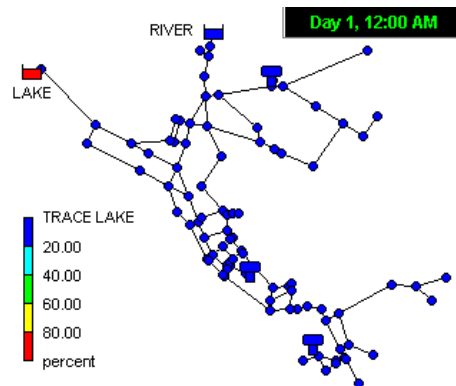


Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água

Parte II - Software de simulação - EPANET 2.0



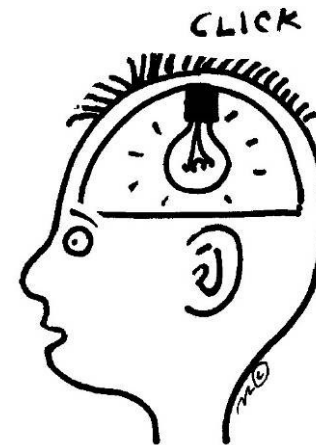
Dídia Covas
António Jorge Monteiro
Helena Alegre

5 de Maio de 2008

- **Objectivos da modelação**
- **O EPANET 2.0**
- **Traçado da rede (topologia)**
- **Entrada de dados e definição de componentes**
- **Simulação hidráulica e de qualidade da água**
- **Notas finais e referências bibliográficas**

Objectivos da modelação

Relembrando a aula anterior....



Objectivos da modelação

(tipos de modelos)

- **Modelos de apoio ao projecto**
 - **Apoio ao dimensionamento dos sistemas novos**
 - DN e materiais das condutas
 - capacidade de reservatórios
 - Alturas de elevação de EE
- **Modelos de apoio ao planeamento**
 - Identificação de áreas problemáticas
 - Dimensionamento e análise do impacte de novas condutas, bombas e reservatórios na rede existente
 - Previsão do comportamento do sistema longo prazo
(face a uma determinada evolução dos consumos)
 - Programação de intervenções de reabilitação
(Minimizando o impacto ao consumidor)
- **Modelos de apoio à manutenção**
 - apoiar a programação de acções de manutenção
 - Definição das fronteiras de ZMC permanentes e temporárias



Objectivos da modelação

(tipos de modelos)

- **Modelos de apoio à operação**
 - **Controlo operacional da rede**
 - Testes *off-line* ao funcionamento normal da rede (diferentes cenários)
 - Verificação da resposta da rede em situações de emergência
 - Análise do impacto da avaria de um órgão na rede
 - **Gestão de energia**
 - Minimização de custos energéticos e da energia consumida
 - Optimização da relação entre o volume de água armazenado nos reservatórios e as horas de bombeamento
 - **Controlo da qualidade da água**
 - Análise do decaimento de desinfectantes (cloro)
 - Planeamento de campanhas de amostragem
 - Recloragem ao longo da rede
 - Análise do impacte das condições hidráulicas na qualidade da água
 - **Avaliação e controlo de perdas**
 - Sectorização de redes (definição de Zonas de Medição e Controlo ZMC e de Zonas de Gestão de Pressão ZGP)
 - Gestão das pressões (patamares de pressão, localização de VRP)



A qualidade de um projecto...



How the customer explained it



How the Project Leader understood it



How the Analyst designed it



How the Programmer wrote it



How the Business Consultant described it



How the project was documented



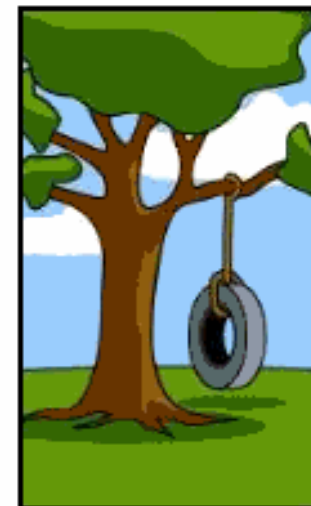
What operations installed



How the customer was billed

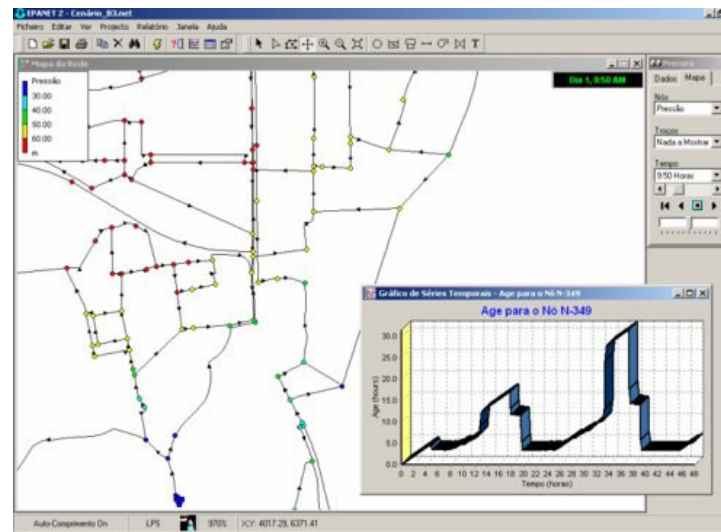


How it was supported



What the customer really needed

O EPANET 2.0



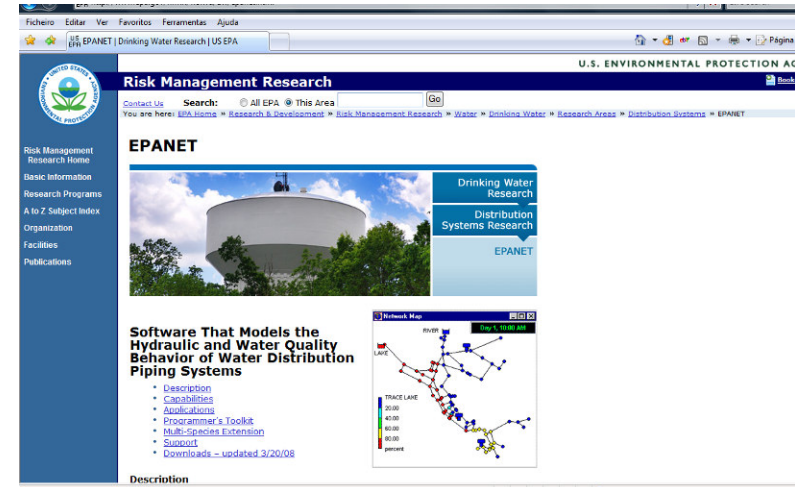
O EPANET 2.0: o que é?

■ Programa de cálculo - EPANET

- É um **simulador hidráulico** e de qualidade da água de regime permanente (dinâmico ou de período estendido), desenvolvido U. S. Environmental Protection Agency (USEPA), amplamente testado e de distribuição gratuita
 - Original americano (EPA): <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/epanet.html>
 - Versão portuguesa (LNEC): <http://www.dha.lnec.pt/nes/epanet/>
- **Aplicação do Windows** - um ambiente gráfico para:
 - editar os dados da rede e dos cenários a modelar
 - executar simulações hidráulicas e de qualidade da água
 - visualizar os resultados (mapas da rede a cores, gráficos temporais, isolinhas...)
- **Toolkit**
conjunto de funções, integradas numa *Dynamic Link Library* que podem ser utilizadas no desenvolvimento de outras aplicações
 - Importante para tarefas repetitivas (dimensionamento, optimização, calibração)

EPANET 2.0: Breve história

- **1993 – Epanet 1.0**
 - Desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA), EUA
- **2000 – Epanet 2.0 versão *windows***
 - Compatibilidade com a versão anterior
- **2002 – Epanet 2.0 em português**
 - Traduzido e adaptado para língua portuguesa pelo LNEC

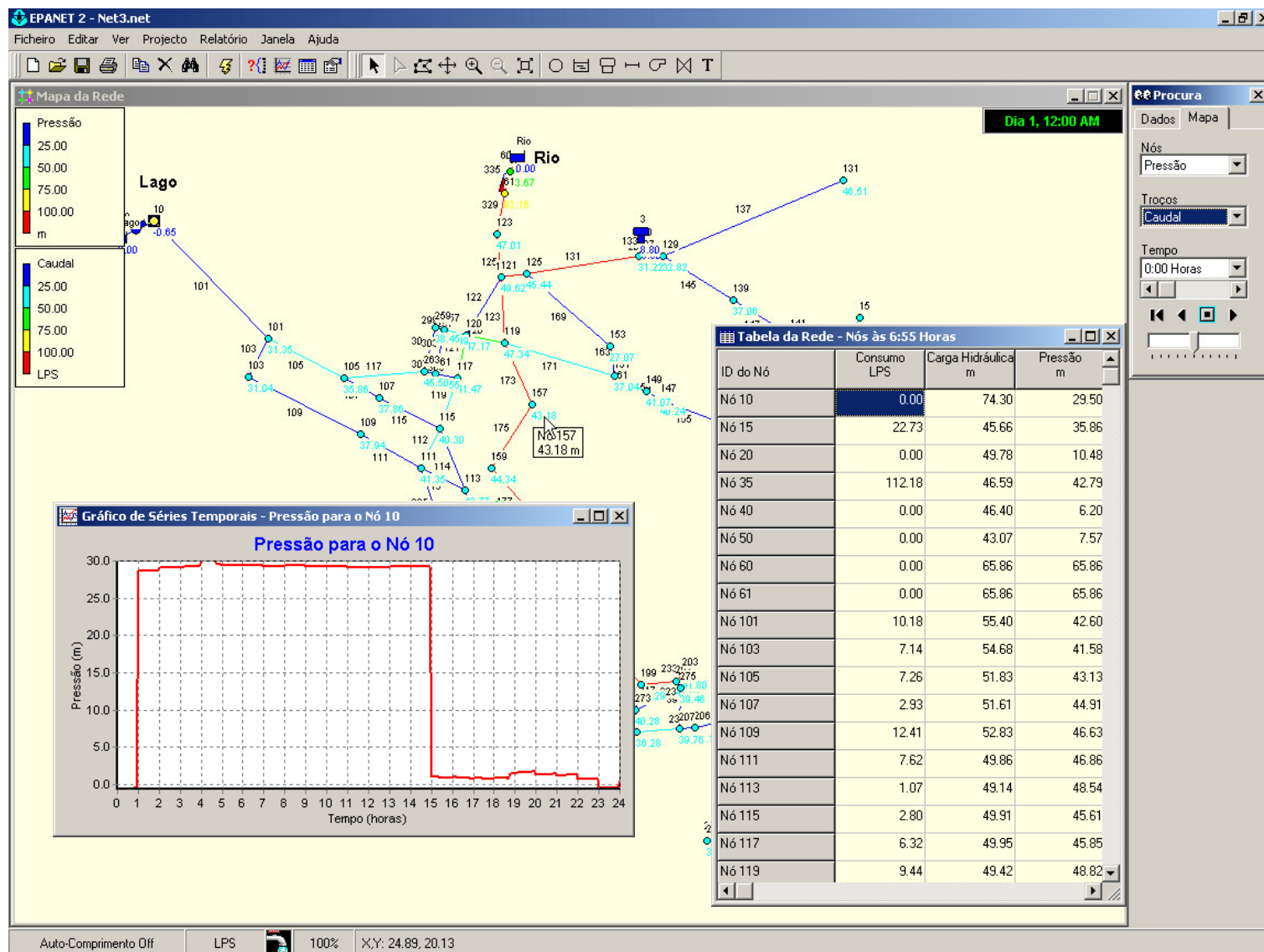


<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/epanet.html>



<http://www.dha.lnec.pt/nes/epanet/>

EPANET 2.0: versão em português



EPANET 2.0: vantagens

- **Distribuído gratuitamente**
- **Credível e transparente**
- **Existe uma grande comunidade de utilizadores em todo o mundo**
- **O motor de cálculo é utilizado por outros programas de simulação com custo de aquisição elevado**
(e.g., WATERCAD, MIKENET)
- **Compatibilidade com outros simuladores**
(e.g., H2ONET, WATERCAD, MIKENET)
- **Existência de pequenas extensões ao EPANET de utilização gratuita**
(e.g., DXF2EPA para converter ficheiros de autocad em EPANET)

