se que a pressão no interior do hidrante, quando aberto, seja, aproximadamente o desnível entre o passeio e a tampa, considerado aqui, aproximadamente igual a 0,60 mH₂O.

As perdas de carga localizadas associadas ao hidrante foram estimadas como tendo $\sum K = 4,1$, referente a um tê de saída lateral (ligação entre rede e trecho do hidrante), curva de raio curto, válvula gaveta aberta e saída do hidrante.

Com base nessas premissas, a construção do modelo empregando uma válvula redutora de pressão (**PRV**) ao invés de um registro de gaveta (**TCV**) estabelece uma condição de contorno, no caso a pressão na base do hidrante, que permitirá estabelecer a vazão de descarga em função da carga de pressão existente na rede e do diâmetro da rede de distribuição de água, ao qual o hidrante de coluna está ligado.

A **Figura 95** ilustra a modelagem de um hidrante urbano de coluna no EPANET:

Figura 95: Modelagem do hidrante urbano de coluna no EPANET.

| <p>Tê saída Lateral DN XX - dn 75</p>  | <p>Valve 11</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>*Start Node</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>*End Node</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Description</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tag</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*Diameter</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>*Type</td> <td>PRV</td> </tr> <tr> <td>*Setting</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>Loss Coeff.</td> <td>4.1</td> </tr> <tr> <td>Fixed Status</td> <td>None</td> </tr> </tbody> </table> | Property | Value | *Start Node | 15 | *End Node | 17 | Description | | Tag | | *Diameter | 75 | *Type | PRV | *Setting | 0.6 | Loss Coeff. | 4.1 | Fixed Status | None | <p>Junction 17</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Description</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tag</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*Elevation</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Base Demand</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Demand Pattern</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Demand Categories</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Emitter Coeff.</td> <td>1700</td> </tr> <tr> <td>Initial Quality</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Source Quality</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Property | Value | Description | | Tag | | *Elevation | 0 | Base Demand | 0 | Demand Pattern | | Demand Categories | 1 | Emitter Coeff. | 1700 | Initial Quality | | Source Quality | |
|--|--|---|-------|-------------|----|-----------|----|-------------|--|-----|--|-----------|----|-------|-----|----------|-----|-------------|-----|--------------|------|---|----------|-------|-------------|--|-----|--|------------|---|-------------|---|----------------|--|-------------------|---|----------------|------|-----------------|--|----------------|--|
| Property | Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Start Node | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *End Node | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Description | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Diameter | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Type | PRV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Setting | 0.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Loss Coeff. | 4.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fixed Status | None | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Property | Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Description | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Elevation | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Base Demand | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Demand Pattern | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Demand Categories | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Emitter Coeff. | 1700 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Initial Quality | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Source Quality | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (a) Representação do hidrante no EPANET | (b) Características específicas da PRV | (c) Característica específica do nó referente ao hidrante | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: O autor

5.2.2 Modelando um registro de descarga/limpeza da rede

Todo o trecho de rede de distribuição que é interrompido, não formando um anel fechado, é denominado ponta seca. Nesses pontos, de tempos em tempos, é comum acumular resíduos (partículas coloidais), já que a velocidade de escoamento na tubulação é nula, favorecendo a deposição desse material. Quando isso ocorre, a equipe de operação é acionada para realizar a descarga da rede nesse ponto a fim de limpá-la.

Ainda, segundo ABNT (2017), nos pontos baixos da rede de distribuição de água, deve-se prever registro de descarga a fim de permitir a limpeza da rede (item 5.11.2.1 da NBR 12.218:2017), devendo-se tomar cuidados de forma a não permitir o retorno e a entrada de água de descarga para o interior da rede (item 5.11.2.2 da NBR 12.218:2017).

O diâmetro do registro de descarga/limpeza deve ser igual ou superior a DN50.

Assim, da mesma maneira como foi modelado o hidrante urbano de coluna, adota-se uma válvula redutora de pressão (PRV), com a pressão de jusante nula e coeficiente de perda de carga ($K=0,20$), tendo o nó de jusante o coeficiente de emissão (**Emitter Coeff**) de 1700.

A **Figura 96** ilustra a modelagem de um registro de descarga/limpeza no EPANET:

Figura 96: Modelagem de um registro de descarga/limpeza no EPANET.

| <p>PRV - DN 50 ou superior Loss Coeff.=0.20 Emitter Coeff. = 1700</p> <p>REGISTRO DE DESCARGA/LIMPEZA</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>*Valve ID</td><td>12</td></tr> <tr> <td>*Start Node</td><td>16</td></tr> <tr> <td>*End Node</td><td>18</td></tr> <tr> <td>Description</td><td></td></tr> <tr> <td>Tag</td><td></td></tr> <tr> <td>*Diameter</td><td>50</td></tr> <tr> <td>*Type</td><td>PRV</td></tr> <tr> <td>*Setting</td><td>0</td></tr> <tr> <td>Loss Coeff.</td><td>0.2</td></tr> </tbody> </table> | Property | Value | *Valve ID | 12 | *Start Node | 16 | *End Node | 18 | Description | | Tag | | *Diameter | 50 | *Type | PRV | *Setting | 0 | Loss Coeff. | 0.2 | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Description</td><td></td></tr> <tr> <td>Tag</td><td></td></tr> <tr> <td>*Elevation</td><td>0</td></tr> <tr> <td>Base Demand</td><td>0</td></tr> <tr> <td>Demand Pattern</td><td></td></tr> <tr> <td>Demand Categories</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Emitter Coeff.</td><td>1700</td></tr> <tr> <td>Initial Quality</td><td></td></tr> <tr> <td>Source Quality</td><td></td></tr> </tbody> </table> | Property | Value | Description | | Tag | | *Elevation | 0 | Base Demand | 0 | Demand Pattern | | Demand Categories | 1 | Emitter Coeff. | 1700 | Initial Quality | | Source Quality | |
|---|---|--|-------|-----------|----|-------------|----|-----------|----|-------------|--|-----|--|-----------|----|-------|-----|----------|---|-------------|-----|--|----------|-------|-------------|--|-----|--|------------|---|-------------|---|----------------|--|-------------------|---|----------------|------|-----------------|--|----------------|--|
| Property | Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Valve ID | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Start Node | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *End Node | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Description | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Diameter | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Type | PRV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Setting | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Loss Coeff. | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Property | Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Description | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Elevation | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Base Demand | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Demand Pattern | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Demand Categories | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Emitter Coeff. | 1700 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Initial Quality | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Source Quality | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a) Representação do hidrante no EPANET | b) Características específicas da PRV | c) Característica específica do nó referente ao hidrante | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: O autor

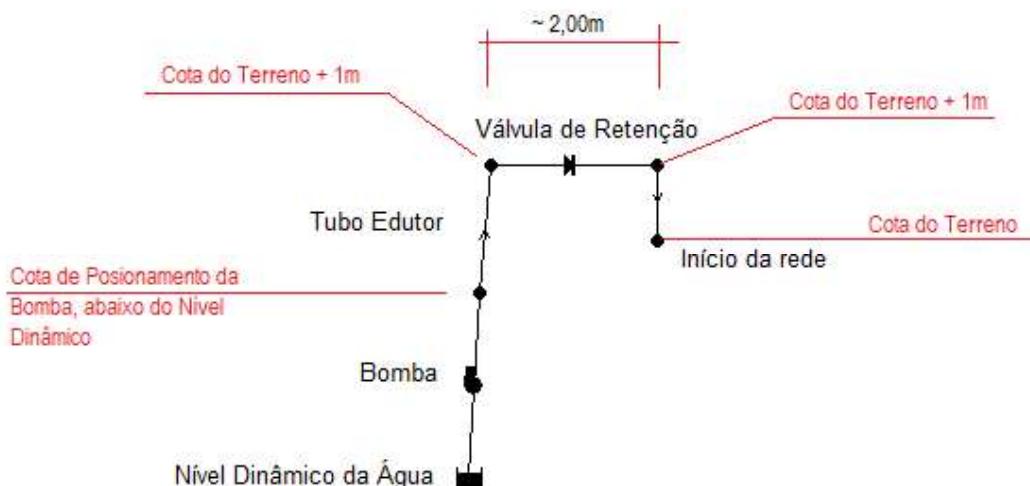
5.2.3 Modelando o bombeamento de um poço profundo

Para modelar um poço profundo, basta representar um reservatório de nível constante (RNC), cujo nível dinâmico d'água é igual a cota piezométrica (**Total Head**), inserindo, na sequência, uma bomba e um trecho de tubulação com uma válvula de retenção.

A

Figura 97 ilustra a modelagem de um poço profundo.

Figura 97: Modelagem de um poço profundo no EPANET.



Fonte: O autor

O leitor deve lembrar-se de definir a curva da bomba nas *Características Não Físicas* e associar a identificação da curva às Características Específicas da bomba.

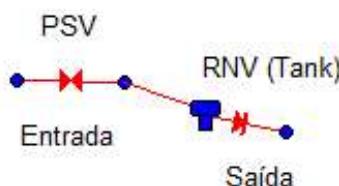
5.2.4 Modelando um RNV com entrada superior ao nível máximo de água

Quando um determinado trecho de alimentação é ligado a um reservatório de nível variável - RNV (**Tank**), faz com que o nível de água no interior do reservatório exerça pressão na tubulação de alimentação, fazendo com que o desnível geométrico seja alterado e, com isso, a vazão de alimentação sofra alteração.

Para simular a entrada de alimentação de um RNV acima do nível máximo de água, basta estabelecer uma Válvula Sustentadora de Pressão (**PSV**), estabelecendo em ***Setting** uma medida igual a altura máxima de água, acrescida de 0,30m; seguida por um trecho de tubulação com pequeno comprimento (~1,00m) e, estabelecendo na saída do RNV um trecho com válvula de retenção e diâmetro compatível com o trecho de alimentação da rede de distribuição de água.

A **Figura 98** ilustra a modelagem de um RNV com entrada superior ao nível máximo de água:

Figura 98: Modelagem de um RNV com entrada superior ao nível máximo de água.



Fonte: O autor

5.2.5 Simulando origens de vazão ou pontos de ligações a outros sistemas

Algumas vezes, seja pelo tamanho do sistema de abastecimento, seja por simplificação do modelo, faz-se necessário simular a origem de vazão para o modelo que está sendo desenvolvido.

Para esses casos, substitua as origens dessas vazões (reservatórios, bombas, etc) por nós e insira o valor da vazão originária como consumo de água (**Base Demand**), porém com o sinal negativo.

No entanto, essa técnica é válida apenas se houver, ao menos, um reservatório (**Reservoir ou Tank**) no modelo que está sendo desenvolvido, pois, do contrário, o EPANET emitirá uma mensagem de erro.

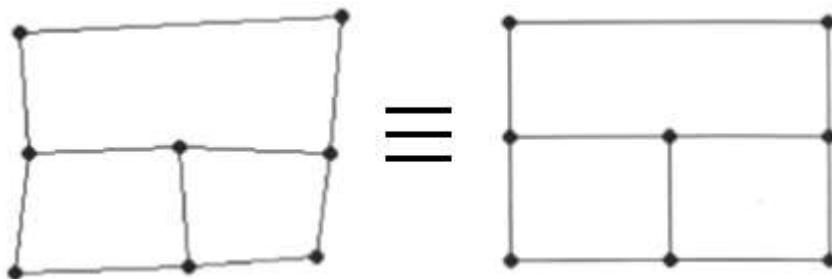
5.3 Desenhando um sistema de abastecimento de água

Vale lembrar que antes de se iniciar qualquer projeto no EPANET, faz-se necessário estabelecer as condições padrão (**Default**) que serão usadas nos cálculos, conforme discutidos na seção 3.1.

Embora a determinação dos diâmetros dos trechos seja discutida mais a frente, é importante estabelecer como padrão (**Project >>> Defaults >> aba Properties**) que o diâmetro da tubulação seja 51.8mm, que representa o diâmetro interno da tubulação em PVC com DN50. Na seção 5.4.2 serão dados mais detalhes.

Após o desenvolvimento do primeiro projeto no EPANET, o leitor deverá ter percebido que o EPANET interpreta o desenho como se fosse um croqui e nunca como um desenho em escala. Para efeitos práticos, os dois croquis apresentados na **Figura 99** representam a mesma rede de distribuição:

Figura 99: Equivalência entre os traçados de uma rede de distribuição de água.



Fonte: O autor

Assim, para traçar uma rede de distribuição de água no EPANET, pode-se fazê-lo de três maneiras diferentes:

- Unindo nó (**Junction**) a nó e editando, individualmente, cada um dos trechos, alterando o comprimento e as demais propriedades de cada trecho, como temos feito até o momento;
- Importando dados parciais da rede de distribuição a partir de programas externos, tipo CAD ou GIS;
- Inserindo um mapa escalado e desenhando sobre ele.

Obviamente, a importação de uma rede, ou a inserção de um mapa e o traçado da rede empregando o comando **Auto Length (Projects >>> Default >> aba Properties)** economiza tempo em relação à opção de unir nó a nó alterando manualmente as demais propriedades de cada trecho.

5.3.1 Importando dados parciais de uma rede

- A partir de arquivo .MAP

O EPANET permite a importação da descrição geométrica da rede em um arquivo texto simples, com extensão **.MAP**.

Este arquivo texto contém os identificadores (ID) e as coordenadas dos nós no mapa, os identificadores e os nós de extremidade dos trechos, assim como pontos de vértice intermediários associados aos trechos.

Um arquivo de uma rede parcial deve ter o seguinte formato, onde o texto entre parênteses (<>) descreve o tipo de informação que deve aparecer nessa linha do arquivo:

```
[TITLE]
<descrição opcional do arquivo>
[JUNCTIONS]
<Identificador de cada nó>
[PIPES]
<Identificador de cada tubulação seguido dos
Identificadores dos nós de extremidade>
[COORDINATES]
<ID do nó e as respectivas coordenadas X e Y>
[VERTICES]
<ID da tubulação e as coordenadas X e Y de um ponto
de vértice intermediário
(utilize uma linha para cada vértice)>
```

É importante notar que apenas os nós e as tubulações são representados. Outros elementos da rede, como os reservatórios e as bombas, podem ser importados como nós ou tubulações e convertidos posteriormente ou, simplesmente, adicionados.

- **A partir de arquivo .dxf com uso de software externo**

Softwares do tipo CAD, permitem salvar seus arquivos em formato **.dxf**.

Nesses casos, faz-se necessário o emprego de software externo que converta o arquivo **.dxf** em arquivo **.inp**, o qual pode ser lido pelo EPANET.

Um exemplo de software que faz a leitura do arquivo **.dxf** e converte em arquivo **.inp** é o **EPACad**, desenvolvido pela *Universitat Politècnica de València* e disponibilizado, gratuitamente, pelo endereço: <<https://www.epacad.com/epacad-en.php>>, cuja sequência é apresentada na *Figura 100*:

Figura 100: Sequência para criação de arquivo .INP a partir de arquivo .DXF



Fonte: O autor

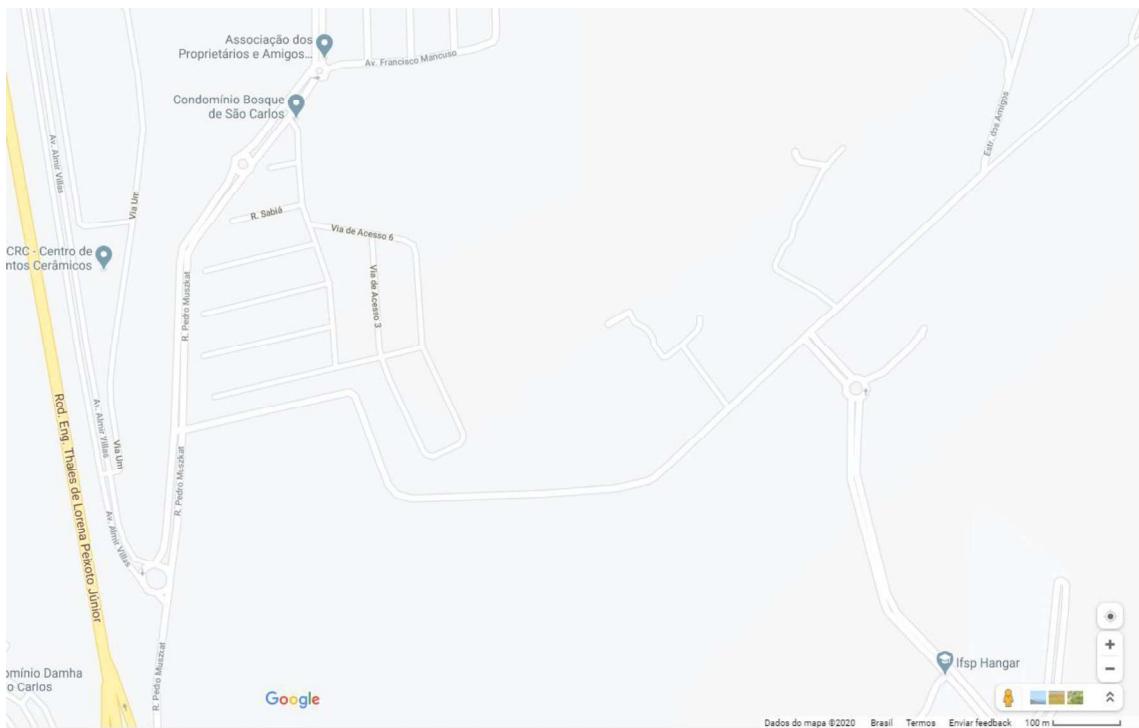
5.3.2 Inserindo e Escalando um Mapa na tela do EPANET

Muitas vezes, para traçar uma rede de água no EPANET, por exemplo, é mais fácil fazê-la sobre um desenho prévio.

Nesta seção, será mostrado como fazer a inserção de um mapa e escalá-lo para desenhar um sistema de abastecimento.

A **Figura 100** ilustra o mapa que será introduzido na tela de fundo do EPANET:

Figura 100: Tela capturada do *GoogleMaps*.



Fonte: Google.

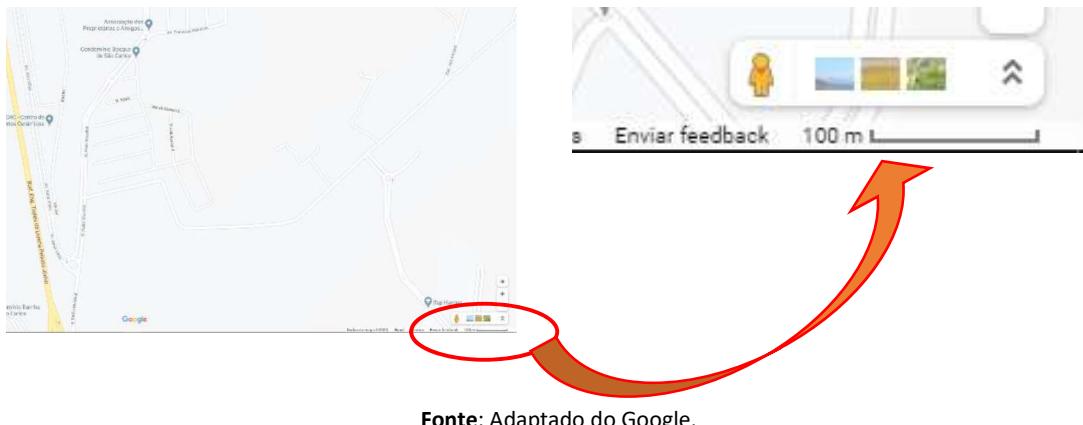
Vale mencionar que o mapa apresentado na **Figura 100** foi capturado do dispositivo *GoogleMaps* e salvo como um arquivo “**.bmp**” (Bitmap de 24 bits).

O EPANET trabalha com arquivos de imagem com extensão “**.bmp**”. Em geral, uma mesma imagem no formato “**.bmp**” chega a exigir 11 vezes mais memória que o mesmo arquivo na extensão “**.jpg**”.

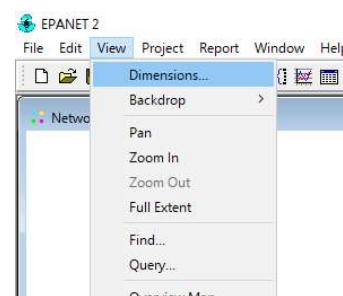
Assim, deve-se evitar o uso de grandes imagens para resultar em um arquivo demaisiadamente grande.

Por hora, é necessário que observe e anote a escala (**E**) do desenho que será inserido no EPANET. A **Figura 101** apresenta, de maneira ampliada, a escala do mapa:

Figura 101: Verificação da escala (E) do mapa.

