

Relatório de Estágio

MODELAÇÃO HIDRÁULICA DE UM SISTEMA ADUTOR EM ALTA

julho de 2014

Autor: José Trindade Rêgo, 1080255

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
RAMO DE INFRAESTRUTURAS E AMBIENTE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Agradecimentos

Antes de mais gostaria de agradecer a todos os professores do Instituto Superior de Engenharia do Porto pela preparação que me deram, assim como, sugestões e orientações por eles transmitidas ao longo de todo o curso.

Em especial ao meu orientador Professor Tiago Abreu, pela disponibilidade e interesse demonstrada no decorrer do estágio.

Gostaria também de agradecer à Águas do Douro e Paiva, S.A., pela oportunidade de realização deste estágio, e aos seus colaboradores, que de forma direta ou indireta, contribuíram positivamente para uma melhor experiência de trabalho dentro da empresa, nomeadamente, à Eng.^a Raquel Caetano, Eng.^o João Ferreira, Eng.^o José Carlos Rodrigues e Dr. João Vilaça.

Agradeço também a todos os colegas e amigos que contribuíram para que este longo percurso esteja agora na última fase.

Agradeço também à minha mãe, irmã e avós por todo o apoio que me deram e têm dado ao longo destes anos.

Por último, gostaria de apresentar a minha mais sincera gratidão a todas as pessoas que pensavam que chegar a esta fase seria impossível, e que por muitas vezes barraram o meu caminho na esperança que eu o não conseguisse percorrer, pois se não fosse por vocês esta caminhada não teria o mesmo sentido de desafio nem de satisfação.

A todos vós o meu muito obrigado!

Palavras-Chave: Abastecimento; Água; Consumo; EPANET; Modelação

Resumo:

Este relatório é fruto de um trabalho desenvolvido por um período de seis meses onde é apresentada uma breve introdução da empresa, bem como as políticas pelas quais ela funciona. São também descritas as formações obtidas e o plano de trabalhos seguido.

Relativamente ao trabalho em si, o tema principal do trabalho desenvolvido, e tal como é apresentado no título deste relatório, é a modelação hidráulica de um sistema adutor em alta, isto é, onde foi elaborado um modelo para uma rede de abastecimento de água recorrendo aos registos de consumos fornecidos pela empresa Águas do Douro e Paiva, S.A.. É realizada uma descrição dos vários passos que levaram à sua elaboração e são apresentadas as conclusões relativas aos resultados obtidos. Uma vez que o trabalho incidiu sobre o funcionamento e aprendizagem de *software* apropriado, foram também retiradas conclusões/sugestões que poderão ser tomadas de forma a melhorar a experiência entre programas e utilizadores.

Apesar do tempo disponível para a realização do plano de trabalhos ter demonstrado ser o suficiente para o cumprimento dos vários requisitos, foi também suficiente para permitir a realização de outros trabalhos que proporcionaram a aquisição de mais experiência no desenvolvimento de modelos em EPANET.

Keywords: Demand; EPANET; Modelation; Supply; Water

Abstract:

This report is the result of an internship developed during six months in a water supply company - Águas do Douro e Paiva, S.A. In this work, one can find a short presentation of the company in addition to its operating principles. One can also find all the training acquired and the work plan developed during the internship.

The main title of the work is “Hydraulic Modelling of a Water Supply System”, concerning the elaboration of a water supply network model, starting on the uptake of water from rivers and ending on delivery points. The demands of water used in this model were obtained from the company’s database, where the main information of the delivery points is stored.

With that in mind, this report presents the various steps that lead to the network creation, as well as the different results obtained from its computation.

Since some of the software is used here for the first time, this report includes some reviews and suggestions that may improve the experience between the software and the user.

This report also outlines some concepts that serve as a backup for a better understanding of the model and of EPANET2.0.

The time available for the execution of the work plan proved to be enough, providing also time to elaborate and complement other works, allowing the acquisition of more experience, particularly, in the development of EPANET models.

Índice

Agradecimentos.....	i
Palavras-Chave:	ii
Resumo:	ii
Keywords:	iii
Abstract:.....	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras.....	viii
Índice de tabelas	xii
Índice de gráficos	xiii
Índice de fórmulas.....	xv
Glossário.....	xvi
Lista de abreviaturas.....	xix
Capítulo I – Introdução.....	1
I. Enquadramento e objetivos	1
II. Organização do documento	2
Capítulo II – Empresa.....	3
I. Missão	4
II. Visão.....	4
III. Política Empresarial.....	5
IV. Código de conduta	6

i.	Código de Conduta e Ética	6
ii.	Código de Conduta Empresas e VIH.....	7
V.	Acreditação e certificação.....	8
VI.	Infraestruturas e equipamentos	10
VII.	Apresentação do estágio.....	20
i.	Plano de trabalhos	20
ii.	Duração	21
VIII.	Especificações técnicas, formações e <i>software</i>	22
i.	Formações.....	22
ii.	<i>Software</i>	26
Capítulo III – Trabalho desenvolvido		29
I.	Carregamento do cadastro no Sistema de Informação Geográfica (SIG)	29
i.	Análise do perfil hidráulico e planta do sistema adutor	29
ii.	Determinação de pontos críticos.....	38
iii.	Inserção de cotas topográficas para SIG	42
II.	Definição dos padrões de consumo de água	46
III.	Modelação hidráulica no <i>Software</i> EPANET.....	53
i.	Desenho de uma rede em EPANET	53
ii.	Correção de modelos importados no EPANET e inserção de dados.....	62
iii.	Cálculo de redes em EPANET	65
iv.	Cálculo de perdas de carga no EPANET	65

v.	Exportação dos dados carregados em SIG	69
vi.	Validação dados importados	71
vii.	Validação modelo criado.....	73
IV.	Comparação entre modelos	75
i.	Modelo EPANET simples	75
ii.	Modelo Excel	81
V.	Calibração do modelo.....	82
i.	Ensaio no terreno	82
ii.	Correção do modelo hidráulico.....	83
VI.	Funcionamento do modelo	93
VII.	Divisão da rede em modelos mais pequenos.....	95
i.	Funcionamento dos modelos	97
ii.	Apresentação de resultados	101
VIII.	Modelo alternativo	122
Capítulo IV – Outros trabalhos realizados ao longo do estágio.....		125
I.	Modelação Hidráulica de uma Conduta	126
II.	Elaboração de um guia para EPANET	127
III.	Apresentações do ponto de situação.....	128
Capítulo V – Conclusões e observações		129
I.	Funcionamento com os programas.....	129
II.	Resultados e funcionamento do modelo.....	130

Referências Bibliográficas.....	131
Anexos	133

Índice de figuras

Figura 1 – Selos de certificação da empresa referentes às diversas normas de gestão.....	9
Figura 2 – Selo de acreditação da empresa.....	9
Figura 3 – Mapa da rede.....	11
Figura 4 – Estação de tratamento de água de Castelo de Paiva.....	12
Figura 5 – Estação de tratamento de água do Ferro	12
Figura 6 – Estação de tratamento de água de Lever	13
Figura 7 – Estação de tratamento de água do Ferreira	13
Figura 8 – Estação de tratamento de água de Pousada-Gôve.....	14
Figura 9 – Captação superficial.....	15
Figura 10 – Filtros	15
Figura 11 – Geradores de ozono	16
Figura 12 – Tanques de mistura de coagulante e floculante na água.....	16
Figura 13 – Tanques de flutuação e filtração.....	17
Figura 14 – Doseadores de cloro.....	17
Figura 15 – Centro de recolha de amostras	18
Figura 16 - Unidade de tratamento de lamas	18
Figura 17 – Grupo eletrobomba	19
Figura 18 – Esquema tarefa/duração	21
Figura 19 – Autodesk® AutoCAD LT® 2014.....	26
Figura 20 – Logótipo programa G/InterAqua	27
Figura 21 – Planta da rede em estudo.....	29
Figura 22 – Alguns pontos críticos numa conduta.....	38
Figura 23 – Planta de localização de uma caixa de visita.....	39

Figura 24 – Pormenor construtivo de uma caixa de visita.....	40
Figura 25 – Exemplo do traçado do perfil de uma conduta	41
Figura 26 – Traçado da rede geral	42
Figura 27 – Esquema de uma caixa de visita no G/InterAqua	43
Figura 28 – Janela de propriedades (Troço de adutora)	44
Figura 29 – Janela de propriedades (Ponto/Acessórios)	44
Figura 30 – Janela de propriedades (Ponto/Acessórios)	45
Figura 31 – Janela de propriedades (Troço de adutora)	45
Figura 32 – Barra de ferramentas do EPANET	54
Figura 33 – Janela <i>Defaults</i> , separador <i>Properties</i> do EPANET	55
Figura 34 – Janela <i>Defaults</i> , separador <i>Hydraulics</i> do EPANET.....	56
Figura 35 – Janela <i>Browser</i> do EPANET com a opção editar se assinalada	57
Figura 36 – Lista de elementos a consultar na janela <i>Browser</i> do EPANET	57
Figura 37 – Exemplo de um ficheiro “*.inp”	59
Figura 38 – Erros correntes da importação de ficheiro CAD ou SIG	60
Figura 39 – Janela <i>Map Dimensions</i>	62
Figura 40 – Janela <i>Browser, Options</i>	63
Figura 41 – Janela <i>Times Options</i>	63
Figura 42 – Janela de edição de padrões	64
Figura 43 – Ábaco de Moody	67
Figura 44 – Rede importada de SIG, sem correção de erros	69
Figura 45 – Relatório de erros de importação.....	70
Figura 46 – Rede a modelar (fase de “limpeza”)	71
Figura 47 – Rede a modelar (inserção de reservatórios)	72
Figura 48 – Janela de propriedades de reservatórios de nível variável.....	74

Figura 49 – Modelo final a ser calibrado	74
Figura 50 – Modelo EPANET simples	76
Figura 51 – Esquematização de uma rede	77
Figura 52 – Gráficos de isolinhas de elevação: a) rede simples, b) rede exportada.....	78
Figura 53 – Gráficos de isolinhas de pressão: a) rede simples, b) rede exportada.....	78
Figura 54 – Modelo Excel.....	81
Figura 55 – Gráfico de correlação de valores de caudal (m^3/h) – antes da calibração.....	84
Figura 56 – Gráfico de comparação de valores de médias de caudal (m^3/h) – antes da calibração.....	85
Figura 57 – Gráfico de correlação de valores de caudal (m^3/h) – pós calibração.....	86
Figura 58 – Gráfico de comparação de valores de médias de caudal (m^3/h) – pós calibração	86
Figura 59 – Gráfico temporal de caudais (m^3/h) para a ligação 47932.....	88
Figura 60 – Gráfico temporal de caudais (m^3/h) para a ligação 37304.....	88
Figura 61 – Gráfico temporal de caudais (m^3/h) para a ligação 2022	88
Figura 62 – Gráfico de correlação de valores de pressão (m.c.a.).....	89
Figura 63 – Gráfico de comparação de valores de médias de pressão (m.c.a.).....	90
Figura 64 – Gráfico de correlação de valores de pressão (m.c.a.).....	91
Figura 65 – Gráfico de comparação de valores de médias de pressão (m.c.a.).....	91
Figura 66 – Gráfico de correlação de valores de pressão (m.c.a.).....	92
Figura 67 – Gráfico de comparação de valores de médias de pressão (m.c.a.).....	92
Figura 68 – Avisos	93
Figura 69 – Esquema dos minimodelos.....	96
Figura 70 – Janela “ <i>Table Selection</i> ”	98
Figura 71 – Tabela de resultados para o ponto exemplo.....	98

Figura 72 – Organização do ficheiro de texto	99
Figura 73 – Alteração do tipo de ficheiro	99
Figura 74 – Importação de padrões	100
Figura 75 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	102
Figura 76 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	104
Figura 77 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	106
Figura 78 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	108
Figura 79 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	110
Figura 80 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	112
Figura 81 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	114
Figura 82 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	116
Figura 83 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	118
Figura 84 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema	120
Figura 85 – Comparação de resultados entre dois modelos semelhantes: a) com reservatório intermédio, b) com válvula redutora de pressão.	122
Figura 86 – Balanço de fluxo no sistema.....	123
Figura 87 – Capa do relatório do modelo Pedrouços-Freixieiro	126
Figura 88 – Capa do guia criado	127
Figura 89 – Diapositivo de apresentação do ponto de situação.....	128
Figura 90 – Diapositivo de apresentação do Modelo Pedrouços - Freixieiro.....	128

Índice de tabelas

Tabela 1 – Durações teóricas das tarefas propostas pelo plano de trabalhos.....	21
Tabela 2 – Número de equipamentos da rede	32
Tabela 3 – Conduatas existentes na rede em estudo	33
Tabela 4 – Comprimentos [m]	37
Tabela 5 – Dia de maior consumo mensal por ponto de entrega.....	47
Tabela 6 – Dia de consumo médio mensal por ponto de entrega	48
Tabela 7 – Diferença de resultados entre os dois modelos na conduta 7143.....	79
Tabela 8 – Diferença de resultados entre os dois modelos na conduta 7343.....	80
Tabela 9 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de caudal (m^3/h) – antes da calibração.....	85
Tabela 10 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de caudal (m^3/h) – pós calibração.....	87
Tabela 11 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de pressão (m.c.a.)	89
Tabela 12 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de pressão (m.c.a.)	90
Tabela 13 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de pressão (m.c.a.)	92
Tabela 14 – Lista de avisos	94

Índice de gráficos

Gráfico 1 – Estrutura acionista da AdDP	3
Gráfico 2 – Esquema de identificação de pontos na rede	32
Gráfico 3 – Materiais das condutas	34
Gráfico 4 – Diâmetros das condutas.....	34
Gráfico 5 – Relação material/diâmetro – Aço	35
Gráfico 6 – Relação material/diâmetro – Fibrocimento.....	35
Gráfico 7 – Relação material/diâmetro – Ferro fundido dúctil (FFD)	36
Gráfico 8 – Consumo diário médio mensal – 71 Vale do Sousa.....	49
Gráfico 9 – Consumo diário médio mensal – 72 Vale do Sousa.....	50
Gráfico 10 – Consumo diário médio mensal – 73 Vale do Sousa	51
Gráfico 11 – Consumo diário médio mensal – 74 Vale do Sousa	52
Gráfico 12 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	102
Gráfico 13 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	103
Gráfico 14 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	104
Gráfico 15 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	105
Gráfico 16 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	106
Gráfico 17 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	107
Gráfico 18 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	108
Gráfico 19 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	109
Gráfico 20 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	110
Gráfico 21 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	111
Gráfico 22 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	112
Gráfico 23 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	113

Gráfico 24 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	114
Gráfico 25 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	115
Gráfico 26 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	116
Gráfico 27 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	117
Gráfico 28 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	118
Gráfico 29 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	119
Gráfico 30 – Pressões nos pontos de entrega do modelo	120
Gráfico 31 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo.....	121
Gráfico 32 – Pressões nos pontos de entrega do modelo alternativo	123
Gráfico 33 – Tempo de percurso da água no modelo alternativo	124

Índice de fórmulas

(1) Número de Reynolds	65
(2) Fator de fricção (Regime Laminar).....	66
(3) Fator de fricção (Regime Turbulento)	66
(4) Expressão de interpolação cúbica	67
(5) Expressão de interpolação cúbica	67
(6) Expressão de interpolação cúbica	67
(7) Expressão de interpolação cúbica	67
(8) Expressão de interpolação cúbica	67
(9) Expressão de interpolação cúbica	67
(10) Expressão de interpolação cúbica.....	67
(11) Expressão de interpolação cúbica.....	67
(12) Expressão de interpolação cúbica.....	67
(13) Expressão de interpolação cúbica.....	68
(14) Expressão de Darcy-Weishbach	68

Glossário

Água Líquido natural, transparente, incolor, geralmente insípido e inodoro, indispensável para a sobrevivência da maior parte dos seres vivos. A sua fórmula molecular é H₂O.

Fonte: Priberam [7]

Bomba Elemento constituinte da rede de abastecimento de água que tem como principal função a elevação de determinado volume para uma dada cota através do fornecimento de energia.

Caixa de visita Infraestrutura que permite o acesso a um determinado ponto da tubagem da rede, por exemplo, ponto de entrega, ventosa, descarga de fundo.

Calibração Processo que consiste no melhoramento de um modelo tornando-o o mais real possível.

Câmara de carga A câmara de carga é a estrutura, posicionada entre o canal de adução e a tomada de água propriamente dita, destinada a:

- promover a transição entre o escoamento a superfície livre, no canal de adução, e o escoamento sob pressão na conduta forçada;
- aliviar o golpe de aríete que se processa na conduta forçada quando ocorre o fechamento brusco do dispositivo de controle de vazões turbinadas; e
- fornecer água à conduta forçada quando ocorre uma abertura brusca desse mesmo dispositivo, até que se estabeleça, no canal de adução, o regime permanente de escoamento.

Fonte: Eletrobras [6]

Captação Local da rede onde se capta/recolhe água.

Caudal / fluxo	Volume de fluido que passa num determinado intervalo de tempo por um determinado ponto.
Conduta / tubagem	Conjunto de tubos ligados entre si que permitem o transporte de fluídos. Tubulação.
Descarga de fundo	Local da rede que permite o esvaziamento de uma determinada conduta.
Esquemática (skeletonization)	Generalização, representação simplificada. Fonte: Priberam [7]
Estação de tratamento de água	Infraestrutura destinada ao tratamento de água para consumo humano.
Estação elevatória	Infraestrutura composta por uma ou várias bombas, que eleva um caudal a uma determinada cota.
Fugas e perdas	Fugas e perdas de água ao longo da rede podem ocorrer por anomalias na rede (p.e., fissuras) ou por uso ilícito de água.
Modelação	Criação de um modelo de apoio de forma a prever ou representar o que acontece na realidade.
Modelo	Imagem, desenho ou objeto que serve para ser imitado. Fonte: Priberam [7]
Poços	Cova funda aberta no solo para exploração de água. Buraco ou estrutura destinada a acumular água. Fonte: Priberam [7]
Ponto de entrega	Ponto final de uma rede de abastecimento de água.

Pressão Qualquer força que se exerce sobre algo. Força aplicada numa determinada secção.

Fonte: Priberam [7]

Reservatório Infraestrutura que permite o armazenamento de água.

Rio Canal de escoamento livre de água doce.

Sistema de abastecimento de água em “alta” É caracterizado por componentes responsáveis pela captação, pelo tratamento e adução e, por vezes, pelo armazenamento da água em reservatórios de entrega.

Sistema de abastecimento de água em “baixa” Integra as componentes relacionadas com a distribuição de água à população e os respetivos ramais de ligação.

Válvulas Aparelhos que visam controlar o deslocamento do fluido numa conduta.

Ventosa Acessório da rede que possibilita a libertação de ar dentro de uma conduta, por forma a não existir pressão a mais num determinado ponto alto da rede.

Lista de abreviaturas

<i>.inp</i>	Ficheiro correspondente a uma base de dados. Utiliza-se um editor de texto para o abrir.
AdDP	Águas do Douro e Paiva, S.A.
AdP	Águas de Portugal
bar	Unidade de pressão não inserida no sistema internacional (SI) definida pelo IUPAC (<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>)
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
C-M	Chézy-Manning
d	Diâmetro
D-W	Darcy-Weishbach
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
EE	estação elevatória
ETA	estação de tratamento de água
<i>f</i>	Fator de fricção
FFD	ferro fundido dúctil
g	Aceleração da gravidade
H	Altura
h	Horas
H-W	Hazen-Williams
IPAC	Instituto Português de Acreditação

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
km	Quilómetro, medida de comprimento, corresponde a 1×10^3 m.
L	Comprimento
m	metro, medida de comprimento SI
m.c.a.	metro coluna de água, unidade de pressão
m^3/h	metros cúbicos por hora, unidade de caudal
mm	milímetros, medida de comprimento, corresponde a 1×10^{-3} m
ONU	Organização das Nações Unidas
OSHAS	<i>Occupational Health & Safety Advisory Services</i>
Q	Caudal
Re	Número de Reynolds
S.A.	Sociedade Anónima
SAI	<i>Social Accountability International</i>
SI	Sistema Internacional
SIG	Sistema de informação geográfica
U	Velocidade
VIH	Vírus da Imunodeficiência Humana
ΔH	Variação de energia
ε	Rugosidade do tubo
ν	Coefficiente de viscosidade cinemática da água

Capítulo I – Introdução

I. Enquadramento e objetivos

A modelação hidráulica consiste no processo de criar um modelo que irá tentar assemelhar-se ao máximo ao de uma rede hidráulica existente, ou que poderá vir a existir. Essa preocupação encontra-se latente na seguinte definição que pode ser encontrada na bibliografia especializada:

“Uma adequada percepção física dos sistemas de abastecimento de água, dos fenómenos químicos e biológicos que possam estar envolvidos, complementada com uma modelação computacional fiável, contribui de forma decisiva para uma adequada análise de funcionamento dos mesmos (...)”.

Fonte: MARQUES & SOUSA, 2008 ^[9]

O objetivo principal deste trabalho consistiu na elaboração de um modelo preparado para a realização de testes que permitam analisar diferentes situações, como por exemplo:

- Aumento dos consumos por parte de um ou mais municípios;
- Criação de um ou mais pontos de entrega;
- Necessidade de aumentos de pressão na rede;
- Análise da qualidade da água na rede;
- Análise da evolução da qualidade da água ao longo do tempo.

Para esse efeito, durante o estágio houve necessidade de adquirir vários conhecimentos no campo de trabalho com os programas EPANET2.0 e G/InterAqua.

II. Organização do documento

Este documento está organizado em sete capítulos distintos. Nesses capítulos são apresentados, de forma cronológica, tanto os conhecimentos adquiridos na empresa, como o trabalho realizado.

Uma descrição dos conteúdos de cada capítulo é apresentada nos parágrafos seguintes.

Capítulo I – Introdução – Neste capítulo é realizada a introdução ao relatório, bem como, a descrição do conteúdo presente nos vários capítulos.

Capítulo II – Empresa – No Capítulo II é feita a apresentação da empresa, dos princípios pelos quais ela funciona, e das várias infraestruturas que ela possui. Neste ponto também é realizada a descrição do processo de tratamento de água. Outro dos pontos presentes corresponde à apresentação do estágio apresentando o tema, plano de trabalhos e durações de tarefas propostas, e por fim num último ponto é realizada uma descrição das especificações técnicas, formações e *software* que levaram ao desenvolvimento do trabalho.