Capacidades de cálculo (hidráulico)

- **Cálculo de perdas de carga contínua e em singularidades**
- **Inserção de múltiplas categorias de consumo nos nós**
- **Modelação de vários tipos de válvulas**
 - válvulas de seccionamento (*como elemento conduta ou elemento válvula*)
 - válvulas de retenção (*no elemento conduta*)
 - válvulas de regulação de pressão
 - válvulas de regulação de caudal
 - Entre outras (de alívio, de perda de carga fixa,...)
- **Modelação bombas de velocidade fixa ou variável**
- **Cálculo da altura de água num reservatório de secção variável em função do volume**
- **Não simula o choque hidráulico**

- **Modela o transporte, a mistura e a transformação de substâncias reactivas**
 - cloro residual, um sub-produto da desinfecção
- **Modela reacções no seio do escoamento e na parede da tubagem**
 - Coeficiente de decaimento no seio do escoamento
 - Coeficiente de decaimento de parede da conduta
- **Modela o tempo de percurso da água através da rede**
 - Tempo médio que uma parcela de água demora a chegar a um determinado nó a partir de outro nó da rede
- **Efectua o rastreio de uma origem de água**
 - Percentagem de água que, tendo origem num nó específico, chega a um determinado nó da rede, ao longo do tempo

Extensões do EPANET

(links na página do LNEC <http://www.dha.lnec.pt/nas/epanet/>)

■ AUTOCAD/ EPANET

- DXF2EPA (gratuita)
 - conversão de ficheiros .dxf em .inp

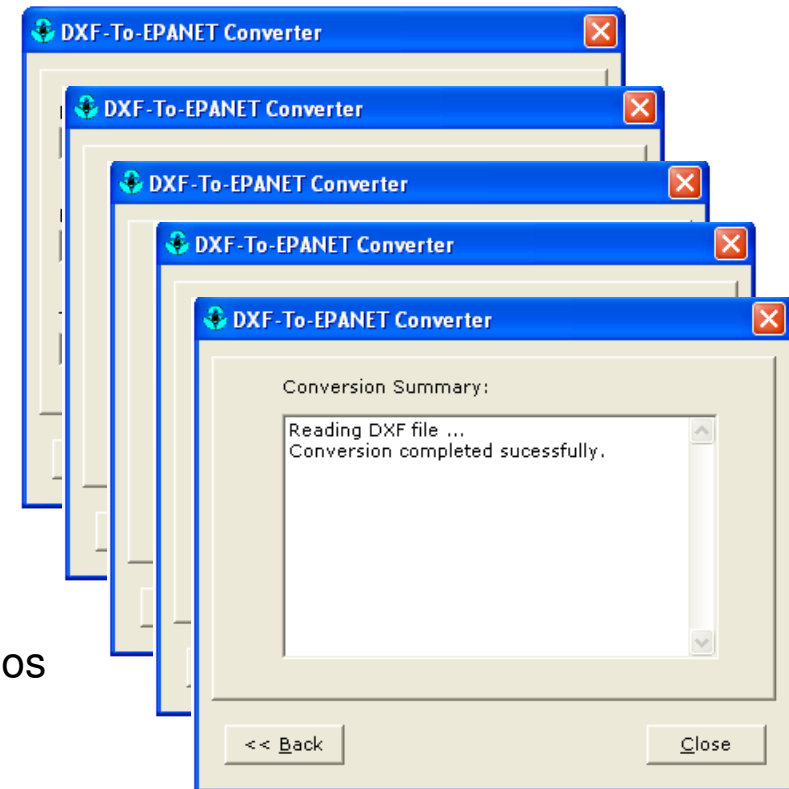
■ SIG/ EPANET

- DC Water Design Extension 2.08
 - ARCVIEW/ EPANET (gratuito)
 - Produz um ficheiro .inp e permite executar o EPANET no ARCVIEW
- HYDROGEN
 - ARCVIEW/ EPANET (gratuito)
 - Produz um ficheiro .inp apenas com os dados dos nós e condutas

■ Dimensionamento de redes

- OPTIDESIGNER (comercial)

Utilização do software DXF2EPA.



■ Teste de incêndio

- FIREFLOW (gratuito)

Traçado da rede

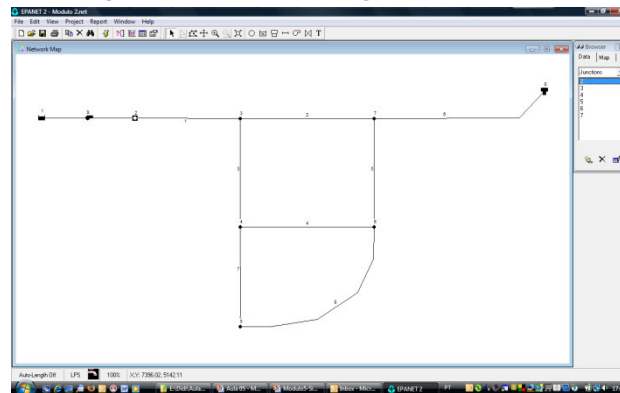
Geração de dados da infra-estrutura

Configurações iniciais no EPANET

Traçado da rede

Geração de dados da infra-estrutura

- **Alternativa 1: Geração manual**
 - Traçado da rede directamente no EPANET
 - Mais simples e tradicional
 - Muito útil para redes pequenas :
 - É o que vamos seguir no **Módulo 2!**



- EPANET permite **importar a cartografia ou os ortofotomapas como pano de fundo**, e medir directamente os comprimentos das tubagens depois de definir correctamente as coordenadas do mapa e traçar com rigor as condutas

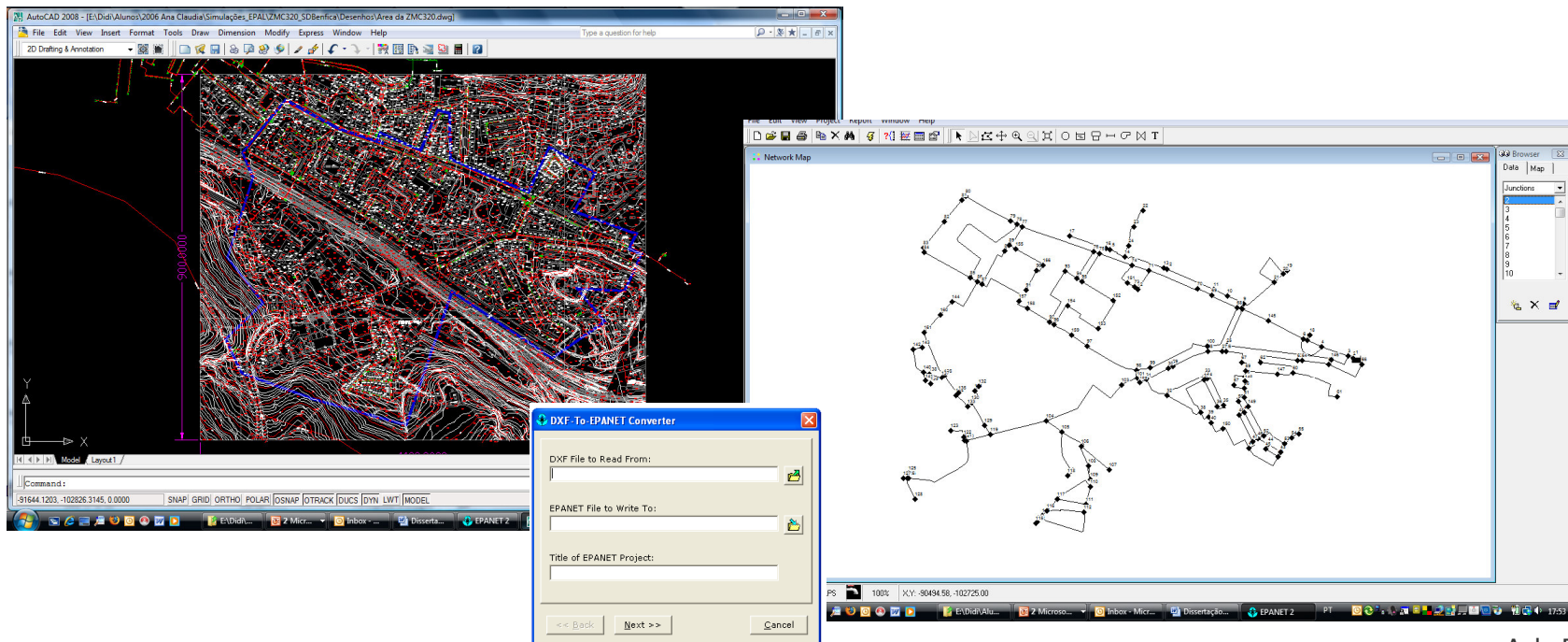


Traçado da rede

Geração de dados da infra-estrutura

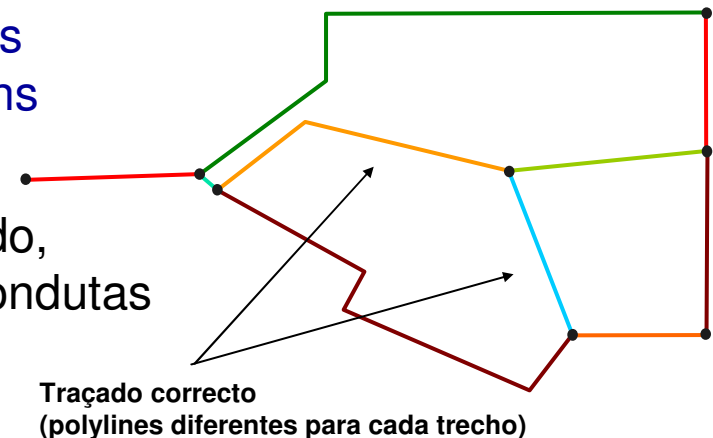
■ Alternativa 2: Geração a partir do CAD

- Traçado da rede em CAD e conversão para EPANET
- Software **DXF2EPA** (solução disponível na web e muito utilizada)
- **DXF2EPA** permite a conversão de desenhos de CAD gravados em formato .dxf em formato .inp (ficheiro ASCII lido pelo EPANET).