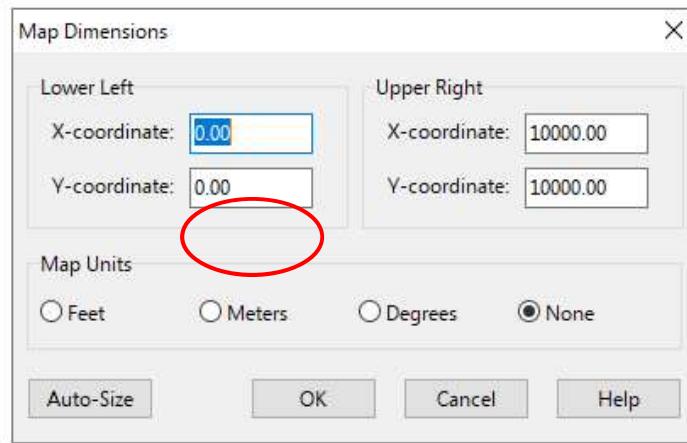


Na barra de Menu, selecione **View >> Dimensions...**



Aparecerá no monitor uma tela das dimensões do mapa (**Map Dimensions**), conforme mostrado na

Figura 102: Dimensões do Mapa (Map Dimensions).



Fonte: autor

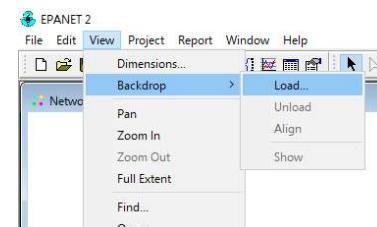
No quadro **Map Dimensions**, apresentado na

, é possível observar as coordenadas (X,Y) dos pontos inferior esquerdo do mapa e superior direito do mapa, assim como a unidade da escala (pé, metros, graus ou sem escala).

As coordenadas (X,Y) dos pontos de referências apresentadas na , são padrões do EPANET [(0;0), (10000;10000)] e será mantido assim por enquanto.

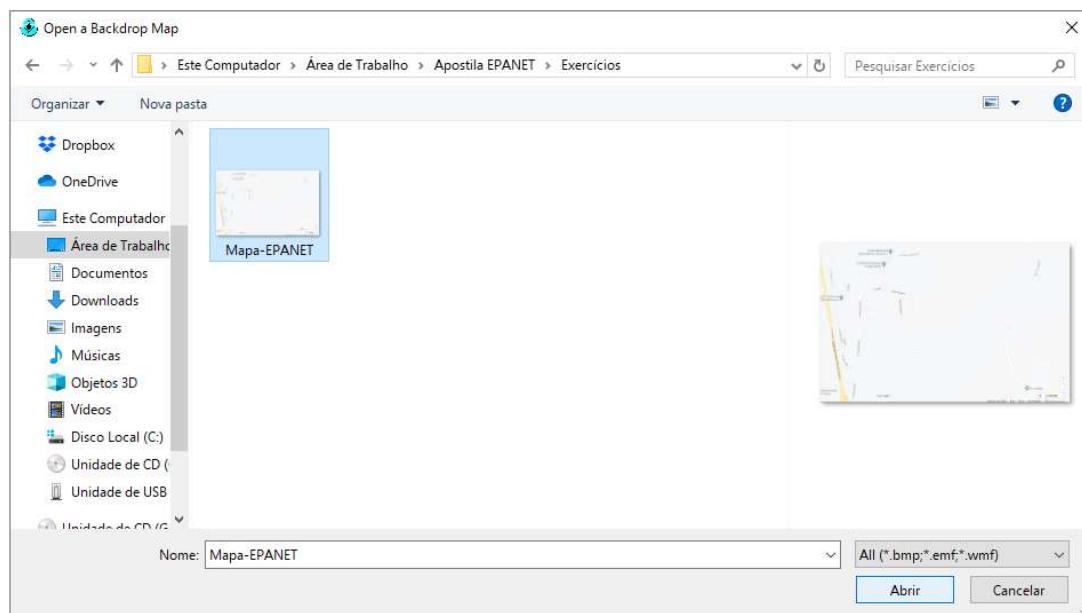
Selecione a opção **Meters**, já que as leituras do mapa serão feitas em metros. Não se esqueça de fazer esta alteração antes de inserir o mapa!

Na barra de Menu, selecione **View >>> Backdrop >>> Load**



Surgirá uma tela para que possa ser selecionado o arquivo com extensão **.bmp** desejado. Selecione-o e clique em “**Abrir**”, conforme ilustrado pela **Figura 103**.

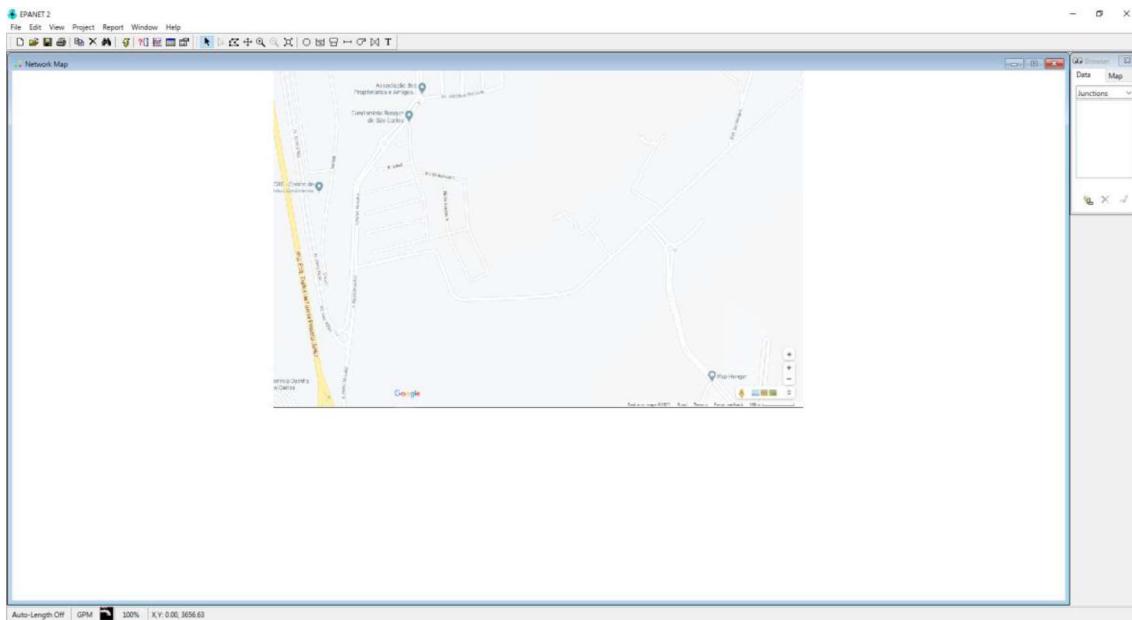
Figura 103: Abrindo um **Backdrop Map**.



Fonte: O autor

O mapa escolhido será inserido na tela de fundo do EPANET, conforme mostrado na **Figura 104**.

Figura 104: Mapa inserido na tela de fundo do EPANET.

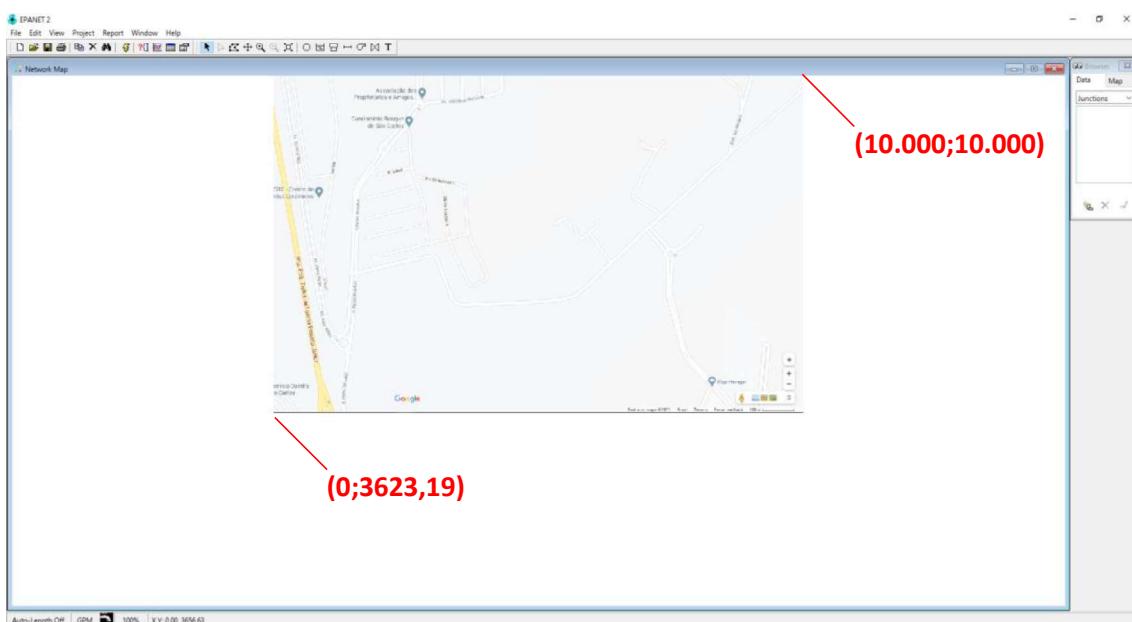


Fonte: O autor

É importante ressaltar que ao inserir o mapa no EPANET, ele é autoescalado de acordo com a proporção do mapa e da região determinada pelas coordenadas (X, Y), tomando, como base, as coordenadas do ponto superior direito.

Ao posicionar o mouse sobre os cantos inferior esquerdo e superior direito do mapa, para o arquivo usado como exemplo, as coordenadas serão conforme apresentadas na **Figura 105**.

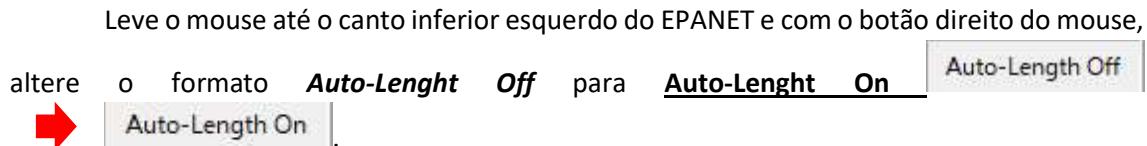
Figura 105: Coordenadas do mapa após inserção no EPANET.



Fonte: O autor

Note que o mapa inserido, manteve sua proporção, porém em uma escala diferente daquela original.

Para ajustar a escala, faz-se necessário os procedimentos a seguir:

Leve o mouse até o canto inferior esquerdo do EPANET e com o botão direito do mouse, altere o formato **Auto-Length Off** para **Auto-Length On** 

Insira um nó em cada extremidade da linha de escala e lance um trecho de tubulação entre esses nós (esta estrutura é temporária!). Talvez você precise aplicar o Zoom (+ ou -)  para melhor visualização.

Traçada a estrutura temporária, selecione **Select Objects**  no menu de comandos EPANET e clique duas vezes sobre o trecho de tubulação lançado. Nesse momento, aparecerá as características do trecho. Anote o comprimento (L) lido. A **Figura 106** ilustra o resultado obtido e a janela com as características do trecho temporário construído.

Figura 106: Características do trecho de tubulação implantado temporariamente.



Fonte: O autor

Para o exemplo em questão, o comprimento lido foi **$L=1936,45\text{ m}$** .

Apague os dois nós e o trecho de tubulação que formam a estrutura temporária.

De posse da coordenada **X** do canto superior direito, da escala **E** do mapa e do comprimento L lido a partir da tubulação temporária, faz-se necessário calcular o valor de **X*** corrigido, empregando a Equação 06:

$$X^* = \frac{X \cdot E}{L} \quad (06)$$

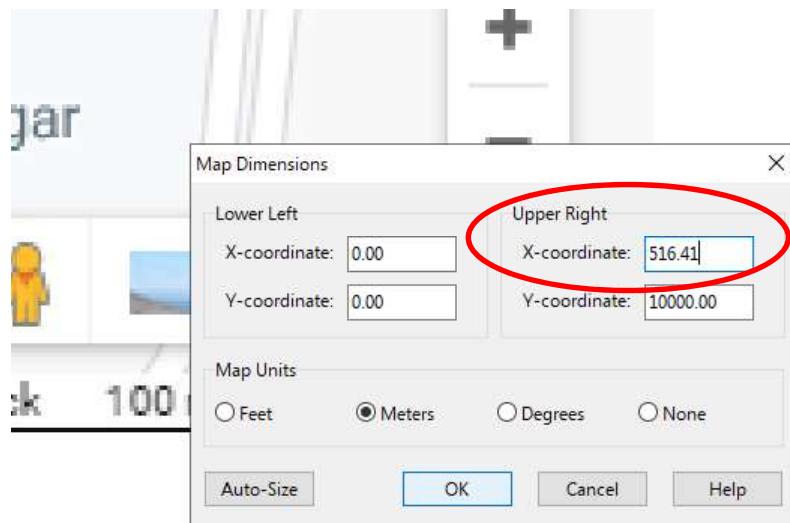
Para o exemplo utilizado, tem-se:

$$X^* = \frac{10000 \cdot 100}{1936,45} = 516,41$$

Volte em **Map Dimensions** e altere a coordenada X do canto superior direito para 516,41 (lembre-se que o EPANET usa unidades de medida americana, portanto, 516.41).

A **Figura 107** ilustra o procedimento de correção da coordenada X do ponto localizado no canto superior direito.

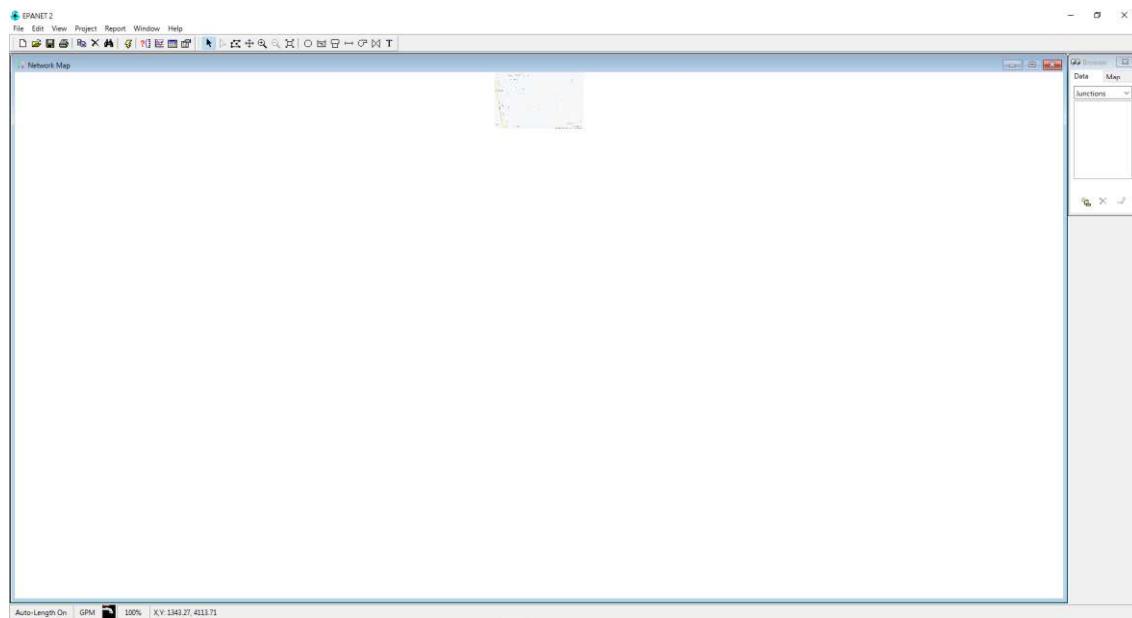
Figura 107: Correção da coordenada X do canto superior direito em **Map Dimensions**.



Fonte: O autor

Ao selecionar **OK**, a tela do EPANET apresentará o mapa já escalado, o que pode resultar em uma aparência inicial, diferente de quando o mapa foi inserido. A **Figura 108** ilustra o redimensionamento do mapa utilizado no exemplo.

Figura 108: Redimensionamento do mapa na tela do EPANET.

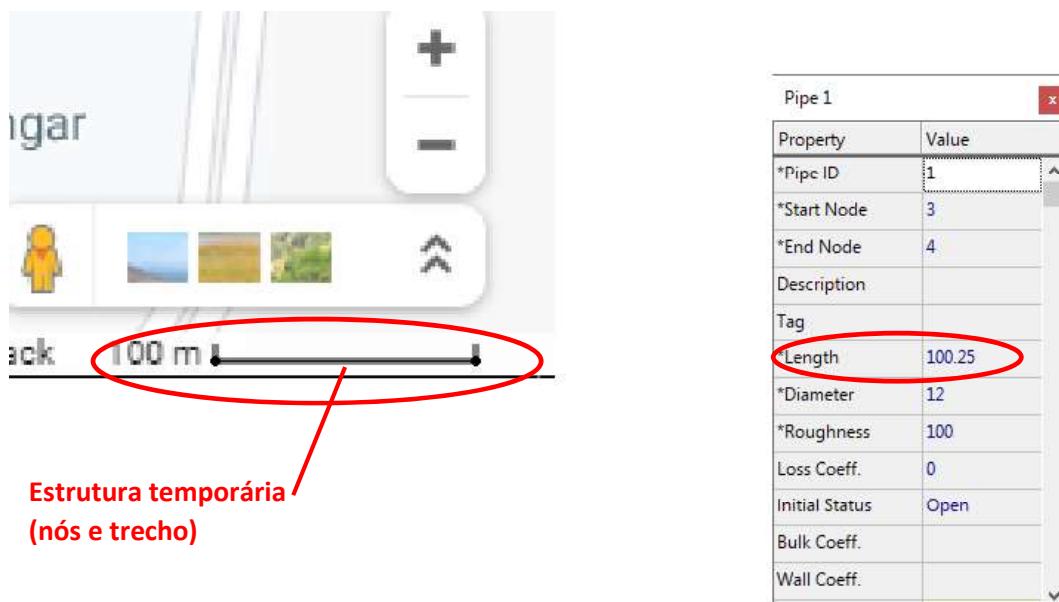


Fonte: O autor

Apenas para confirmar o escalonamento do mapa, volte à posição da escala, construa sobre ela a estrutura temporária e observe o comprimento obtido.

A **Figura 109** ilustra o comprimento obtido para a estrutura temporária após o escalonamento do mapa inserido:

Figura 109: Conferência da escala do mapa após reescalonamento.



Fonte: O autor

Ao observarmos a **Figura 109**, é possível verificarmos que a escala indicativa de 100m no mapa resultou em comprimento de 100,25m. A diferença de alguns centímetros é aceitável e perfeitamente normal.

Com o mapa corretamente escalonado, apague a estrutura temporária.

Pronto, seu mapa já poderá ser utilizado para o traçado de uma rede de distribuição.

Não se esqueça de salvar o arquivo!

5.3.3 Traçando uma rede de distribuição de água com o Auto-Length

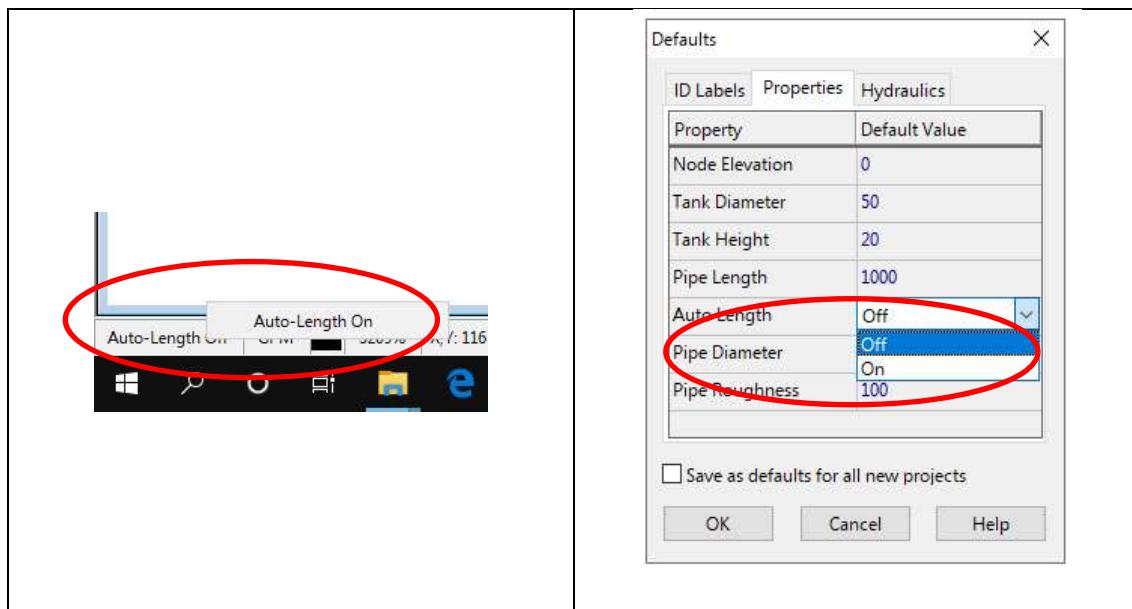
Caso o leitor tenha importado a rede de distribuição, os comprimentos dos trechos terão sido transportados para o EPANET, bastando ao usuário verificar se os nós vieram com as devidas cotas de seus arquivos de origem.

Caso o arquivo **.INP** utilizado não tenha as cotas de elevação dos nós, o leitor precisará editar nó por nó e incluir as cotas de elevação, ou preencher a partir da edição do arquivo **.INP**, conforme apresentado na seção **5.3.4**.