Capítulo III – Trabalho desenvolvido – O Capítulo III contém a descrição do desenvolvimento do tema proposto ao longo de todo o período de estágio.

Capítulo IV – Outros trabalhos realizados ao longo do estágio – Para além do trabalho inicialmente proposto, foram também realizadas outras tarefas que levaram à elaboração de outros documentos. No Capítulo IV são apresentados esses documentos.

Capítulo V – Conclusões e observações – Neste capítulo estão presentes as várias conclusões que se podem retirar do trabalho desenvolvido.

Capítulo II – Empresa

A Águas do Douro e Paiva, S.A. (AdDP) é uma sociedade comercial anónima com capitais maioritariamente públicos, criada pelo Decreto-Lei 116/95 de 29 de Maio.

A sua estrutura acionista é dividida em dois grandes grupos, sendo o primeiro constituído pela Águas de Portugal (AdP), que detém 51% da sociedade, e os restantes 49% são referentes a um segundo grupo composto pelos 20 municípios abastecidos pela empresa.

No Gráfico 1 representa-se o peso que cada um dos acionistas da empresa detém.

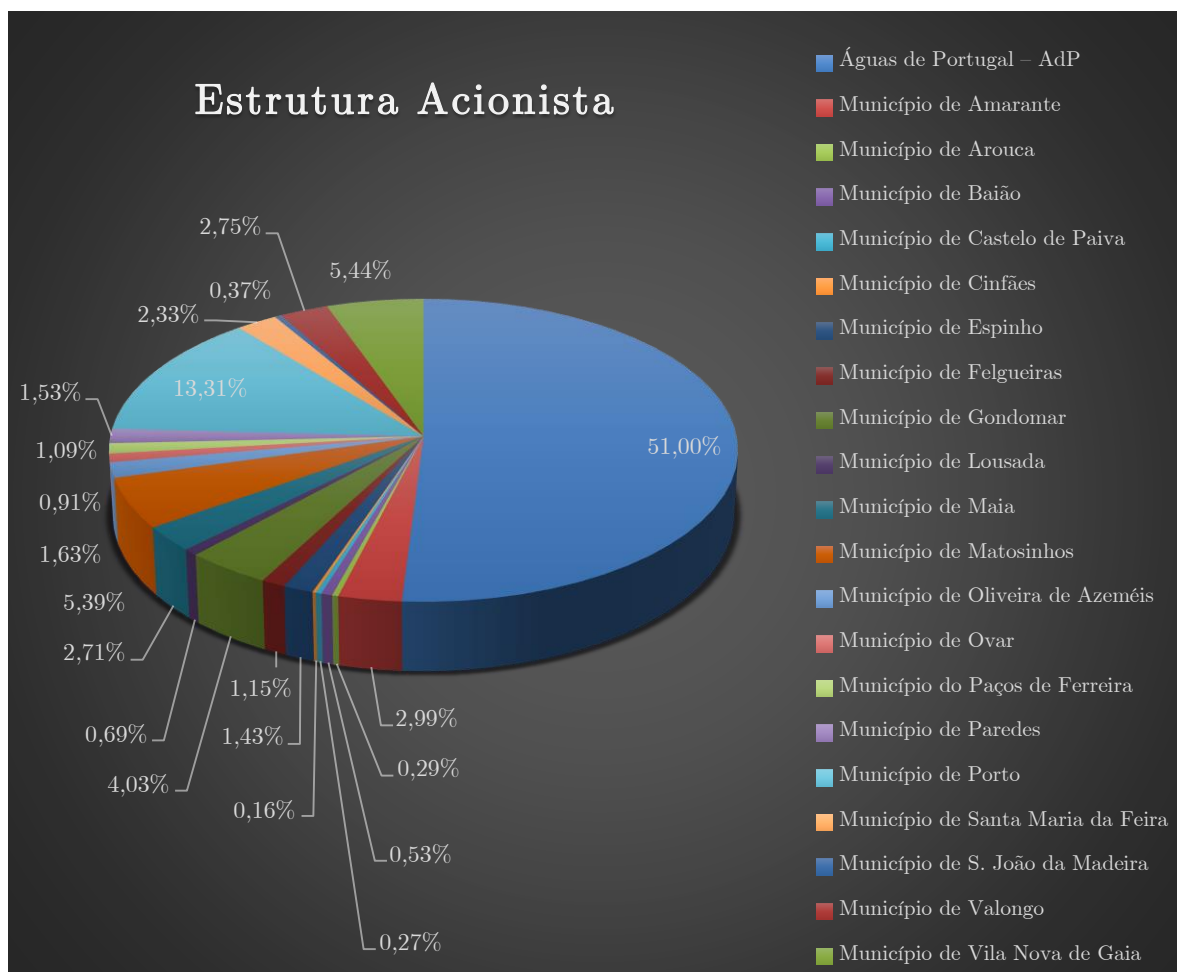


Gráfico 1 – Estrutura acionista da AdDP

De seguida enunciam-se os princípios pelos quais a empresa se rege. Nomeadamente, apresenta-se a visão, missão, política empresarial e código de conduta da empresa, bem como se faz alusão ao processo de acreditação e certificação, e às infraestruturas e equipamentos existentes.

I. Missão

Em consonância com a visão ambiciosa adotada pela empresa, a sua missão é a de:

“Conceber, construir e gerir o sistema de captação, tratamento e adução de água em alta do Grande Porto Sul, garantindo aos municípios aderentes o fornecimento das quantidades necessárias de um produto de qualidade, através de processos de produção eficientes e respeitadores dos valores sociais e ambientais mais elevados.”

Fonte: Manual de Acolhimento da AdDP, 2012 [8]

II. Visão

Os objetivos e visão da empresa visam alcançar uma posição de destaque no plano estratégico nacional, pois pode-se ler no seu manual de acolhimento o seguinte parágrafo:

“Ser uma empresa de referência no sector da indústria da água e um instrumento eficaz para o desenvolvimento da região em que se insere.”

Fonte: Manual de Acolhimento da AdDP, 2012 [8]

III. Política Empresarial

A postura da Águas do Douro e Paiva S.A. coloca o seu empenho no cumprimento das obrigações e responsabilidades sociais para com os acionistas, clientes, colaboradores, concedente, fornecedores e comunidade. Tendo consciência do seu papel como instrumento de desenvolvimento da região em que se insere, a empresa assume a promoção da proteção do meio ambiente e a sua valorização junto da comunidade.

A sua estratégia está assente sobre os seguintes princípios:

1. Satisfação do cliente;
2. Motivação dos colaboradores;
3. Gestão responsável dos processos;
4. Melhoria contínua e inovação;
5. Comunicação de desempenho.

Fonte: Manual de Acolhimento da AdDP, 2012 ^[8]

IV. Código de conduta

i. Código de Conduta e Ética

No que diz respeito ao código de conduta e ética da empresa, define-se um conjunto de normas que servem de suporte a um bom funcionamento/ambiente empresarial. Entre elas, estão presentes regras que definem quais os comportamentos a tomar com os diversos elementos da sociedade, como por exemplo, relacionamento entre colaboradores, relacionamento com outras entidades, relacionamento com clientes e fornecedores, e relacionamento com a comunicação social. Além destas, também dita regras de confidencialidade e sigilo profissional, prevenção de potenciais conflitos de interesses, utilização de recursos da empresa, atividades externas, entre outras.

Dentro do núcleo de empresas das quais a Águas do Douro e Paiva, S.A. se insere, existe uma comissão de ética que tem, entre outras, as seguintes responsabilidades:

- a) Estabelecer canais de comunicação com os destinatários do Código de Conduta e Ética e recolher informações dirigidas a este propósito;
- b) Garantir o respeito pelo Código por parte dos destinatários;
- c) Zelar pela existência de um sistema de controlo interno de cumprimento do Código.

Fonte: Código de Conduta e Ética, AdP ^[3]

ii. Código de Conduta Empresas e VIH

No que diz respeito ao Síndrome de Imunodeficiência Humana a empresa possui um código de conduta, adotando os princípios usados nas agências da Organização das Nações Unidas (ONU), e no Código de Conduta da Organização Internacional do Trabalho referente à infecção pelo VIH (Vírus da Imunodeficiência Humana).

De forma a proporcionar condições de trabalho dignas, a empresa rege-se pelos seguintes princípios:

1. Não discriminar as pessoas infetadas pelo VIH;
2. Assegurar a igualdade no acesso à prevenção e tratamento;
3. Facilitar a divulgação;
4. Facilitar o acesso aos cuidados de saúde e proteção social para todas as pessoas da empresa;
5. Reconhecer a importância da realização do teste de deteção da infecção pelo VIH;
6. Respeitar o carácter voluntário dos testes;
7. Confidencialidade dos resultados dos testes.

Fonte: Código de Conduta e Ética, AdP

V. Acreditação e certificação

Para além dos pontos vistos anteriormente a empresa guia-se por conjunto de normas que resultam num melhor funcionamento da empresa, tanto a nível de saúde e segurança dos seus funcionários, como a nível de qualidade e a nível ambiental. Como tal obteve o selo de certificação no âmbito das seguintes normas:

- ISO 9001 – a *International Organization for Standardization* (ISO) é responsável pela realização de um conjunto de normas que permitem melhorar o desempenho das empresas. A norma ISO 9001 assegura a qualidade dos produtos da empresa.
- ISO 14001 – tal como na norma anterior, esta foi criada pela *International Organization for Standardization* (ISO), com vista ao estabelecimento de regras à criação de um bom sistema de gestão ambiental.
- OSHAS 18001 – norma britânica, criada pela *Occupational Health & Safety Advisory Services* (OSHAS), referente à saúde ocupacional e zona de segurança (*Occupational Health and Safety Zone*), que tem como objetivos melhorar o sistema de gestão de saúde e segurança no trabalho, minimizar os riscos para os trabalhadores, demonstrar diligência, entre outros.
- SA 8000 – criada pela *Social Accountability International* (SAI), é uma norma que protege os trabalhadores no que respeita aos seus direitos. Esta está dividida nos seguintes grupos:
 1. Trabalho infantil (*child labor*);
 2. Trabalho forçado e compulsório (*forced & compulsory labor*);
 3. Saúde e segurança (*health & safety*);
 4. Liberdade de associação e direito à negociação coletiva (*freedom of association & right to collective bargaining*);
 5. Discriminação (*discrimination*);
 6. Práticas disciplinares (*disciplinary practices*);
 7. Horas de trabalho (*working hours*);
 8. Remuneração (*remuneration*);
 9. Sistemas de gestão (*management systems*).

Na imagem a seguir, Figura 1, são apresentados os selos de certificação referentes às normas referidas.



Figura 1 – Selos de certificação da empresa referentes às diversas normas de gestão

Em relação à acreditação, a empresa possui um selo de empresa acreditada (Figura 2), atribuído pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC), referente aos ensaios e procedimentos usados na recolha de amostras para análise da qualidade da água.



Figura 2 – Selo de acreditação da empresa

VI. Infraestruturas e equipamentos

À sociedade Águas do Douro e Paiva, S.A. foi adjudicada, através do artigo 6.º do Decreto-Lei anteriormente mencionado, a concessão da exploração e gestão do sistema multimunicipal de captação, tratamento e abastecimento de água para consumo público nos municípios do Sul da área do Grande Porto durante um prazo de 30 anos.

De forma a obedecer aos requisitos impostos na legislação foram contruídas uma série de infraestruturas que têm como finalidade a captação, tratamento e transporte de água.

Na Figura 3 está representado o mapa geral da rede da Águas do Douro e Paiva, S.A., podendo observar-se que se trata de diversas redes ramificadas, sendo bastante usual em sistemas de abastecimento em alta.

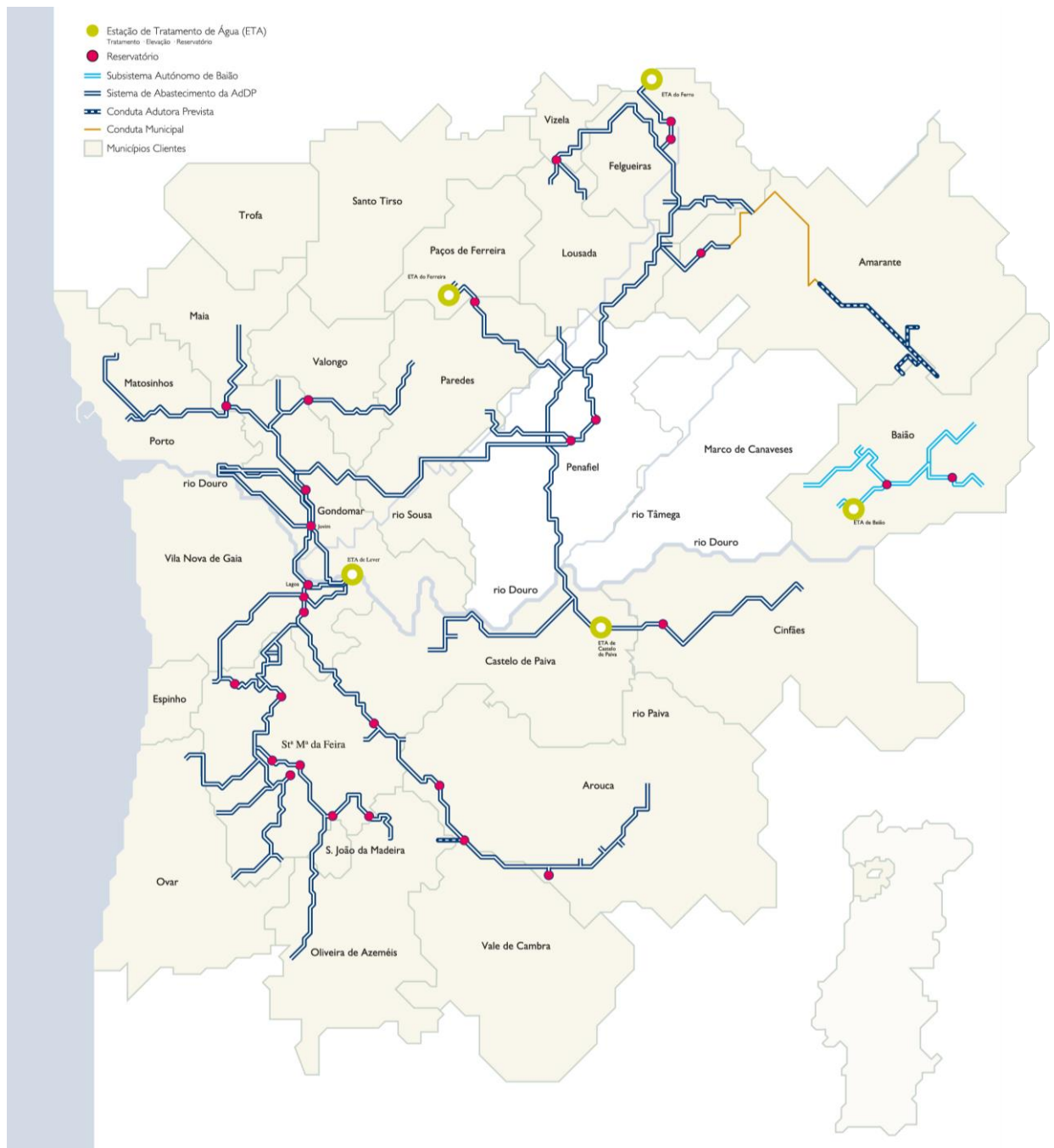


Figura 3 – Mapa da rede

Entre as diferentes infraestruturas encontram-se 5 estações de tratamento de água:

1. Estação de tratamento de água de Castelo de Paiva (Figura 4)



Figura 4 – Estação de tratamento de água de Castelo de Paiva

A estação de tratamento de castelo de Paiva é responsável pelo tratamento de água do rio Paiva e posterior abastecimento dos municípios de Castelo de Paiva, Cinfães, Paredes, Lousada e Paços de Ferreira.

2. Estação de tratamento de água do Ferro (Figura 5)



Figura 5 – Estação de tratamento de água do Ferro

A estação de tratamento de água do Ferro trata a água captada no rio Ferro e no rio Vizela, abastecendo o município de Felgueiras.

3. Estação de tratamento de água de Lever (Figura 6)



Figura 6 – Estação de tratamento de água de Lever

A estação de tratamento de água de Lever é a responsável pelo abastecimento da maior parte dos municípios do grande Porto. A água por ela tratada é proveniente do rio Douro.

4. Estação de tratamento de água do Ferreira.



Figura 7 – Estação de tratamento de água do Ferreira

A ETA do Ferreira é responsável pelo abastecimento de água ao município de Paços de Ferreira, com recurso a água captada no rio Ferreira.

5. Estação de tratamento de água de Pousada-Gôve



Figura 8 – Estação de tratamento de água de Pousada-Gôve

Esta estação é responsável pelo abastecimento de água na região do município de Baião, com água captada no rio Ovil.

Dentro de cada uma destas instalações existe um conjunto de equipamentos destinados às várias fases, quer de captação, bem como de tratamento da água captada e controlo de qualidade da mesma. De seguida enunciam-se os equipamentos existentes que podem ser encontrados ao longo do percurso da água, neste caso os equipamentos existentes na ETA de Lever:

1. Captação – pode ser superficial (Figura 9), ou em profundidade, a última é feita com recurso à construção de poços.



Figura 9 – Captação superficial

2. Pré-tratamento – fase em que a água depois de captada é filtrada através de filtros multicamada pressurizados (Figura 10),



Figura 10 – Filtros

3. Pré-oxidação – nesta etapa a água captada é tratada com ozono (Figura 11) de forma a eliminar algas e micro-organismos existentes.



Figura 11 – Geradores de ozono

4. Coagulação/Floculação – nesta fase, após terem sido eliminados os micro-organismos e algas existentes, é necessária a remoção da matéria excedente deste processo. Para isso e de forma a facilitar a sua recolha, é usado sulfato de alumínio (coagulante), juntamente com um floculante que ao serem misturados com a água vão agregar as diversas partículas. De forma a remover eventuais pesticidas e melhorar as características organoléticas da água, é possível dosear, juntamente com os reagentes floculantes, carvão ativado em pó. Na Figura 12 é possível visualizar os tanques de mistura de coagulante e floculante.



Figura 12 – Tanques de mistura de coagulante e floculante na água

5. Flutuação e filtração – na primeira são introduzidas microbolhas de ar na água que movem para a superfície os flocos formados no passo anterior. Na filtração a água clarificada entra em filtros de areia e antracite onde as partículas sólidas mais pequenas são removidas (Figura 13).

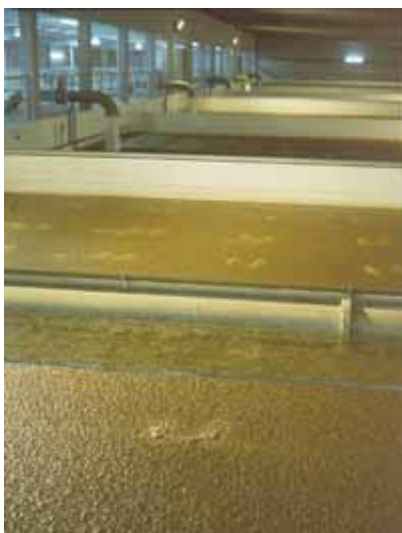


Figura 13 – Tanques de flutuação e filtração

6. Desinfecção final – esta é realizada com a mistura de cloro na água filtrada, Figura 14, isto permite garantir a qualidade bacteriológica quer à saída da estação de tratamento, quer ao longo da rede de distribuição.



Figura 14 – Doseadores de cloro

7. Controlo de qualidade – como o nome indica, nesta fase é efetuada uma recolha da água tratada e onde são realizadas análises que verificam a qualidade da amostra. Um dos ensaios é referente ao índice de turvação da água, sendo outro o de concentração de cloro.



Figura 15 – Centro de recolha de amostras

8. Tratamento de lamas – a matéria proveniente da lavagem dos filtros e da floculação é enviada para a unidade de tratamento de lamas (Figura 16), onde é desidratada. Este processo é realizado em duas etapas: espessamento e centrifugação. A água recuperada é encaminhada para o início do processo de tratamento de água.



Figura 16 - Unidade de tratamento de lamas

9. Transporte – uma vez a água tratada e analisada, se cumprir os requisitos estabelecidos legalmente para a qualidade da água e/ou os limites impostos pela empresa, normalmente mais restritivos, esta é enviada para a rede de abastecimento por condutas que podem ser de dois tipos, gravíticas ou elevatórias. No segundo caso é necessária a instalação de grupos eletrobomba (Figura 17) de forma a elevar a água até ao seu ponto de entrega ou reservatório.



Figura 17 – Grupo eletrobomba

Fonte: Página Águas do Douro e Paiva, S.A., 2014 ^[4]

A rede de abastecimento, para além das condutas adutoras, tem também inúmeras caixas de visita, câmaras de carga, estações elevatórias e reservatórios, que asseguram o transporte da água ao seu destino final.

As condutas adutoras estendem-se por quilómetros em diferentes diâmetros e materiais, como por exemplo, aço, ferro fundido dúctil e fibrocimento. Ao longo da sua extensão são dotadas de diversos equipamentos, como caudalímetros, válvulas, ventosas,...

VII. Apresentação do estágio

O objetivo do estágio teve como base o tema de modelação hidráulica de um sistema adutor em alta. Para isso, foram definidos um conjunto de tarefas e prazos, de forma a obter um bom fio condutor de apoio à realização do modelo.

i. Plano de trabalhos

Os passos a seguir apresentam o plano de trabalhos aprovado para o estágio:

1. Formação geral sobre as Águas do Douro e Paiva, S. A., e ferramentas específicas de trabalho (AutoCAD, SIG e EPANET).
2. Carregamento do cadastro no Sistema de Informação Geográfica (SIG):
 - a. Análise do perfil hidráulico e planta do sistema adutor;
 - b. Determinação de pontos críticos: início, caixas, pontos com perda de carga elevada, fim;
 - c. Transposição de cotas topográficas para SIG.
3. Definição dos padrões de consumo de água.
4. Modelação hidráulica no *Software* EPANET:
 - a. Exportar dados de SIG;
 - b. Validar dados exportados;
 - c. Validar modelo criado.
5. Calibração do modelo:
 - a. Ensaios no terreno;
 - b. Correção do modelo hidráulico.

ii. Duração

O estágio realizado teve a duração de 6 meses, tal como definido na ficha de unidade curricular de Dissertação/Projeto/Estágio. Conjugando o prazo total do estágio com a duração prevista de cada uma das tarefas descritas no plano de trabalhos, na Tabela 1 e na Figura 18 apresentam-se as tarefas propostas e a cronologia espectável para a sua execução.