■ Alternativa 2: Geração a partir do CAD (continuação)

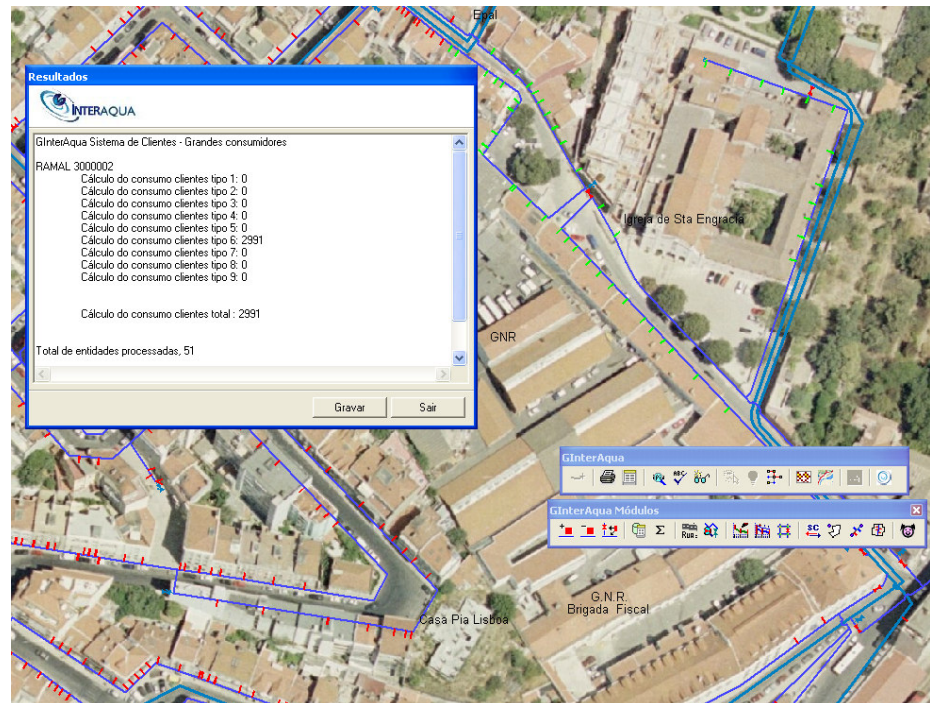
- Só é possível converter o traçado em termos de **condutas e nós**; os outros elementos têm de ser introduzidos usando o EPANET
- É necessário ter **cuidados** especiais no traçado do sistema em CAD:
 - Usar separador decimal ponto
 - Não usar *polyline* mas *line* ou *3Dpolyline*
 - Definir claramente os cruzamentos das condutas (nós) e as passagens inferior/superior
- Verificar o traçado depois de importado, nomeadamente as intersecções de condutas



Traçado da rede

Geração de dados da infra-estrutura

- **Alternativa 3: Geração a partir de um SIG**
 - Solução informática disponível com maior flexibilidade do que o CAD uma vez que pode exportar outros elementos além dos nós e condutas
 - Software de conversão depende do SIG utilizado (corre no SIG)
 - Os cuidados a ter são similares aos do CAD



Traçado da rede

Geração de dados da infra-estrutura

Importar mapa de fundo (1/2)

- **Importar um mapa de fundo**
 - Ver → imagem de fundo → carregar

- **Verificar as dimensões do mapa e adaptar coordenadas para efectuar medições de comprimentos automaticamente**
 - Ver → Dimensões do mapa
(importante antes de definir auto-comprimento on)

 - Corrigir as coordenadas
"Aplicação de um factor de escala ao Mapa para que as dimensões sejam iguais às dimensões reais" – **Instruções anexas**

- **Em projecto de execução ou para a simulação de sistemas em funcionamento, as medições dos comprimentos devem ser efectuadas em autocad (a aplicação de factor de escala é de evitar)**

Traçado da rede

Geração de dados da infra-estrutura

Importar mapa de fundo (2/2)

- **”Aplicação de um factor de escala ao Mapa para que as dimensões sejam iguais às dimensões reais” – Instruções**
 1. Anotar as coordenadas de dois pontos da imagem original (antes da introdução no EPANET), $A=(x_A, y_A)$ e $B=(x_B, y_B)$
 2. Carregar a imagem no EPANET
 3. Anotar as novas coordenadas dos pontos A e B no Mapa da Rede do EPANET:
 $A_{EPANET}=(X_A, Y_A)$ e $B_{EPANET}=(X_B, Y_B)$.
 4. Calcular o factor de escala:
 $rx = (x_A - x_B) / (X_A - X_B)$ e $ry = (y_A - y_B) / (Y_A - Y_B)$.
 5. Anotar as coordenadas do canto inferior esquerdo (x_1, y_1) e do canto superior direito (x_2, y_2) do Mapa no EPANET. Estas coordenadas devem ser lidas a partir de Ver/Dimensões....
 6. Calcular as novas coordenadas dos cantos do Mapa no EPANET:
 7. Canto inferior esquerdo:
 $X_1 = x_A - rx*(X_A - x_1)$ e $Y_1 = y_A - ry*(Y_A - y_1)$
 8. Canto superior direito:
 $X_2 = x_A - rx*(X_A - x_2)$ e $Y_2 = y_A - ry*(Y_A - y_2)$
 9. Introduzir as novas coordenadas nas Dimensões do Mapa (menu Ver/ Dimensões....)



Configurações iniciais

Alternativa 1: Traçado directo no EPANET

Gestão

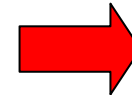
GESTÃO E TECNOLOGIAS DE

Resíduos

ACÇÃO AVANÇADA

ento de Água

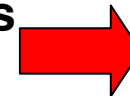
- **Criação de um novo projecto**
 - Ficheiro → Novo
- **Configuração do projecto**
 - Projecto → Valores por defeito
 - Rótulos do elementos
 - Propriedades:
 - Diâmetros e rugosidade das tubagens
 - Hidráulica
 - unidades de caudal (l/s)
 - Formula de perda de carga
 - Factor de consumo (fp_40)
- **Visualização dos rótulos e símbolos**
 - Ver → Opções...
(*verificar todos os valores por defeito*)
 - Notação: Mostrar ID dos nós e troços
 - Símbolos
- **Traçado da rede**



Objecto	Prefixo de ID
Nós	
RNFs	
RNVs	
Tubagens	
Bombas	
Válvulas	
Padrões	
Curvas	
Incremento de ID	1

☐ Guardar valores por defeito para novos projectos

OK Cancelar Ajuda



Mostrar ID dos Nós ☒

Mostrar Valores nos Nós ☐

Mostrar ID dos Troços ☒

Mostrar Valores nos Troços ☐

Utilizar como Texto Transparente ☐

Ao Nível de Ampliação 100

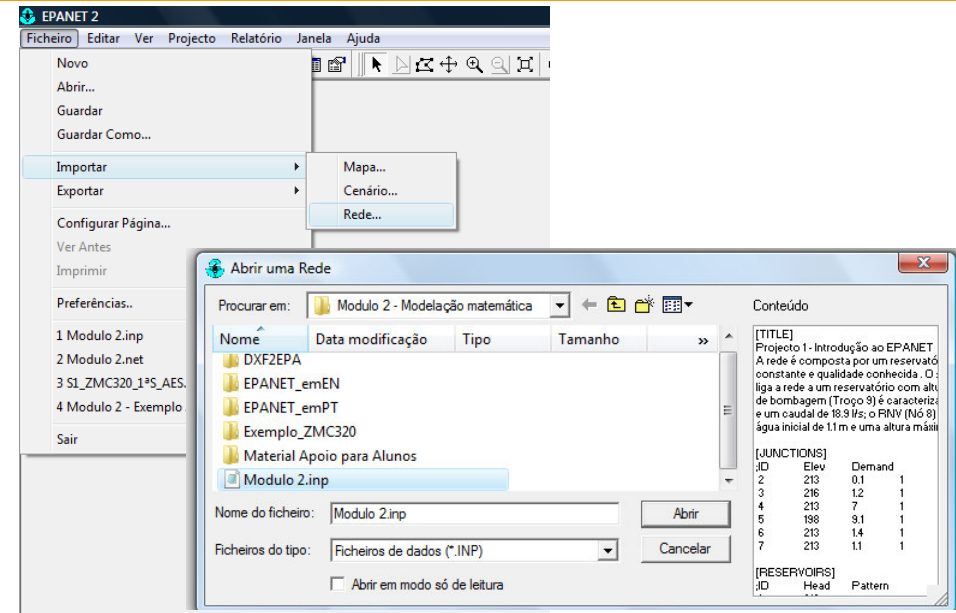
Fonte 7

OK Cancelar Ajuda

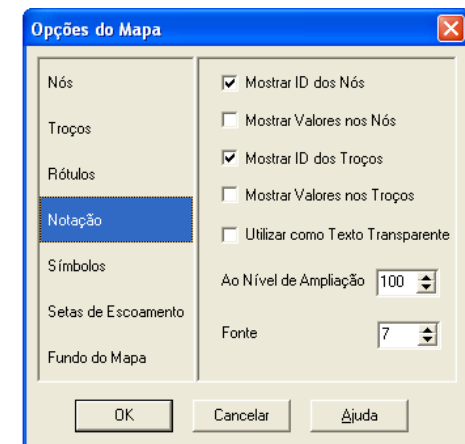
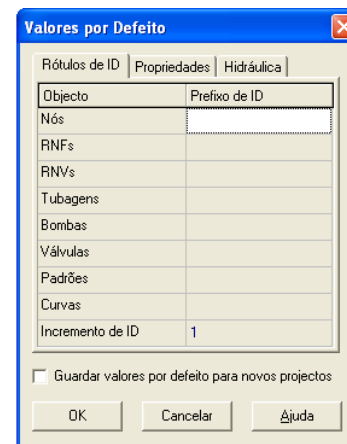
Configurações iniciais

Alternativa 2: Traçado em CAD e importação para EPANET

- **Abertura do Ficheiro INP criado a partir do DXF**
 - Ficheiro → Importar
→ rede → “Nome.inp”
- **Configuração do projecto**
 - Hidráulica
 - unidades de caudal (l/s)
 - fórmula de perda de carga (H-W)
 - factor de consumo = fp_40



- **Visualização dos rótulos e símbolos**
 - Ver → Opções...
(verificar todos os valores por defeito)
 - notação: Mostrar ID dos nós e troços
 - símbolos



Dados de entrada e definição de componentes

Dados de entrada

Tipos de componentes

(i) Componentes físicos

- **Nós**
 - **Junções** (elemento nó)
 - **Reservatórios de nível fixo** - RNF
 - **Reservatórios de nível variável** - RNV
- **Trechos (troços)**
 - **Conduatas**
 - **Bombas**
 - **Válvulas**

(ii) Componentes não físicos

- **Parâmetros operacionais do sistema**
 - **Curvas**
 - **Padrões Temporais**
 - **Controlos**

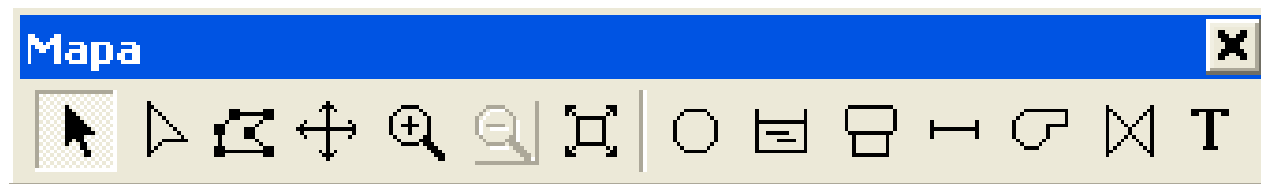
(iii) Solicitações do sistema

- **Consumos médios nos nós**
- **Padrões de consumo**

Dados de entrada

Componentes físicos


- **Mostrar a barra de ferramentas (se não visível)**
- **Ver → Barra de Ferramentas → Mapa → Principal e Mapa**
 - *da esquerda para a direita*