Porém, caso o leitor vá desenhar o sistema de abastecimento de água sobre uma planta escalonada, ele precisará usar o comando **Auto Length**.

O comando **Auto Length** é muito útil para se trabalhar com mapas, já que permite obter os comprimentos dos trechos de maneira automática. Para usar essa função o usuário do EPANET pode levar o mouse até o canto inferior esquerdo da tela e, com o botão direito do mouse selecionar **Auto Length: On** ou pela barra de menu em **Project >> Defaults >>** escolhendo a aba **Properties**, conforme mostrado na **Figura 110**.

Figura 110: Ativando a função **Auto Length**.



Fonte: autor

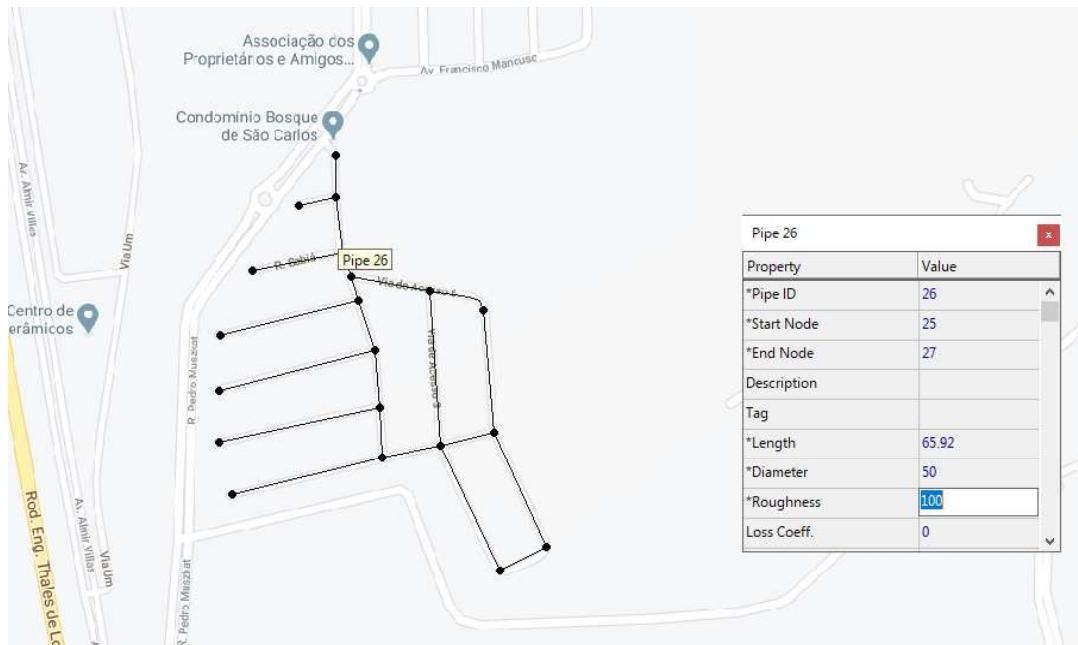
Após a ativação do comando ***Auto Length***, o usuário poderá traçar a rede sobre o mapa ou figura. Uma vez que a figura esteja escalada, os comprimentos estabelecidos pelo EPANET, ao determinar cada trecho, são válidos para o modelo, não sendo necessário entrar nas características específicas dos trechos e alterar o comprimento manualmente.

É importante mencionar que, caso algumas das características dos trechos sejam comuns, por exemplo, rugosidade, diâmetro, etc., poderão ser alterados esses parâmetros estabelecidos no padrão (Default) usado pelo EPANET (na barra de menu: ***Project >> Defaults >> aba Properties***).

A

Figura 111 ilustra o desenho de uma rede de distribuição de água sobre um mapa escalado empregando o comando ***Auto Length***.

Figura 111: Traçando uma rede de distribuição de água sobre um mapa escalado.

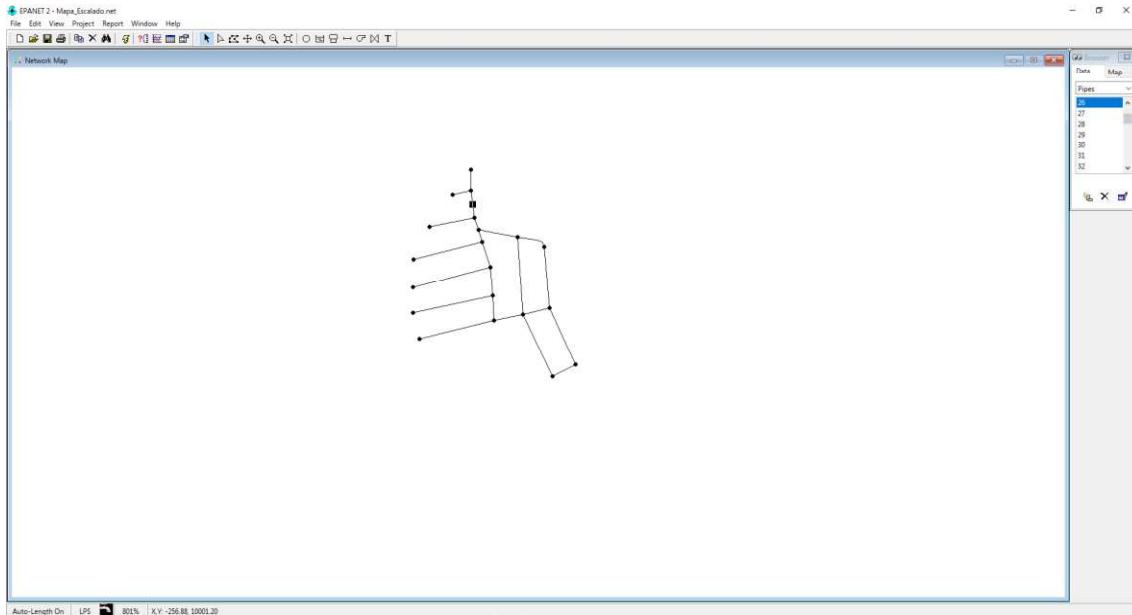


Fonte: O autor

Após o traçado da rede sobre o mapa, é aconselhável que a figura ou mapa sejam escondidos ou apagados, para que o arquivo não ocupe muita memória. Essa opção pode ser feita, iniciando na barra de menu: ***View >> Backdrop >> Hide ou Unload***.

A **Figura 112** ilustra a rede de distribuição de água desenhada, tendo sido escondido (***Hide***) o mapa utilizado como referência:

Figura 112: Traçado da rede de distribuição de água com o mapa de referência escondido.



Fonte: O autor

5.3.4 Estabelecendo as cotas de elevação dos nós

Ao desenhar uma rede no EPANET é possível, como já foi mostrado, obter o comprimento automático dos trechos, estabelecer a rugosidade e pré-estabelecer os diâmetros dos trechos além de outras características.

Para os nós até é possível estabelecer uma cota de elevação prévia, (**Projects>>>Defaults >>> Properties**), mas ela será a mesma para cada nó.

Para alteração das cotas de elevação no EPANET, há duas possibilidades:

a) clicando sobre cada nó e especificar a cota de elevação (**Elevation**);

b) gerando, abrindo e alterando um arquivo **.INP**.

a) Alterando/Inserindo a cota de elevação de um nó a partir das características específicas:

Para esta alternativa o leitor já deve estar acostumado. Caso necessário, reveja a seção **2.2.1.1**.

b) Alterando/Inserindo a cota de elevação de um nó a partir do arquivo **.INP**:

Com a rede de distribuição lançada no EPANET, exporte a rede (**Network**), o que gerará um arquivo **.INP** (ver seção **2.5**). Salve o arquivo .NET e feche-o na sequência.

Com auxílio de um editor (**Bloco de Notas** do Windows), abra o arquivo **.INP** que foi gerado.

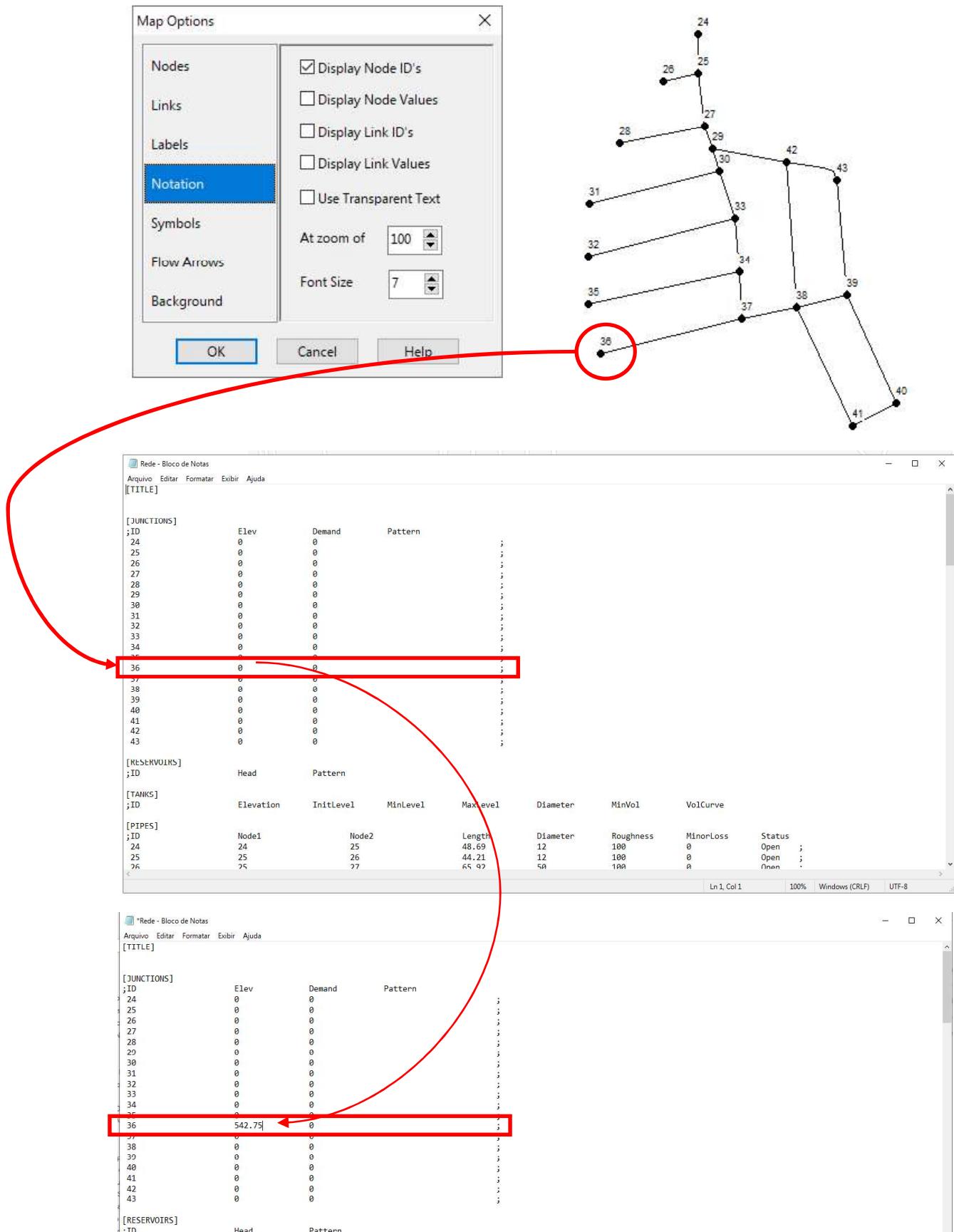
Para cada nó (**Junction**) identificado por seu respectivo ID, insira a cota de elevação para cada um dos nós, tomando o cuidado de não alterar a tabulação do arquivo. Ao terminar a inserção dos dados, salve o arquivo que está no **Bloco de Notas** com a mesma extensão **.INP**.

Volte ao EPANET e importe o arquivo **.INP** que acabou de ser alterado. Surgirá na tela do EPANET o desenho dos trechos e nós, só que agora contendo as alterações efetuadas.

Salve então o arquivo atualizado.

A **Figura 113** ilustra o processo de alteração das cotas de elevação através do arquivo **.INP**.

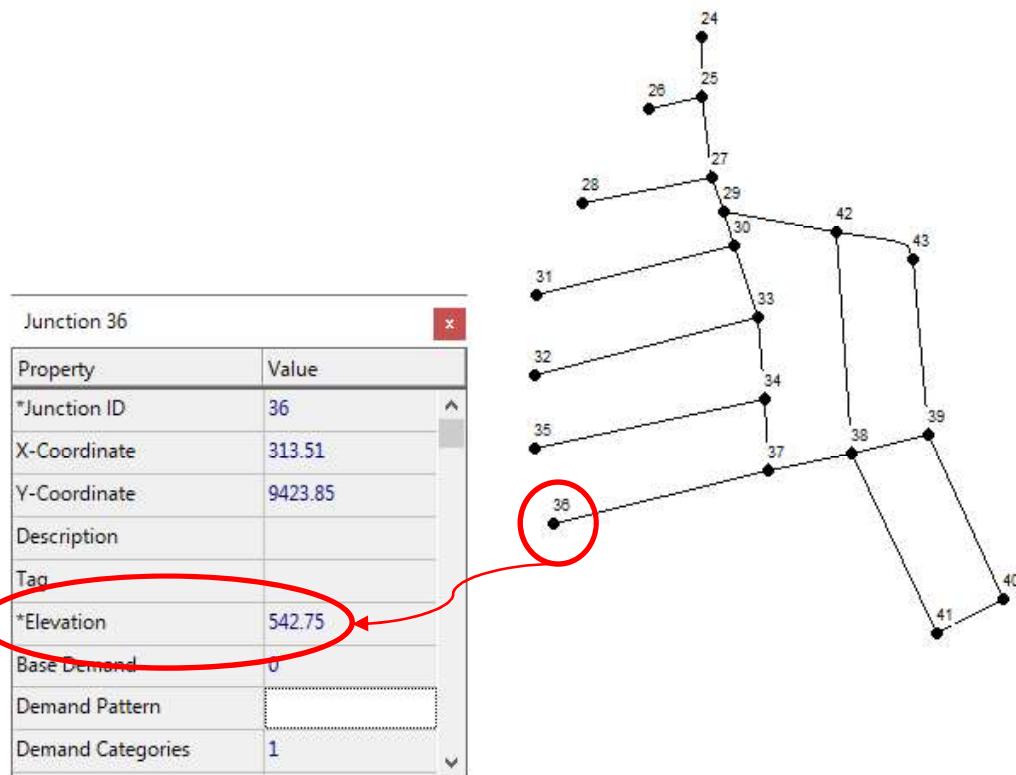
Figura 113: Alterando o arquivo .INP com a cota de elevação de um determinado nó.



Fonte: O autor

A **Figura 114** ilustra a verificação, na tabela de características específicas dos nós, da alteração da cota de elevação de um determinado nó da rede de distribuição de água a partir da alteração do arquivo **.INP**.

Figura 114: Verificação da alteração da cota de elevação de um determinado nó a partir da modificação do arquivo **.INP**.



Fonte: O autor

5.4 Dimensionando um Sistema de Abastecimento de Água

O termo Dimensionamento de um Sistema de Abastecimento de Água consiste, aqui, na determinação dos diâmetros das tubulações, das cotas mínimas de elevação dos reservatórios e na determinação dos volumes de armazenamento, uma vez que a topologia da rede já foi construída.

Para determinação dessas dimensões, faz-se necessário estabelecer a população de projeto e, consequentemente, as vazões demandadas, ambas determinadas a partir de parâmetros de projeto adotados por projetistas, ou exigidos pelas concessionárias dos serviços de água e/ou Normas Técnicas.

5.4.1 Estabelecimento dos Parâmetros de Projeto e Determinação das vazões características

- **Densidade populacional (DP):**

Refere-se ao número médio de habitantes por lote, unidade habitacional ou por ligação ativa de água.

No caso de projetos de sistemas de abastecimento de água para loteamentos ou condomínios horizontais é comum utilizar a densidade populacional de 5 habitantes/lote; já para o caso de simulações ou avaliações de sistemas de abastecimento de água de um município, por exemplo, por ser mais complexo, pode-se utilizar o número de pessoas por ligação. A cidade de São Carlos (SP), por exemplo, possui densidade populacional da ordem de 2,3 pessoas/ligação ativa de água.

- **População atendida (P):**

Refere-se ao conjunto de pessoas que serão diretamente atendidas pelo SAA. No caso de loteamentos e condomínios horizontais, por restringir-se a uma determinada área com uma única regra para o uso e ocupação do solo, normalmente é determinada multiplicando-se a densidade populacional (DP) pelo número de lotes (NL) do empreendimento, de acordo com a **Equação 07:**

$$P = DP \cdot NL \quad (07)$$

Para o caso de análise do SAA mais complexo, que envolve toda a cidade ou áreas com diferentes regras para o uso e ocupação do solo, faz-se necessário a realização de estudos do crescimento populacional por região.

- **Consumo médio *per capita* de água (q):**

Refere-se ao volume médio de água atribuído ao consumo de uma pessoa. O termo atribuído foi aqui aplicado, pois tal volume engloba as perdas físicas de água no sistema de abastecimento. Quando não se dispõe de nenhuma informação, é comum adotar-se o valor de 200 L/hab.dia. As concessionárias dos serviços de água podem, no entanto, estabelecer outros valores em função dos tamanhos dos lotes, previsão da renda econômica dos usuários, entre outros parâmetros.

Na cidade de São Carlos (SP), embora o consumo médio *per capita* de água seja da ordem de 173 L/hab.dia, é comum a concessionária local adotar o consumo médio de 200 L/hab.dia.

O consumo médio *per capita* está relacionado ao nível de consumo de uma determinada comunidade e está relacionada à renda média, existência de pavimentação, nível cultural, etc.

- **Vazão Média de consumo de água (\bar{Q}):**

Refere-se ao volume médio diário consumido por uma determinada população. No entanto, a vazão é normalmente representada em volume consumido por segundo, conforme **Equação 08:**

$$\bar{Q} = \frac{P \cdot q}{86400} \quad (08)$$

Onde: P é a população atendida (nº habitantes); q é o consumo médio *per capita* (l/hab.dia); $1/86400$ é o fator de conversão de dia para segundos; \bar{Q} é a vazão média consumida de água (l/s).

- **Padrão de Consumo de água (φ):**

Refere-se à variação do consumo médio de água (q) e estão relacionados a fatores climáticos como temperatura, umidade relativa do ar (consumimos mais água no verão se comparado com o consumo no inverso), fatores horários (consumimos mais água nos períodos matutino e vespertino se comparado aos volumes consumidos no período noturno), sazonais (atividades que ocorrem sazonalmente).

O conhecimento do padrão de consumo de uma comunidade, ou de um determinado setor de abastecimento, tornam mais realista as simulações operacionais dos SAA.

Em relação ao dimensionamento das unidades do SAA, os maiores interesses se voltam para os coeficientes do dia (K_1) e da hora (K_2) de maior consumo.

Para o dimensionamento das redes de distribuição, os projetistas consideram que a rede deve operar em condições pré-estabelecidas para o dia e na hora em que ocorrerem os maiores consumos, daí a adoção dos fatores K_1 e K_2 simultaneamente. Contudo, para o dimensionamento das captações de água e para os reservatórios públicos de abastecimento, considera-se o fator K_1 , o qual está relacionado ao dia de maior consumo.

Na análise de dados empregados na busca de vazamentos, o coeficiente do dia de menor consumo (K_3) é bastante empregado.

- **Vazões de projeto:**

Referem-se às vazões máxima (diária e horária), máxima diária, média e mínima.

Média:
$$\bar{Q} = \frac{P \cdot q}{86400}$$

Máxima *Maximorum*: $Q_{máxima} = K_1 \cdot K_2 \cdot \bar{Q}$

Máxima diária: $Q_{max.diário} = K_1 \cdot \bar{Q}$

Mínima *Minimorum*: $Q_{mínima} = K_3 \cdot \bar{Q}$

Os valores de K_1 , K_2 e K_3 devem ser muito bem estabelecidos e, normalmente, são fornecidos pela concessionária quando da elaboração do projeto.

Quando não se tem informações a respeito, costuma-se adotar os seguintes valores: $K_1 = 1,25$; $K_2 = 1,50$; $K_3 = 0,50$. A NBR 12.218:2017 (ABNT, 2017) sugere que, na inexistência de histórico, sejam adotados os valores $K_1 = 1,2$; $K_2 = 1,5$; $K_3 = 0,5$.

Dessa maneira tem-se: $Q_{máxima} > Q_{max.diário} > \bar{Q} > Q_{mínima}$.

- **Vazões Características:**

Refere-se à vazão de projeto dividida pelo comprimento total da rede de distribuição ou em relação a área total abastecida.

$$q_L = \frac{\bar{Q}}{\sum L}$$

$$q_A = \frac{\bar{Q}}{A}$$

Sendo: \bar{Q} a vazão média (L/s); $\sum L$ o comprimento total da rede de distribuição que realmente contribui com a distribuição de vazão (m); A é a área total abastecida (m^2); q_L é a vazão característica em relação ao comprimento ($L/s.m^2$); q_A é a vazão característica em relação a área abastecida ($L/s.m^2$).

- **Pressões de serviço:**

Referem-se às pressões máxima (estática) e mínima (dinâmica) observadas no SAA na ocorrência de regime hidráulico permanente.