Tabela 1 – Durações teóricas das tarefas propostas pelo plano de trabalhos

<u>Atividade</u>	<u>Duração</u>
Formação geral sobre as Águas do Douro e Paiva, S. A., E ferramentas específicas de trabalho	2 Semanas
Carregamento do cadastro no Sistema de Informação Geográfica (SIG)	6 Semanas
Definição dos padrões de consumo de água	4 Semanas
Modelação hidráulica no Software EPANET	4 Semanas
Calibração do modelo	8 Semanas
Total:	<u>24 Semanas</u>

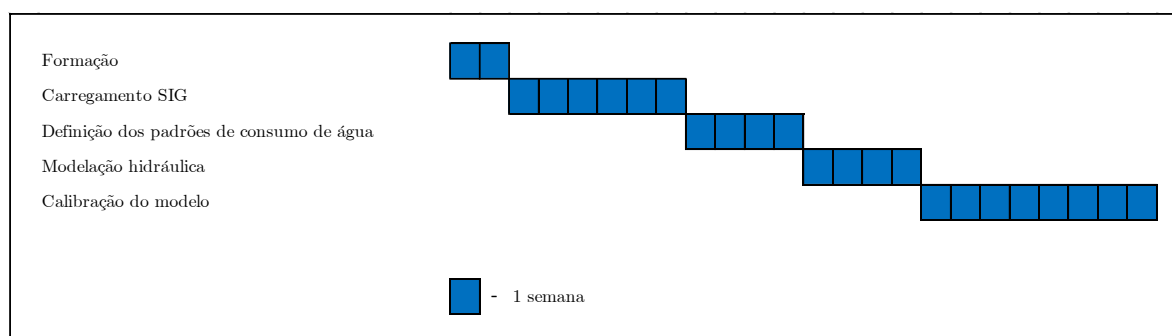


Figura 18 – Esquema tarefa/duração

VIII. Especificações técnicas, formações e *software*

i. Formações

Aquando da entrada numa empresa existe sempre a necessidade de conhecer a regras pelas quais ela opera. Na Águas do Douro e Paiva, S.A. isso não é exceção. Nos pontos a seguir apresentados, estão presentes as diferentes formações obtidas no princípio do estágio. No final de cada formação foram efetuados questionários de forma a avaliar os conhecimentos adquiridos, indicando-se as classificações obtidas nos diversos módulos. Por esse motivo detalham-se os tópicos principais de cada formação frequentada.

Eco-condução e Código da Estrada

Nesta formação, os principais objetivos foram os ensinamentos sobre a manutenção de veículos bem como a sua utilização. Dentro destes tópicos é importante referir os seguintes pontos:

- Manutenção de veículos
- Condução eficiente
- Condução económica
- Condução defensiva
- Condução ecológica

Fonte: Apontamentos das formações da AdDP, 2014 ^[1]

Para além destes assuntos foram também revistas as novas alterações ao código da estrada.

A avaliação foi dividida em dois módulos, tendo obtido os seguintes resultados da avaliação:

- Módulo I – 18,75 / 20,00
- Módulo II – 16,25 / 20,00

Primeiros Socorros

De acordo com a International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (Federação Internacional das Sociedades Cruz Vermelha e Crescente Vermelho), os primeiros socorros são a ajuda imediata que se pode dar a doentes ou feridos até que a ajuda profissional chegue. A ajuda é realizada não só a feridas físicas ou doenças, mas também, com outro cuidado inicial, inclui o suporte psicológico a pessoas que sofram de desconforto emocional depois de passarem ou testemunharem um evento traumatizante.

Após uma primeira análise sobre os diferentes conceitos por detrás dos primeiros socorros, foram ensinadas medidas a tomar no caso de se encontrarem diversas situações em que alguém necessite de auxílio.

Dentro dos vários assuntos tratados, são de salientar as seguintes matérias:

- Comportamento a tomar;
- Gestão de meios;
- Caixa de primeiros-socorros;
- Suporte básico de vida;
- Avaliação da vítima.

Fonte: Apontamentos das formações da AdDP, 2014 ^[1]

Este tipo de medidas transmitidas é importante não só do ponto de vista profissional, mas também do ponto de vista cívico, uma vez que qualquer indivíduo deverá estar munido de informação de forma a ajudar o próximo em caso de necessidade, ou ser ajudado por outros.

O resultado da avaliação neste módulo foi de 92,2 / 100,00.

Segurança contra incêndios

A formação de segurança contra incêndios subdividiu-se em 4 módulos, tendo sido o primeiro relativo ao risco de incêndio onde foram abordadas as seguintes matérias:

- Causas de incêndios;
- Vítimas;
- Prejuízos;
- Medidas de prevenção;
- Entidades responsáveis.

Concluído este módulo, deu-se início à matéria de fenomenologia da combustão onde se abordaram temas como o tipo de combustão, comburentes, combustíveis e classes de fogos. O terceiro módulo focou a extinção de incêndios, explicando qual o produto a usar para cada classe de fogos.

O quarto módulo agregou um conjunto de informação ligado a extintores. Os principais pontos abordados foram os seguintes:

- Interpretação do rótulo dos extintores;
- Modo de funcionamento;
- Mobilidade;
- Agente extintor;
- Eficácia do extintor;
- Dimensionamento e implantação dos extintores;
- Utilização dos extintores;
- Manutenção.

Fonte: Apontamentos das formações da AdDP, 2014 ^[1]

Além desta formação, ocorreu também uma participação no simulacro feito pela empresa.

O resultado da avaliação nesta formação foi de 55,00 / 60,00.

Segurança Rodoviária Ocupacional

A segurança rodoviária ocupacional traduz-se num conjunto de medidas adequadas à prevenção de acidentes rodoviários. Este tem em conta o campo de ação, o reconhecimento e o controlo de riscos associados ao sistema de transportes rodoviários.

Ao longo das diferentes matérias presentes nesta formação, foram adquiridos conhecimentos tanto na ótica do condutor, bem como na ótica de passageiro.

Entre os assuntos tratados, destacam-se os seguintes:

- Obrigações do trabalhador;
- Obrigações do empregador;
- Conceito de perigo;
- Conceito de risco;
- Conceito de fator de risco;
- Medidas preventivas e de proteção:

Fonte: Apontamentos das formações da AdDP, 2014 ^[1]

O resultado da avaliação foi de 88,75 / 100,00.

Visita às instalações da sede e da ETA de Lever

Durante as primeiras semanas do estágio existiu um conjunto de diferentes formações que levaram ao conhecimento das regras de funcionamento da empresa. Não obstante, era também importante conhecer as várias instalações onde o trabalho iria ser realizado.

Estas visitas permitiram não só conhecer as instalações de funcionamento da empresa mas também deram a oportunidade de conhecer os diferentes colaboradores que nela trabalham.

ii. Software

O *software* utilizado durante o estágio de forma a garantir o cumprimento de todos os objetivos propostos foi o seguinte:

Autodesk AutoCAD 2014 LT

O AutoCAD é um programa de desenho assistido a computador (*Computer-Aided Design*, CAD) que permite a criação de novos desenhos/projetos, bem como a consulta de ficheiros já existentes. A versão usada (Figura 19) é mais leve que o programa completo, uma vez que não possui o módulo de desenho a 3D (três dimensões).

O principal objetivo que proporcionou o uso deste programa foi a consulta de diversas telas finais para a obtenção de medidas para o posterior registo no programa de SIG (Sistema de Informação Geográfica).



Figura 19 – Autodesk® AutoCAD LT® 2014

G/InterAqua

Como complemento ao AutoCAD, surge então a “Solução SIG integrada para a gestão de infra-estruturas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais, numa lógica de multi-utilizador, funcionando sobre uma plataforma tecnológica comum, incluindo componentes de Desktop, Web e de Mobilidade. É uma solução de suporte aos processos de registo de infraestruturas (ativos) e de planeamento, de operação e de manutenção desenvolvidos nas empresas e entidades gestoras do sector da água e do saneamento.”

Fonte: Página oficial G/InterAqua, 2014 ^[12]

A AQUASIS, empresa do grupo Águas de Portugal, lançou em 2004 o que viria a ser um programa de SIG, permitindo o cadastro dos vários elementos de uma rede de abastecimento de águas ou de uma rede de drenagem de águas residuais. Desde então, este programa passou a ser implementado nas diversas empresas do grupo.



Figura 20 – Logótipo programa G/InterAqua

Este programa serviu para a exportação da rede para posterior importação no EPANET.

EPANET2.0

O EPANET2.0 é um programa criado por Lewis A. Rossman sobre a alçada da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*, EPA). Este programa é de domínio público e tem como principal função a criação de modelos hidráulicos de análise de redes e análise da qualidade da água. Sendo de uso livre e gratuito, é usado por diversas entidades com o principal objetivo de criação e análise de modelos de redes de abastecimento de água.

Principalmente, o programa apresenta as seguintes funcionalidades:

- Simulação de sistemas de qualquer dimensão;
- Cálculo da perda de carga unitária por uma das seguintes fórmulas: Hazen-Williams, Darcy Weisbach, ou Chezy-Manning;
- Inclusão de perdas de carga localizadas nas curvas, junções, etc.;
- Modelação constante ou variação variável da velocidade das bombas;
- Cálculo da energia consumida pela bomba e do respetivo custo;
- Modelação dos vários tipos de válvulas, incluindo válvulas de fecho, de retenção, reguladoras de pressão e controladoras de caudal;
- Vários formatos de reservatórios de nível variável (i.e., a superfície da água pode variar com a altura do reservatório) ...

Fonte: Página oficial EPANET, 2014 ^[13]

Capítulo III – Trabalho desenvolvido

I. Carregamento do cadastro no Sistema de Informação Geográfica (SIG)

i. Análise do perfil hidráulico e planta do sistema adutor

O subsistema em estudo corresponde à rede de Vale do Sousa (Figura 21). Nos pontos que se seguem estão discriminados os elementos constituintes da rede, bem como as suas características.

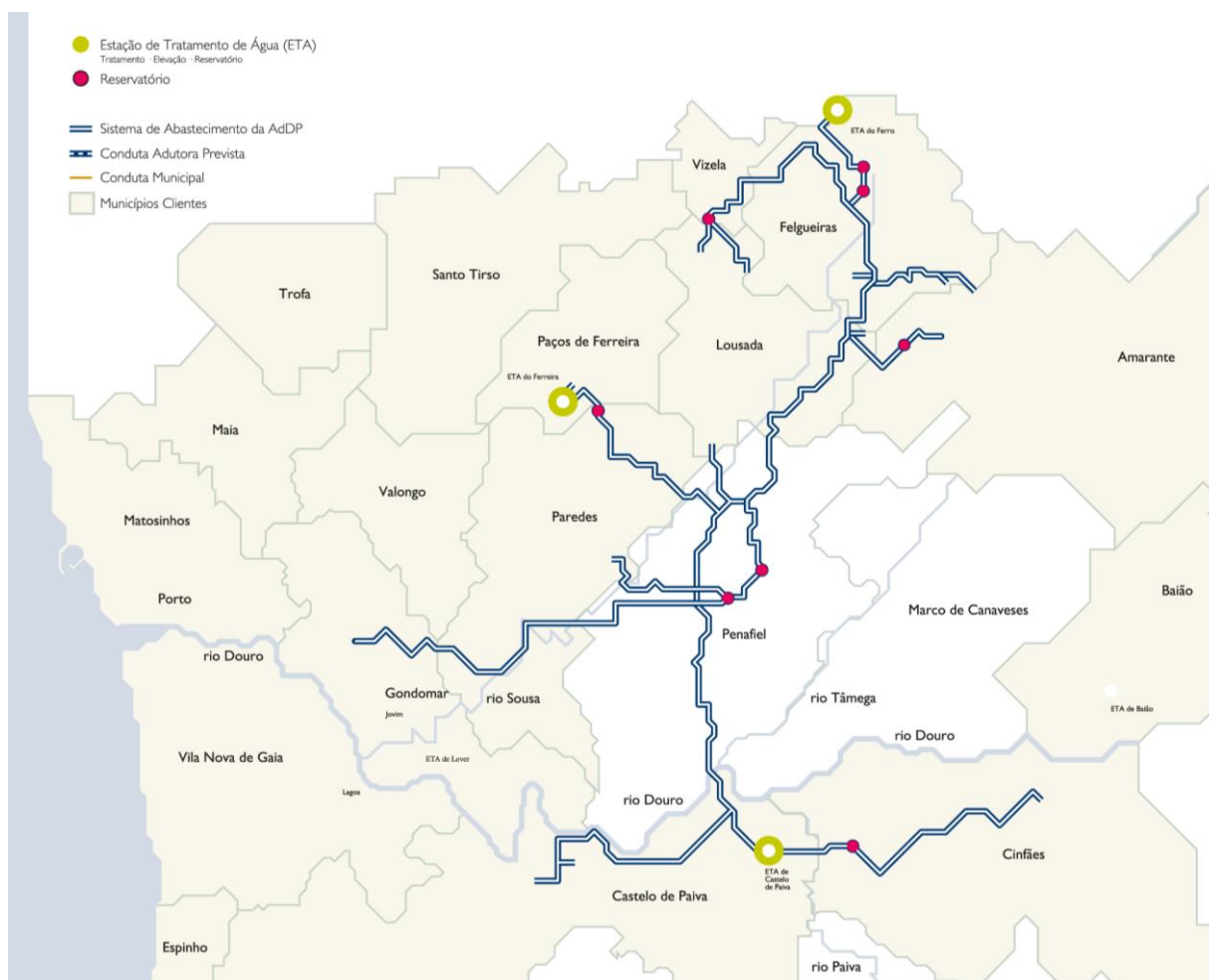


Figura 21 – Planta da rede em estudo

A distribuição de água neste subsistema é iniciada num dos seguintes quatro pontos:

- Captação de Ponte da Bateira (representada no modelo pelo código 7110) que envia a água para a estação de tratamento de Castelo de Paiva (7130), que por sua vez abastece vários municípios. O abastecimento a partir deste ponto é feito por uma conduta elevatória para os pontos do município de Cinfães e por duas condutas gravíticas para os restantes municípios (Castelo de Paiva, Lousada, Paços de Ferreira e Paredes);
- Estação de tratamento de água do Ferreira (representada no modelo pelo código 7131). Neste caso o transporte de água é feito com recurso a uma conduta pressurizada até aos pontos de entrega do município de Paços de Ferreira;
- Estação de tratamento de água do Ferro (representada no modelo pelo código 7330) faz o transporte de água até aos pontos de entrega de Felgueiras através de condutas elevatórias;
- Conduta de ligação dos subsistemas de Lever e Vale do Sousa (representada no modelo pelo código 6262). Esta conduta parte de uma estação elevatória, sendo o escoamento pressurizado, e é responsável pelo abastecimento dos pontos de entrega de Amarante, Felgueiras, Lousada e Paredes.

De forma a facilitar as localizações da rede, refira-se que a empresa dividiu-a em quatro partes diferentes cujos primeiros dois algarismos reportam aos seguintes códigos gerais:

- 71 – Paiva
- 72 – Entre-os-Rios
- 73 – Norte
- 74 – Tâmega

Existem ainda dois algarismos sucessivos, onde o primeiro indica o tipo de equipamento (pontos a seguir enumerados) e o segundo identifica o número do equipamento.

Nomeadamente, tem-se:

- 1 – Captação
- 2 – Estação Elevatória
- 3 – Estação de Tratamento de Água ou Estação de Recloração
- 4 – Adutora
- 5 – Adutora
- 6 – Adutora
- 7 – Adutora
- 8 – Reservatório e Elevatória
- 9 – Reservatório

Para além destes números, existem também duas siglas para caixas de visita (CV) e pontos de entrega (PE), seguindo-se-lhes novamente uma numeração indicativa do seu posicionamento. De seguida apresenta-se um exemplo esclarecedor da codificação utilizada.

Exemplo de identificação de um dos pontos da rede:

Ponto 7144PE630

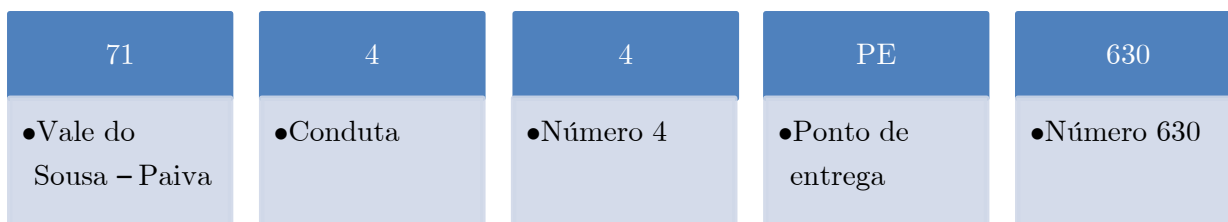


Gráfico 2 – Esquema de identificação de pontos na rede

Tal como se verifica no Gráfico 2 o ponto 7144PE630 corresponde ao ponto de entrega 630, que se situa na conduta número 4 do setor Vale do Sousa – Paiva.

Estando explicada a codificação dos elementos da rede, de seguida apresentam-se os vários elementos constituintes da rede estudada, bem como as suas quantidades.

1. Equipamentos

Tabela 2 – Número de equipamentos da rede

Tipo de equipamento	Número de equipamentos
Câmara de carga	1
Captação	3
Estação elevatória	2
Estação de tratamento de água	3
Reservatório	3
Reservatório + Estação elevatória	5

2. Conduto

Tabela 3 – Conduatas existentes na rede em estudo

Conduto	Nº. de caixas de visita	Comprimento total [m]
7140	5	5417
7141	7	2806
7142	14	5132
7143	36	14000
7144	9	7372
7145	5	2944
7146	22	6165
7147	21	7793
7148	7	3197
7149	5	1108
7150	1	1662
7151	1	1450
7152	2	550
7154	5	3962
7155	25	17415
7156	7	1149
7157	1	101
7158	16	6796
7159	1	1412
7161	24	11388
7162	3	2474
7246	12	2551
7343	34	15927
7345	15	4652
7346	29	13736
7347	19	4767
7348	27	5759
7349	11	2483
7350	6	2236
7351	2	3063
7353	3	1049
7354	9	2999
7355	14	4467
7357	2	2615
7358	8	3709
7440	7	2320
7441	9	4797
7442	3	1409
Totais:	38	182832

Através da interpretação da tabela anterior, Tabela 3, é possível verificar que este subsistema é constituído por um total de 38 condutas, com 427 caixas de visita numa extensão aproximadamente igual a 183 km.

Nestes 183 km de rede, existem condutas com materiais e diâmetros diferentes, de acordo com a distribuição apresentada no Gráfico 3 e Gráfico 4.