- | | |
|------------------------------|---|
| ■ Seleccionar objecto | ■ Nó |
| ■ Seleccionar vértice | ■ Reservatórios de Nível Fixo (RNF) |
| ■ Seleccionar Zona | ■ Reservatórios de Nível Variável (RNV) |
| ■ Mover | ■ Tubagem |
| ■ Aumentar/diminuir | ■ Bomba |
| ■ Restituir tamanho original | ■ Válvula |
| | ■ Rotulo |


Dados de entrada

Componentes físicos

- **Alternativa 1: Traçado directamente no EPANET**
 1. Comece pelos **RNF** e/ou **RNV** (equivalem a nós)
 2. Adicione o(s) **nó(s)** que delimitam as condutas
 3. Adicione as **condutas** (trechos rectos entre nós ou “polylines”)
 4. Adicione as **bombas** e as **válvulas**
 5. Defina as **características** de cada componente
 - Clicar no botão seleccionar objecto 
 - Clicar duas vezes em cima de cada objecto e definir as características uma a uma
 - Definir para todos os elementos introduzidos
 - Os campos com * são obrigatórios

■ Alternativa 2: Importação a partir do CAD

Os nós e as condutas principais já estão definidas, restando:

1. Adicione **RNF** e/ou **RNV** (equivalem a nós)
2. Adicione o(s) **nó(s)** intermédios para inserção de outros componentes
3. Redefina os nós inicial e final das **condutas** adjacentes aos novos componentes
4. Adicione os novos componentes (**bombas** e as **válvulas**)
5. Defina as **características** de cada componente
 - Clicar no botão seleccionar objecto 
 - Clicar duas vezes em cima de cada objecto e definir as características uma a uma
 - Definir para todos os elementos introduzidos
 - Os campos com * são obrigatórios

Dados de entrada

Componentes físicos do tipo nó *Reservatórios de nível fixo*

RNF (p.65)

Propriedade	Valor
*ID do RNF	RNF1
Coordenada X	42.95
Coordenada Y	653.25
Descrição	
Zona	
*Nível de água	0
Padrão de Nível	
Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade	
Balanço de Caudal	#N/A
Nível de água	#N/A
Pressão	#N/A
Qualidade	#N/A

Nível da água

- Cota da superfície livre

Padrão de Nível

- Rótulo de ID do [Padrão Temporal](#) utilizado para modelar a variação do nível no tempo



Dados de entrada

Componentes físicos do tipo nó

Reservatórios de nível fixo

RNV (p.65-66)

Propriedade	Valor
*ID do RNV	RNV1
Coordenada X	880.19
Coordenada Y	688.91
Descrição	
Zona	
*Cota	0
*Altura de Água Inicial	2
*Altura de Água Mínima	0
*Altura de Água Máxima	3
*Diâmetro	50
Volume Mínimo	
Curva de Volume	
Modelo de Mistura	MIXED
Fracção de Mistura	
Coef. Reacção	
Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade	
Balanço de Caudal	#N/A
Nível de água	#N/A
Pressão	#N/A
Qualidade	#N/A

Cota

- Cota do fundo do reservatório

Alturas

- Medidas em relação ao fundo do reservatório

Diâmetro

- Diâmetro equivalente

Volume mínimo

- Volume correspondente à altura de água mínima

Curva de Volume

- Rótulo de ID da Curva de Volume utilizada para descrever a relação entre o volume e a altura de água.



Dados de entrada

Componentes físicos do tipo nó

Nós (de junção)

Nó

Propriedade	Valor
*ID do Nó	Nó3
Coordenada X	255.47
Coordenada Y	523.45
Descrição	
Zona	
*Cota	0
Consumo-Base	0
Padrão de Consumo	
Categorias de Consumo	1
Coef. do Emissor	
Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade	
Consumo Corrente	#N/A
Carga Hidráulica Total	#N/A
Pressão	#N/A
Qualidade	#N/A

Consumo base

- Valor médio do consumo da categoria principal
- Valor negativo = existência de uma origem externa de caudal
- Se for deixado em branco, assume-se consumo nulo.

Padrão

- Rótulo de ID do Padrão Temporal utilizado para caracterizar a variação do consumo com o tempo para a principal categoria de consumo no nó.

Categoria Consumo

Consumos para o Nó Nó4			
	Consumo-Base	Padrão Temporal	Categoria
1	12	Padrão1	Domestico
2	10	Padrão2	Municipal
3			
4			
5			
6			

OK Cancelar Ajuda

Coeficiente do emissor

- Coeficiente de vazão do orifício (fuga ou aspersor)
- O expoente da pressão é definido em “Projectos”
>> “Valores por defeito” >> “hidráulica” >> “Expoente para Formula emissor”

Dados de entrada

Componentes físicos do tipo trecho

Tubagens

Tubagem

Tubagen Tub2	
Propriedade	Valor
*ID da Tubagem	Tub2
*Nó Inicial	RNF1
*Nó Final	N63
Descrição	
Zona	
*Comprimento	249.02
*Diâmetro	250
*Rugosidade	140
Coef. Perda de Carga Singular	0
Estado Inicial	Open
Coef. Reacção no Escoamento	
Coef. Reacção na Parede	
Caudal	#N/A
Velocidade	#N/A
Perda de Carga	#N/A
Factor de Resistência	#N/A
Taxa de Reacção	#N/A
Qualidade	#N/A
Estado	#N/A

Fórmula da Perda de Carga

- Hazen-Williams:

$$\Delta H = 4.727 * (Q/C)^{1.852} / D^{4.841} * L$$

- Darcy-Weisbach:

$$\Delta H = f * V^2 / 2gD * L$$

- Chesy_manning:

$$\Delta H = 4.66 * (nQ)^2 / D^{5.33} * L$$

Rugosidades (Guia Técnico no.5 ou ManualPT, p.26)

- Hazen-Williams: $C = 110 - 150 \text{ m}^{0.37/s}$

- Darcy-Weisbach: $\epsilon = 0,001 - 3 \text{ mm}$

- Chesy_manning: $n = 1/Ks \text{ (m}^{-1/3} \text{ s)}$

Qualidade da Água (fora âmbito)

Dados de entrada

Componentes físicos do tipo trecho

Bomba (1/2)

Bomba

Propriedade	Valor
*ID da Bomba	Bomba1
*Nó Inicial	Nó5
*Nó Final	Nó6
Descrição	
Zona	
Curva da Bomba	CurvaBomba1
Potência	
Regulação de Velocidade	
Padrão	
Estado Inicial	Open
Curva de Rendimento	
Preço de Energia	0.1
Padrão de Preço	PadraoPreco
Caudal	#N/A
Perda de Carga	#N/A
Qualidade	#N/A
Estado	#N/A

Curva da Bomba

- Rótulo de ID da **Curva da Bomba** utilizado para descrever a relação entre a altura de elevação e o caudal na bomba.
- Deixe o campo em branco se a bomba fornecer uma altura de elevação constante (ver abaixo).



Potência

- Potência fornecida pela bomba, constante independentemente do caudal bombeado.
- Deixe em branco se for utilizada uma curva da bomba.

Regulação de Velocidade

- Regulação de velocidade da bomba. Por exemplo, 1.2 significa que a velocidade de rotação é 20% mais elevada que o valor nominal.
- Deixe em branco, se unitária

Padrão

- Rótulo de ID do **Padrão Temporal** utilizado para controlar a operação da bomba.
- Os factores multiplicativos são valores de reg. de veloc.
- Deixe em branco se não for aplicável.

Estado Inicial

- Estado da bomba (ligada ou desligada) no início.

Dados de entrada

Componentes físicos do tipo trecho

Bomba (2/2)

Bomba

Propriedade	Valor
*ID da Bomba	Bomba1
*Nó Inicial	Nó5
*Nó Final	Nó6
Descrição	
Zona	
Curva da Bomba	CurvaBomba1
Potência	
Regulação de Velocidade	
Padrão	
Estado Inicial	Open
Curva de Rendimento	
Preço de Energia	0.1
Padrão de Preço	PadraoPreco
Caudal	#N/A
Perda de Carga	#N/A
Qualidade	#N/A
Estado	#N/A

Curva de Rendimento

- Rótulo de ID da **Curva do Rendimento** que representa o rendimento do grupo (%) em função do caudal.
- Apenas utilizada para calcular a energia utilizada.
- Deixe em branco se não for aplicável ou se tiver sido fornecido um valor global para o rendimento.



Preço do kWh

- Valor médio do preço de energia em unidades monetárias por kWh.
- Apenas utilizada para calcular a energia utilizada.
- Deixe em branco se não for aplicável ou se tiver sido fornecido um valor global para o preço do kWh.

Padrão de Preço

- Rótulo de ID do **Padrão Temporal** utilizado para descrever a variação do preço do kWh ao longo do dia.
- Cada factor multiplicativo do padrão é aplicado ao preço do kWh da bomba para determinar custo de energia no período de tempo correspondente.
- Deixe em branco se não for aplicável ou se tiver sido fornecido um valor global.

Dados de entrada

Componentes físicos do tipo trecho

Válvulas (1/2)

Válvulas (p.69)

Propriedade	Valor
*ID da Válvula	V5
*Nó Inicial	N69
*Nó Final	N610
Descrição	
Zona	
*Diâmetro	250
*Tipo	PRV
*Parâmetro de Controlo	PRV
Coef. Perda de Carga Singular	

Tipos

PRV (VRP)	Pressure Reducing Valve (V.Red.PressãoJus.)
PSV (VA)	Pressure Sustaining Valve (V. de alívio)
PBV (VPCF)	Pressure Breaker Valve (V.Perda de Carga Fixa)
FCV (VRC)	Flow Control Valve (V.Reg.Caudal)
TCV (VB)	Throttle Control Valve (V. de Borboleta)
GPV (VG)	General Purpose Valve (V.Genérica)

Parâmetro de Controlo

- Parâmetro necessário para descrever as condições de operação da válvula.

Tipo de Válvula	Parâmetro de Controlo
PRV (VRP)	Pressão a jusante (m ou psi)
PSV (VA)	Pressão a montante (m ou psi)
PBV (VPCF)	Pressão perdida (m ou psi)
FCV (VRC)	Caudal que passa (unidades de caudal)
TCV (VB)	Coef. de Perda Carga Singular (adim.)
GPV (VG)	ID da curva de perda de carga

Coeficiente de perda de carga singular

- Coeficiente de perda de carga singular quando a válvula está completamente aberta.