Nas redes de distribuição de água, a norma NBR 12.218:2017 (ABNT, 2017) estabelece que a pressão mínima (dinâmica) – aquela que ocorre quando a rede está alimentando todos os consumidores na condição mais extrema – é de **$10mH_2O$** (100 kPa); enquanto a pressão máxima (estática) – aquele que ocorre quando não há nenhum consumo de água – é de **$40 mH_2O$** (400 kPa).

No entanto, a mesma NBR 12.218:2017 (ABNT, 2017) menciona que sempre que possível, deve-se adotar as pressões estáticas entre 25 e 30 mH_2O (250 e 300 kPa).

Já nas adutoras e linhas de recalque, deve-se observar a pressão máxima de serviço, estabelecida em função da Classe de Pressão de cada material.

- **Perda de carga unitária máxima (J_{max}):**

Trata-se da perda de carga observada dividido pelo comprimento do trecho. É comum empregar a perda de carga unitária máxima como parâmetro para seleção do diâmetro da tubulação.

No caso das redes de distribuição de água, a NBR 12.218:2017 (ABNT, 2017) estabelece que as velocidades máximas de escoamento devem resultar em perdas de carga unitárias máximas de $10m/km$ ($0,010m/m$). Vale mencionar que algumas concessionárias de água empregam $J_{max} = 8m/km$ ($0,008m/m$).

A **Tabela 17** apresenta as vazões e velocidades máximas para tubulações de PVC, calculadas a partir dos diâmetros internos das tubulações e considerando $J_{max} = 8\text{m/km}$.

Tabela 17: Vazões e velocidades máximas permitidas para tubos de PVC, considerando $J=8\text{m/km}$.

| Diâmetro Nominal DN | Diâmetro Interno – Di (mm) | Vazão Máxima suportada – Q_{max} (L/s) | Velocidade Máxima permitida – V_{max} (m/s) |
|---------------------|----------------------------|--|---|
| 50 | 51,8 | 1,0 | 0,5 |
| 75 | 73,4 | 2,5 | 0,6 |
| 100 | 95 | 5,0 | 0,7 |
| 150 | 149 | 16,4 | 0,9 |
| 200 | 194 | 32,8 | 1,1 |
| 250 | 240 | 57,4 | 1,3 |
| 300 | 285 | 90,2 | 1,4 |

Nota: Perda de Carga por Hazen-Wiliams com $C=120$. Tubos de PVC.

Fonte: O autor

5.4.2 Dimensionando a rede de distribuição

O EPANET não possui uma rotina de cálculo específica para dimensionar sistemas hidráulicos. O software limita-se a realização da análise hidráulica do modelo construído. Dessa maneira, é necessário desenvolver uma rotina que permita distribuir as vazões de consumo e determinar os diâmetros dos trechos de tubulação.

5.4.2.1 Cálculo da Vazão Característica Linear e Carregamento dos Nós

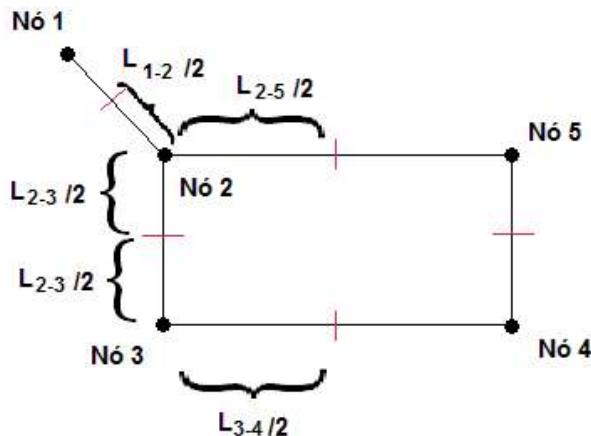
Em uma rede de distribuição de água, a vazão consumida é distribuída aos consumidores ao longo do comprimento do trecho, através das ligações prediais.

No EPANET, as vazões consumidas por uma determinada região são concentradas nos nós. Assim, faz-se necessário converter uma vazão característica (l/s.m ou l/s.m^2) em vazão concentrada.

Uma das maneiras utilizadas na determinação das vazões concentradas é estimar as influências que os trechos de tubulações exercem sobre cada nó em termos de vazão.

Admita uma rede malhada com quatro nós e cinco trechos, conforme apresentada na **Figura 115**.

Figura 115: Determinação das vazões nos Nós a partir dos comprimentos influentes daquele Nó.



Fonte: o autor

Observe o Nô 2 mostrado na **Figura 115**. A vazão nesse nô é influenciada pela vazão distribuída ao longo da metade dos trechos 2-5, 2-3 e 1-2. Já a vazão concentrada no Nô 3 é influenciada pela vazão distribuída em metade dos trechos 2-3 e 3-4, e assim sucessivamente com os demais nôs.

Assim, a vazão em um nô pode ser estimada como apresentado na **Equação 09**:

$$Q_{Nô\ i} = \frac{q_L}{\sum L_{influente\ no\ Nô\ i}} \quad (09)$$

Onde; Q_i é a vazão consumida no Nô i - **Base Demand** (L/s); q_L é a vazão característica em relação ao com comprimento total dos trechos contribuintes (L/s.m); $\sum L$ é a somatória dos comprimentos dos trechos que influenciam a vazão no Nô i (m).

Um roteiro para a estimativa das vazões nos Nôs e que pode ser utilizado como referência é apresentada a seguir:

1) Determine os Comprimentos Fictícios dos trechos:

Construa uma tabela que relate TODOS os trechos da rede e seus comprimentos reais assim como os comprimentos fictícios relativos a efetiva contribuição em termos de distribuição de vazão.

Como exemplo, visualize novamente a rede de distribuição de água apresentada na **Figura 115**. Admita que o trecho 1-2 não distribua água ao longo do seu comprimento. Ainda que o trecho 1-2 tenha (é óbvio!) um comprimento real, o fator de contribuição do comprimento real para o cálculo da vazão característica é nulo e, portanto, seu comprimento fictício será nulo, pois não há distribuição de água ao longo do comprimento.

Agora tome o trecho 2-5 como exemplo. Admita que haja casas em somente um dos lados do trecho (o lado de baixo, por exemplo). Ainda que o trecho 2-5 possua um comprimento real, apenas metade dele contribuirá distribuindo vazão, assim o fator de contribuição do comprimento real para o cálculo da vazão característica é 1/2.

Por fim, admita como último exemplo, que o Trecho 2-3 distribua água a consumidores instalados em ambos os lados do referido trecho. Nesse caso, o comprimento fictício é igual ao comprimento real do trecho, pois o fator de contribuição do comprimento real para a determinação da vazão característica é 1,0.

A **Tabela 18** ilustra a *Tabela* para caracterização dos trechos para composição da vazão característica linear:

Tabela 18: Caracterização dos fatores de contribuição dos trechos e determinação dos comprimentos Fictícios.

| Trecho | Comprimento Real do Trecho (m) | Fator de contribuição do trecho | Comprimento Fictício (m) |
|--------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1-2 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2-5 | 200,0 | 0,5 | 100,0 |
| 2-3 | 100,0 | 1,0 | 100,0 |
| 3-4 | 200,0 | 0,5 | 100,0 |
| 5-4 | 100,0 | 1,0 | 100,0 |
| : | : | : | : |
| \sum | L_{real} | | $L_{Fictício}$ |

Fonte: O autor

2) Calcule a vazão característica linear:

Vale mencionar que, enquanto o comprimento real (L_{Real}) representa a extensão total da rede, o comprimento fictício ($L_{Fictício}$) representa o comprimento que realmente participa na distribuição da vazão aos consumidores sendo, portanto, utilizado para o cálculo da vazão característica linear, conforme **Equação 10**:

$$q_L = \frac{\bar{Q}}{\sum L_{Fictício}} \quad (10)$$

Sendo: q_L a vazão característica linear (l/s.m); \bar{Q} a vazão média consumida (l/s); $\sum L_{Fictício}$ a somatória dos comprimentos fictícios dos trechos que formam a rede de distribuição de água (m).

3) Determine os Comprimentos Fictícios que contribuem para composição da vazão em cada Nô:

O comprimento fictício que contribui com vazão para cada nó é estimado como sendo a metade da somatória dos comprimentos fictícios dos trechos interligados ao respectivo Nó, conforme **Equação 11**:

$$Lfic_{Nó\ i} = \frac{1}{2} \cdot \sum Lfic_{interligados\ ao\ Nói} \quad (11)$$

Sendo $Lfic_i$ o comprimento fictício de contribuição de vazão para o Nói (m); $\sum Lfic_{interligados}$ a somatória dos comprimentos fictícios dos trechos que são interligados ao Nói (m).

Construa uma tabela, conforme a **Tabela 19** e relate TODOS os nós que formam a rede de distribuição de água, os trechos interligados a cada nó, os comprimentos fictícios de cada trecho, já determinados na **Tabela 18**, e os comprimentos fictícios que contribuem para a formação da vazão no nó i , calculado conforme a **Equação 11**:

Tabela 19: Determinação do comprimento fictício para contribuição da vazão nos Nós.

| Nó | Trechos interligados ao Nói | Comprimento Fictício de cada Trecho (m) | \sum dos Comprimentos Fictícios dos trechos interligados ao Nói (m) | Comprimento Fictício de contribuição para o Nói (m) |
|----|-----------------------------|---|---|---|
| 1 | 1-2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 1-2 | 0,0 | 200,0 | 100,0 |
| | 2-3 | 100,0 | | |
| | 2-5 | 100,0 | | |
| 3 | 2-3 | 100,0 | 200,0 | 100,0 |
| | 3-4 | 100,0 | | |
| 4 | 3-4 | 100,0 | 200,0 | 100,0 |
| | 5-4 | 100,0 | | |
| 5 | 2-5 | 100,0 | 200,0 | 100,0 |
| | 5-4 | 100,0 | | |
| : | : | : | : | : |
| | | | | $\sum Lfic_i$ |

Fonte: O autor

4) Calcule as vazões de contribuição (*Base Demand*) para cada nó:

Conhecido o comprimento fictício de contribuição para cada Nói, calcule a vazão de carregamento (**Base Demand**) de cada nó, conforme **Equação 12**:

$$Q_i = q_L \cdot Lfic_i \quad (12)$$

Sendo: Q_i a vazão no nó i (Base Demand), q_L a vazão característica linear (l/s.m); $Lfic_i$ o comprimento fictício de contribuição para o nó i .

Para facilitar a visualização e a inserção das vazões nos Nós, construa uma tabela, semelhante à

Tabela 20 indicando o número do nó, o comprimento fictício contribuinte para este nó e a vazão calculada (**Base Demand**).

Tabela 20: Estabelecimento das vazões nos nós.

| Nó | Comprimento Fictício de contribuição para o Nó. (m) | Vazão no Nó (L/s) |
|-----|---|----------------------|
| 1 | 0,0 | $= q_L \cdot Lfic_1$ |
| 2 | 100,0 | $= q_L \cdot Lfic_2$ |
| 3 | 100,0 | $= q_L \cdot Lfic_3$ |
| 4 | 100,0 | $= q_L \cdot Lfic_4$ |
| 5 | 100,0 | $= q_L \cdot Lfic_5$ |
| : | : | : |
| n | $Lfic_n$ | $= q_L \cdot Lfic_n$ |

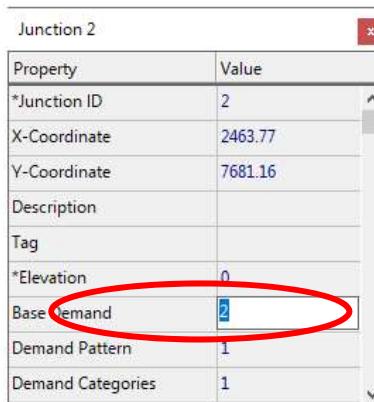
Fonte: O autor

É importante salientar que uma eventual vazão concentrada que seja uma característica específica do nó, por exemplo, um grande consumidor, deverá ser somado àquela vazão do nó i informada na

Tabela 20.

Após o cálculo das vazões para cada Nó, deve-se inserir os valores em cada Nó no campo **Base Demand**, seja editando os nós, conforme apresentado na **Figura 116**, ou alterando o arquivo .INP, conforme apresentado na seção **5.3.4**.

Figura 116: Inserindo a vazão média (**Base Demand**) em cada nó.



Fonte: O autor

5) Estabeleça o Padrão de Consumo Máximo para o dimensionamento da rede:

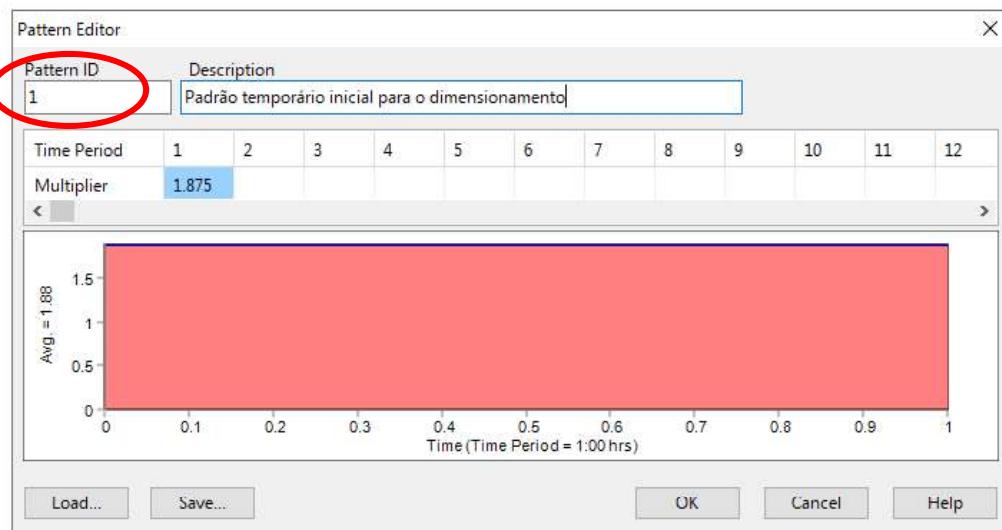
O dimensionamento das redes de distribuição deve ser feito considerando-se a vazão máxima *maximorum*, ou seja, aplicando os coeficientes de majoração do dia (K_1) e hora (K_2) de maior consumo.

O leitor deve ter percebido que as vazões nos nós consideradas (**Base Demand**) estão relacionadas à vazão média do sistema.

Assim, faz-se necessário, neste primeiro momento, criar um padrão de consumo que contenha o valor numérico referente a $K_1 \cdot K_2$. Por exemplo, caso $K_1 = 1,25$ e $K_2 = 1,50$, o fator multiplicativo referente ao padrão de consumo de água (φ) será 1,875.

Para criar o padrão de consumo, reveja a sessão **2.2.2.2**; porém, como este padrão é provisório, pode-se especificar o fator (φ) apenas para o primeiro intervalo de tempo, conforme mostrado na **Figura 117**:

Figura 117: Padrão provisório inicial para o dimensionamento da rede de distribuição de água.



Fonte: o autor

Vale reforçar que o padrão de consumo apresentado na **Figura 117** é provisório e será usado apenas para determinar os diâmetros dos trechos.

Após a criação do padrão provisório de consumo, deve-se associá-lo a cada nó, informando a identificação (ID) do padrão no campo **Padrão de Demanda (Pattern Demand)**, conforme apresentado na **Figura 118**.

Figura 118: Associação do padrão de consumo provisório para o dimensionamento da rede de distribuição de água.

| Junction 2 | |
|-------------------|---------|
| Property | Value |
| *Junction ID | 2 |
| X-Coordinate | 2463.77 |
| Y-Coordinate | 7681.16 |
| Description | |
| Tag | |
| *Elevation | 0 |
| Base Demand | 2 |
| Demand Pattern | 1 |
| Demand Categories | 1 |

Fonte: O autor

5.4.2.2 Procedimentos para determinação dos diâmetros dos trechos

Neste momento que antecede a realização dos primeiros cálculos, seu projeto deve estar com os nós estabelecidos, as cotas de elevação determinadas, o carregamento das vazões e dos padrões estabelecidos. Os trechos devem estar com as rugosidades definidas e o diâmetro mínimo estabelecido em 51.8mm, que representa o diâmetro interno da tubulação de PVC com DN50.

A exigência de se fixar inicialmente o diâmetro mínimo para cada trecho de tubulação está embasada nos artigos 5.6.2 e 3.30 da NBR 12.218:2017 (ABNT, 2017).

Da mesma maneira, a NBR 12.218:2017 (ABNT,2017) estabelece que a perda de carga unitária máxima (J_{max}) seja 10 mH_sO/km (=0,010 m/m). É comum encontrar concessionárias de água estabelecendo a perda de carga unitária máxima (J_{max}) como sendo 8m/km (= 0,008 m/m).

Assim, estabelecido o traçado da rede, estabelecendo o diâmetro inicial para as tubulações como sendo **DN50** e lançadas as cotas de elevação, as vazões médias (**Base Demand**) e o padrão máximo *maximorum* para o consumo nos nós, roda (**Run**) o modelo.

Na sequência, visualiza-se, avalia-se os valores das perdas de carga unitárias de cada trecho, o que pode ser feito a partir da barra de Menu em **Report >> Tables... >>** na aba **Type**, selecionando **Network Links**, depois, na aba **Columns** selecionando **Diameter (Diâmetro)** e **Unit Headloss** (Perda de Carga Unitária) e, por fim, na aba **Filters**, selecionando **Unit Headloss acima (above) 8 m/km**, conforme indicado na **Figura 119**:

Figura 119: Configurando a Tabela de resultados para apresentar a perda de carga unitária (J) dos trechos com J > 8m/km.



Fonte: O autor

Na sequência, é apresentada a Tabela com a identificação dos trechos, dos diâmetros adotados e das perdas de carga unitária (J) que resultaram em valor superior a 8m/km, conforme a .

Figura 120.

Figura 120: Tabela com os resultados dos trechos com $J > 8\text{m/km}$.

| Link ID | Diameter mm | Unit Headloss m/km |
|---------|----------------|-----------------------|
| Pipe 46 | 95 | 9.17 |
| Pipe 37 | 51.8 | 12.93 |

2 items with
Unit Headloss Above 8

Fonte: O autor

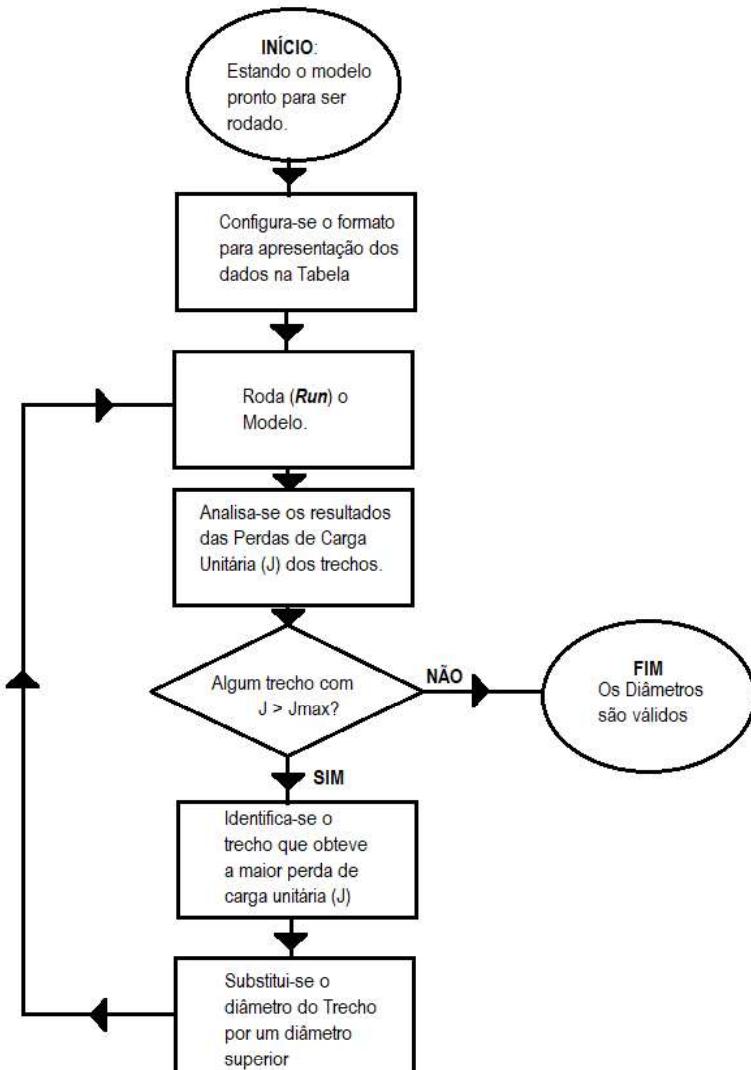
Após observar os resultados contidos na tabela apresentada na .

Figura 120, toma-se o trecho com a maior perda de carga unitária (J) que, no exemplo é a tubulação ID=27 ($J=12,93 \text{ m/km}$ e $Di=51,8\text{mm}$ (DN50)) e substitui-se o diâmetro desse trecho por um diâmetro acima, no caso $Di=73,4\text{mm}$ (DN75).