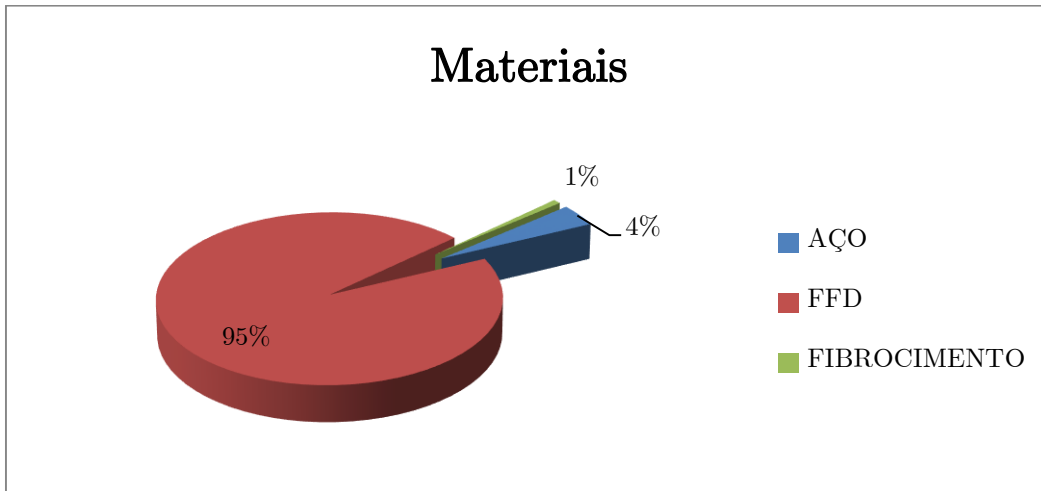


Gráfico 3 – Materiais das condutas

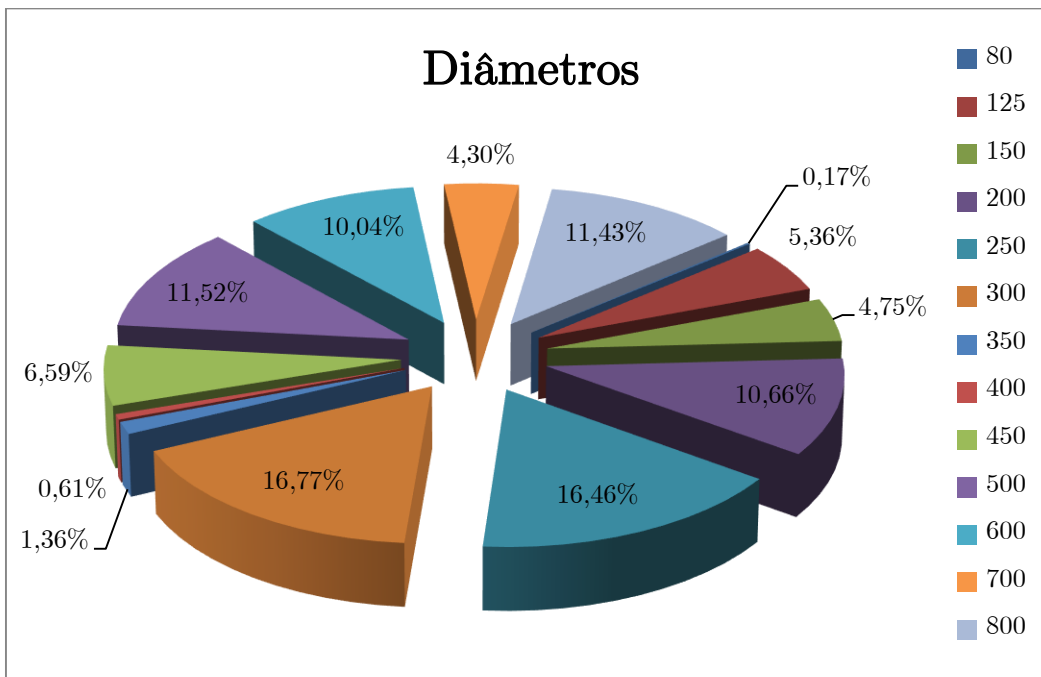


Gráfico 4 – Diâmetros das condutas

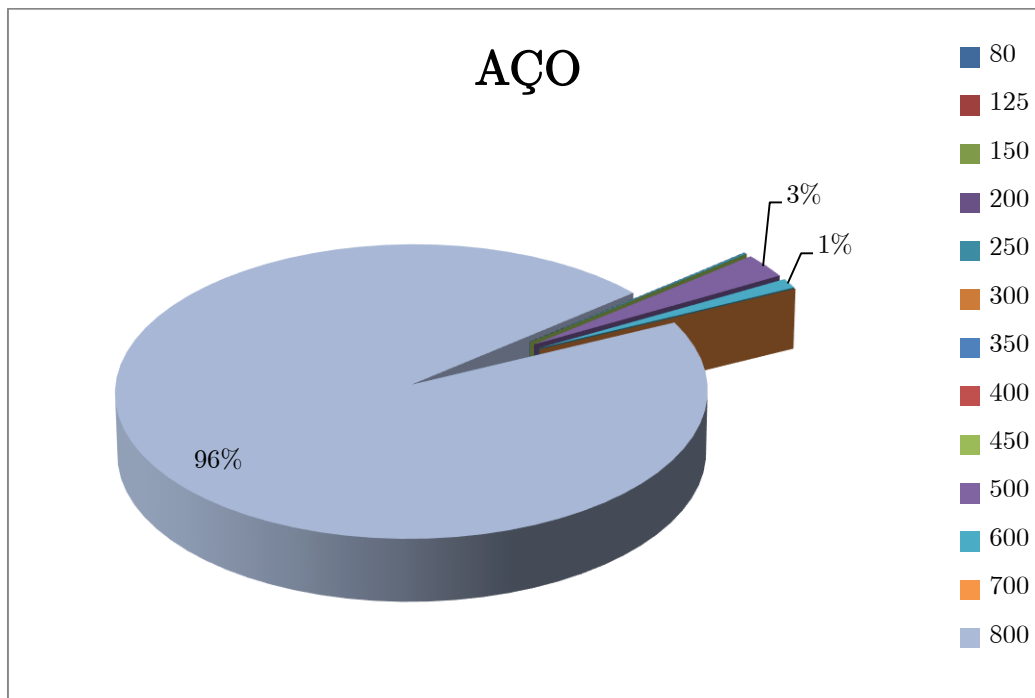


Gráfico 5 – Relação material/diâmetro – Aço

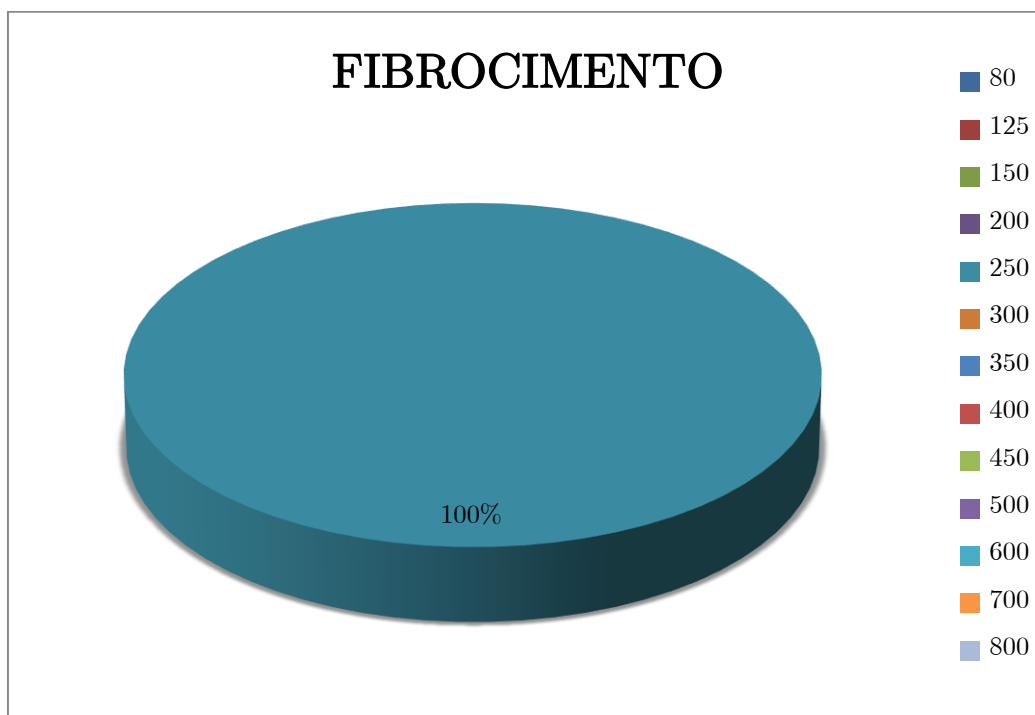


Gráfico 6 – Relação material/diâmetro – Fibrocimento

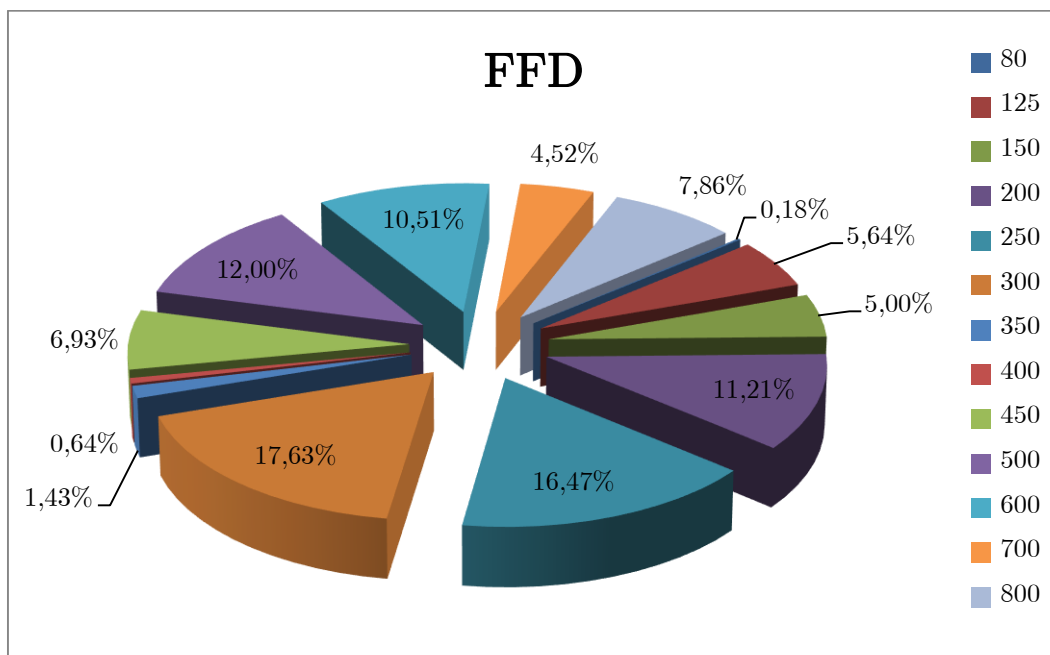


Gráfico 7 – Relação material/diâmetro – Ferro fundido dúctil (FFD)

Através da consulta dos gráficos anteriores (Gráfico 5, Gráfico 6 e Gráfico 7) é possível verificar que a rede é constituída por três materiais diferentes, sendo eles o aço, fibrocimento e o ferro fundido dúctil (FFD). Destes o FFD destaca-se na rede, pois 95% das condutas existentes foram construídas com este material. Uma análise aos três materiais da rede revela uma variedade grande de diâmetros, totalizando 13 diâmetros diferentes. Na Tabela 4, detalha-se o comprimento total de tubos para cada diâmetro e material da rede. Corroborando o Gráfico 6, observa-se que as condutas em fibrocimento são de diâmetro constante e igual a 250 mm e que a extensão dessas condutas dentro na rede corresponde a uma parcela pouco significativa ($\approx 1,5$ km).

Tabela 4 – Comprimentos [m]

DN	AÇO	FFD	FIBROCIMENTO
80	0 m	304,62 m	0 m
125	0 m	9795,91 m	0 m
150	0 m	8687,40 m	0 m
200	0 m	19487,83 m	0 m
250	13,24 m	28626,20 m	1450,00 m
300	0 m	30655,82 m	0 m
350	0 m	2483,23 m	0 m
400	0 m	1108,00 m	0 m
450	0 m	12040,27 m	0 m
500	207,02 m	20858,51 m	0 m
600	82,58 m	18278,01 m	0 m
700	0 m	7857,26 m	0 m
800	7239,79 m	13657,17 m	0 m

ii. Determinação de pontos críticos

Aquando da elaboração de um modelo hidráulico é necessário definir os pontos críticos a estudar. Para isso, no início do estágio, foram definidos como pontos críticos os pontos de entrega, pontos altos na rede (pontos com risco de ocorrência de pressões negativas), pontos baixos (pontos com possível pressão a mais num determinado troço de conduta) e outras singularidades da rede como pontos de mudança de diâmetro e pontos de mudança de material na conduta (por exemplo mudança de ferro fundido dúctil para aço).

Para além dos pontos anteriormente referidos também vão ser considerados todos os pontos correspondentes às caixas de visita, uma vez que estes vão servir como pontos de controlo para posterior calibração do modelo.

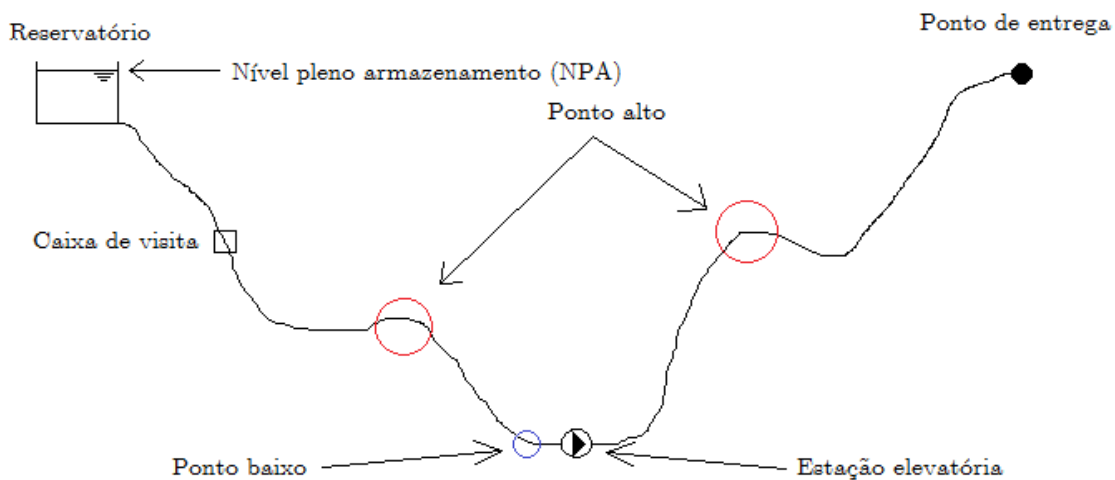


Figura 22 – Alguns pontos críticos numa conduta

Uma vez definidos os pontos a considerar, foram recolhidas informações que levaram à determinação das cotas altimétricas dos diferentes pontos, consultando as telas finais de obra existentes na base de dados da empresa. Nas telas finais foram consultados desenhos referentes a plantas de localização (Figura 23), pormenores construtivos (Figura 24) possibilitando a determinação da altura da conduta à superfície do terreno, e perfis da conduta (Figura 25) proporcionando a determinação das coordenadas dos pontos onde existe alteração das características da conduta ou a determinação da sua cota topográfica.

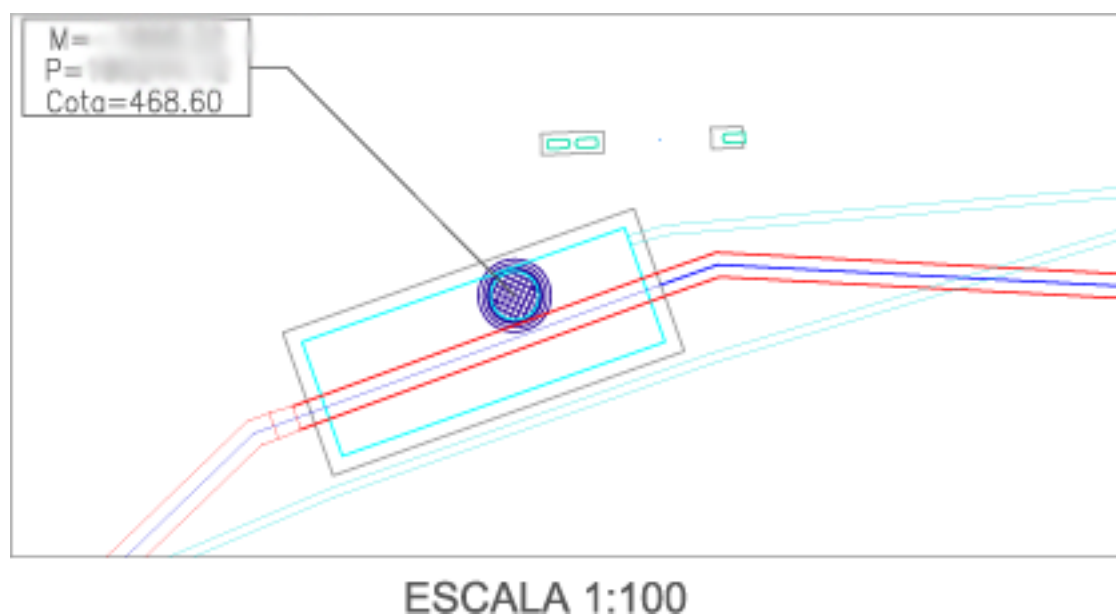


Figura 23 – Planta de localização de uma caixa de visita¹

¹ Desenho representativo, não está à escala

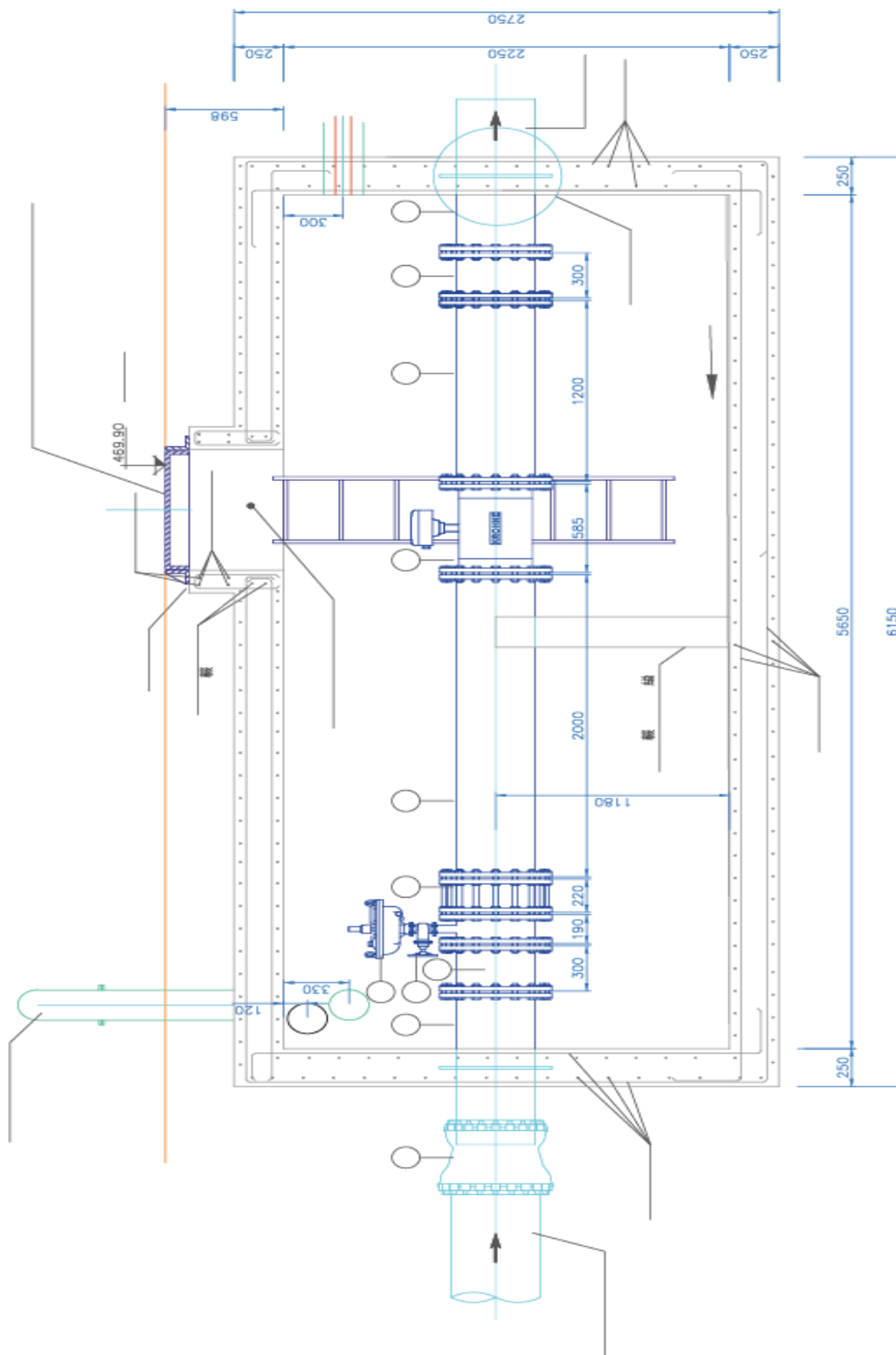


Figura 24 – Pormenor construtivo de uma caixa de visita²

² Desenho representativo, não está à escala

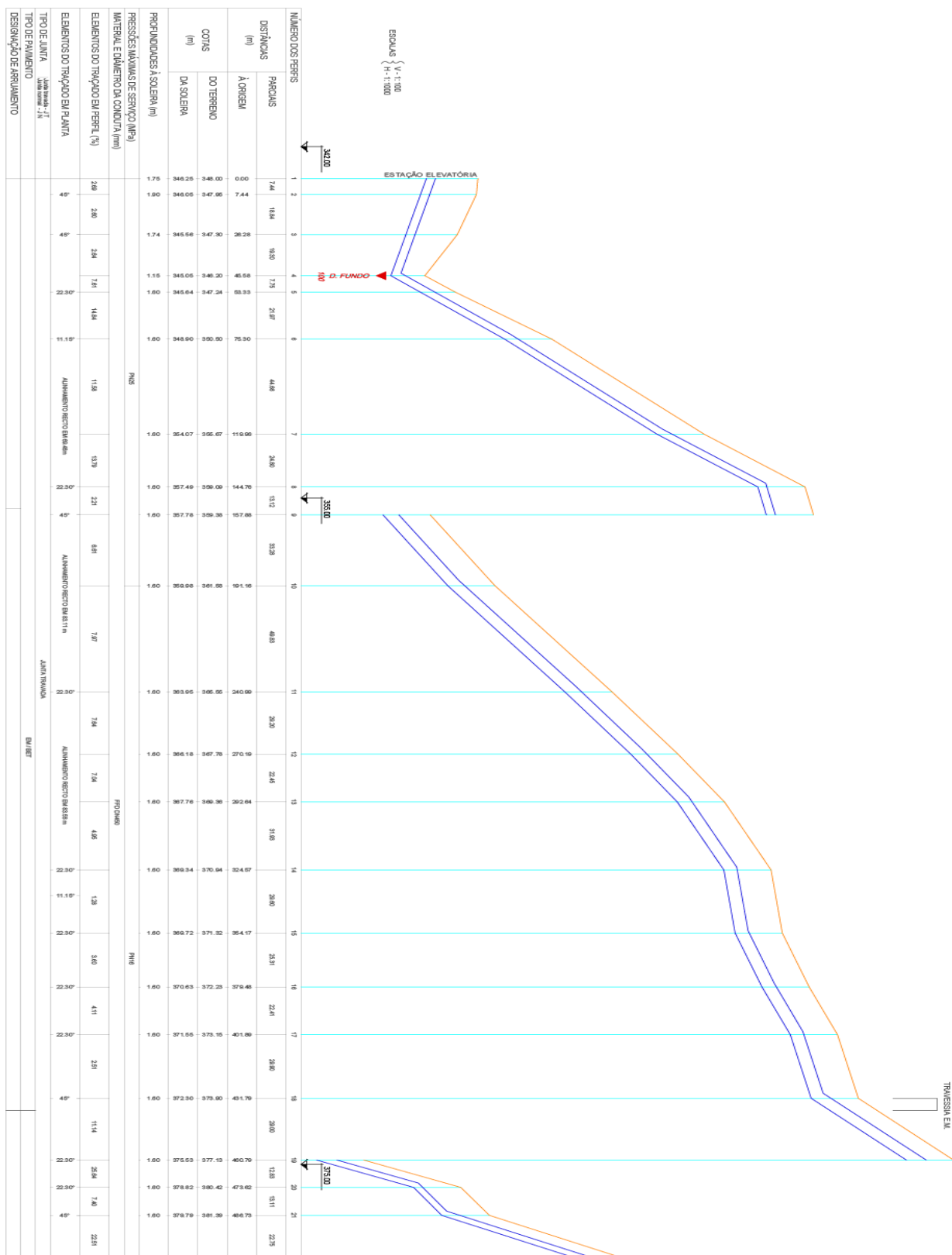


Figura 25 – Exemplo do traçado do perfil de uma conduta³

³ Desenho representativo, não está à escala

iii. Inserção de cotas topográficas para SIG

Após determinadas as cotas de todos os pontos descritos anteriormente, procedeu-se à sua inserção no programa G/InterAqua. Este processo, além de moroso, visto existir a necessidade de colocar, ponto a ponto, as suas cotas e definir se este entra ou não na modelação a efetuar, revestiu-se de alguma dificuldade, uma vez que no programa não existe a opção de “anular” (“*Undo*”), gravando automaticamente cada ação/mudança efetuada.