Dados de entrada

Componentes físicos do tipo trecho

Válvulas (2/2)

- **Notas para evitar instabilidades numéricas**

(p.30 §3, Manual EPANET em Português)

- VRP, VA e VRC não podem ser ligadas directamente a um reservatório (RNF ou RNV), devendo utilizar-se sempre uma conduta curta entre os dois componentes.
- Duas ou mais VRP (ou VA) não podem partilhar a mesma conduta de jusante nem estar ligadas em série.
- Uma VA não pode ser ligada ao nó de jusante de uma VRP

- **Sugestão**

- Ligar sempre qualquer um destes três tipos de válvulas a condutas de comprimento unitário e grande diâmetro, quer a montante, quer a jusante (*para ter perdas de carga desprezáveis*)

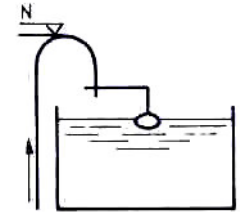
Dados de entrada

Componentes físicos do tipo trecho

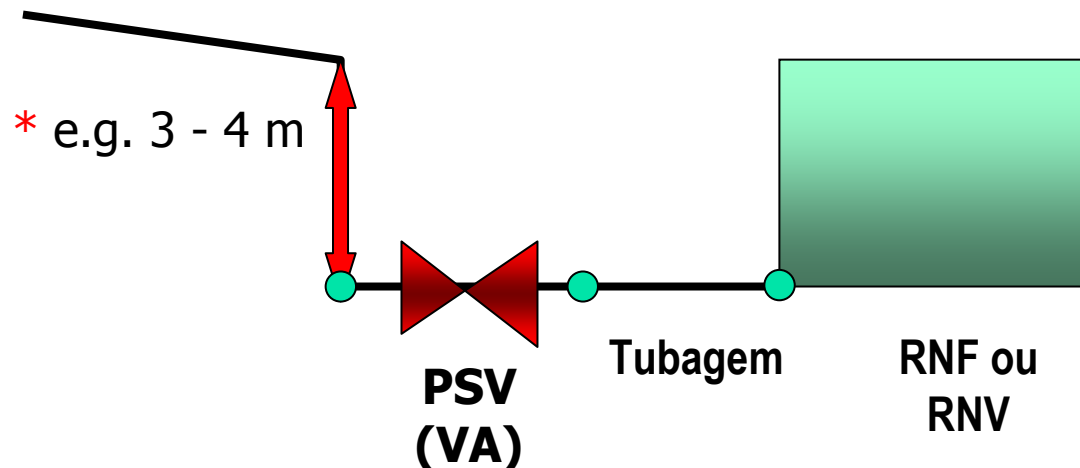
Válvulas do tipo PSV

PSV - Pressure Sustaining Valve

(VA - Válvula de alívio ou de controlo da pressão a montante de reservatórios)



- Simulação da entrada de caudal, por cima, num reservatório
- Válvula de controlo de pressão a montante
- **Parâmetro de controlo*** é a pressão a montante dada pela distância entre a cota de entrada da água por cima e a cota do fundo do reservatório
- A cota da válvula a jusante é a cota do fundo do reservatório (por defeito)
- **Não podem ser ligadas em série, nem directamente a um reservatório**
(usar uma tubagem curta para os separar)



Dados de entrada

Componentes físicos do tipo trecho

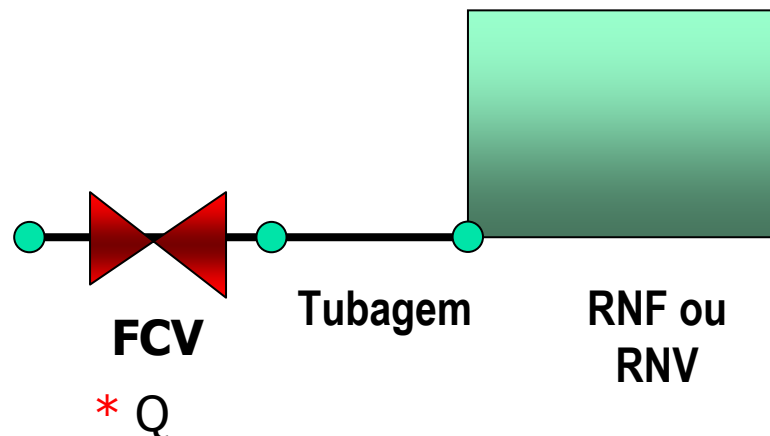
Válvulas do tipo FCV

FCV – Flow Control Valve

(VRC - Válvula reguladora de caudal)



- Fixa o caudal que entra num reservatório proveniente de sistema adutor
- **Parâmetro de controlo*** é o caudal que passa
- **Não podem ser ligadas em série, nem directamente a um reservatório**
(usar uma tubagem curta para os separar)



Dados de entrada

Componentes físicos do tipo trecho

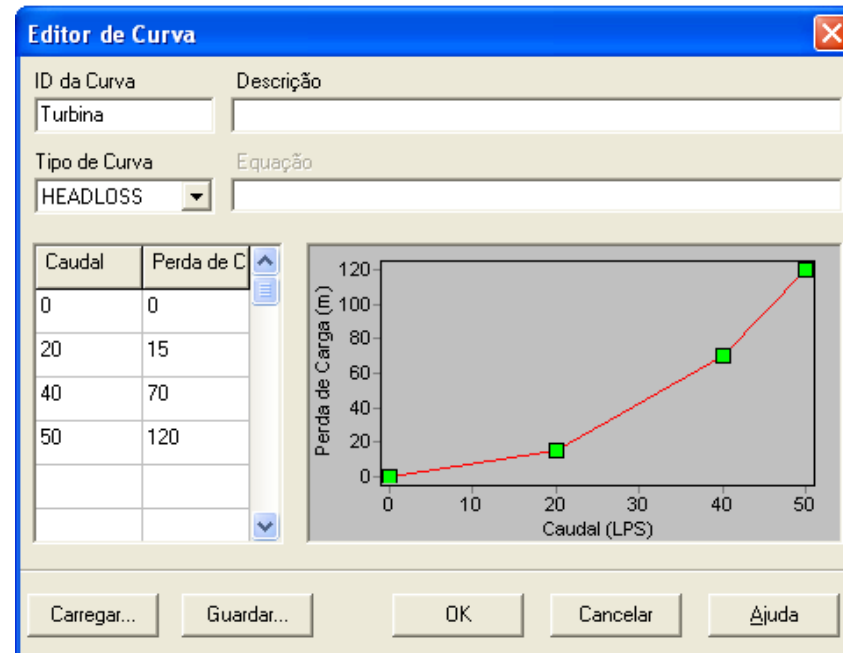
Válvulas do tipo GPV

GPV – General Purpose Valve

(VG - Válvula genérica)



- Fixa a perda de carga em função do caudal
- Importante para simular uma **turbina**
- **Parâmetro de controlo*** é a Curva da Headloss, i.e. perda de carga que

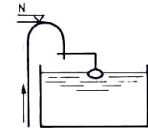


Dados de entrada

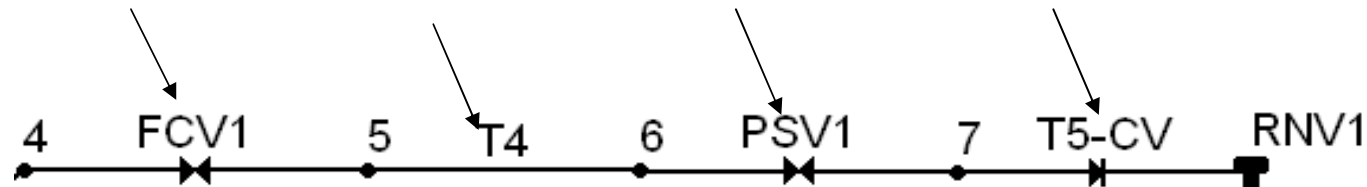
Componentes físicos

Notas

- Reservatório com entrada de caudal por cima e regulação de caudal



- Nó + **FCV** + Nó + **TrechoUnitAux** + Nó + **PSV** + Nó + **TrechoUnitAuxVR** + **RNV**



- Estações elevatórias

- Não precisam de válvula de retenção porque o escoamento na bomba é unidireccional

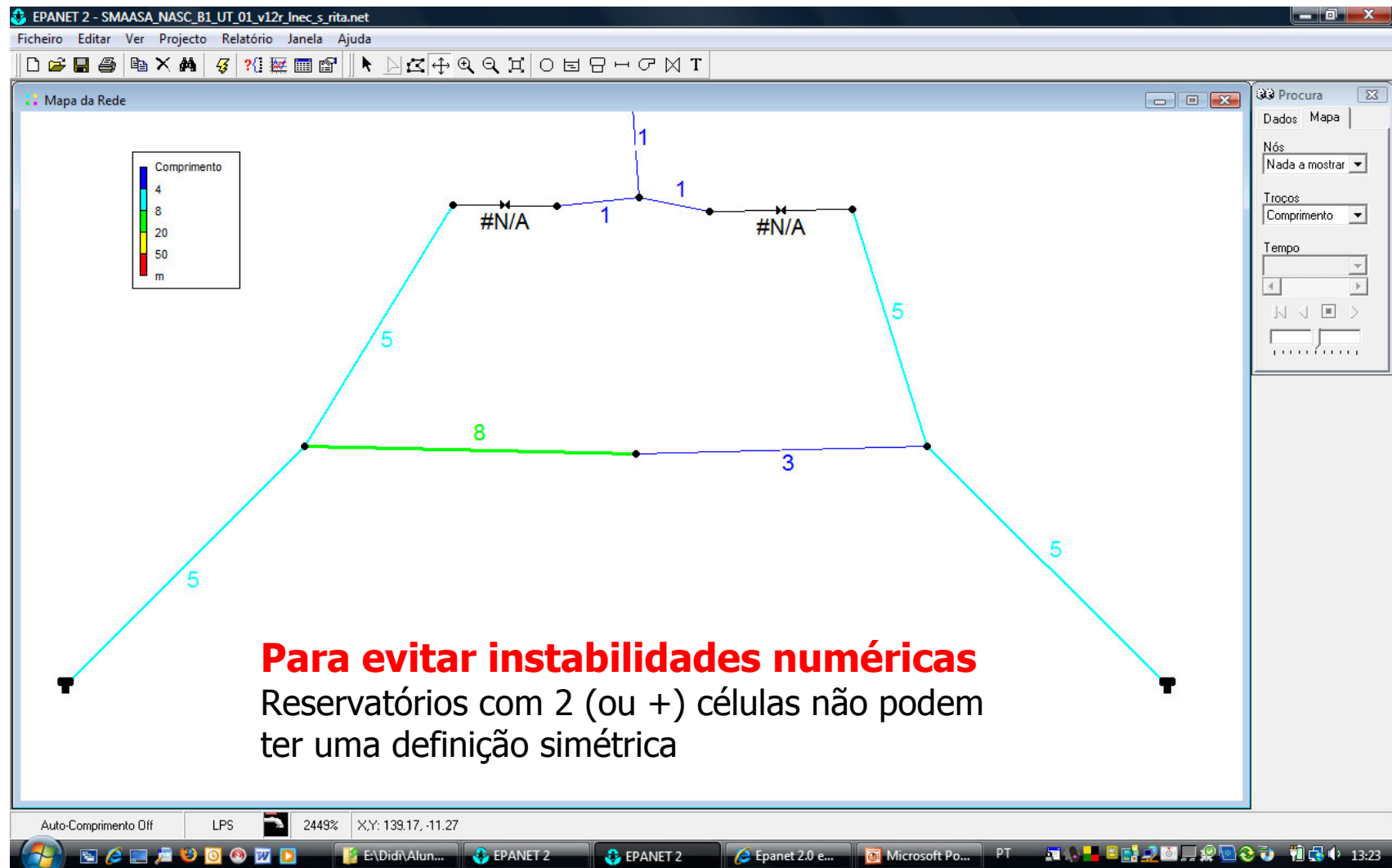
- Turbina

- Numa rede de distribuição, deve ser modelada por uma GPV em substituição de VRP porque há variação diária de caudal
- Num sistema adutor, o caudal transportado é constante logo pode ser modelada como FCV e a queda útil é a perda de carga na válvula