Após a substituição do diâmetro no referido trecho de tubulação, roda-se (**Run**) novamente o modelo, avaliam-se os resultados, até que todos os trechos resultem em perda de carga unitária inferior a 8m/km , ou a perda de carga unitária máxima (J_{max}) estabelecido.

O fluxograma apresentado na **Figura 121** ilustra os procedimentos que o usuário deve ter ao realizar o dimensionamento da rede de água no EPANET.

Figura 121: Fluxograma do processo mental para o pré-dimensionamento dos trechos.



Fonte: O autor

Uma vez encontrados os diâmetros das tubulações, faz-se necessário verificar as pressões dinâmicas (mínimas) e estáticas (máxima) para cada nó.

Para tanto, faz-se necessário estabelecer as cotas de fundo e do nível máximo do reservatório, e que estão intimamente relacionadas com o volume de reservação.

A norma NBR 12.218:2017 (ABNT) estabelece que a pressão dinâmica (mínima) é de 10 mH₂O (100 kPa), e a pressão estática (máxima) é de 40 mH₂O (400 kPa), podendo chegar a 50 mH₂O (500 kPa) em regiões de topografia acidentada, e todas elas tendo como referência o nível do terreno.

5.4.3 Dimensionando o Volume de Reservação e Estabelecendo as Cotas Características do Reservatório.

Uma das funções dos reservatórios é manter as pressões na rede dentro de valores estabelecidos.

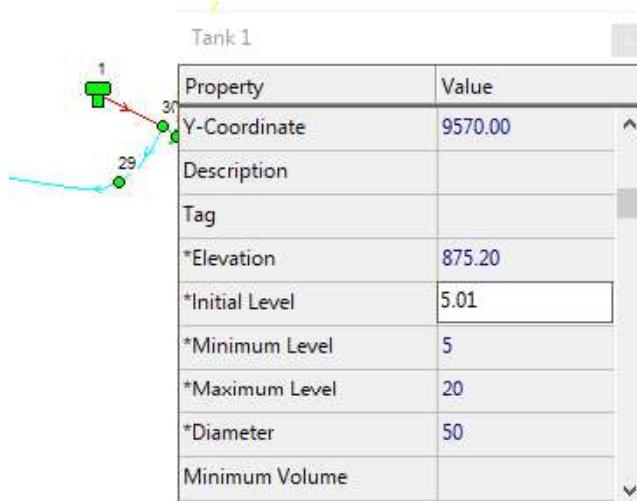
A norma NBR 12.218:2017 (ABNT) estabelece que a pressão dinâmica (mínima) é de 10 mH₂O (100 kPa), e a pressão estática (máxima) é de 40 mH₂O (400 kPa), podendo chegar a 50 mH₂O (500 kPa) em regiões de topografia acidentada, e todas elas tendo como referência o nível do terreno.

No início do traçado da rede de distribuição de água, fixamos o reservatório em uma determinada cota de elevação. No caso de um reservatório de nível variável – RNV (**Tank**), é necessário estabelecer o nível mínimo (**Minimum Level**), equivalente a altura do fundo do reservatório em relação à cota de elevação do terreno onde está assentado, o nível máximo (**Maximum Level**) e o nível inicial (**Initial Level**), referente ao nível de água no reservatório no início de uma simulação ao longo do tempo.

De início é importante estabelecer que o nível inicial (**Initial Level**) deve ser, ao menos, ligeiramente superior ao nível mínimo (**Minimum Level**).

A **Figura 122** ilustra um exemplo de dados para o **RNC** adotado para o abastecimento de um SAA:

Figura 122: Exemplo de configuração inicial do RNV.



Fonte: O autor

Estabelecidas as condições iniciais e provisórias do **RNV**, roda-se (**Run**) o modelo, buscando, logo em seguida, pela menor pressão obtida.

Considere que o processo de busca pela menor pressão tenha resultado o valor de 4,73 mH₂O.

Como a pressão mínima (dinâmica) estabelecida foi de 10,00 mH₂O, é necessário elevar a cota de fundo do reservatório (**Minimum Level**) em, pelo menos, $(10,00 - 4,73) = 5,27$ m.

Como a cota inicial (provisória!) foi estabelecida em 5,0 m, para que se obtenha pressão mínima na rede, o nível mínimo do reservatório deve estar em $(5,00 + 5,27) = 10,27$ m acima da

cota de assentamento do reservatório. Dessa maneira, ao rodar-se (Run) novamente o modelo a pressão mínima (dinâmica) obtida será de 10,00 mH₂O.

Uma vez estabelecida a cota do nível mínimo (**Minimum Level**), faz-se necessário estabelecer a cota do nível máximo (**Maximum Level**), a fim de se determinar a pressão máxima (estática) na rede.

No entanto, a determinação do nível máximo de água depende do conhecimento do nível de reservação desejado.

Uma fórmula prática entre os engenheiros sanitários para estabelecer o volume de reservação mínimo necessário ao abastecimento é considerar 1/3 do volume de água consumido no dia de maior consumo, conforme **Equação (13)**:

$$V_{min} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P \cdot K_1 \cdot q}{1000} \quad (13)$$

Sendo: V_{min} o volume mínimo de reservação necessário ao abastecimento (m³), P é a população atendida (habitantes); K_1 é o coeficiente do dia de maior consumo (adimensional); q é o consumo médio percapita (L/hab.dia).

Assim, por exemplo, assumindo P= 1300 habitantes; q = 200 L/hab.dia; K₁ = 1,25, o volume mínimo para reservação será 108,3 m³.

Admita agora que o reservatório tenha o formato de um cilindro, cujo diâmetro interno seja de 5,00. Nesse caso, a altura de água no reservatório será de 5,52m, conforme obtido pela Equação:

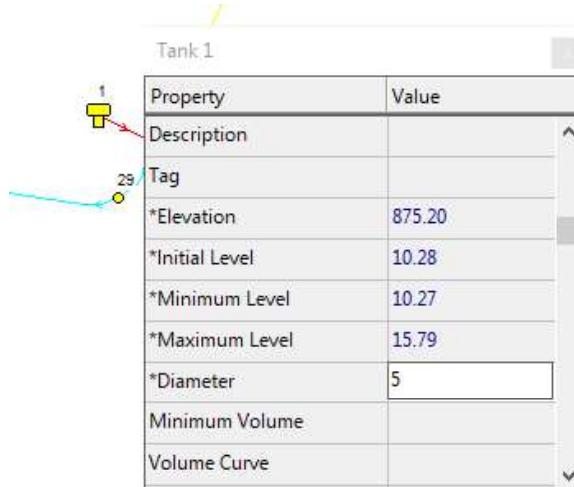
$$V = \frac{\pi \cdot D_R^2}{4} \cdot h \rightarrow h = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_R^2} = \frac{4 \cdot 108,3}{\pi \cdot 5,00^2} = 5,52m$$

Dessa maneira, o nível máximo de água no reservatório (**Maximum Level**) será a altura e água (h) acrescida da altura do nível mínimo (**Minimum Level**), ou seja: 10,27 + 5,52 = 15,79m.

A

Figura 123 ilustra a caracterização final do RNV estabelecido para o modelo.

Figura 123: Caracterização final do RNV usado como exemplo.



| Property | Value |
|----------------|--------|
| Description | |
| Tag | 29 |
| *Elevation | 875.20 |
| *Initial Level | 10.28 |
| *Minimum Level | 10.27 |
| *Maximum Level | 15.79 |
| *Diameter | 5 |
| Minimum Volume | |
| Volume Curve | |

Fonte: O autor

A determinação da cota do nível d'água máximo (NA_{max}) é obtida somando-se a cota de elevação (**Elevation*) do RNV ao nível máximo (*Maximum Level*).

Usando como exemplo os valores apresentados na

Figura 123, tem-se que a cota do NA_{max} é $875,20 + 15,79 = 890,99m$.

Para determinar a pressão máxima (estática) basta aplicar a **Equação 14**:

$$P_{max} = NA_{max} - CT_{min} \quad (14)$$

Onde: P_{max} é a pressão máxima (estática) do SAA (mH_2O); NA_{max} é a cota do nível máximo de água do RNV (m); CT_{min} é a menor cota de elevação do terreno de um determinado nó atendido pelo RNV.

No projeto desenvolvido no EPANET, a pesquisa pela menor cota de elevação pode ser realizada empregando-se o comando Tabela (**Tables...**).

Admita, como exemplo, que a menor cota de elevação de um nó tenha sido 865,50. Assim, ao aplicar a **Equação 14** obtém-se: $P_{max} = 890,99 - 865,50 = 25,40 \text{ mH}_2\text{O} < 40 \text{ mH}_2\text{O}$, este último estabelecido pela norma NBR 12.218:2017 (ABNT, 2017).

Caso a pressão máxima observada (P_{max}) no SAA fosse superior ao valor máximo estabelecido pela norma NBR 12.218:2017 (BNT,2017), o projetista poderia analisar a possibilidade de aumento do diâmetro do reservatório (e consequentemente diminuição do nível máximo d'água) ou a instalação de válvulas redutoras de pressão (**PRV**) ao longo da rede de distribuição.

5.4.4 Avaliação do funcionamento dos hidrantes após o dimensionamento dos trechos da rede e definição das alturas características do reservatório

A partir da caracterização do sistema de abastecimento, faz-se necessário verificar a sua funcionalidade quando um hidrante é posto em funcionamento.

O hidrante urbano de coluna é um dispositivo para combate a incêndios, cujas características mínimas de vazão e número de instalações estão definidas na norma NBR 12.218:2017 (ABNT, 2017), assim como nas Normas Internas dos Corpos de Bombeiros Estaduais.

A norma NBR 12.218:2018 (ABNT, 2017) recomenda que na avaliação da capacidade do(s) hidrante(s) seja aplicada a demanda máxima horária (K_2) na rede de distribuição.

Assim, faz-se necessário estabelecer o fator do padrão de consumo (ϕ) igual ao coeficiente da hora de maior consumo (K_2).

A **Figura 124** ilustra a alteração do padrão (**Pattern**) estabelecido para o dimensionamento da rede de distribuição de água:

Figura 124: Padrão da hora de maior consumo para análise do funcionamento de Hidrantes.



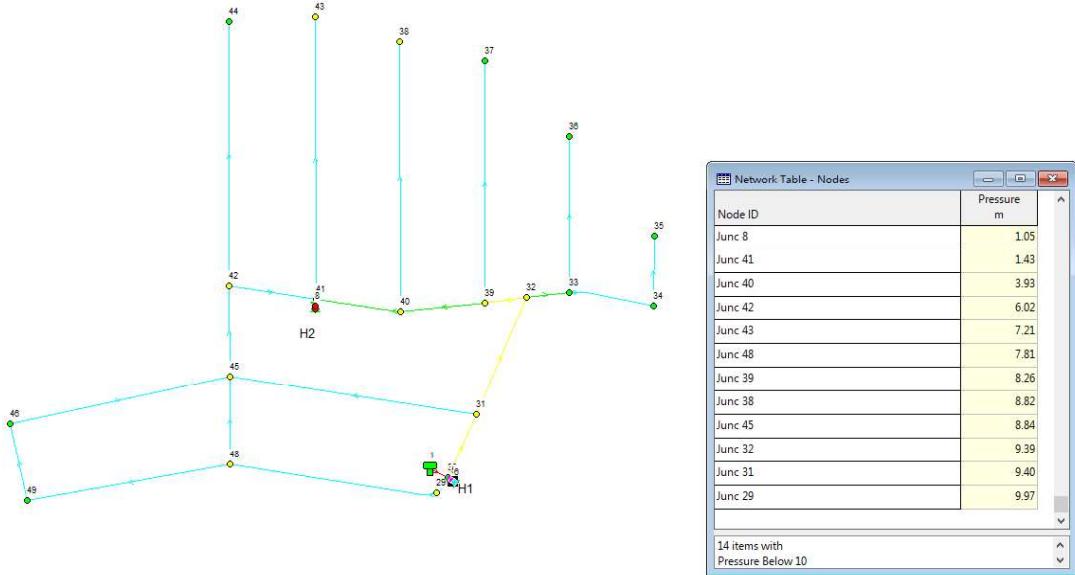
Fonte: O autor

Após a redefinição do padrão de consumo para a hora de maior demanda, rode (**Run**) o modelo e analise as pressões nos nós cujos valores ficaram abaixo da pressão mínima (dinâmica) estabelecida pela norma NBR 12.218:2017 (ABNT, 2017), fixada em 10 mH₂O.

A

Figura 125 ilustra, como exemplo, um resultado das pressões dinâmicas nos nós.

Figura 125: Resultado de simulação para abertura de um hidrante (H2).



Fonte: O autor

Salientamos que a abertura de um hidrante provoca o rebaixamento da linha piezométrica em seu entorno, fazendo com que as pressões nos nós adjacentes diminuam consideravelmente, a ponto de não haver carga de pressão suficiente para abastecer os reservatórios das residências localizadas no entorno.

Por se tratar de uma situação operacional não rotineira, é possível aceitar tal ocorrência. No entanto, **NÃO é aceitável** a verificação de nós com pressões menores ou iguais a zero após a abertura de qualquer hidrante. Caso isso ocorra, deve-se rever os diâmetros das tubulações ou mesmo a altura do reservatório, a fim de não permitir a ocorrência de tal situação.

5.4.5 Dimensionando o Sistema de Bombeamento do Poço

Qualquer que seja o reservatório de nível variável (**RNV**), ele deve possuir alguma fonte de suprimento, seja uma ETA, uma subadutora ou um poço profundo. Qualquer que seja a fonte de alimentação, ela deve garantir vazão para atendimento do dia de maior consumo (K_1).

Nesta seção será discutida a alimentação realizada por um poço profundo.

Um empreendimento imobiliário atenderá 1300 habitantes. Admitindo que o consumo médio *per capita* (q) seja de 200 L/hab/dia e o coeficiente do dia de maior consumo (K_1) de 1,25, a produção mínima de água deve ser da ordem de 3,76 L/s.

Considere que um poço foi perfurado próximo ao **RNV** e, após os testes de bombeamento, verificou-se que o nível dinâmico do lençol freático se estabilizou na cota

725,00. Além disso, o poço somente pode ser explorado por 15h/dia. Dessa maneira a vazão mínima de bombeamento é de $\frac{24}{15} \cdot P \cdot K_1 \cdot q = 6,0 \text{ L/s}$.

Tomando o exemplo apresentado na sessão **5.4.3**, a cota em que está estabelecido o nível máximo de água do RNV é 890,99m.

Foi instalada uma bomba de 6 estágios a 10,00m abaixo do dinâmico, ou seja, na cota 715,00m, o diâmetro do tubo edutor é de 3" (75mm), cujo comprimento até p reservatório é de 190m e as perdas de carga localizadas apresentam $K=6,0$.

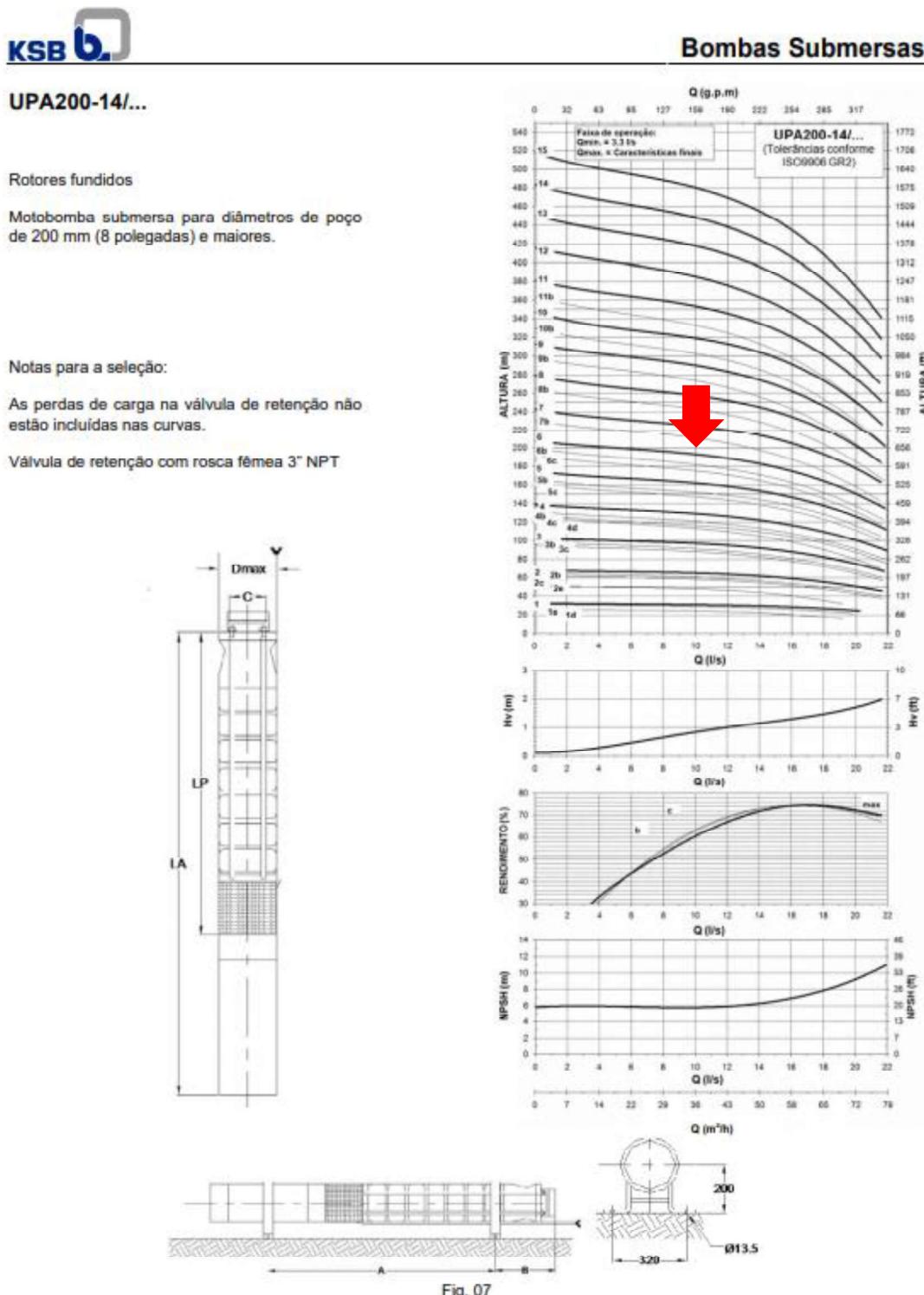
Dessa maneira, desnível geométrico é de $890,99 - 725,00 = 165,99 \text{ m}$.

A **Figura 126** ilustra as curvas características da bomba submersa e a

Fonte: KSB (s.d.)

Tabela 21 apresenta alguns pontos característicos da curva, obtidos a partir da figura e utilizados para a construção da curva característica da bomba no EPANET.

Figura 126: Curvas Características da bomba submersa empregada no exemplo.



Tolerâncias das curvas conforme norma ISO 9906 Grau 2

Fonte: KSB (s.d.)

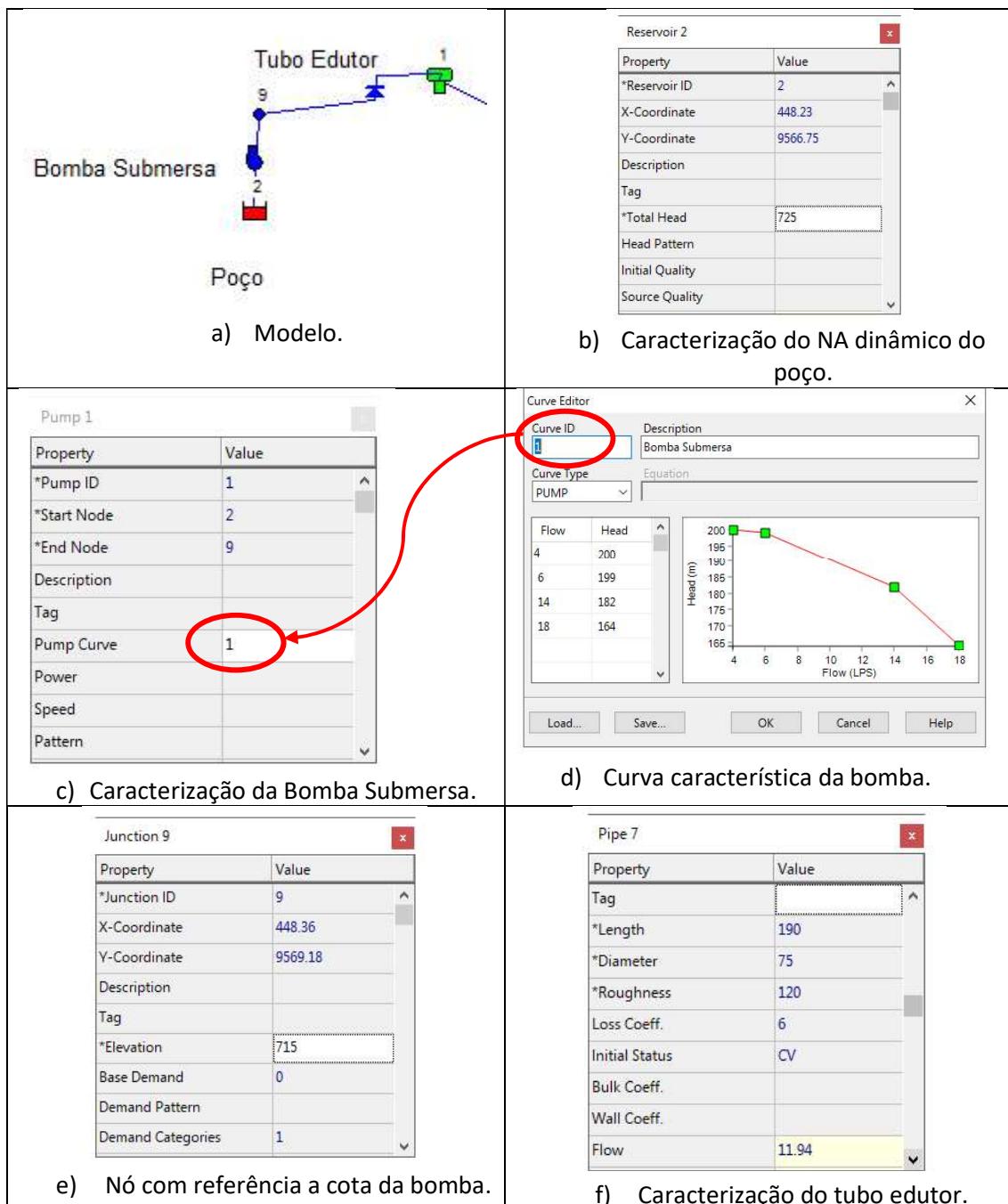
Tabela 21: Pontos característicos da bomba submersa obtidos da Figura 126.

| Vazão (l/s) | Altura de Elevação (m) |
|----------------|---------------------------|
| 4 | 200 |
| 6 | 199 |
| 14 | 182 |
| 18 | 164 |

Fonte: O autor

A **Figura 127** ilustra a caracterização da modelagem do poço profundo como unidade de captação de água:

Figura 127: Caracterização da modelagem do poço como mecanismo de abastecimento do RNV exemplificado.