Nos pontos que se seguem são apresentados, resumidamente, os passos adotados:

- Em primeiro lugar, abriu-se o programa e carregou-se o ficheiro com a planta da rede (Figura 26). É de salientar que a rede já estava criada no programa G/InterAqua, necessitando apenas de se atribuírem as cotas aos pontos.

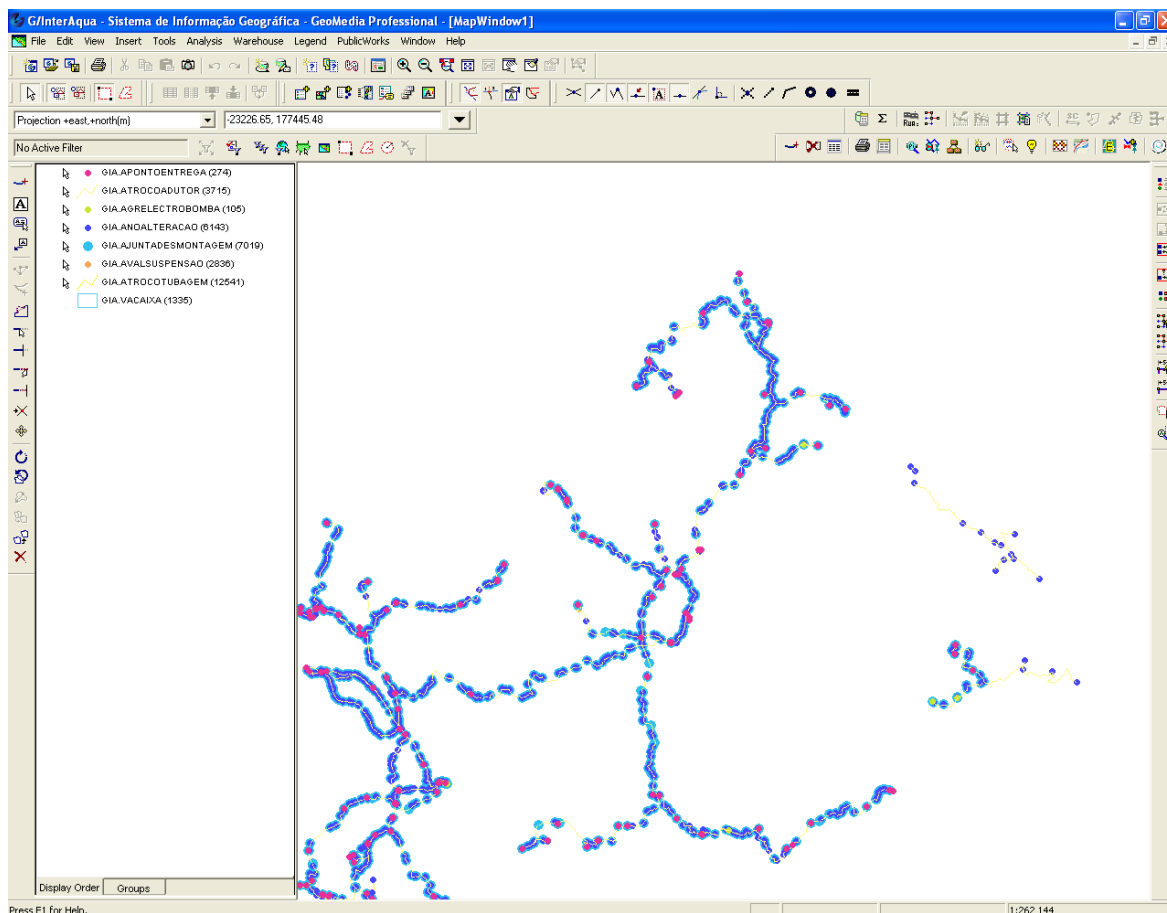


Figura 26 – Traçado da rede geral

- De seguida, selecionaram-se os pontos (Figura 27) pertencentes ao subsistema em estudo, Vale do Sousa, e através das suas janelas de propriedades e, selecionando as abas referentes à “Modelação Matemática” (Figura 28, Figura 29 e Figura 30) e “Registo” (Figura 31) foi possível encontrar os parâmetros a alterar para que os pontos ou troços entrem no cálculo.

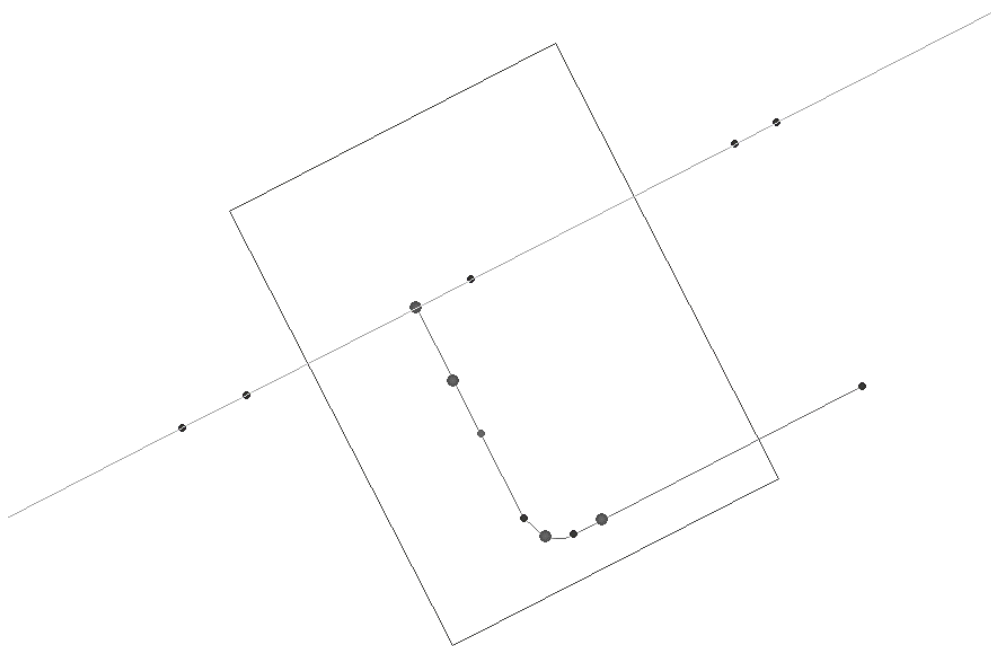


Figura 27 – Esquema de uma caixa de visita no G/InterAqua

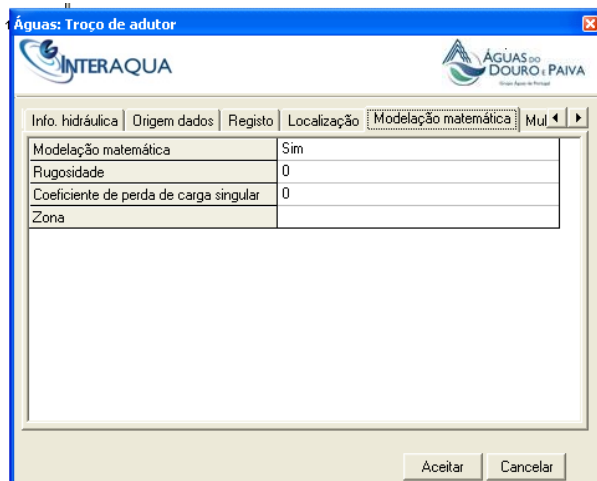


Figura 28 – Janela de propriedades (Troço de adutora)

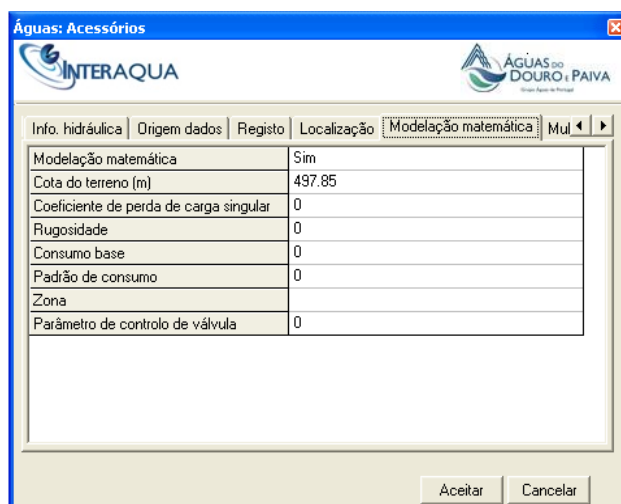


Figura 29 – Janela de propriedades (Ponto/Acessórios)

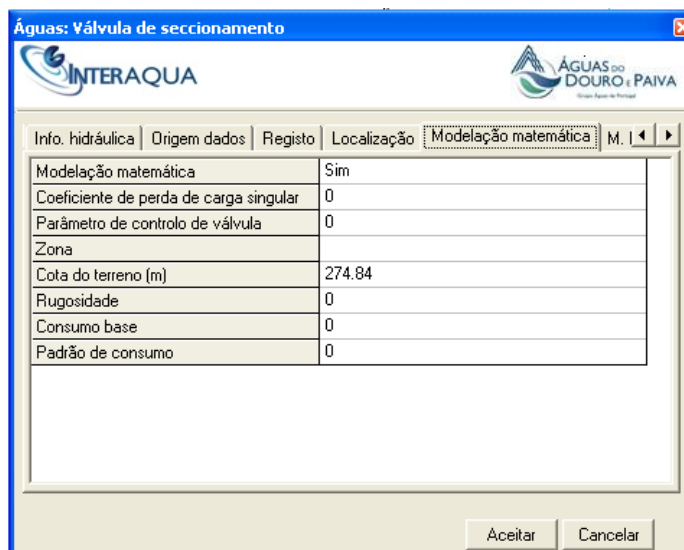


Figura 30 – Janela de propriedades (Ponto/Acessórios)

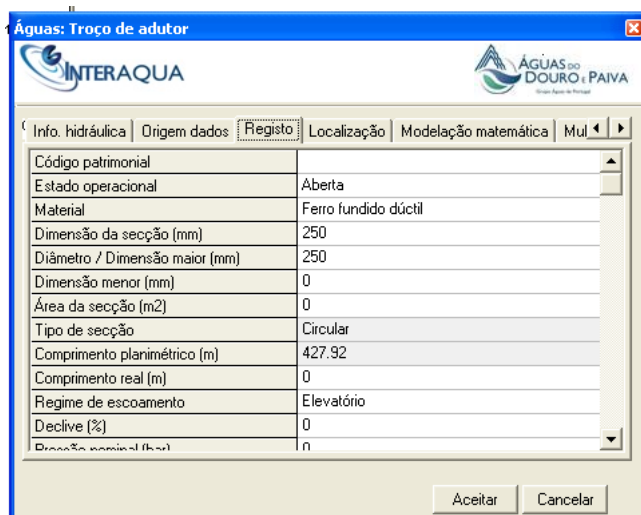


Figura 31 – Janela de propriedades (Troço de adutora)

II. Definição dos padrões de consumo de água

Aquando da elaboração de um modelo, um dos passos indispensáveis ao seu cálculo é a definição dos seus padrões de consumo associado aos diversos pontos de entrega, ou seja, por cada ponto de entrega existe um padrão associado.

Neste modelo foram considerados os seguintes padrões:

- Dia de consumo médio de cada mês para o ano de 2013;
- Dia de maior consumo de cada mês para o ano de 2013;
- Caudais instantâneos de dias aleatórios.

Os caudais obtidos nos primeiros dois pontos servirão para uma primeira calibração de caudais existentes na rede. Os caudais instantâneos servirão para calibrar o modelo quanto a valores de pressão.

Para a definição dos caudais ao longo de 2013 foram consultados os consumos presentes na base de dados da empresa. Estes registos contêm informação de períodos de 30 minutos.

Com base nesses dados, nas tabelas seguintes (Tabela 5 e Tabela 6) são apresentados os dias de maior consumo e os dias de consumo médio mensal, respetivamente. Para a análise da rede foram considerados os dias de consumo médio.

Os gráficos seguintes (Gráfico 8, Gráfico 9, Gráfico 10 e Gráfico 11) apresentam os valores médios de consumos mensais ao longo do ano de 2013 para os diferentes pontos de entrega da rede do Vale do Sousa. Pode-se observar uma flutuação dos consumos ao longo de 2013, sendo, em geral, durante os meses de Verão que os consumos tendem a aumentar.

Tabela 5 – Dia de maior consumo mensal por ponto de entrega

Ponto	Dia Maior Consumo											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
208	28	12	31	27	5	30	14	11	22	20	3	2
596	29	28	24	22	3	25	29	11	27	21	28	29
599	28	26	14	27	17	28	12	10	4	11	28	11
600	17	14	31	15	26	29	8	14	15	3	28	29
605	28	26	13	1	23	27	29	10	23	7	28	29
610	10	23	31	29	28	28	9	29	27	1	1	12
630	24	17	3	26	26	30	7	20	6	20	29	15
650	16	17	25	14	02/03	03/17	12	1	2	10	20	31
655	24	28	31	26	5	30	7	4	3	6	11	19
660	6	24	17	6	2	21	9	-	27	26	17	1
666	-	28	31	30	30/31	30	30/31	31	28/29/30	-	-	-
670	-	28	-	30	30/31	30	30/31	31	-	27	28	8
682	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
716	27	17	31	4	5	2	7	29	2	30	24	1
720	20	17	31	27	26	26	6	18	1	27	17	22
722	29	3	13	29	3	28	8	25	10	29	28	28
725	27	17	24	25	26	16	6	16	22	13	17	29
730	31	20	2	24	26	30	1	3	27	27	17	27
741	27	24	31	28	5	28	18	21	14	1	30	19
755	21	3	31	26	4	24	14	10	21	26	24	8
760	27	7	31	27	26	29	8	14/15	9	7	21	17
762	30/31	28	31	30	30/31	30	30/31	31	-	-	-	-
770	27	3	31	29	5	30	3	27	27	11	10	29
771	27	28	17	29	26	29	5	10	3	14	28	4
772	-	28	31	-	30/31	30	-	-	-	-	29/30	30/31
774	25	26	24	29	26	28	17	31	2	6	30	29
776	12/15	14	28	28	26	28	5	18	5	1	23	24
778	29	26	30	29	5	28	7	11	1	12	9	29
Moda	27	28	31	29	26	30	7	10 / 31	27	1 / 27	28	29

Tabela 6 – Dia de consumo médio mensal por ponto de entrega

Ponto	Dia Consumo Próximo Médio											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
208	26	27	24	1	3	17	31	9	9	24	12	22
596	6	26	20	3	24	29	21	29	16	16	26	14
599	7	19	23	7	12	24	3	12/13	01/02	03/31	01/02	06/31
600	12	23	24	20	11	22	5	20/26	19	23	21	12
605	13	20	20	30	12	25	10	17	10	22	16	9
610	28	13	23	14	18	14	12	6	30	18	13	10
630	18	1	15	13	29	24	20	24	27	15	17	14
650	20	13	13	21/26	21	4	29	23	9	12	28	16
655	25	11	12	18	2	4	2	22	12	30	17	30
660	30	27	13	17	19	10	3	-	-	22	9	18
666	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
670	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	26	9
682	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
716	4	9	18	26	16	14	17	23	9	7	26	12
720	13	7	09/22	30	15	15	16	21	6	7	13	6
722	6	27	17	11	18	23	29	31	3	14	8	13
725	19	21	3	14	3	24	4	30	18	17	20	23
730	19	7	11	20	28	22	8	7	18	23	15	1
741	-	-	-	-	-	-	29	29	7	-	-	21
755	6	2	7	11	10	9	4	27	4	16	6	9
760	03/14	2	12	23	17	24	26	21	29	17	12	21/24/25
762	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
770	19	8	23	6	10	17	23	4	05/17	3	05/11	2
771	13/20	19	23	14/30	18	17	01/27	23	26	29	26	22
772	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
774	6	19	04/11	16	24	22	19	23	20	21	3	18
776	19	10	13	7	3	29	27	12/13	1	06/19	01/24	22
778	20	8	14/27	22	7	15	12/24	17	08/23	18	4	8
Moda	6	19 / 27	23	14 / 30	3 / 18	24	29	23	9	16 / 17 / 18 / 21 / 22 / 23	26	22