Dados de entrada

Componentes físicos

Notas



Dados de entrada

Componentes não físicos

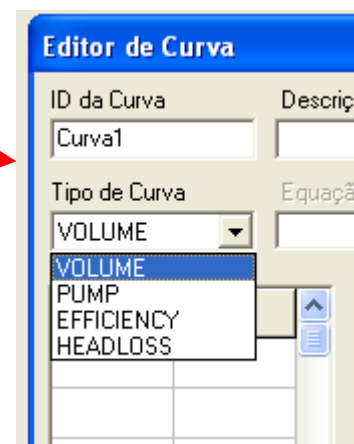
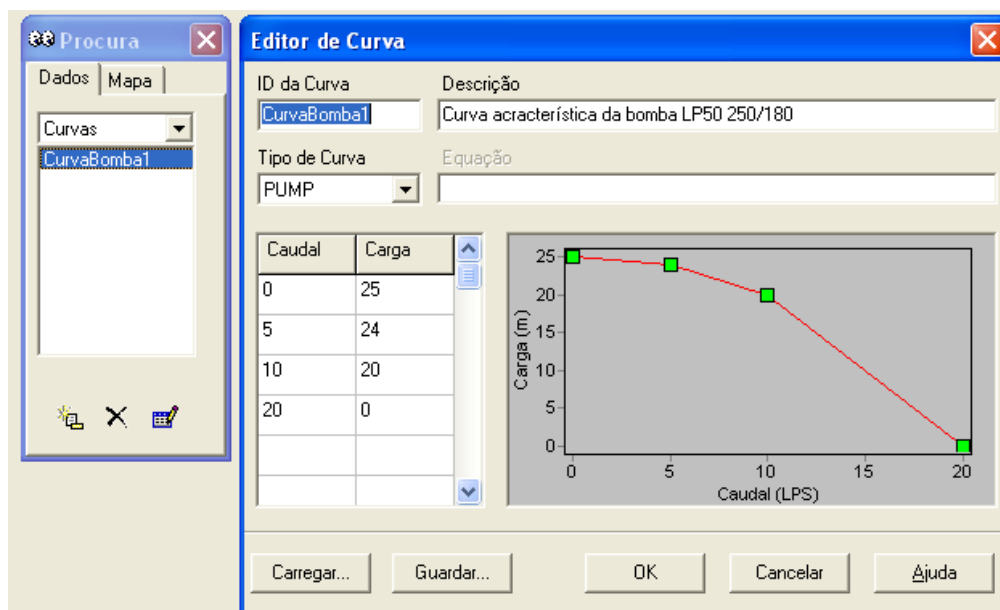
Curvas

Curvas

- Tipos de curvas: Bomba, rendimento, volume, perda de carga



- Nas características dar um nome à curva (e.g. Curva1)
- Menu Procura >> Dados >> Curvas >> Adicionar >> Editor da curva
 - Carregar (se já definida para outros sistemas) ou Definir os dados + OK
 - Gravar no final (se necessária para outros ficheiros)



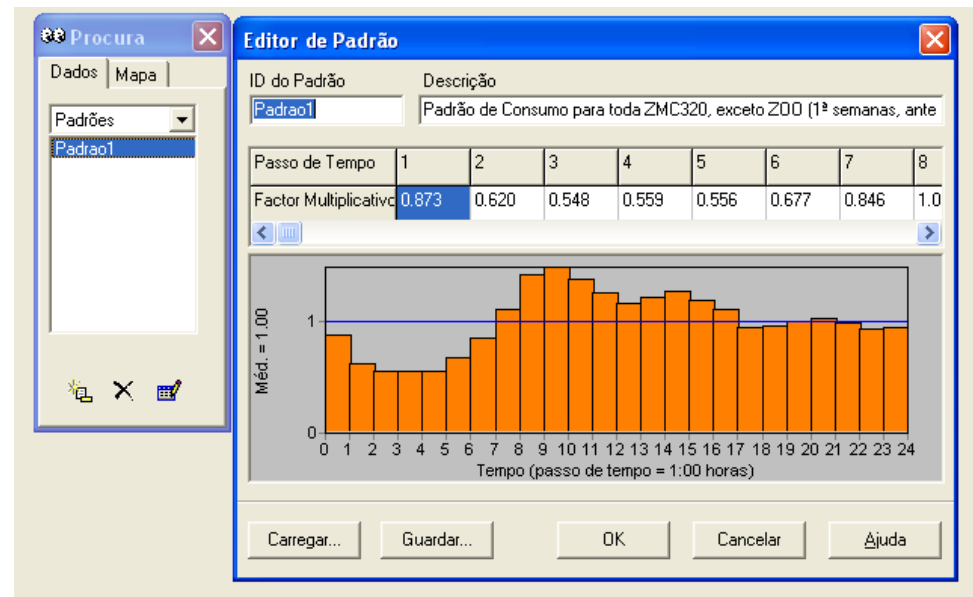
Dados de entrada

Componentes não físicos

Padrões

Padrões

- Conjunto de factores multiplicativos que, quando aplicados a um valor médio de uma grandeza, traduzem a sua variação no tempo
- Tipos de padrões:
 - Nível de RNF
 - Consumo
 - Operação da bomba
- Definição de padrões
 - Importante p^a simulação dinâmica
 - Menu Procura >> Dados >> Padrões >> Adicionar >> Editor dos padrões
 - Carregar (se já definida para outros sistemas) ou Definir os dados + OK
 - Gravar no final (se necessária para outros ficheiros)



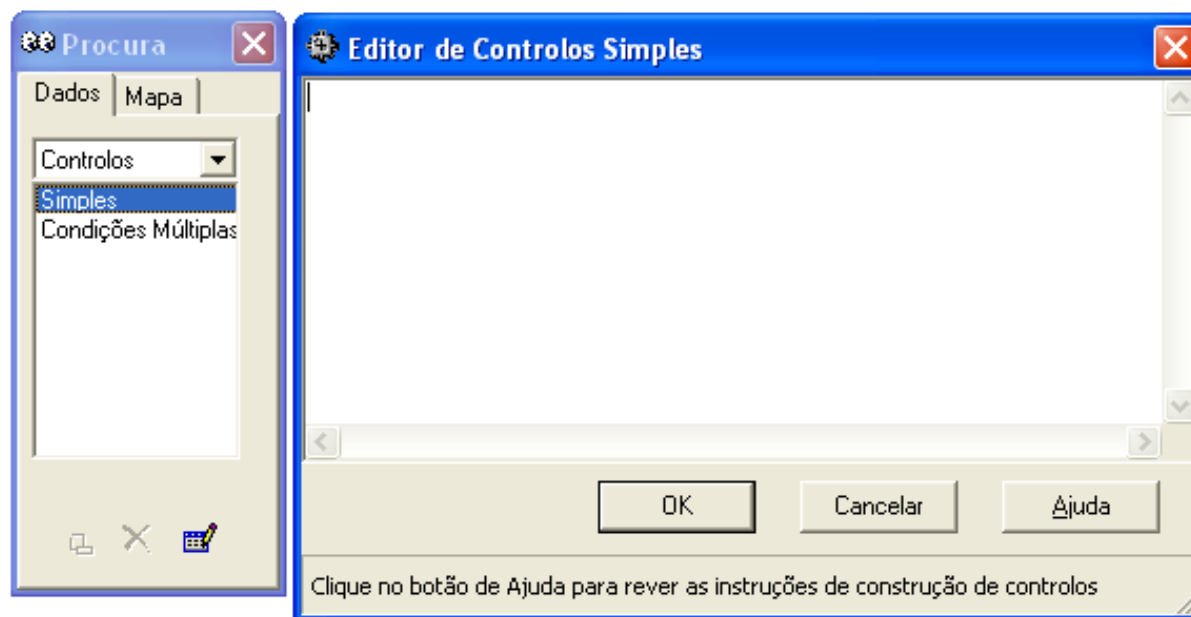
Dados de entrada

Componentes não físicos

Controlos

Controlos

- Conjunto de instruções de operação do sistema
- Tipos
 - Simples
 - Condições múltiplas
- Definição
 - Menu Procura >> Dados >> Controlos >> **Tipo** >> Editar >> Editor dos padrões



Controlos Simples

- alteram o estado ou propriedades de um troço com base em
 - altura de água num RNV,
 - pressão num nó,
 - instante de simulação,
 - instante do dia.
- As instruções de controlo - formatos:
 - LINK *ID do troço* *estado* IF NODE *ID do nó* ABOVE/BELOW *valor*
 - LINK *ID do troço* *estado* AT TIME *tempo*
 - LINK *ID do troço* *estado* AT CLOCKTIME *instante do dia* AM/PM

Sendo

- *estado* = Open/Closed, parâmetro de regulação da velocidade de rotação de uma bomba ou parâmetro de controlo numa válvula
- *valor* = pressão ou altura de água
- *tempo* = tempo desde o início da simulação
(em notação decimal ou em horas:minutos)
- *instante do dia* = instante do dia num período de 24 horas (horas:minutos)

Controlos com condições múltiplas

- Os Controlos com Condições Múltiplas - formato:

RULE *ID do controlo*

IF *condição_1* **AND** *condição_2* **OR** *condição_3* **AND** *condição_4* *etc.*

THEN *acção_1* **AND** *acção_2*

etc.

ELSE *acção_3* **AND** *acção_4*

etc.

PRIORITY *valor*

O valor **PRIORITY** é utilizado quando existem dois ou mais controlos que podem gerar acções que entrem em conflito.

- Exemplo 1: (p. 36)

Regras para arrancar/desligar a bomba quando a altura de água no reservatório de nível variável está abaixo/excede um determinado valor