Após a modelagem do sistema de captação em manancial subterrâneo, interligado ao reservatório de nível variável (**RNV**) do loteamento, realizou-se a simulação e verificou-se que a vazão explotada pelo poço foi de 11,94 L/s, conforme pode ser visualizado na **Figura 127.f.**

6 SIMULAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A curiosidade do ser humano em prever o futuro, principalmente ao se deparar com indagações do tipo “e se?” é o que motiva a utilização de técnicas de simulação.

A simulação permite que façamos uma reflexão sobre o comportamento de um sistema modelado. Assim, quanto mais próximo da realidade o modelo for construído, mais complexo e mais assertivo será o resultado da simulação.

Dessa maneira, a simulação de um sistema permite experimentá-lo sob diferentes situações e aprender sobre ele ou sobre como ele está sendo gerenciado.

Sobre o aspecto temporal, as simulações podem ser ***estáticas***, referentes àquelas simulações realizadas para um determinado tempo, em geral, para $t=0$; ou ***dinâmicas***, referentes àquelas simulações realizadas para um determinado intervalo de tempo.

Os capítulos **4** e **5** abordaram, basicamente, a simulação ***estática***, ou seja, para uma única situação estabelecida em $t=0$. Neste capítulo **6** será apresentada e discutida a ***simulação dinâmica*** de um modelo no EPANET.

Assim, para a simulação ***dinâmica*** de um sistema de abastecimento no EPANET, é necessário estabelecer algumas condições temporais e algumas regras operacionais, as quais serão abordadas na sequência.

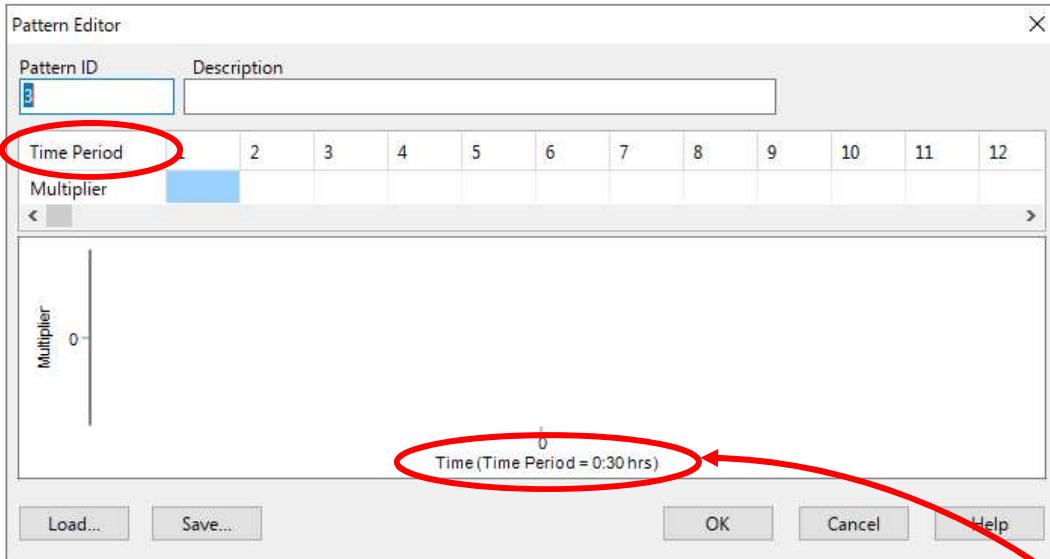
6.1 Padrões Temporais

Os padrões temporais foram apresentados, de maneira geral, na seção **2.2.2.2**. Eles representam uma curva de variação temporal de um determinado parâmetro a ser modelado, seja o consumo de água (inserido em um nó), seja o custo da energia elétrica (inserido em ***Price Pattern*** nas características da bomba), seja a vazão da bomba (inserido em ***Pattern*** nas características da bomba).

A

Figura 128 ilustra o Editor do Padrão (**Pattern Editor**), com destaque para o campo *Período* (intervalo) de Tempo (**Time Period**) e o intervalo de tempo adotado para cada período de tempo. No caso, o tempo adotado para cada período (intervalo) de tempo é de 30 minutos (0h30.).

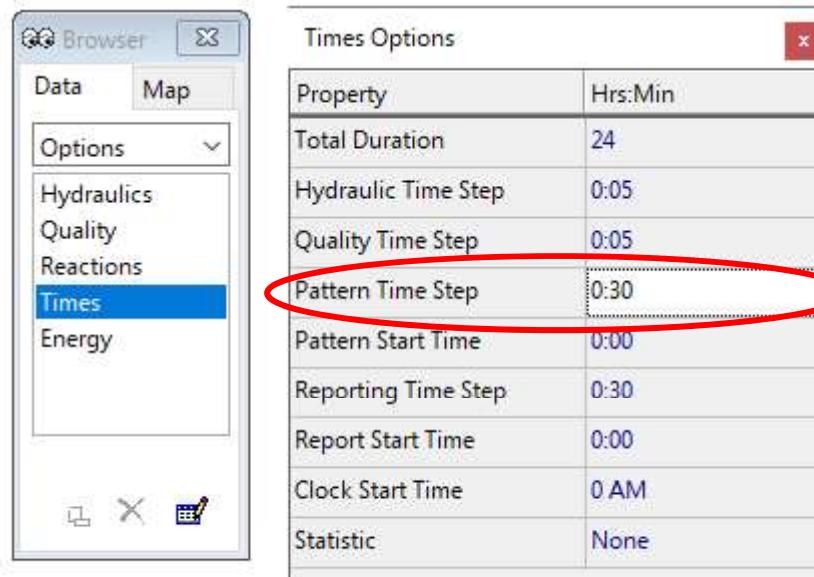
Figura 128: Particularidades do Editor de Padrão (**Pattern Editor**).



Fonte: O autor

Na informação **Período de Tempo (Time Period)** o **Editor do Padrão (Pattern Editor)** apresenta 24 períodos (intervalos) de tempo, e cada período de tempo é estabelecido a partir da opção **Tempo (Time)** no **Visualizador/Navegador (Browser)** do EPANET (**aba Data >> Times**), conforme apresentado na **Figura 129**.

Figura 129: Configurando o intervalo de tempo do Padrão.



Fonte: O autor

Nas opções disponibilizadas de tempo, existem nove parâmetros a serem considerados:

- **Duração Total (Total Duration):**

Refere-se ao tempo de simulação a ser considerado.

- **Hora de início (Clock Start Time):**

Refere-se à hora oficial que se inicia a simulação.

- **Intervalo de tempo Padrão (Pattern Time Step):**

A determinação do intervalo de tempo do Padrão é muito importante para a própria configuração do Padrão.

Admita por exemplo, que seja adotado intervalo de tempo de 30 minutos. Isso significa que cada valor multiplicativo inserido fará referência a um período (intervalo) de tempo de 30 minutos, o que resultará em um período total de 12 horas. Com isso, em uma simulação, o padrão estabelecido se repetirá a cada 12 horas.

- **Hora de início do Padrão (Pattern Start Time):**

Refere-se à hora em que o primeiro valor do padrão será aplicado.

- **Intervalo de tempo para simulação Hidráulica (Hydraulic Time Step) e Intervalo de tempo para simulação da Qualidade (Quality Time Step):**

Referem-se, respectivamente, aos intervalos de tempo para a realização dos cálculos hidráulicos e de qualidade.

Se o intervalo de tempo para simulação (**Hydraulic Time Step**) ou (**Quality Time Step**) for maior que o estabelecido para o intervalo de tempo padrão (**Pattern Time Step**) ou aquele estabelecido para o intervalo de tempo para reportar os resultados (**Reporting Time Step**) o valor será automaticamente reduzido.

- **Intervalo de tempo para reportar resultados (Reporting Time Step):**

É o intervalo de tempo estabelecido que será empregado para reportar os resultados.

A **Figura 130** ilustra o intervalo de tempo adotado para reportar os resultados:

Figura 130: Intervalo de tempo adotado para reportar os resultados.

| Time Series Table - Link 11 | | | |
|-----------------------------|----------|---------------------|---------|
| Time Hours | Flow LPS | Times Options | |
| 0:00 | 0.00 | Property | Hrs:Min |
| 0:05 | 0.00 | Total Duration | 24 |
| 0:10 | 0.00 | Hydraulic Time Step | 0:05 |
| 0:15 | 0.00 | Quality Time Step | 0:05 |
| 0:20 | 0.00 | Pattern Time Step | 0:30 |
| 0:25 | 0.00 | Pattern Start Time | 0:00 |
| 0:30 | 0.00 | Reporting Time Step | 0:05 |
| 0:35 | 0.00 | Report Start Time | 0:00 |
| 0:40 | 0.00 | Clock Start Time | 0 AM |
| 0:45 | 0.00 | Statistic | None |

Fonte: O autor

- **Estatística (Statistic):**

Determina o tipo de estatística pós-processamento que deve ser feita empregando os resultados da simulação. **AVERAGE** retorna a média dos resultados obtidos da simulação, **MINIMUM** retorna apenas os valores mínimos, **MAXIMUM** retorna apenas os valores máximos obtidos da simulação, e **RANGE** retorna a diferença entre os mínimos e máximos valores obtidos. **NONE** retorna todos os valores simulados.

6.2 Escrevendo regras para simulação operacional

Os controles baseados em regras (**Rules**) permitem estabelecer relações entre o status de um link e sua configuração, baseado em um conjunto de condições que devem existir em um sistema de abastecimento após um determinado intervalo de tempo.

A estrutura de uma regra segue o seguinte formato:

| | |
|-------------------------------|---|
| RULE <id> | Nome e número da Regra. Sempre deve existir |
| IF <condição 1> | Sempre deve existir este operador lógico |
| AND <condição 2> | Estas condicionantes (E, OU) podem ou não serem empregadas. |
| OR <condição 3> | Dependem da complexidade da regra |
| THEN <ação 1> | Sempre deve existir. Indica a ação a ser tomada |
| AND <ação 2> | Estas condicionantes (E, SENÃO) podem ou não serem empregadas. Dependem da complexidade da regra |
| ELSE <ação 3> | |
| PRIORITY | Seu uso é facultativo. É utilizada quando ocorrer algum conflito entre regras e é necessário estabelecer uma prioridade, recebendo valores de 1 (maior prioridade) a 5 (menor prioridade) |

A condição estabelecida por uma determinada regra segue um padrão formado por **<objeto> <id> <atributo> <relação> <valor>**.

A **Tabela 22** apresenta as possibilidades existentes para objetos, atributos e relações necessárias para compor uma condição:

Tabela 22: Formatação da <configuração> de uma regra (**RULE**).

| Formatação da <condição> | | | | |
|--------------------------|---------------------------|--|-------------------|---|
| <objeto> | <id> | <atributo> | <relação> | <valor> |
| NODE | <id> | DEMAND | = | Valor especificado para atender a relação |
| JUCTION | | HEAD | \leftrightarrow | |
| RESERVOIR | | PRESURE | | |
| TANK | | LEVEL | < | |
| LINK | | FLOW | > | |
| PIPE | | STATUS (OPEN, CLOSED ou ACTIVE) | | |
| PUMP | | SETTING (PUMP SPEED ou VALVE SETTING) | | |
| VALVE | | | | |
| SYSTEM | <i>Não usa <id></i> | DEMAND TIME (Tempo de simulação) CLOCKTIME (hora do dia) | \leq \geq | |

Fonte: O autor

A ação necessária para atendimento de uma determinada regra segue um padrão formado por **<objeto> <id> <STATUS / SETTING> IS <valor>**.

A **Tabela 23** apresenta as possibilidades existentes para compor as ações a serem tomadas em função de uma condição pré-estabelecida:

Tabela 23: Formatação da <ação> de uma regra (**RULE**).

| Formatação da <ação> | | | | |
|-------------------------------|------|--------------------|----|----------------|
| <objeto> | <id> | <STATUS / SETTING> | IS | <valor> |
| LINK PIPE PUMP VALVE | <id> | STATUS SETTING | IS | OPEN CLOSED |

Fonte: o autor

São possíveis regras:

RULE 1
IF TANK 5 LEVEL \geq 10
THEN PUMP 11 STATUS IS CLOSED

RULE 2
IF NODE 23 PRESSURE > 50
THEN VALVE 34 STATUS IS OPEN

RULE 3
IF SYSTEM CLOCKTIME \geq 5:00 PM
AND SYSTEM CLOCKTIME \leq 8:00 PM
THEN PUMP 32 STATUS IS OPEN

6.3 Simulação Hidráulica

O modulo de simulação hidráulica do EPANET calcula a carga hidráulica nos nós e a vazão nos trechos, as alturas d'água nos reservatórios de nível variável (**RNV**) e os consumos de um conjunto de nós ao longo do tempo.

Em cada intervalo de cálculo, os níveis de água nos reservatórios de nível constante (**RNC**) e os consumos nos nós são atualizados, de acordo com o padrão temporal que lhes está associado, enquanto que a altura de água nos reservatórios de nível variável é atualizada em função do balanço das vazões que entram e saem.

A solução para o valor da carga hidráulica e para a vazão em um determinado nó e em um determinado instante é obtida resolvendo, simultaneamente, a equação da continuidade (conservação da massa), para cada nó, e a equação da conservação da energia, para cada trecho da rede. Este procedimento de cálculo, conhecido por “Balanço Hidráulico” da rede, requer a utilização de técnicas iterativas para resolver as equações não lineares envolvidas.

O EPANET emprega o “*Método do Gradiente*” para atingir este objetivo, sendo que o leitor poderá obter maiores detalhes desse método consultando o manual do usuário do EPANET (EPA, 2000).

A duração total da simulação (**Total Duration**), assim como o intervalo de tempo hidráulico (**Hydraulic Time Step**) utilizado em uma simulação dinâmica pode ser estabelecido pelo usuário, conforme apresentado na seção 6.1.

O EPANET adota, como valor pré-definido, adota 1 hora. Intervalos de tempos inferiores ao usual serão automaticamente empregados sempre que ocorrer um dos seguintes eventos:

- O intervalo de tempo para reportar os resultados for menor que o adotado para **Hydraulic Time Step**;
- O próximo intervalo de tempo adotado para o padrão (**Pattern**) for menor que o adotado para **Hydraulic Time Step**;
- O reservatório de nível variável – RNV (**Tank**) ficar vazio ou cheio;
- Um controle simples ou controle-baseado em regras estiver ativo.

6.4 Simulação do Consumo de Energia

Pode-se considerar a simulação do consumo de energia de um sistema de abastecimento como uma particularidade da simulação hidráulica de um modelo no EPANET.

A energia consumida por um conjunto elevatório é estabelecida pela **Equação 15**:

$$E = Pot \cdot \theta = \left(\frac{\gamma \cdot Q \cdot H_{man}}{75 \cdot \eta} \right) \cdot \theta \quad (15)$$

Onde: E é a energia elétrica consumida (W.s); Pot é a potência instalada do conjunto motor-bomba (W); θ é o tempo de funcionamento do conjunto elevatório (s); γ é o peso específico da água, assumido como 1000 kg/m^3 ; Q é a vazão bombeada (m^3/s); H_{man} é a altura manométrica (m).

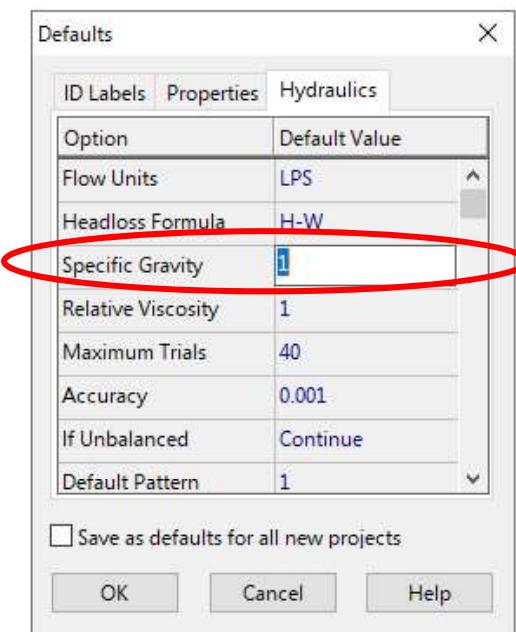
É importante notar que o EPANET considera a *gravidade específica* e não diretamente o peso específico (γ), conforme **Equação 16**:

$$s = \frac{\gamma}{\gamma_{4^{\circ}C}} = \frac{\gamma}{1000} \quad (16)$$

Onde: s é a gravidade específica (adimensional); γ é o peso específico da água a uma dada temperatura (kg/m^3); $\gamma_{4^{\circ}C}$ é o peso específico da água para a temperatura de $4^{\circ}C$ ($=1000 kg/m^3$).

A gravidade específica pode ser alterada nas propriedades contidas em Default, conforme apresentado na **Figura 131**:

Figura 131: Verificando o valor da **gravidade específica** nas propriedades **Default** do EPANET.



Fonte: O autor

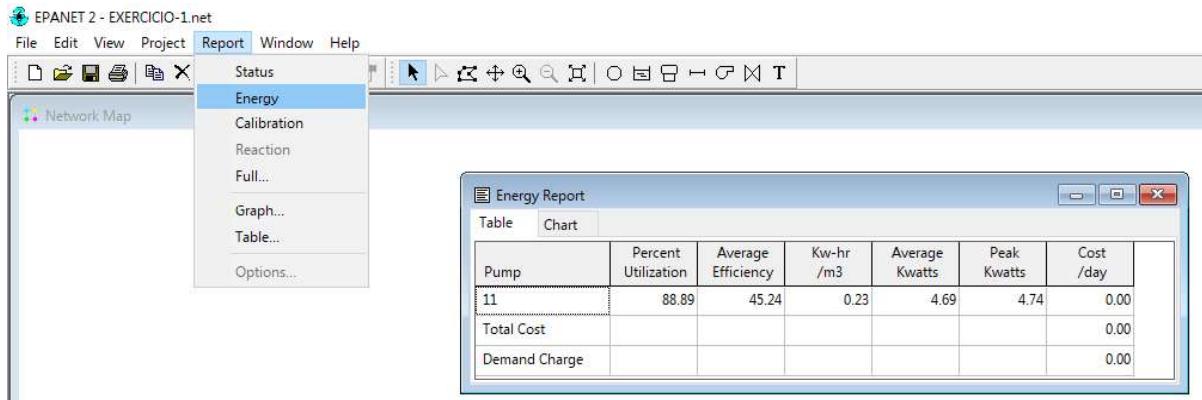
No modelo a ser simulado, a eficiência global (η) pode ser considerada a partir da curva de eficiência da bomba (**Curve >> Efficiency**), conforme apresentado na seção **2.2.2.1**, desde que esteja considerando a eficiência global e não apenas a eficiência da bomba.

A vazão bombeada (Q) e a atura manométrica (H_{man}) são determinados pelo EPANET a partir das características do sistema de recalque, entre elas, a curva característica da bomba, também apresentada na seção **2.2.2.1**.

A determinação do tempo de funcionamento (θ) do conjunto motor-bomba depende do tempo considerado para a simulação (**Total Duration**) e dos controles baseados em regras que foram estabelecidos.