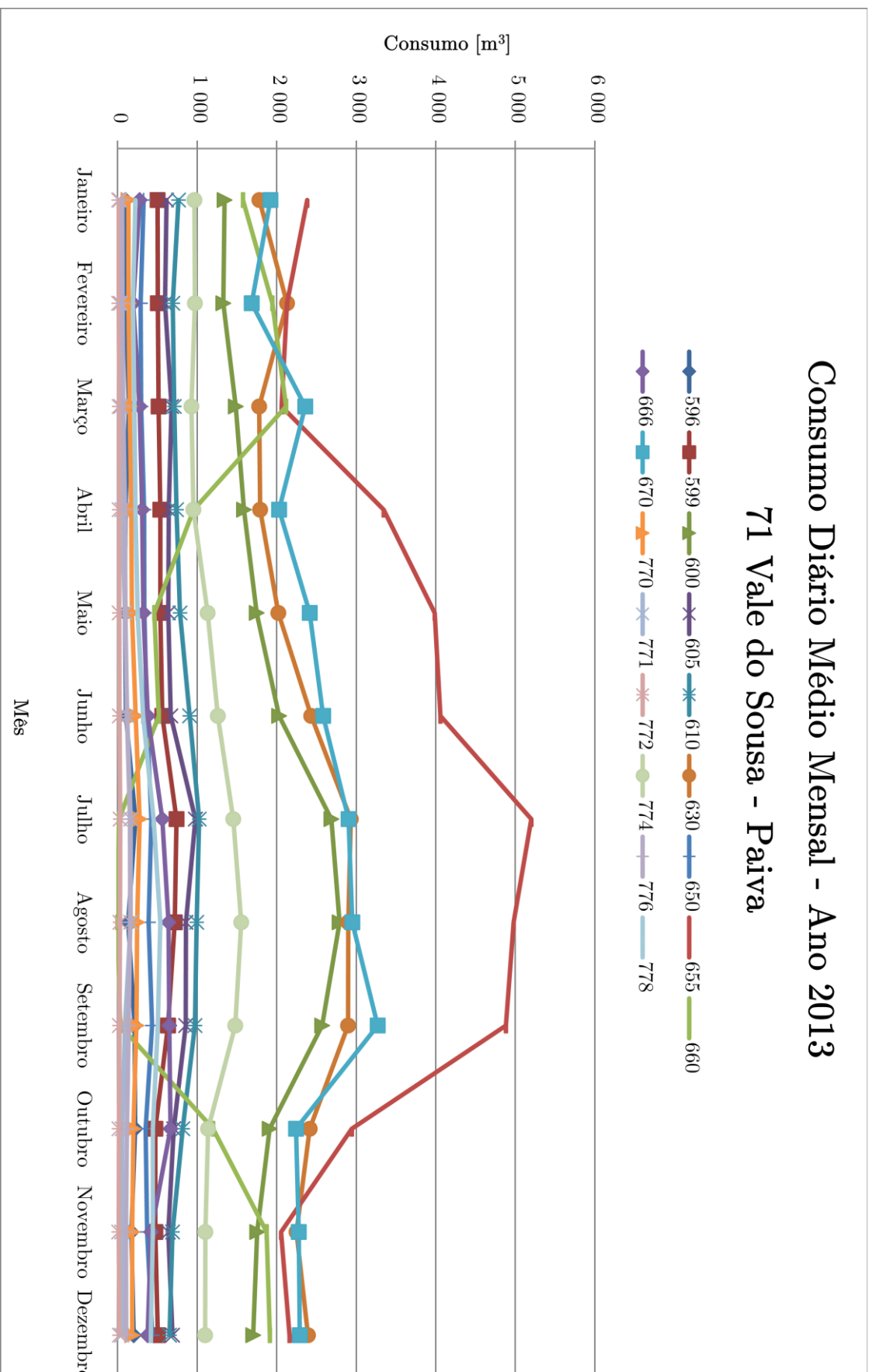


Gráfico 8 – Consumo diário médio mensal – 71 Vale do Sousa

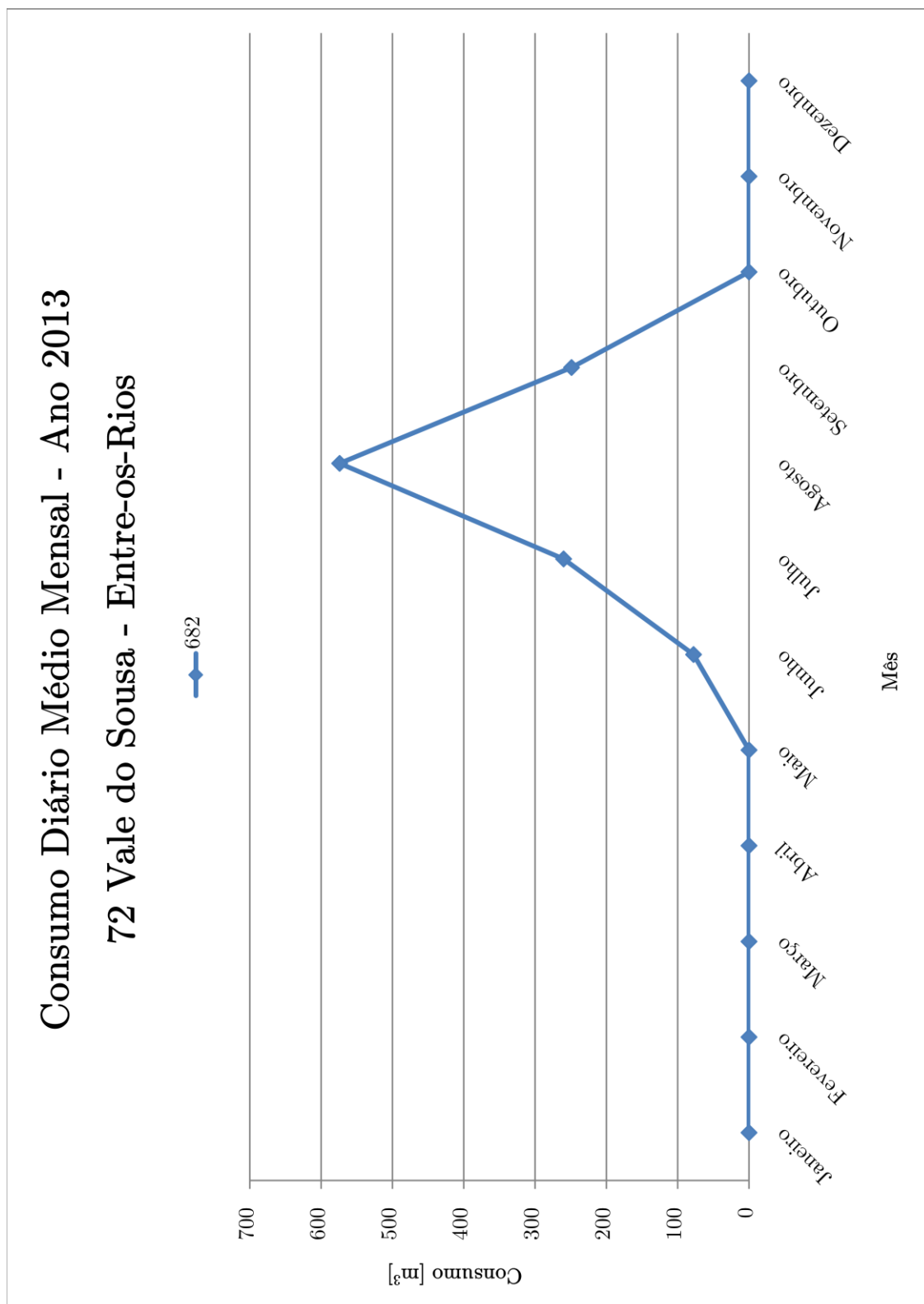


Gráfico 9 – Consumo diário médio mensal – 72 Vale do Sousa

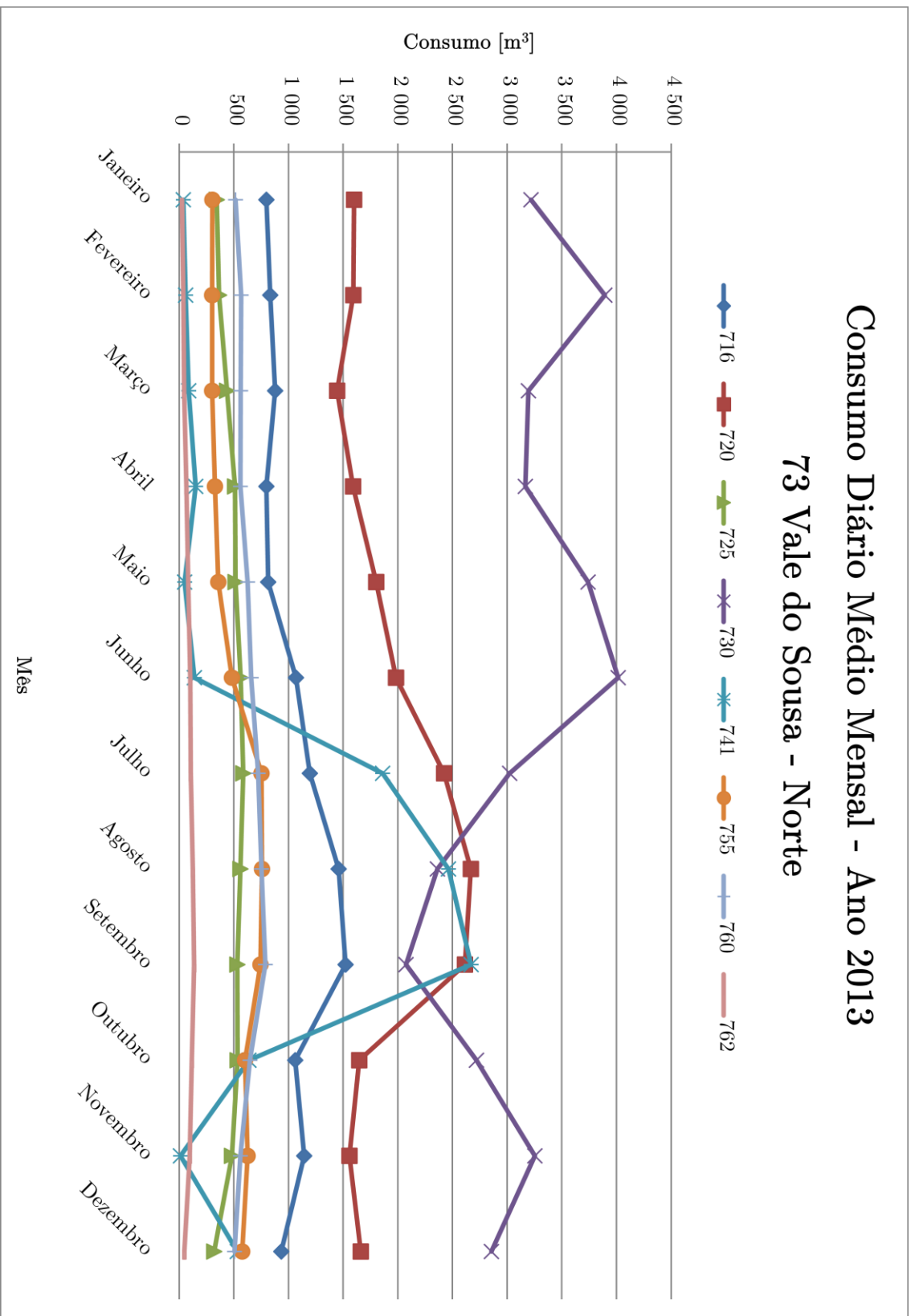


Gráfico 10 – Consumo diário médio mensal – 73 Vale do Sousa

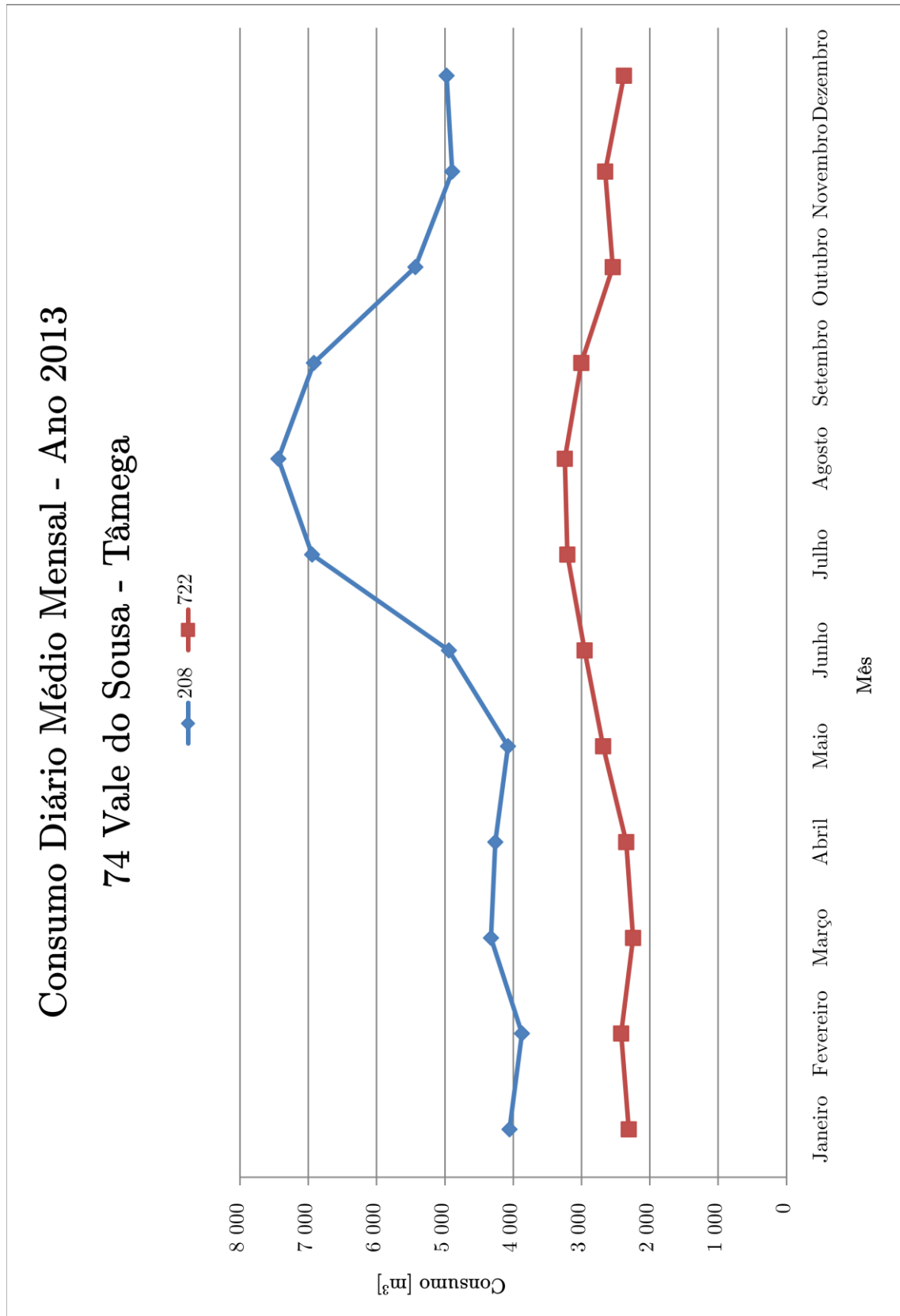


Gráfico 11 – Consumo diário médio mensal – 74 Vale do Sousa

III. Modelação hidráulica no *Software* EPANET

Como foi visto no Capítulo II, o EPANET é um programa que permite a criação de modelos hidráulicos de redes de abastecimento de água. Seguidamente será sucintamente apresentado o processo de desenho da rede a modelar, a introdução de dados nos respetivos elementos acessórios e o processo de cálculo usado pelo EPANET.

i. Desenho de uma rede em EPANET

Antes do cálculo de qualquer rede é necessário, em primeiro lugar, desenhá-la ou criá-la, para isso no EPANET existem quatro maneiras para o fazer:

1. Desenho direto no EPANET
2. Exportação de ficheiros para EPANET a partir de CAD
3. Exportação de ficheiros para EPANET a partir de SIG
4. Criação de ficheiros INP.

De seguida são detalhados os respetivos processos de criação das redes a modelar no *software*.

Desenho direto no EPANET

A primeira opção consiste, tal como o título indica, no desenho direto da rede no programa.

Para tal é necessário conhecer as opções que o programa nos apresenta:

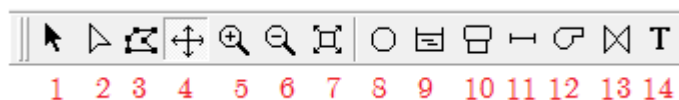


Figura 32 – Barra de ferramentas do EPANET

Na Figura 32 é apresentada a barra de ferramentas presente no EPANET, tendo cada um dos ícones numerados a seguinte função:

1. Selecionar;
2. Selecionar vértices;
3. Selecionar região;
4. Mover janela (*pan*);
5. Aproximar;
6. Afastar;
7. Ajustar janela às dimensões predefinidas;
8. Inserir ponto;
9. Inserir reservatório de nível fixo (*reservoir*);
10. Inserir reservatório de nível variável (*tank*);
11. Inserir tubo;
12. Inserir bomba;
13. Inserir válvula;
14. Inserir texto.

Para além destas opções, é possível carregar uma imagem com vista a servir de “fundo” (background) ao desenho da rede. Para tal recorre-se ao seguinte procedimento:

- O ficheiro a carregar deve estar em formato *metafile* (preferencialmente) ou *bitmap*;
- O carregamento faz-se recorrendo ao seguinte caminho:
 - *View* ➔ *Backdrop* ➔ *Load...*
- Uma vez carregado o ficheiro procede-se ao seu alinhamento:
 - *View* ➔ *Backdrop* ➔ *Align...*

Tendo o mapa de fundo preparado pode então iniciar-se o traçado da rede. Quando se usa este método é normal ativar previamente a opção de alinhamento automático, de forma a evitar mais tarde a colocação do comprimento tubo a tubo. Através da janela *Defaults*, opção *Properties* (Figura 33), também podem ser introduzidas as características das tubagens, podendo-se definir os valores padrão.

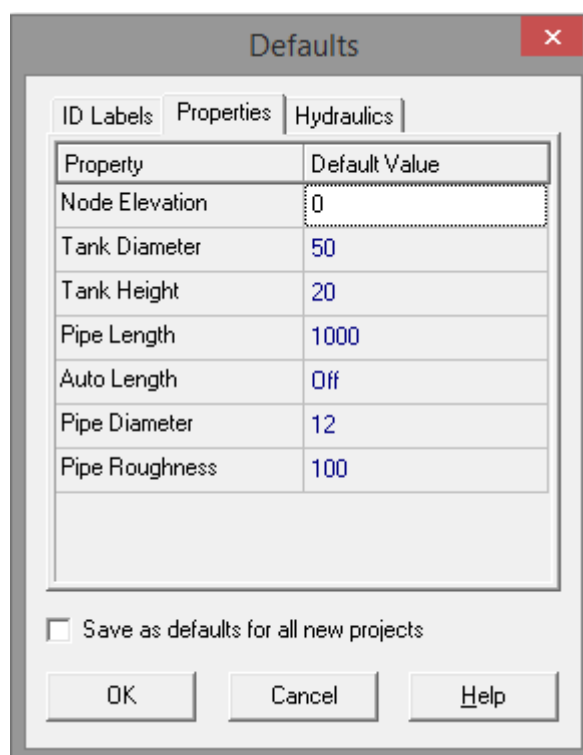


Figura 33 – Janela *Defaults*, separador *Properties* do EPANET

Antes de iniciar o traçado e recorrendo à mesma janela, mas ao separador *Hydraulics*, devem definir-se as unidades de funcionamento do modelo (Figura 34). Consoante o tipo de unidade o programa utiliza unidades métricas, apresentando, por definição, as seguintes unidades de caudal:

- CFS – pés cúbicos por segundo (*cubic feet per second*);
- GPM – galão por minuto (*gallons per minute*);
- MGD – megagalão por dia (*million gal per day*);
- IMGD – megagalão por dia, sistema imperial (*Imperial MGD*);
- AFD – acre-pé por dia (*acre-feet per day*);
- LPS – litros por segundo (*liters per second*);
- LPM – litros por minuto (*liters per minute*);
- MLD – megalitros por dia (*megaliters per day*);
- CMH – metros cúbicos por hora (*cubic meters per hour*);
- CMD – metros cúbicos por dia (*cubic meters per day*).

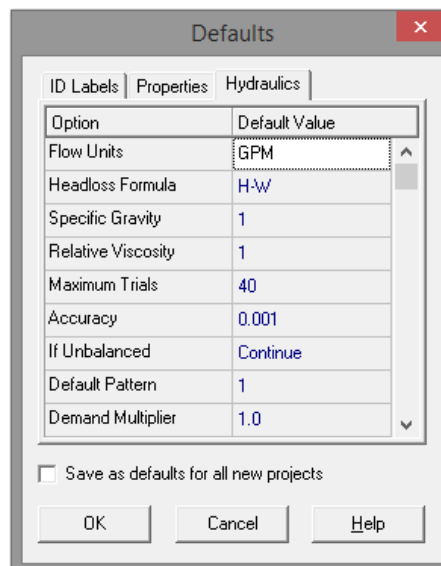


Figura 34 – Janela *Defaults*, separador *Hydraulics* do EPANET

Ainda na mesma janela é possível definir qual o processo de cálculo pelo qual o programa irá determinar as perdas de cargas ao longo da rede. O EPANET possibilita a escolha de uma das três opções:

1. H-W – Hazen-Williams;
2. D-W – Darcy-Weishbach;
3. C-M – Chézi-Manning.

Uma vez inseridos os pontos e feitas as ligações é possível definir as suas características bem como definir quais os consumos base desta através da opção editar (*Edit*) presente na janela *Browser* no lado direito do ambiente de trabalho do EPANET (Figura 35).



Figura 35 – Janela *Browser* do EPANET com a opção editar se assinalada

Ainda nesta janela é possível visualizar os vários elementos desenhados (Figura 36), através do clique na seta de procura, bem como inserir novos elementos através da opção adicionar (*add*) ou eliminar elementos existentes – opção eliminar (*delete*).



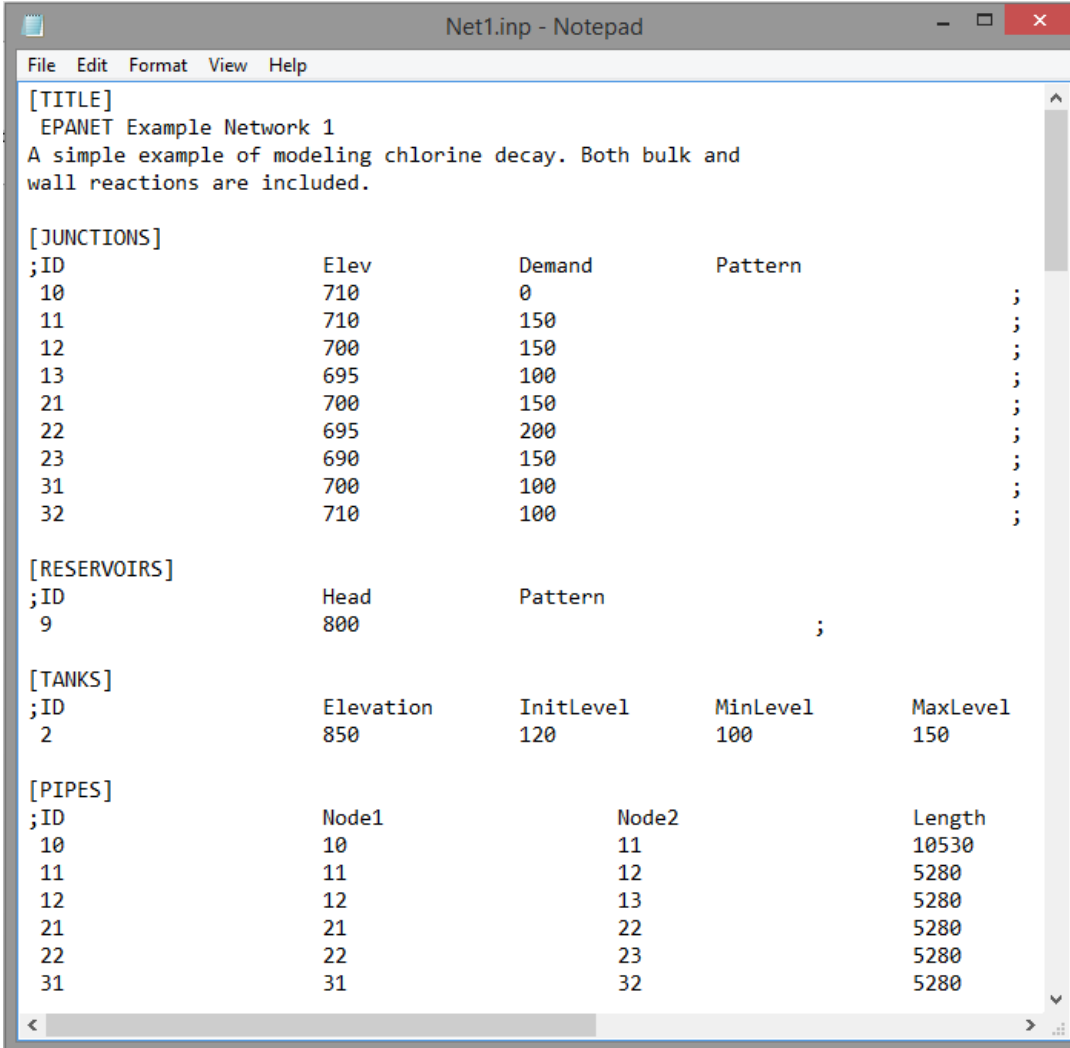
Figura 36 – Lista de elementos a consultar na janela *Browser* do EPANET

Exportação de ficheiros para EPANET a partir de CAD

Esta opção corresponde à exportação do mapa da rede a partir de um ficheiro de CAD (*Computer Aided Design*). Ao exportar o ficheiro é necessário ter em atenção qual o tipo a exportar, tendo de ser usado para exportação o tipo de ficheiro “*.dxf” (*drawing exchange format*). Após a exportação é necessário efetuar uma conversão do ficheiro para “*.inp” (este tipo de ficheiro constituiu uma base de dados com as ligações entre pontos e as suas características, coordenadas de vértices, padrões de consumo, ...). Esta conversão é feita com recurso a programas de conversão criados especialmente para o efeito, como é o caso do DXF2EPA (Lewis Rossman) ou do EpaCAD (da *Universitat Politècnica de València*). Ao utilizar algum destes programas, deve-se ter em conta os seguintes aspetos:

- Usar como separador decimal o ponto, “.”;
- Definir com exatidão zonas de cruzamentos e ligações entre condutas, a fim de evitar erros de importação.

Uma vez obtido o ficheiro “*.inp” é possível abrir a rede no EPANET. Na Figura 37 é possível visualizar o aspeto deste tipo de ficheiro quando aberto num editor de texto, neste caso, *Notepad*.



```
Net1.inp - Notepad
File Edit Format View Help
[TITLE]
EPANET Example Network 1
A simple example of modeling chlorine decay. Both bulk and
wall reactions are included.

[JUNCTIONS]
;ID          Elev          Demand          Pattern
10           710           0
11           710           150
12           700           150
13           695           100
21           700           150
22           695           200
23           690           150
31           700           100
32           710           100

[RESERVOIRS]
;ID          Head          Pattern
9           800

[TANKS]
;ID          Elevation  InitLevel  MinLevel  MaxLevel
2           850        120        100       150

[PIPES]
;ID          Node1      Node2      Length
10           10        11        10530
11           11        12        5280
12           12        13        5280
21           21        22        5280
22           22        23        5280
31           31        32        5280
```

Figura 37 – Exemplo de um ficheiro “*.inp”

Em cada ficheiro “*.inp” existe um conjunto de 27 campos que contém os seguintes valores: título (*title*), junções (*junctions*), reservatórios de nível fixo (*reservoirs*), reservatórios de nível variável (*tanks*), tubos (*pipes*), bombas (*pumps*), válvulas (*valves*), etiquetas (*tags*), consumos (*demands*), estados (*status*), padrões (*patterns*), curvas (*curves*), controlos (*controls*), regras (*rules*), energia (*energy*), emissores (*emitters*), qualidade (*quality*), fontes (*sources*), reações (*reactions*), misturas (*mixing*), durações (*times*), relatório (*report*), opções (*options*), coordenadas (*coordinates*), vértices (*vertices*), rótulos (*labels*), *backdrop*.