RULE 1

IF *TANK 1* **LEVEL ABOVE** *5.0*

THEN *PUMP 335 STATUS IS CLOSED*

RULE 2

IF *TANK 1* **LEVEL BELOW** *1.0*

THEN *PUMP 335 STATUS IS OPEN*

Dados de entrada

Componentes não físicos

Controlos

Exemplo

RULE 1

IF TANK RNV2 LEVEL ABOVE 3.0
THEN PUMP Pump1 STATUS IS CLOSED
AND VALVE FCV1 STATUS IS CLOSED

RULE 2

IF TANK RNV2 LEVEL BELOW 0.5
THEN PUMP Pump1 STATUS IS OPEN
AND VALVE FCV1 STATUS IS OPEN

RULE 3

IF TANK RNV1 LEVEL ABOVE 2.0
THEN VALVE FCV2 STATUS IS CLOSED

RULE 4

IF TANK RNV1 LEVEL BELOW 0.5
THEN VALVE FCV2 STATUS IS OPEN

Simulação hidráulica e de qualidade da água



Simulação hidráulica

■ Simulação estática

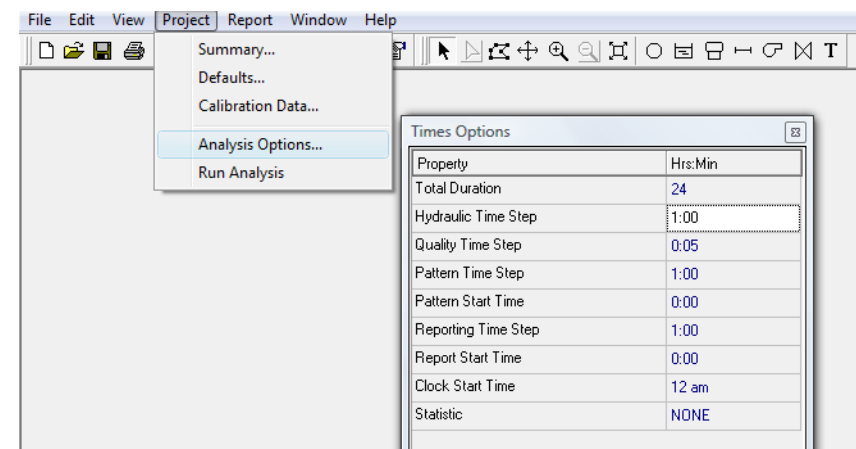
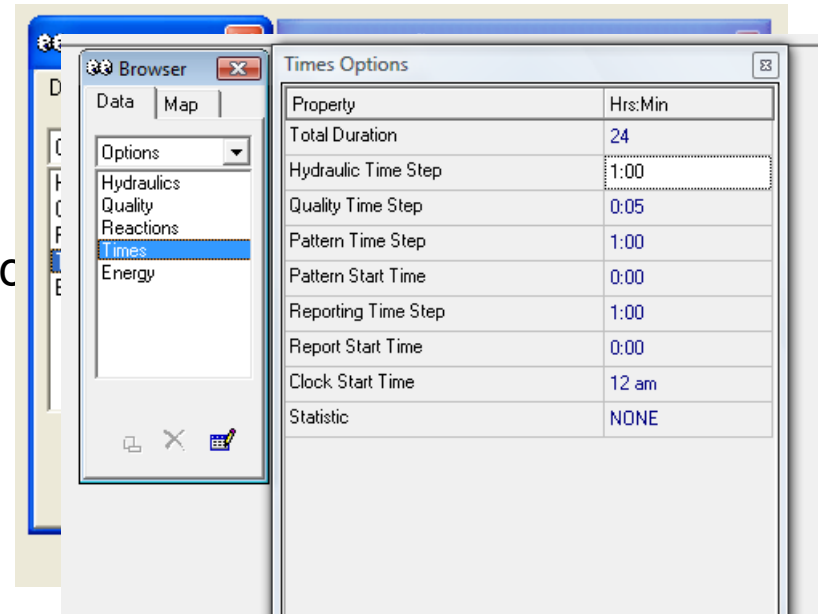
- Cálculo da carga hidráulica nos nós e do caudal nos troços para um determinado cenário de funcionamento
- Níveis nos reservatórios, consumos, operação de válvulas e bombas constantes

■ Procura >> Dados >> Opções >> tempos

- Duração total : 0:00
- Passo de cálculo hidráulico: irrelevante

Ou Projecto >> Opções de simulação >> Tempos

- Duração total: 0:00



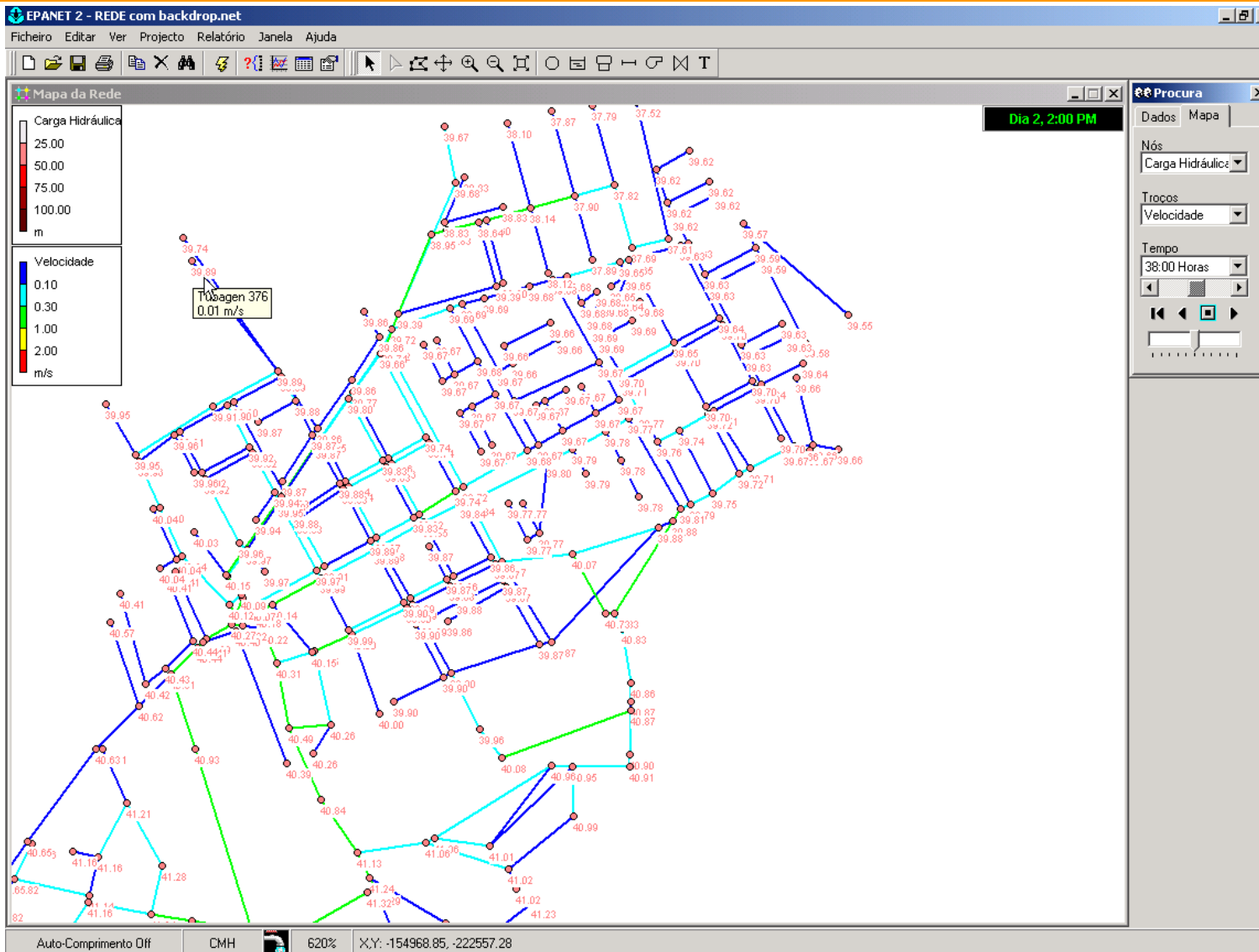
■ Simulação dinâmica

- Cálculo da carga hidráulica e da distribuição de caudais nos troços ao longo de um determinado período de tempo
- Níveis nos reservatórios, consumos, operação de válvulas e bombas variáveis ao longo do tempo
- Procura >> Dados >> Opções >> tempos
 - Duração total : \neq 0:00 (e.g., 24 horas)
 - Passo de cálculo hidráulico: 10-15 min

Ou Projecto >> Opções de simulação >> Tempos

- Duração total : \neq 0:00 (e.g., 24 horas)
- Passo de cálculo hidráulico: 10-15 min

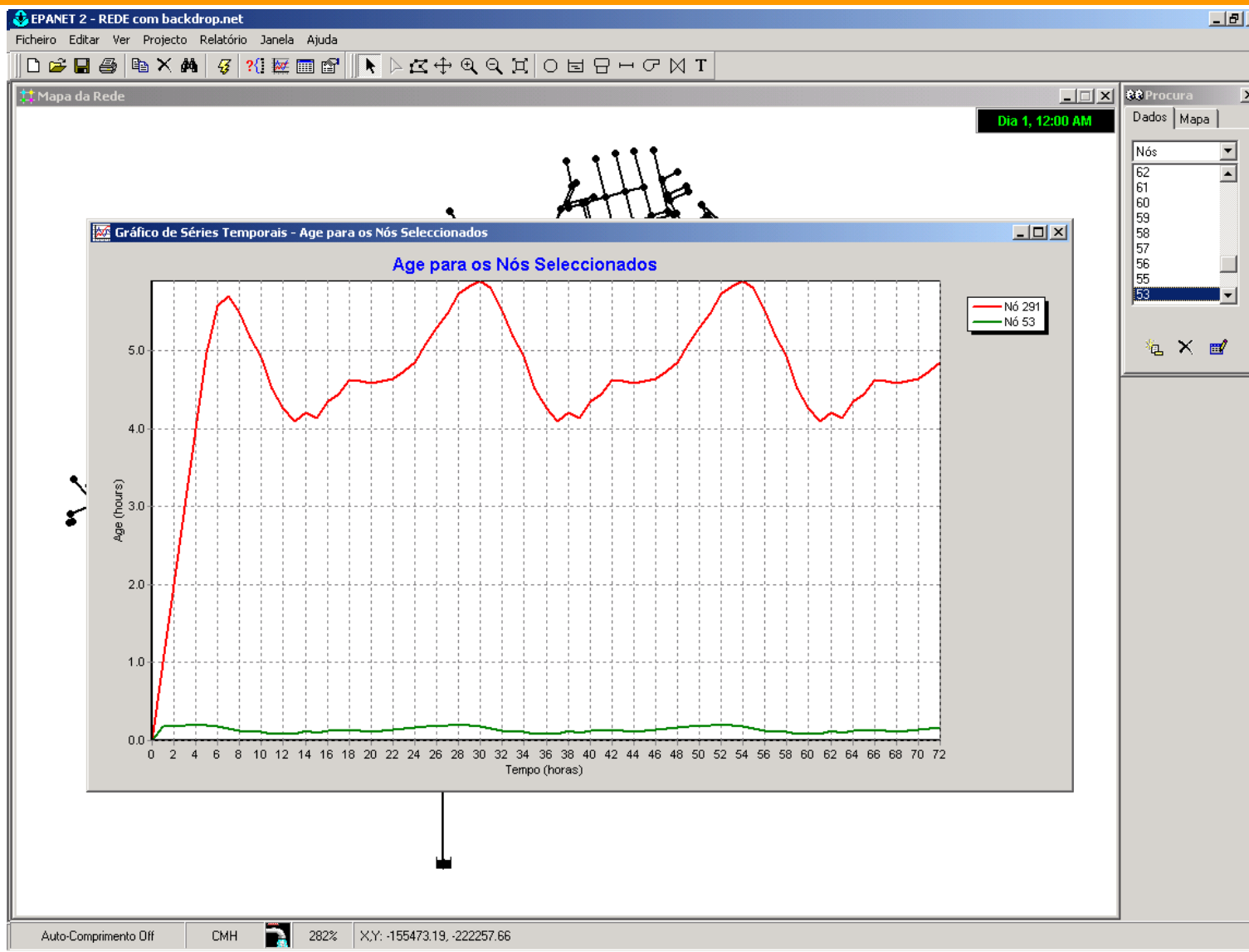
Simulação hidráulica



Simulação de qualidade da água

- **É necessário a execução de uma simulação hidráulica dinâmica previamente**
- **Especificar o parâmetro a modelar**
 - **Opções de simulação >> Qualidade**
 - **Nenhum** (não executa a simulação de qualidade da água)
 - **Químico/Chemical** (calcula a concentração química)
 - **Rastreio de origem/Trace** (rastreio da percentagem de caudal proveniente de um nó específico)
 - **Idade/Age** (calcula a idade da água na rede)
- **Especificar o tipo de reacções que ocorrem e respectivos parâmetros**
 - **Procura>>Dados>>Opções >> Reacções**
- **Executar simulação**
 - **Projecto >> Executar simulação**
- **Às vezes, é necessário correr o modelo durante vários dias para que os parâmetros estabilizem**