Dessa maneira é possível obter um relatório do consumo de energia, acessando a barra de menu **Report >> Energy**, conforme apresentado na **Figura 132**.

Figura 132: Relatório do consumo de energia de uma estação de bombeamento.



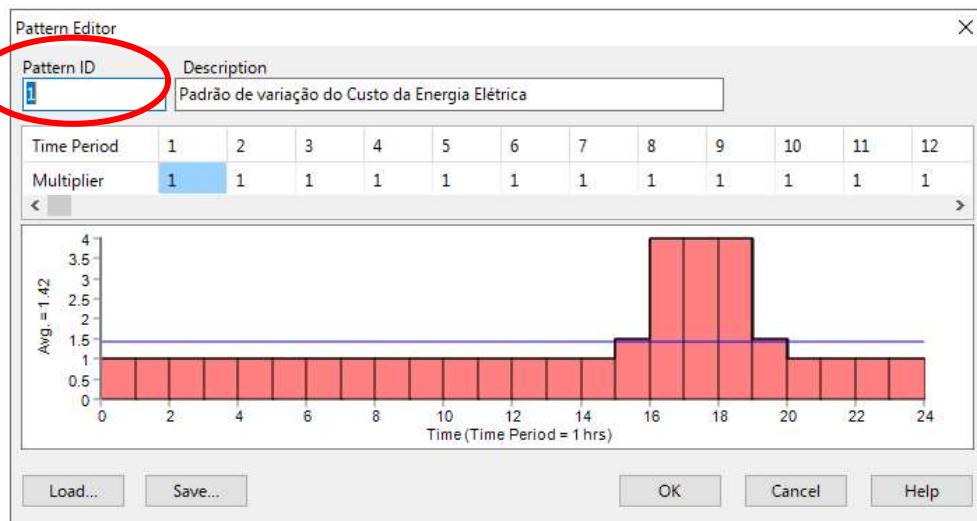
Fonte: O autor

O relatório do consumo de energia apresentado na **Figura 132**, permite visualizar, para cada bomba do modelo, a porcentagem de tempo em operação em relação ao tempo de simulação, a eficiência média, o indicador KW.h/m³, a potência média, o pico de potência, assim como o custo diário gasto com o bombeamento.

Para a determinação do custo diário de bombeamento, é necessário fornecer o padrão temporal da variação do preço da energia. Para isso é necessário criar um padrão e associá-lo a bomba.

A **Figura 133** ilustra um padrão temporal de variação do preço da energia, enquanto a **Figura 134** ilustra a associação desse padrão à bomba.

Figura 133: Padrão temporal da variação do preço da energia elétrica.



Fonte: O autor

Figura 134: Associação do padrão de preço da energia elétrica à bomba.

The screenshot shows the 'Pump 11' properties dialog box. It contains the following table:

| Property | Value |
|----------------|-------|
| Tag | |
| Pump Curve | 1 |
| Power | |
| Speed | 1 |
| Pattern | |
| Initial Status | Open |
| Effic. Curve | 2 |
| Energy Price | 0.80 |
| Price Pattern | 1 |

A red arrow points to the 'Price Pattern' field, which is highlighted with a red oval. The 'Price Pattern' field contains the value '1'.

Fonte: O autor

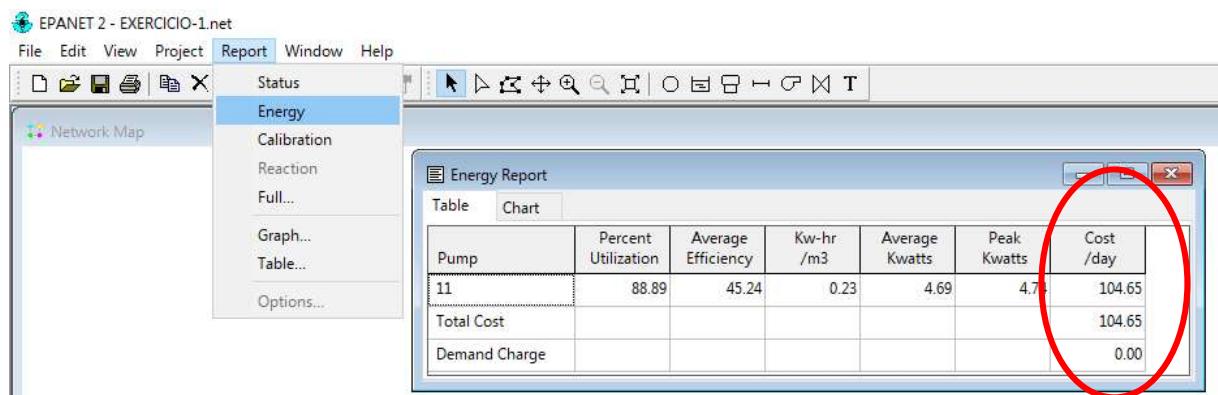
Além da consideração do padrão temporal da variação do preço da energia, é necessário estabelecer o preço da energia. O EPANET considera o custo por KW.h.

Dessa maneira, com a associação de um padrão de variação de preço da energia elétrica e do estabelecimento do preço por KW.h, o relatório de Energia também apresenta o custo diário para o bombeamento.

A

Figura 135 ilustra o relatório de consumo de energia elétrica, complementado com o custo diário da energia elétrica consumida por cada bomba existente no modelo.

Figura 135: Relatório do consumo de energia elétrica e do custo diário da energia elétrica consumida.



Fonte: O autor

6.5 Simulação da Qualidade da Água

Uma rede completamente caracterizada e uma modelagem hidráulica confiável constituem pré-requisitos essenciais para a correta modelagem de qualidade da água. O EPANET possui várias opções para a simulação da qualidade da água ao longo do tempo, no entanto, aqui foram abordados três dessas opções.

6.5.1 Determinação das Concentrações de Cloro

Toda água potável deve conter algum tipo de desinfetante residual. O mais comum utilizado é o cloro.

O Anexo XX⁵ da Portaria de Consolidação Nº 5 do Ministério da Saúde, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017), estabelece que a concentração mínima de cloro residual livre em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) é de 0,2 ppm (0,2 mg/l).

O cloro, assim como outro agente desinfetante, pode ser consumido pelo contato com matéria orgânica presente na água, assim como pelo contato com a parede da tubulação, principalmente se for tubulações metálicas, na qual podem ocorrer reações de oxirredução.

Nesses casos, existe uma constante de decaimento (K_w), relacionada à parede da tubulação (**Wall Coeff.**) e, para tubulações plásticas, é considerada nula.

⁵ Veja nota de rodapé nº 04, pág. 89.

De maneira simplificada, a determinação da velocidade em que o cloro é consumido é representado pelo coeficiente de reação no meio (**Bulk Coeff.**), calculado pela mediante a comparação de duas medidas de concentração suficiente espeçadas no tempo, conforme representado pela **Equação 17**:

$$K_b = \frac{\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right)}{\Delta t} \quad (17)$$

Onde: K_b é o coeficiente de reação do meio (dia^{-1}); C_t é a concentração de cloro livre na água no instante t (ppm); C_0 é a concentração de cloro livre na água no instante inicial (ppm); Δt é o intervalo de tempo transcorrido entre as duas medições da concentração de cloro livre (dias).

Salgado (2008) relacionou trabalhos referentes à determinação do parâmetro de decaimento do cloro em sistemas de distribuição de água, apontando valores para K_b entre 0,1046 dia^{-1} a 0,59 dia^{-1} , para equações primeira ordem.

- **Estabelecendo as constantes de Reação na Tubulação:**

Tanto os coeficientes de decaimento que ocorrem na parede (**Wall Coeff.**), quanto os coeficientes que ocorrem na massa líquida (**Bulk Coef.**), podem ser estabelecidos nas características das tubulações, conforme mostrado na **Figura 136**:

Figura 136: Inserindo os coeficientes K_b e K_w .

| Property | Value |
|----------------|-------|
| *Pipe ID | 24 |
| *Start Node | 1 |
| *End Node | 21 |
| Description | |
| Tag | |
| *Length | 12.24 |
| *Diameter | 149 |
| *Roughness | 130 |
| Loss Coeff. | 0 |
| Initial Status | Open |
| Bulk Coeff. | -0.1 |
| Wall Coeff. | |
| Flow | 5.94 |

Fonte: O autor

É importante salientar que, para uma correta simulação, todos os trechos de tubulações devem ter os coeficientes K_b e/ou K_w estabelecidos.

- **Estabelecendo a constante de Reação no Reservatório de distribuição de água:**

Assim como a rede de distribuição, no reservatório de água também ocorre o decaimento do cloro. Assim, é necessário estabelecer a constante cinética de decaimento. Para o reservatório, a constante de decaimento engloba tanto o decaimento na massa líquida quanto o decaimento pela reação que pode ocorrer na parede (o que deve ser evitado por questões estruturais).

A **Figura 137** ilustra o campo para definição da constante de reação (***Reaction Coeff.***):

Figura 137: Preenchimento do coeficiente de reação estabelecido para o Reservatório.

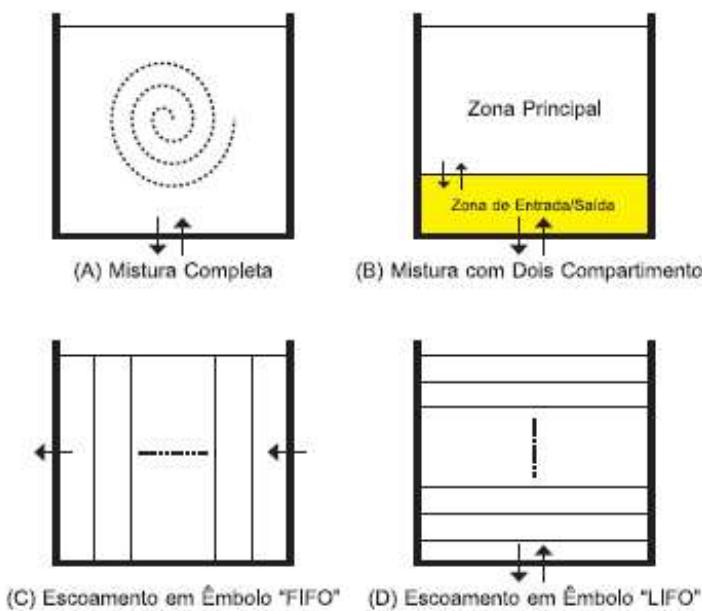
| Tank 1 | |
|-----------------|--------|
| Property | Value |
| Description | |
| Tag | |
| *Elevation | 875.2 |
| *Initial Level | 17.8 |
| *Minimum Level | 12.16 |
| *Maximum Level | 17.95 |
| *Diameter | 5 |
| Minimum Volume | 113.75 |
| Volume Curve | |
| Mixing Model | Mixed |
| Mixing Fraction | |
| Reaction Coeff. | -0.1 |
| Initial Quality | 0 |

Fonte: autor

O EPANET permite utilizar quatro tipos diferentes de modelos para caracterizar as reações de mistura (***Mixing Model***) no interior de reservatórios de nível variável: (a) Mistura completa (***Mixed***); (b) Mistura com dois compartimentos (***2Comp***); (c) Escoamento em êmbolo FIFO (***First in First Out***); (d) Escoamento em Êmbolo LIFO (***Last in First Out***), conforme apresentados na

Figura 138.

Figura 138: Modelos de mistura aplicáveis em reservatórios de nível variável (*Tank*).



Fonte: Adaptado de ROSSMAN (2000).

- **Estabelecendo as condições da Fonte geradora de Cloro:**

Em um sistema de abastecimento de água, o agente desinfetante é introduzido como uma das últimas etapas do tratamento de água.

No caso da utilização de manancial subterrâneo, é comum que a desinfecção seja feita pelo emprego de hipoclorito de sódio, que nas condições comerciais possui 12% de cloro livre. O hipoclorito, nesse caso, é introduzido na linha de recalque que alimenta o reservatório, ou mesmo diretamente no reservatório.

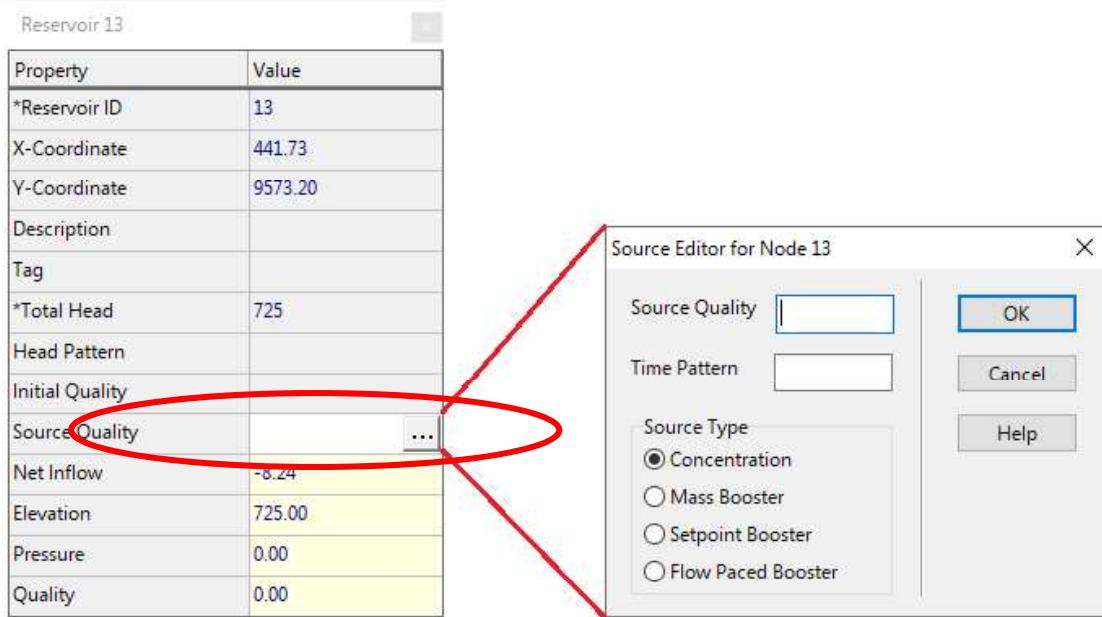
De qualquer maneira, a água que sai do reservatório deve possuir a concentração de cloro livre estabelecida pelo operador e de acordo com as normas de potabilidade.

Dessa maneira, para efeito de modelagem (e apenas de modelagem!), pode-se estabelecer o aquífero como a fonte de qualidade (**Source Quality**).

Ao clicar sobre o reservatório de nível constante que simula o manancial subterrâneo, vê-se a opção Fonte de Qualidade (**Source Quality**). Ao clicar sobre o ícone , é apresentado o Editor da fonte.

A **Figura 139** ilustra a caracterização do manancial subterrâneo como fonte do parâmetro de qualidade.

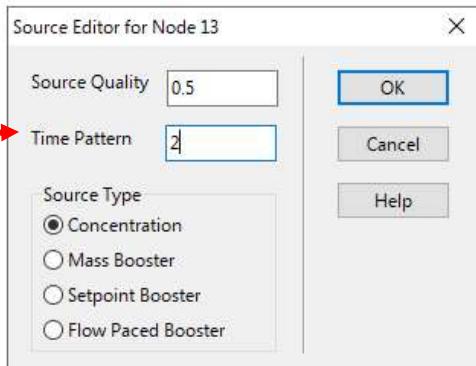
Figura 139: Caracterização do manancial subterrâneo como fonte do parâmetro de qualidade.



Fonte: O autor

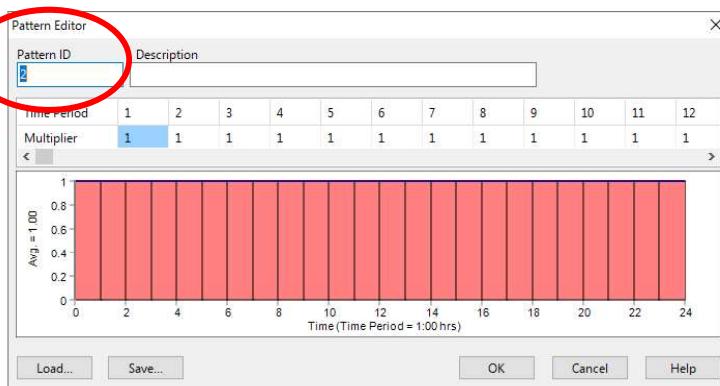
No editor da fonte de qualidade, escolha **Concentração (Concentration)** no tipo de Fonte e insira a concentração de cloro livre desejada no campo **Source Quality** e estabeleça um padrão temporal para a fonte de qualidade conforme indicado na *Erro! Fonte de referência não encontrada.* e **Figura 141.**

Figura 140: Estabelecendo a concentração e o padrão temporal da fonte.



Fonte: O autor

Figura 141: Criando o padrão temporal para a fonte de concentração de cloro.



Fonte: O autor

Ao fazê-lo, o nó, no caso o manancial subterrâneo, recebe um sinal “+” sobre ele, indicando que ele é uma fonte de determinado parâmetro de qualidade, conforme indicado na **Figura 142**

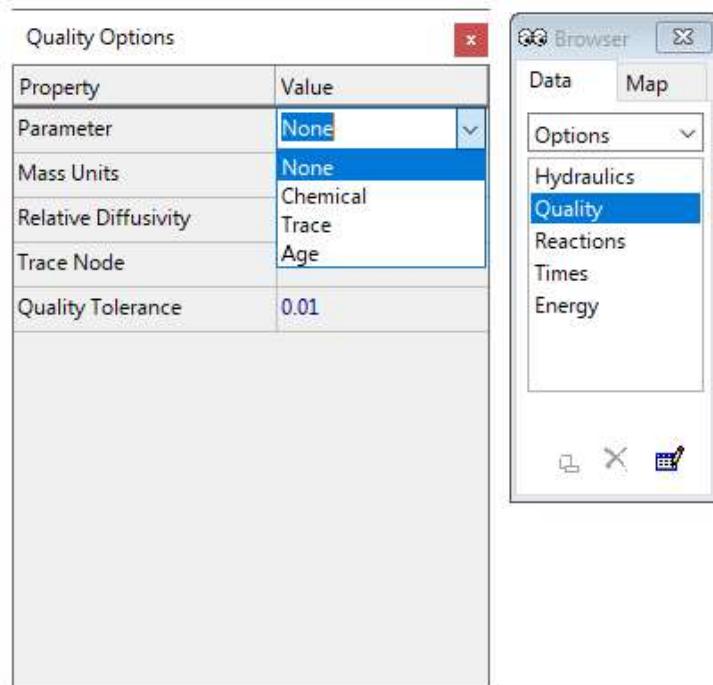
Figura 142: Representação gráfica usada pelo EPANET para estabelecer uma fonte de qualidade.



Fonte: O autor

Agora, no visualizador/navegador (**Browser**) do EPANET, na aba **Dados (Data)**, escolha **Opções (Options) >> Qualidade (Quality)** e, em parâmetros escolha **Chemical**, conforme indicado na *Erro! Fonte de referência não encontrada..*

Figura 143: Estabelecendo as opções para a análise da Qualidade.

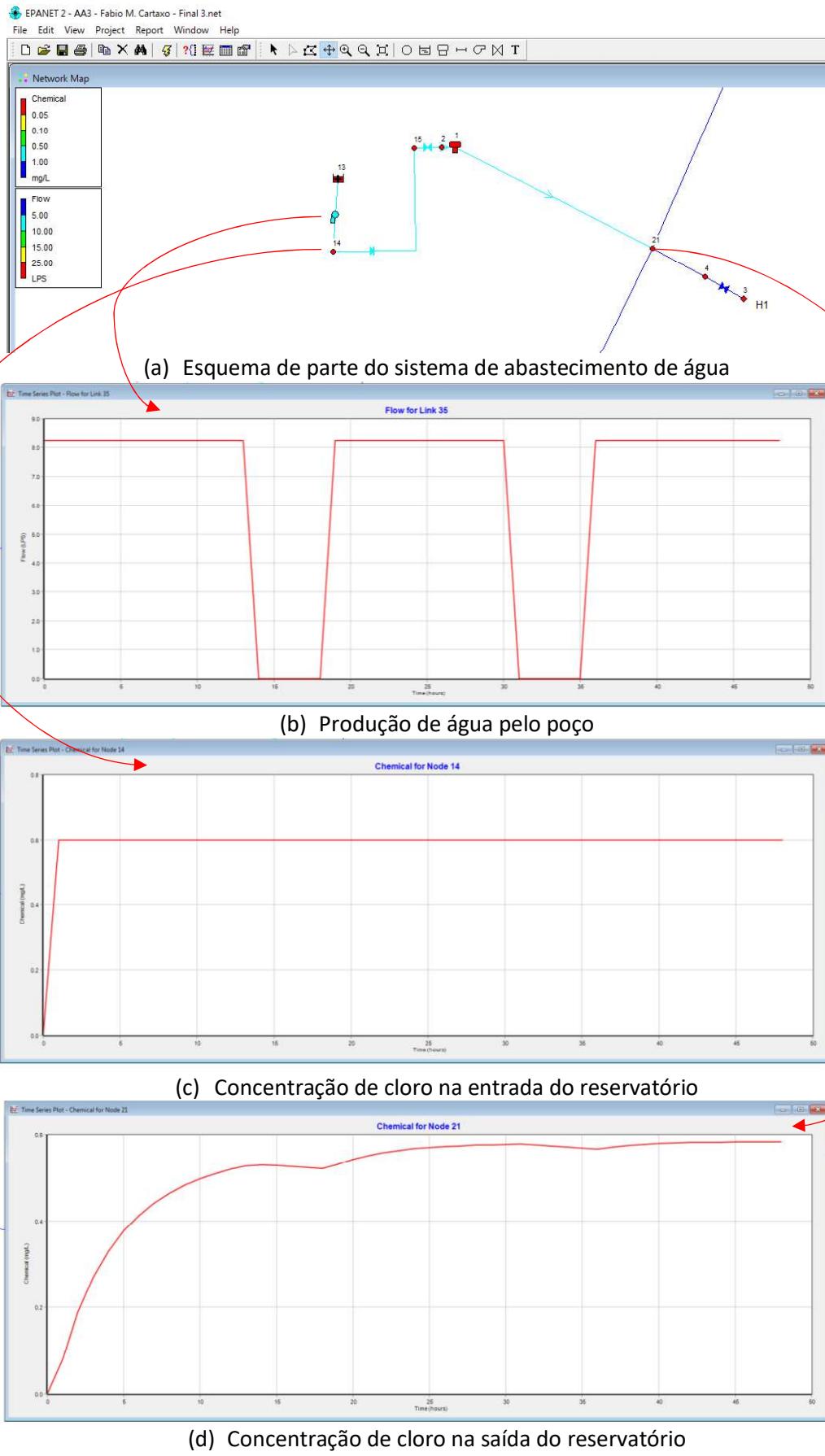


Fonte: O autor

Após rodar (**Run**) o modelo hidráulico-qualitativo, é possível obter a concentração de cloro livre para qualquer nó ao longo do tempo simulado.