Não obstante da obtenção da rede desenhada no EPANET, é necessário ainda colocar os reservatórios de nível variável e reservatórios de nível fixo na rede, corrigindo também alguns problemas ou erros ao longo do traçado da rede em estudo.

Esses erros decorrem da importação de ficheiros de outros programas, consistindo na falha de ligação entre pontos (Figura 38). Outros erros existentes podem passar por valores a mais ou a menos nos pontos das bases de dados, levando ao não carregamento da rede e à duplicação ou desaparecimento de pontos.

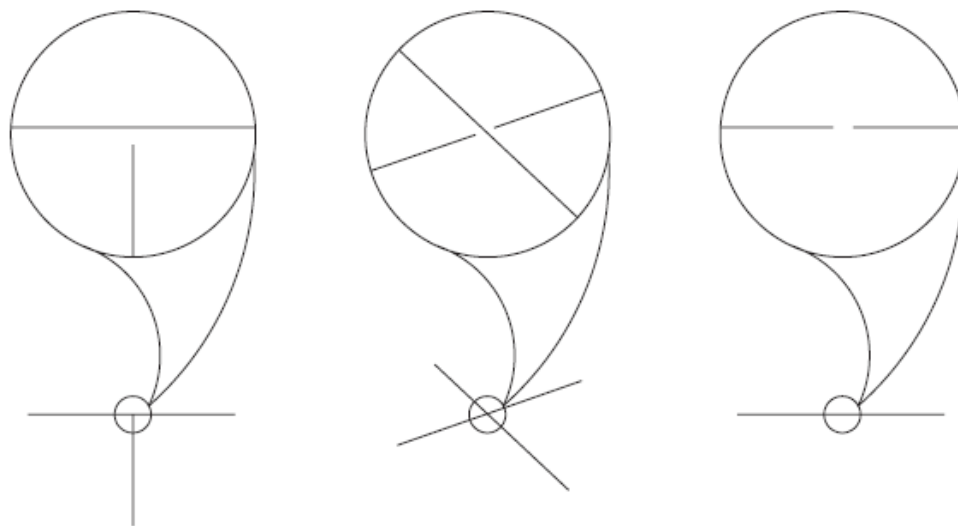


Figura 38 – Erros correntes da importação de ficheiro CAD ou SIG

Fonte: METHODS, 2003 ^[10]

Exportação de ficheiros para EPANET a partir de SIG

Relativamente à exportação dos dados a partir de um programa de SIG (sistema de informação geográfica), esta processa-se de forma quase direta uma vez que em alguns dos programas existentes estão incorporadas funções que levam à obtenção de um ficheiro “*.inp” com os dados da rede. Muitas vezes nos programas de SIG são encontradas ferramentas (*addins*) que permitem que a modelação seja feita nesse mesmo programa, como é o caso do programa G/InterAqua.

É de salientar que, tal como na exportação a partir de um programa de CAD, existem erros consequentes da operação, como os casos da Figura 38, apresentada anteriormente.

ii. Correção de modelos importados no EPANET e inserção de dados

Como pôde ser visto no ponto anterior, quando se abre um modelo em EPANET pela primeira vez, é necessário definir alguns parâmetros. Estes correspondem a unidades, fórmulas a usar, ajuste da janela à rede e definição dos tempos de cálculo. Em relação aos dois primeiros pontos, já se procedeu à explicação do seu processo no subcapítulo referente ao Desenho direto no EPANET presente na página 53 deste relatório.

No que diz respeito ao ajuste da janela ao modelo em estudo, é usado o seguinte caminho:

- *View* ➔ *Dimensions...*

Após a abertura na janela “*Map Dimensions*” (Figura 39), selecionam-se as unidades em que se vai trabalhar na janela/vista e, de seguida, carrega-se no botão “*Auto-Size*”. Por fim, clica-se no botão “*OK*”, confirmam-se as escolhas, ficando guardada a vista de trabalho mais apropriada.

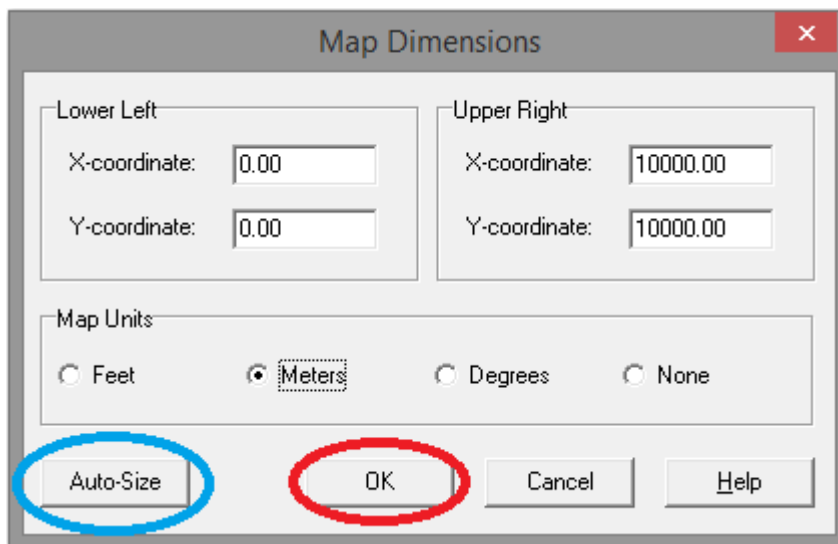


Figura 39 – Janela *Map Dimensions*

A escolha dos tempos de cálculo faz-se recorrendo à janela *Browser* e selecionando via seta de menu *dropdown/droplist* a opção *Options*, como exemplificado na Figura 40.

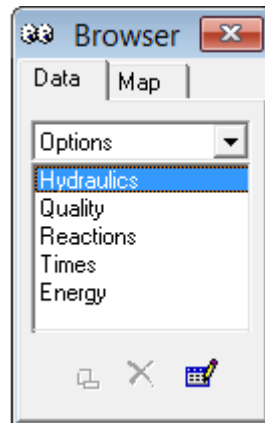
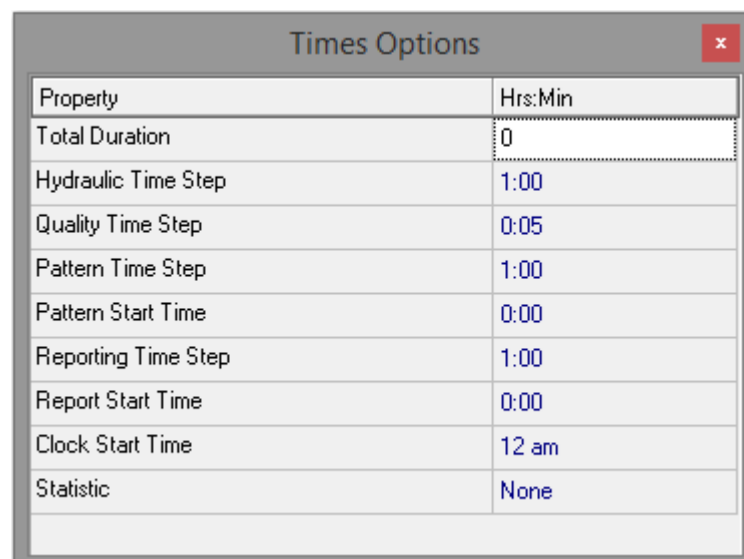


Figura 40 – Janela *Browser*, *Options*

Ao selecionar a opção “*Times*” é apresentada a janela da Figura 41, onde são definidos os intervalos de cálculo, bem como os intervalos de apresentação de resultados.

A screenshot of a dialog box titled "Times Options". It contains a table with two columns: "Property" and "Hrs:Min".

Property	Hrs:Min
Total Duration	0
Hydraulic Time Step	1:00
Quality Time Step	0:05
Pattern Time Step	1:00
Pattern Start Time	0:00
Reporting Time Step	1:00
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	12 am
Statistic	None

Figura 41 – Janela *Times Options*

A criação dos padrões de consumo para pontos de entrega é feita recorrendo, novamente à janela “*Browser*”, mas desta vez selecionando a opção “*Patterns*”. Quando se inserem os valores de padrões de consumo é necessário, em primeiro lugar, optar por um dos seguintes caminhos:

1. Inserir nos pontos de entrega um valor adimensional de consumo base e nos padrões valores com unidades;
2. Inserir nos pontos de entrega um valor com unidade de consumo base e nos padrões usar valores adimensionais.

Uma vez escolhida essa opção, procede-se à criação do padrão, sendo de referir que, quando se definem as opções temporais, existe um parâmetro referente aos padrões que define de quanto em quanto tempo serão os dados a inserir. Na Figura 42 é apresentada a janela de introdução de padrões.

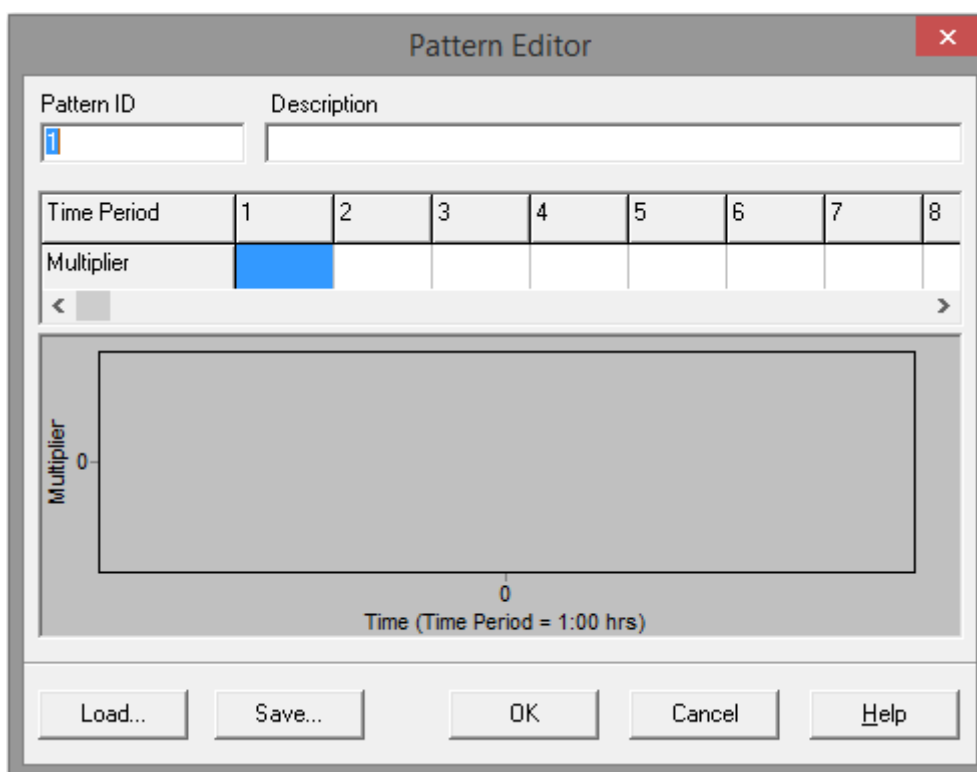


Figura 42 – Janela de edição de padrões

iii. Cálculo de redes em EPANET

O método usado pelo EPANET na resolução das equações de continuidade e equações hidráulicas da água numa rede de abastecimento corresponde à aproximação de Todini e Pilati (1987) do Método do Gradiente.

Este corresponde a um método híbrido nó-malha que entra em consideração com as equações da continuidade e da conservação da energia, e com a relação entre o caudal e a perda de carga.

iv. Cálculo de perdas de carga no EPANET

Relativamente ao cálculo de perdas de carga, para o modelo criado e de forma a ser validado com cálculos realizados em Excel, recorreu-se ao método proposto por Darcy-Weishbach. Esta metodologia tem em consideração o regime de escoamento da água (laminar, de transição ou turbulento). Seguidamente enumera-se o processo de cálculo:

1. Determinação do número de Reynolds

$$Re = \frac{U \cdot d}{\nu} \quad (1)$$

Onde:

Re – Número de Reynolds

d – Diâmetro do tubo [m]

U – Velocidade do escoamento [m/s]

ν – Coeficiente de viscosidade cinemática da água [m²/s]

2. Verificação do regime de escoamento e determinação do fator de fricção (f)

Regime laminar: $Re < 2\ 000$

Para esta situação o programa usa a fórmula de Hagen–Poiseuille para o cálculo do fator de fricção (f).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2)$$

Em que:

f – Fator de fricção

Re – Número de Reynolds

Regime turbulento: $Re > 4\ 000$

Neste caso o EPANET utiliza a aproximação de Swamee e Jain à equação de Colebrook-White, seguidamente apresentada:

$$f = \frac{0,25}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (3)$$

Onde:

f – Fator de fricção

d – Diâmetro do tubo [mm]

ε – Rugosidade do tubo [mm]

Re – Número de Reynolds

Regime de transição: $2\,000 < Re < 4\,000$

Para o regime de transição laminar/turbulento é usada uma interpolação cúbica do ábaco de Moody (Figura 43).

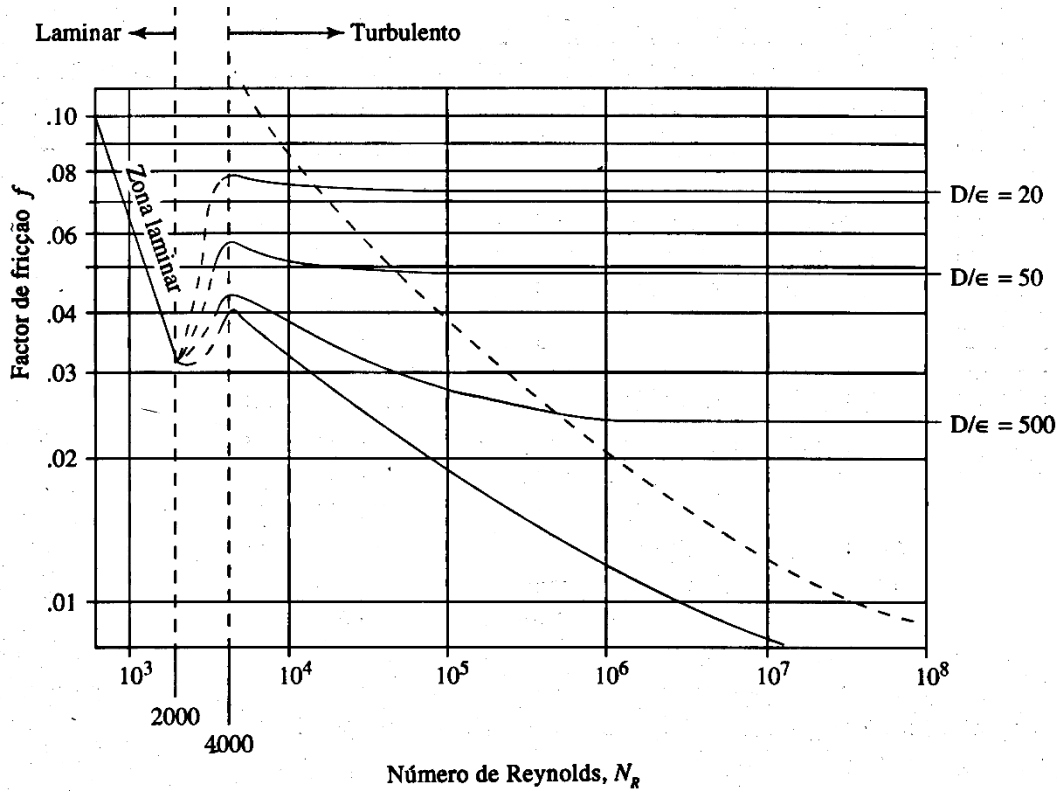


Figura 43 – Ábaco de Moody

$$f = (X1 + R(X2 + R(X3 + X4))) \quad (4)$$

$$R = \frac{Re}{2000} \quad (5)$$

$$X1 = 7FA - FB \quad (6)$$

$$X2 = 0,128 - 17FA + 2,5FB \quad (7)$$

$$X3 = -0,128 + 13FA - 2FB \quad (8)$$

$$X4 = R(0,032 - 3FA + 0,5FB) \quad (9)$$

$$FA = (Y3)^{-2} \quad (10)$$

$$FB = FA \left(2 - \frac{0,00514215}{(Y2)(Y3)} \right) \quad (11)$$

$$Y2 = \frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \quad (12)$$

$$Y3 = -0,86859 \ln\left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{4000^{0,9}}\right) \quad (13)$$

Como é possível verificar as equações (4) a (13) estão ligadas entre si, sendo que os fatores que vão entrar em conta no cálculo do fator de fricção (f) são o número de Reynolds (Re), rugosidade do tubo (ε), diâmetro do tubo (d).

3. Cálculo da perda de carga (ΔH)

Por fim o cálculo da perda de carga é dado pela expressão de Darcy-Weishbach:

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{U^2}{2g} \quad (14)$$

Onde:

ΔH – perda de carga [m]

d – diâmetro do tubo [m]

f – fator de fricção

U – Velocidade do escoamento [m/s]

L – comprimento do tubo [m]

g – Aceleração da gravidade [m/s²]

Fonte: ROSSMAN, 2000

v. Exportação dos dados carregados em SIG

Uma vez inserido o cadastro em SIG procedeu-se à sua exportação. Como referido, o programa G/InterAqua possui um módulo de exportação da rede para “*.inp”, tendo sido utilizado para desenhar a rede (Figura 44).

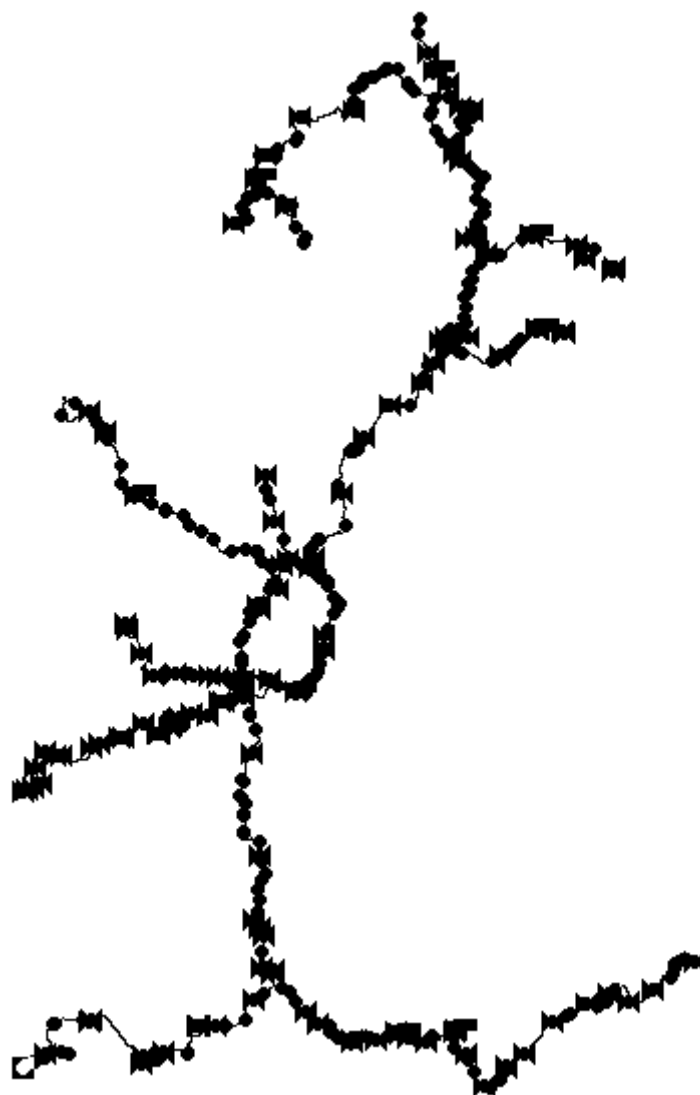


Figura 44 – Rede importada de SIG, sem correção de erros

Ao exportar os dados foram encontrados alguns erros de ligações aquando da abertura do ficheiro em EPANET. Estes passavam por pontos duplicados e falhas de ligações entre pontos, como visto na Figura 38. De forma a solucionar estes problemas e detetar a sua localização, foram corridas várias análises ao modelo até se corrigirem os erros. Este processo foi moroso, pois trata-se de uma rede com alguma dimensão, e a deteção dos erros foi possível graças ao relatório de estado que o EPANET mostra depois de efetuada cada análise.

Antes de se procederem às análises para posterior correção de erros foram primeiro inseridos reservatórios na rede, pois, caso não existissem, o programa não procedia para o cálculo. Nesta mesma fase foram ainda eliminados alguns troços da rede que não seriam para modelar.

Na Figura 45 está presente o relatório que o programa devolve após a abertura da rede exportada. Uma vez aberta a rede no programa, procede-se à validação dos dados exportados e correções de erros apresentados.

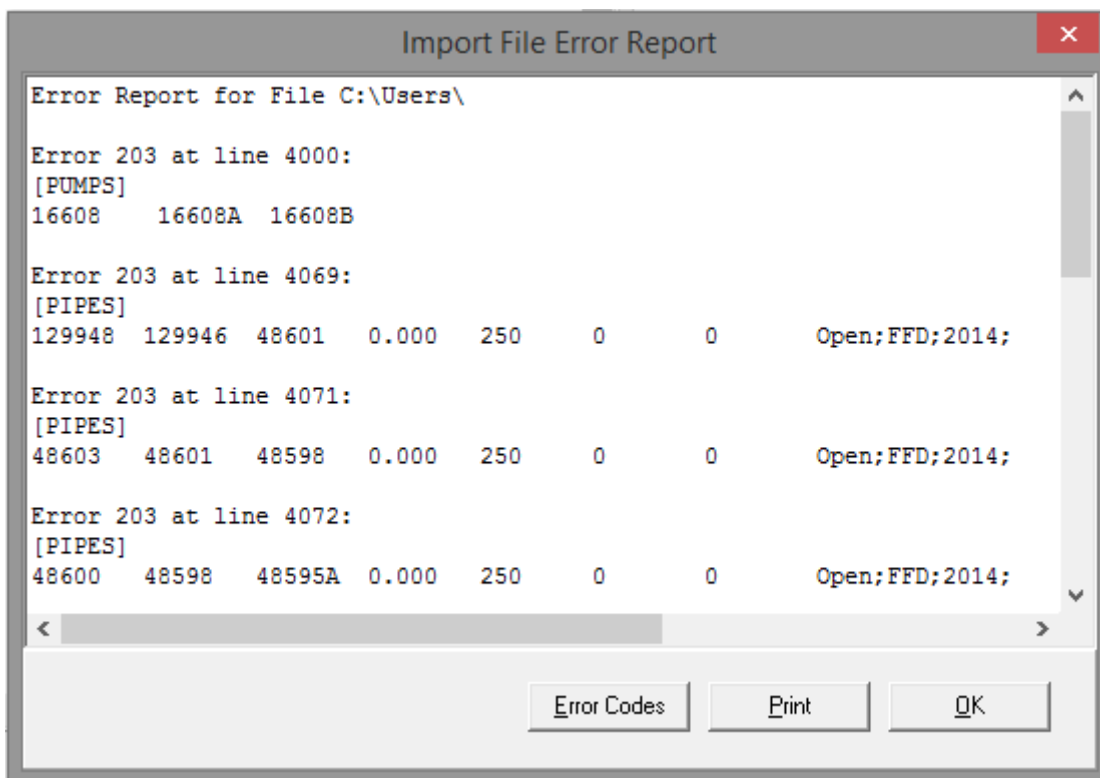


Figura 45 – Relatório de erros de importação

vi. Validação dados importados

O primeiro passo na validação dos dados importados passou pela verificação dos dados referentes aos diversos elementos da rede. Durante este processo verificou-se que, no que respeita às cotas dos pontos, todos os valores inseridos no G/InterAqua foram exportados com sucesso para o EPANET. O mesmo se passou com os comprimentos dos diferentes troços de tubagem, diâmetros, e identificação de materiais. Os erros associados à exportação, referidos no ponto anterior, estiveram apenas associados a erros de ligação e pontos duplicados.