Simulação de qualidade da água

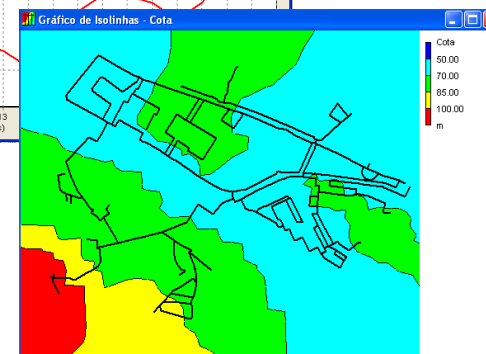
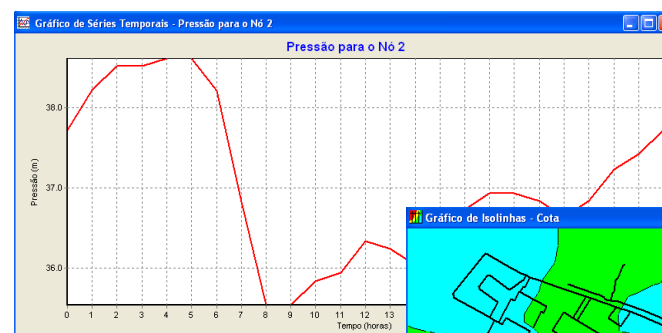
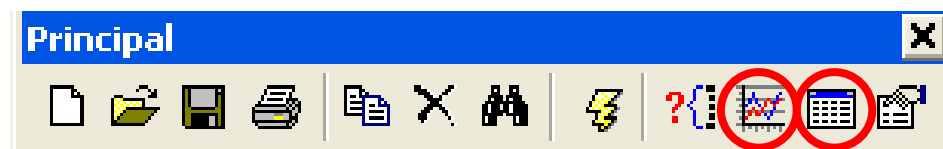


Simulações

Resultados

■ Gráfico

- Gráfico de uma série temporal
- Gráfico de perfil
- Gráfico de isolinhas
- Gráficos de frequências
- Gráfico de balanço de caudais



■ Tabela (tem filtros)

Tabela da Rede - Nós às 0:00 Horas				
ID do Nó	Consumo LPS	Carga Hidráulica m	Pressão m	Qualidade
Nó 2	0.00	99.22	37.72	0.00
Nó 3	0.37	99.20	37.30	0.00
Nó 4	0.18	99.10	36.80	0.00
Nó 5	0.00	99.05	36.45	0.00
Nó 6	0.34	99.05	36.35	0.00
Nó 7	0.20	98.92	34.72	0.00
Nó 8	0.00	98.92	34.62	0.00
Nó 9	0.19	98.92	34.82	0.00
Nó 10	0.10	98.92	33.42	0.00
Nó 11	0.25	98.92	33.32	0.00
Nó 12	0.25	98.92	30.32	0.00
Nó 13	0.13	98.92	30.32	0.00
Nó 14	0.19	98.92	29.02	0.00
Nó 15	0.04	98.92	28.32	0.00

■ Relatórios

- Relatório de estado
- Relatório de energia
- Relatório de calibração
- Relatório completo

Mostrar Exemplo do ZMC 320

Notas finais e referências bibliográficas



Ficheiros do Epanet 2.0

- **Software de simulação** (EN2Psetup.exe)
- **Manual do utilizador** (EN2manual.pdf)
- **Exemplos práticos** (Net1.net; Net2.net; Net3.net)

Simulação

- **Toolkit de programação** (EN2Ptoolkit.zip)
 - conjunto de rotinas programáveis
- **Ficheiros de código** (EN2Psource.zip)
- **Lista de actualizações** (EN2Pupdates.txt)

Programação

- **Existe um grupo de discussão (EPANET Users Listserve)**
 - permite colocar dúvidas e trocar informação com de outros utilizadores
Para subscrever o grupo de discussão
 - envie um e-mail para listserv@listserv.uoguelph.ca com a mensagem "subscribe epanet-users" (sem aspas) seguida do nome.

Bibliografia recomendada

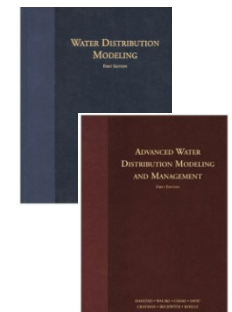
■ Série "Guias técnicos" do IRAR (www.irar.pt)

- Coelho, S. T., Loureiro, D., Alegre, H. (2006). Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água. Série: Guias Técnicos 4 , LNEC e IRAR, Lisboa.
- Rossman, L. A. (2004). Manual do Utilizador do Epanet 2.0. Série: Guias Técnicos 4 , LNEC e IRAR, Lisboa, Tradução e adaptação de D. Loureiro e S.T.Coelho.



■ Outras referências

- Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A. (2001) – “Water Distribution Modeling”, Haestad Methods, Estados Unidos da América.
- Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A. et al. (2003) – “Advanced Water Distribution Modeling and Management ”, Haestad Methods, Estados Unidos da América.



■ Software

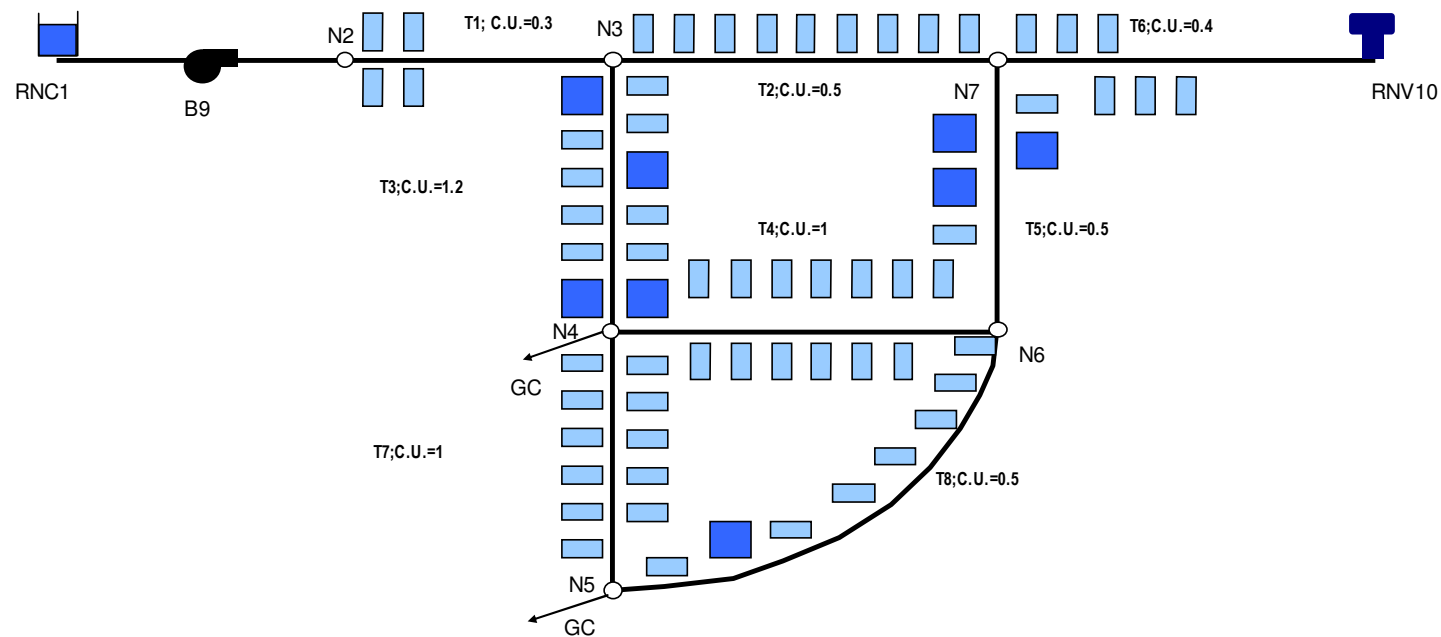
- EPANET – EPA (<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html>)
- H2ONET – MWH soft, inc. (<http://www.mwsoft.mw.com>)
- MIKENET - Boss Internacional (<http://www.bossintl.co.uk/html/products.html>)
- WaterCAD (CyberNET) - Haestad Method (<http://www.haestad.com/water>)

Tarefas para a próxima aula

- **Início da resolução do trabalho prático**
 - Módulo 2 - Rede de distribuição

- **Sumário da próxima aula**
 - Discussão e esclarecimento de dúvidas sobre o Módulo 2
 - Calibração de modelos
 - Entrega do Módulo 3 do trabalho prático

- Parte I – Distribuição espacial de consumos
- Parte II – Simulação estática
- Parte III – Simulação dinâmica

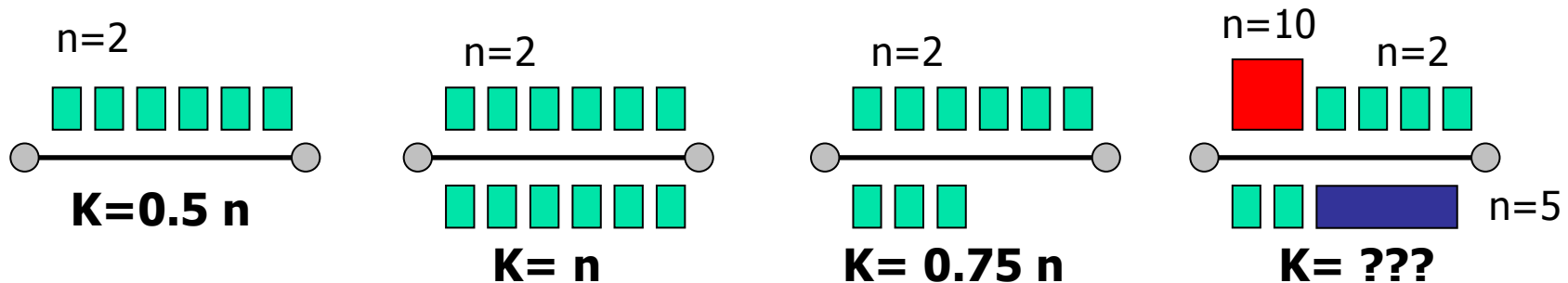


Módulo 2A

Parte I - Distribuição dos consumos

Técnica dos comprimentos fictícios

- A distribuição dos consumos é efectuada em função dos comprimentos fictícios dos trechos de conduta de acordo como seguinte procedimento
 1. Determinação dos comprimentos reais de cada conduta (**L_{real}**)
 2. Atribuição dos factores de localização de consumo para cada trecho
 - $K = 0$ se trecho sem consumo
 - $K = 0,5 n$ se trecho com consumo de apenas um dos lados
 - $K = n$ se trecho com consumo dos dois ladossendo $n = n.^{\circ}$ pisos acima do solo



Módulo 2A

Parte I - Distribuição dos consumos

Técnica dos comprimentos fictícios

Solução

A distribuição efectuada pelo bom senso da engenharia

$$K = \frac{2*10 + 4*2 + 2*2 + 4*5}{12*2} = 2.2$$

Em vez do número de pisos pode ser usado:

- o numero de consumidores (contadores)
- número de habitantes

Módulo 2A

Parte I - Distribuição dos consumos

Técnica dos comprimentos fictícios

3. Cálculo do comprimento fictício de cada trecho
 - $L_{fict} = L_{real} \times K$
4. Cálculo do caudal unitário por unidade de comprimento fictício
 - $Q_{unit} = Q_{total} / \sum L_{fict_i} \text{ (m}^3\text{/m/s)}$
5. Cálculo o consumo de cada trecho
 - $C = Q_{unit} \times L_{fict}$
6. Calcular o consumo de cada nó como o somatório de metade dos consumos das condutas confluentes a esse nó

- $C_j = \sum C_i / 2$