A **Figura 144** ilustra uma simulação qualquer. Nela, é possível perceber que, embora a água que esteja entrando no reservatório de distribuição possua concentração de cloro livre de 0,6 ppm, ao sair do mesmo reservatório, a concentração é inferior, devido à taxa de consumo do cloro no interior do reservatório e ao tempo que a água permaneceu nele.

Figura 144: Avaliação da variação da concentração de cloro livre na saída do reservatório.



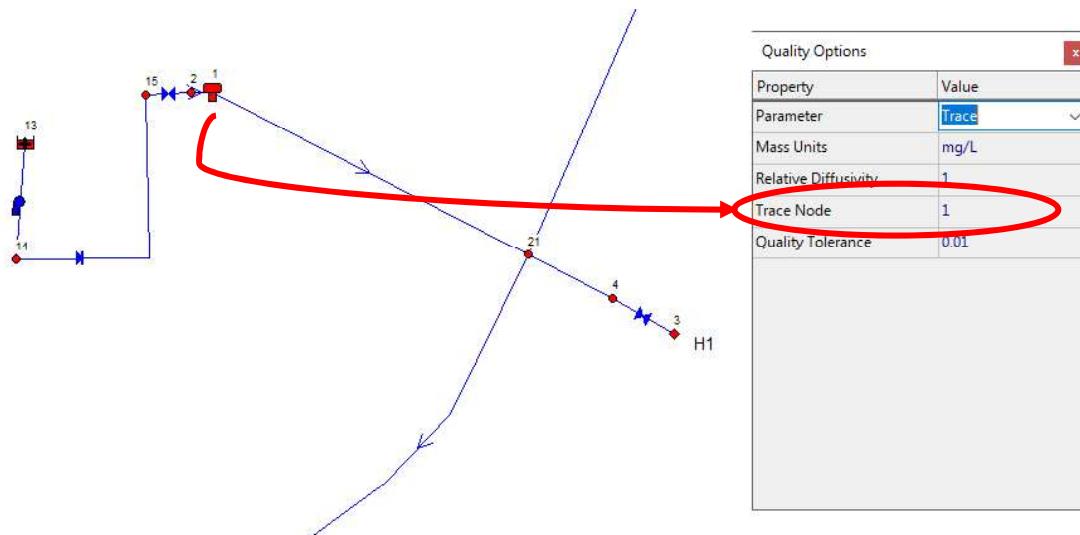
Fonte: O autor

6.5.2 Determinação do tempo de percurso da água

No visualizador/navegador (**Browser**) do EPANET, na aba **Data >> Options >> Quality**, há a função **Tracer**, ou traçador, conforme pode ser visualizada na **Figura 141**.

A função Traçador (**Tracer**) permite rastrear o tempo e o percentual que um traçador, lançado em um determinado nó (**Trace Node**) que a qualquer outro nó verificável. Normalmente o nó onde é lançado o traçador (**Trace Node**) é estabelecido em um reservatório, conforme mostrado na **Figura 145**.

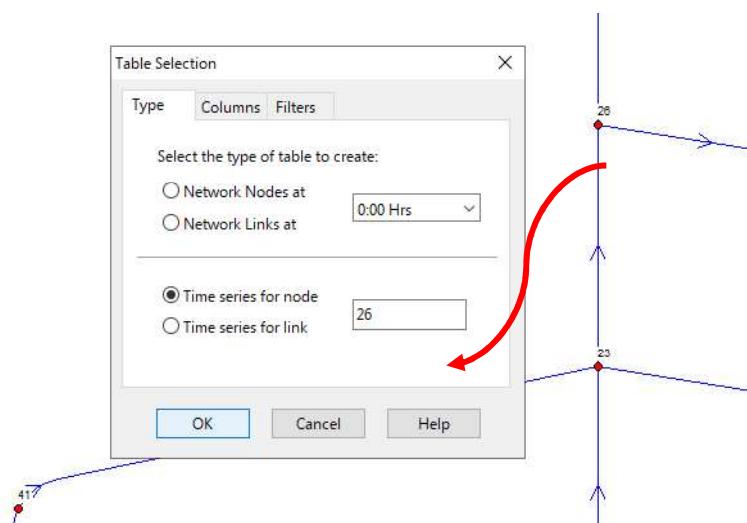
Figura 145: Definindo o "Trace Node".



Fonte: O autor

Após rodar (**Run**) o modelo, é possível obter, por gráfico ou tabela, o tempo de chegada do traçador e a variação do percentual da concentração desse traçador, para um determinado nó escolhido, conforme mostrado na **Figura 146**.

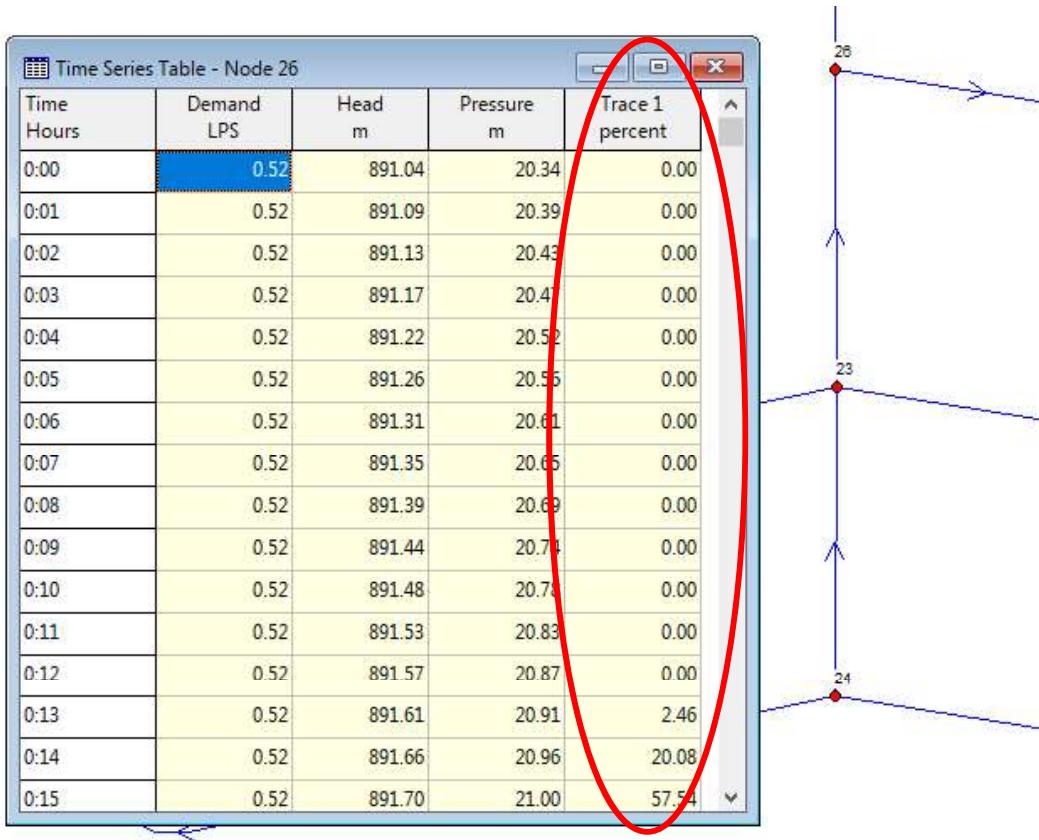
Figura 146: Escolhendo um nó para obtenção do resultado do tempo de percurso.



Fonte: O autor

A **Figura 147** ilustra, entre outros resultados característicos de um determinado nó, a variação da concentração do traçador:

Figura 147: Resultados da série temporal, em especial a variação do traçador para um determinado nó.



Fonte: O autor

Ao analisar os resultados da distribuição do traçador apresentados na **Figura 147**, percebe-se que até 12 minutos (0h12) nenhum percentual do traçador teria chegado até aquele nó; aos 13 minutos após lançado o traçador no reservatório, 2,46% do traçador conservativo chegava ao nó, e assim sucessivamente, até se obter 100% da concentração do traçador.

Voltando à questão da desinfecção da água, foi mencionado anteriormente que, ao se utilizar manancial subterrâneo, a aplicação do hipoclorito é feita na entrada do reservatório ou no próprio reservatório de abastecimento. No entanto, o processo de desinfecção precisa que o agente desinfetante fique por um determinado tempo em contato com a água antes de ser distribuída para o consumo, o chamado, tempo de contato.

O tempo de contato depende da temperatura da água e da concentração de desinfetante utilizada. Esse tempo mínimo é estabelecido pelos Anexos 4 e 5, do Anexo XX⁶ da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). Por exemplo: ao aplicar 0,8ppm de cloro livre na água, com pH=6,5 e temperatura de 15°C, o tempo de contato mínimo é de 11 minutos, ou seja, a água precisa ficar em contato com o agente desinfetante por, pelo menos, 11 minutos antes de ser distribuída para consumo.

⁶ Veja nota de rodapé nº 04, pág. 89.

Se o nó considerado na **Figura 147** representasse o primeiro nó a ser atendido pelo reservatório, o problema estaria resolvido, pois a água levaria próximo de 12 minutos para chegar até o nó, enquanto o tempo de contato mínimo era de 11 minutos, conforme exemplificado.

Quando isso não ocorre, deve-se prever um tanque de contato, ou manter um volume de água no reservatório estabelecendo o nível mínimo operacional (o ponto de ligar a bomba).

6.5.3 Determinando a Idade da Água (ou tempo de Residência)

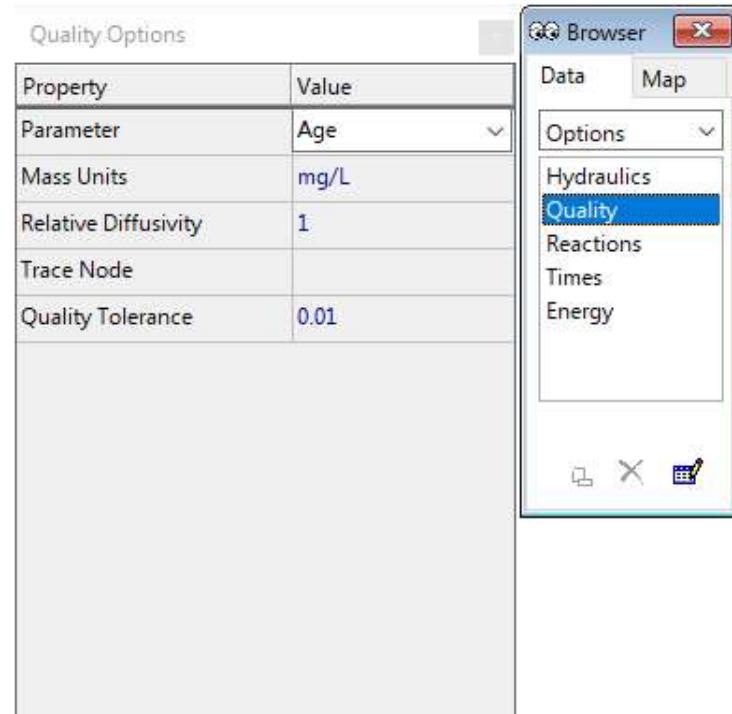
A idade (**Age**) da água, ou tempo de residência, é o tempo médio estimado para que uma parcela da água, localizada em um determinado nó, permaneça no sistema de distribuição. Assim, quando maior o tempo de residência, maior é o tempo que a água demora para percorrer o sistema de distribuição.

Enquanto os reservatórios de nível constante (**Reservoir**) ou nós modelados como fonte de suprimento de água possuem tempo de residência zero, nós com elevados tempos de residência são pontos que requerem atenção das equipes operacionais de um sistema de abastecimento, pois são potenciais pontos de baixa concentração de cloro livre, já que a água ali possui idade avançada.

Para determinar a idade (**Age**) da água, basta o usuário reconfigurar o Editor de Qualidade, escolhendo no visualizador/navegador (**Browser**) do EPANET, na aba **Data**, opção **Quality**, conforme apresentado na

Figura 148.

Figura 148: Configurando o Editor de Qualidade para determinar a Idade (**Age**) da água.

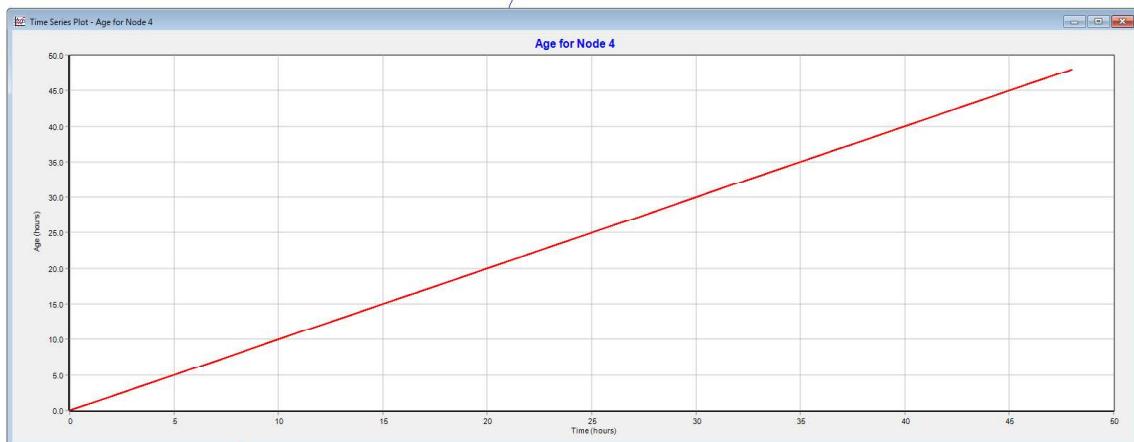


Fonte: O autor

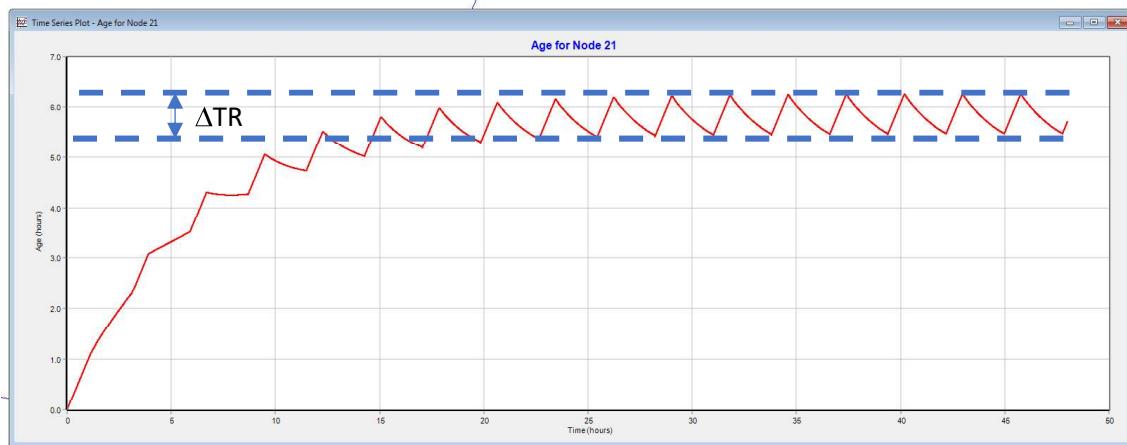
Após rodar (**Run**) o modelo, com a opção Idade (**Age**) selecionada, é possível obter o tempo de residência de qualquer nó.

A **Figura 149** apresenta curvas de período de residência de diferentes nós para um determinado sistema de abastecimento.

Figura 149: Curvas de Tempo de Residência para diferentes nós em um sistema de abastecimento de água.



(a) Tempo de Residência para uma ponta seca.



(b) Variação do Tempo de Residência para um nó da rede de distribuição de água.

Fonte: O autor

Na **Figura 149.a**, é possível perceber que, quanto maior o tempo de simulação (eixo X), maior será o tempo de residência (eixo Y) da água naquele nó, indicando que a água não circula, permanecendo indefinidamente naquele ponto.

A **Figura 149.b** apresenta uma curva que, após estabilização, varia o Tempo de Residência em ΔTR . Essa variação é decorrente da variação do consumo de água modelado.

7 “MODELANDO” A DESPEDIDA

Ao chegar ao final desta apostila, talvez você ainda tenha algumas perguntas. É provável que muitas dessas perguntas somente encontrem respostas com a experiência.

Assim como nas redes de distribuição de água, esta apostila buscou o equilíbrio de energia. O equilíbrio entre abordar, com certa profundidade, o que é importante acerca da modelagem de sistemas de abastecimento, sem intimidar o leitor com um volume de dados, situações e informações. Oxalá tenha conseguido!

Arrisco-me aqui a deixar um conselho de alguém que já modelou, projetou e acompanhou algumas dezenas de quilômetros de redes de distribuição de água; um conselho especial àquele(a)s que estão terminando a graduação: exercitem, exercitem, projetem e construam, errem, aprendam com os erros, corrijam e cresçam.

Se você acredita que esta apostila pode melhorar, ajude-me e envie seu e-mail para: erich.kellner@ufscar.br.

Por fim, lembre-se: há vidas para além dos modelos computacionais. Que a tela de um computador não te impeça de ver realmente a população atendida!

Bons estudos!

Erich Kellner

...durante a Pandemia da COVID-19.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12217:** Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12218:** Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ARNALICH, Santiago. **Epanet y Cooperación.** Castellon: UMAN Ingenieria para las personas, 2007.

BARBARÁ. **Catálogo.** Rio de Janeiro, 1998. 368 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em:
http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 04/05/2020.

ROSSMAN, Lewis A. **EPANET 2 Users Manual.** Cicinnat, OH: EPA, 2000. 200 p. Disponível em:
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1007WWU.PDF?Dockey=P1007WWU.PDF>. Acesso em: 15/04/2020.

GONÇALES, Valter Galdiano; GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia (ed.). **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos.** São Paulo: Editora Signus, 2006.

KELLNER, Erich; TINTI, Gabriel Duarte. Aplicação de algoritmo computacional para o dimensionamento de redes de distribuição de água. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2017. Disponível em:
<http://seer.ufmt.edu.br/revistaelectronica/index.php/rbcti/article/view/1105/2506>. Acesso em: 15/04/2020.

KSB BOMBAS SUBMERSAS. **Manual Técnico A3405.0P.** Várzea Paulista: KSB Bombas Hidráulicas AS, 2010. 26 p.

MAYS, Larry W. **Water Distribution Systems Handbook.** New York: Mc Graw-Hill, 1999.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica.** EESC/USP, 1998.

ROSSMAN, Lewis E. **EPANET 2.0 Manual do Usuário.** Tradução Heber Pimentel Gomes; Moisés Menezes Salvino. [João Pessoa]: LENHS/UFPB, 2009.

SALGADO, Sérgio Ricardo Toledo. **Estudo dos parâmetros do decaimento do cloro residual em sistemas de distribuição de água tratada considerando vazamento.** Dissertação (Mestre em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SAINT-GOBAIN. **Catálogo Saint-Gobain Canalização.** 2015. Disponível em:
https://www.sgpam.com.br/sites/default/files/catalogo_geral.pdf. Acesso em: 03/05/2020.

TIGRE. **Catálogo técnico:** Infraestrutura-Água. Disponível em:
<https://tigresite.s3.amazonaws.com/2021/12/ct-infraestrutura-agua.pdf>. Acesso em:
05/05/2022.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água.** São Carlos: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 659p.