Confirmados os valores importados, passou-se para o “arranjo” do modelo corrigindo os erros. Para isso, foram, em primeiro lugar, inseridos reservatórios de nível fixo nos diversos pontos de entrada de água na rede. Aquando da sua inserção foram definidos como nível de água o nível de pleno armazenamento de cada reservatório. Como mencionado anteriormente, foram também removidas condutas que não fazem parte do subsistema em estudo, uma vez que ao serem consideradas poderão conduzir a valores errados da modelação. Nas figuras que se seguem são apresentados os resultados dos dois processos de correção inicial de erros: corte de condutas extra (Figura 46) e inserção de reservatórios (Figura 47).

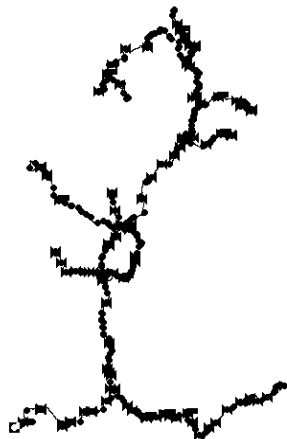


Figura 46 – Rede a modelar (fase de “limpeza”)

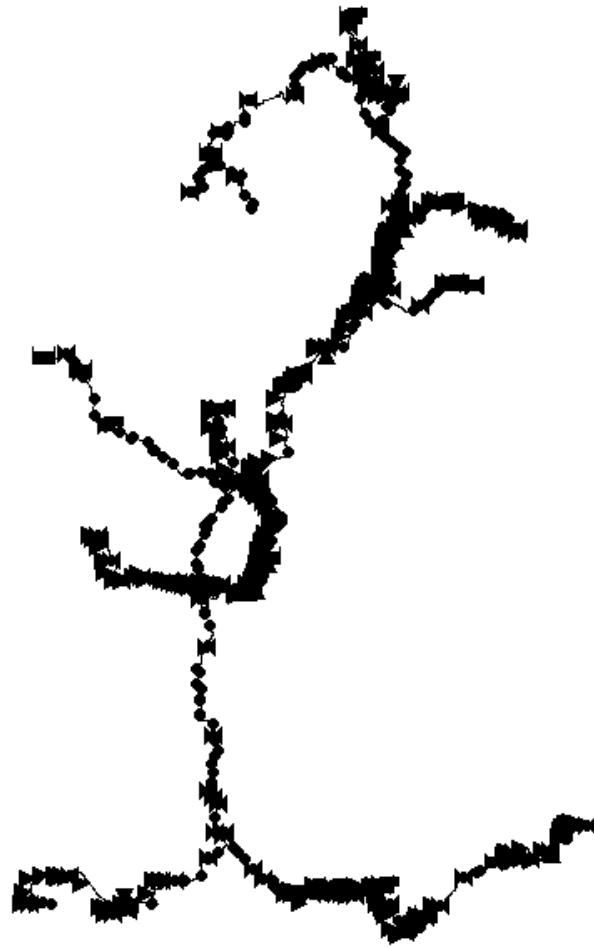


Figura 47 – Rede a modelar (inserção de reservatórios)

vii. Validação modelo criado

Uma vez corrigidos os erros, procedeu-se ao tratamento da rede fazendo uma análise com os valores obtidos através dos valores registados nos padrões de consumo em diversos pontos de entrega na rede. Esta análise serviu, primariamente, para verificar se o caudal que era produzido na rede correspondia ao real e se as pressões instaladas eram suficientes para abastecer todos os pontos da rede. Infelizmente isso não se verificou à partida. Após um processo iterativo de procura de causas que poderiam levar a essa incoerência, verificou-se que o problema residia no excesso de válvulas exportadas para o modelo. A solução passou pela sua substituição por troços lineares de tubagem. Isto foi possível uma vez que, em modelos EPANET, as válvulas de corte estão presentes em todos os tipos de ligação e quando se insere uma válvula, esta é apenas de controlo de caudal ou pressão. As válvulas em excesso, como foi possível de deduzir, correspondiam a válvulas de corte pelo que a sua existência não fazia sentido. A rede obtida destas modificações serviu para fazer uma comparação com outros dois modelos mais simplificados criados simultaneamente com esta. Tendo resolvido o problema das válvulas, faltava ainda tornar a rede o mais próximo da realidade possível, inserindo bombas e definindo as curvas características de bomba nas diferentes estações elevatórias, substituindo os reservatórios interiores da rede por reservatórios de nível variável, não esquecendo de definir as suas características e número de células.

Na Figura 48 é apresentada a janela de propriedades de um reservatório de nível variável. Os dados inseridos correspondem à cota de soleira do reservatório, altura de água no instante inicial, altura de água mínima, altura de água máxima, diâmetro e volume mínimo. Visto nem todos os reservatórios são de formato cilíndrico, foi necessário encontrar um diâmetro equivalente para alguns reservatórios.

Property	Value
*Tank ID	7190
X-Coordinate	-19877.80
Y-Coordinate	176349.17
Description	
Tag	
*Elevation	380
*Initial Level	1.27
*Minimum Level	0
*Maximum Level	3.9
*Diameter	10
Minimum Volume	0
Volume Curve	
Mixing Model	Mixed
Mixing Fraction	

Figura 48 – Janela de propriedades de reservatórios de nível variável

Desta forma, o modelo sofreu diversas alterações, até à obtenção final de um modelo pronto a ser calibrado (Figura 49).

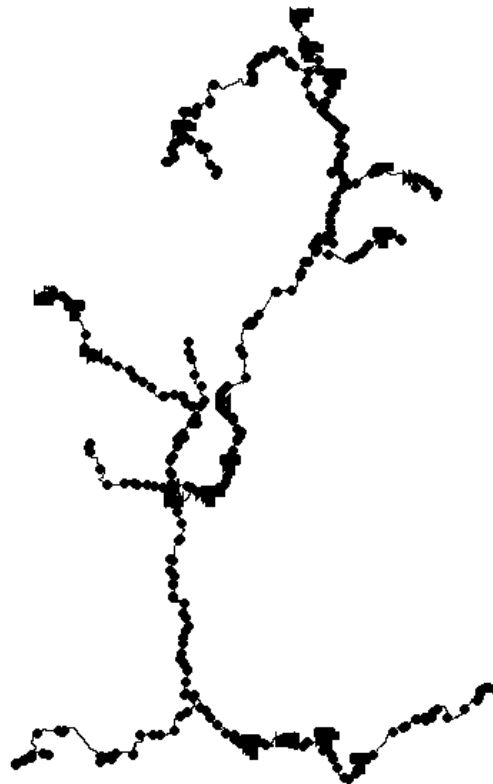


Figura 49 – Modelo final a ser calibrado

IV. Comparação entre modelos

Como referido anteriormente, para além do modelo exportado, foram criados mais dois modelos. Um deles também em EPANET, mas com um traçado mais simples, contemplando apenas os pontos críticos da rede. O outro modelo foi criado em Excel que também contempla os pontos críticos da rede. De seguida é apresentado o processo de criação de cada um deles bem como uma análise comparativa de resultados.

i. Modelo EPANET simples

Como o nome indica, este modelo é mais simples do que o descrito no ponto anterior, visto que as condutas são mais extensas, considerando-se definidas entre os pontos críticos da rede.

A sua elaboração foi feita com recurso à criação manual de um ficheiro “*.inp”. Para tal foram primeiramente recolhidas as coordenadas dos pontos críticos, bem como as suas cotas. Graças a uma tabela resumo dos materiais, diâmetros e comprimentos dos diferentes troços da conduta, disponibilizada pela empresa, foram adquiridos os restantes dados.

Uma vez inseridos todos os pontos e troços no ficheiro, procedeu-se à abertura no EPANET e posterior verificação e validação de dados, analisando-se, mais uma vez, os comprimentos da conduta, cotas dos pontos e características dos reservatórios. É de salientar que nesta fase e por forma a acelerar o processo de cálculo, utilizaram-se apenas reservatórios de nível fixo.

A Figura 50 apresenta o modelo, efetuando-se posteriormente uma análise comparativa e justificativa entre os resultados obtidos com a nova situação.

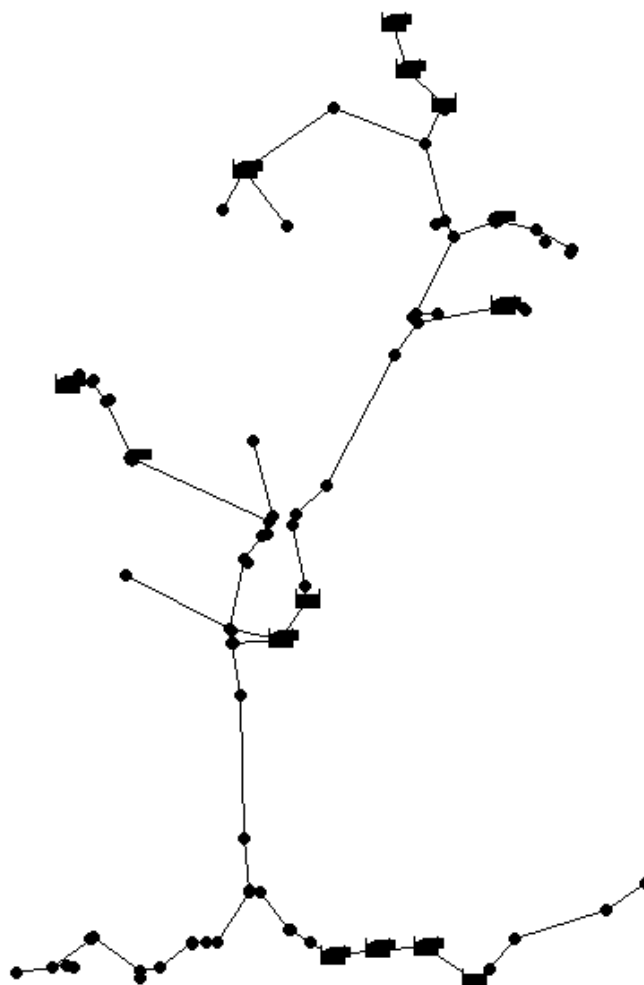


Figura 50 – Modelo EPANET simples

Este modelo não passa de uma forma mais esquematizada de abordar a rede a modelar. De acordo com diferentes autores, a esquematização de uma rede pode simplificar o processo de cálculo, tornando a obtenção de dados mais rápida. A Figura 51 faz parte do livro *ADVANCED WATER DISTRIBUTION MODELING AND MANAGEMENT*^[10] e mostra como funciona o processo de esquematização de uma rede. A esquematização da rede não passa de uma simplificação onde os pontos que não contribuem significativamente para o funcionamento da rede são suprimidos.

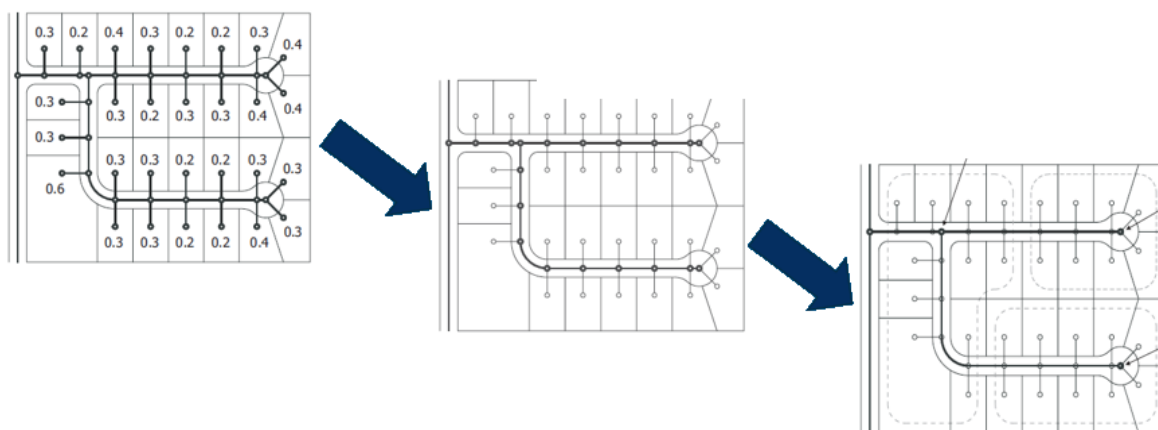


Figura 51 – Esquemática de uma rede

Fonte: METHODS, 2003 ^[10]

Após uma análise das duas redes foi possível concluir que, relativamente à análise de elevações entre os dois modelos, nos pontos críticos comuns nas duas redes os valores são iguais, diferindo apenas na quantidade de pontos do modelo exportado que apresenta mais pontos que o modelo simples.

Na Figura 52 estão presentes os gráficos de isolinhas correspondentes à elevação para as duas redes, a simplificada (gráfico à esquerda) e a exportada (gráfico à direita). Apesar de parecerem diferentes, como foi referido anteriormente, o valor dos pontos críticos é igual nos dois modelos. A diferença de gráficos reside no facto de existirem mais pontos no modelo exportado, levando a uma maior distribuição das isolinhas.

Relativamente a resultados de pressão, mais uma vez as diferenças encontradas nos dois modelos não eram significativas, não chegando a atingir 1% dos valores registados no modelo exportado. Devido a uma maior existência de pontos, as isolinhas são ligeiramente diferentes entre os dois modelos.

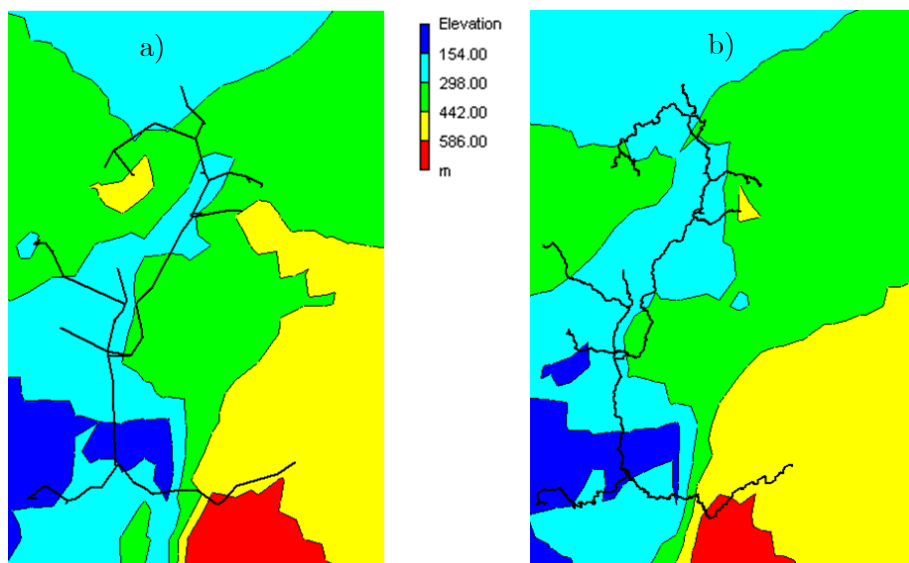


Figura 52 – Gráficos de isolinhas de elevação: a) rede simples, b) rede exportada

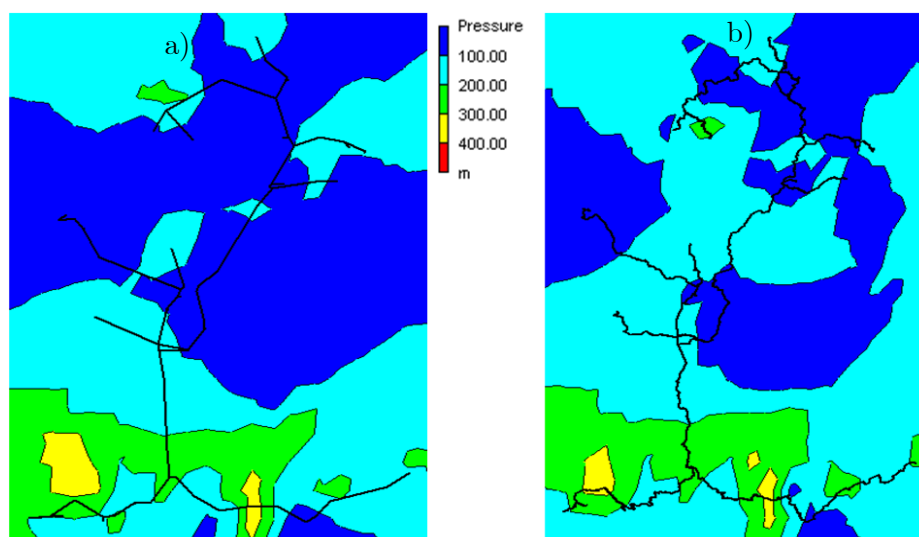


Figura 53 – Gráficos de isolinhas de pressão: a) rede simples, b) rede exportada

Os quadros seguintes (Tabela 7 e Tabela 8) apresentam os valores das diferenças entre os valores obtidos para pontos comuns às duas redes. É de referir que a única diferença registada durante a inserção de dados para a criação dos modelos tem a ver com os comprimentos da tubagem uma vez que no modelo exportado os valores dos comprimentos correspondem aos valores do traçado em planta e os valores do modelo simples correspondem aos valores registados na base de dados fornecida. Assinala-se que a diferença entre estes

valores é praticamente insignificante, sendo inferior a 0,01% do comprimento total do modelo exportado.

Tabela 7 – Diferença de resultados entre os dois modelos na conduta 7143

Conduta 7143			
Δ Caudal		Δ Velocidade [m/s]	Δ Perda de carga unitária [m/km]
[m ³ /h]	[%]		
-26,71	1,58%	0,01	-0,03
-28	1,63%	0,02	-0,02
-29,05	1,66%	0,02	-0,03
-29,37	1,67%	0,02	-0,03
-29,01	1,66%	0,01	-0,03
-28,15	1,63%	0,02	-0,03
-26,28	1,56%	0,01	-0,03
-27,76	1,62%	0,01	-0,03
-28,59	1,65%	0,01	-0,02
-28,23	1,64%	0,02	-0,03
-26,67	1,58%	0,02	-0,02
-26,21	1,56%	0,01	-0,02
-25,74	1,54%	0,02	-0,02
-28,62	1,65%	0,01	-0,03
-29,04	1,66%	0,02	-0,03
-28,78	1,66%	0,02	-0,03
-26,77	1,58%	0,01	-0,03
-27,02	1,59%	0,01	-0,02
-27,95	1,63%	0,01	-0,03
-26,93	1,59%	0,01	-0,02
-26,65	1,58%	0,02	-0,02
-27,21	1,60%	0,02	-0,03
-28,74	1,65%	0,02	-0,03
-28,67	1,65%	0,02	-0,03
-26,69	1,58%	0,01	-0,03

Tabela 8 – Diferença de resultados entre os dois modelos na conduta 7343

Conduta 7343			
Δ Caudal		Δ Velocidade	Δ Perda de carga unitária [m/km]
[m³/h]	[%]		
-0,8	-0,36%	0,01	-0,04
-0,84	-0,37%	0,01	-0,04
-0,86	-0,38%	0,01	-0,04
-0,87	-0,39%	0,01	-0,04
-0,88	-0,39%	0,01	-0,05
-0,87	-0,39%	0,01	-0,05
-0,99	-0,44%	0	-0,05
-0,99	-0,44%	0	-0,05
-1,19	-0,53%	0,01	-0,06
-1,07	-0,48%	0,01	-0,05
-0,84	-0,37%	0,01	-0,04
-0,83	-0,37%	0,01	-0,04
-0,96	-0,43%	0	-0,04
-1,06	-0,47%	0,01	-0,05
-1,06	-0,47%	0,01	-0,05
-1	-0,45%	0	-0,05
-1,05	-0,47%	0,01	-0,05
-1,06	-0,47%	0,01	-0,05
-0,84	-0,37%	0,01	-0,04
-0,83	-0,37%	0,01	-0,04
-1,05	-0,47%	0,01	-0,05
-1,06	-0,47%	0,01	-0,05
-1,06	-0,47%	0,01	-0,05
-0,88	-0,39%	0,01	-0,04
-0,8	-0,36%	0,01	-0,04

ii. Modelo Excel

Na Figura 54 apresentam-se os resultados obtidos no modelo Excel. Como espectável, o modelo Excel apresenta os resultados numéricos para um determinado instante. Este modelo serviu essencialmente para comparar resultados entre o EPANET e o cálculo manual aprendido em ambiente académico.

Pt. Montante	Troço		Pt. Jusante	Características			Cota (m)		Caudal (m ³ /h)			Perda de Carga ΔH (m)
	Conduto			L (m)	D (mm)	Material	Montante	Jusante	Montante	Jusante	v (m ² /s)	
7110	-	7140	-	7130	2729.82	500 Ffd	20.00	366.85	904.25	904.25	1.15E-06	7.68
7130	-	7140	-	7141	2687.18	200 Ffd	366.85	33.76	120.00	120.00	1.15E-06	16.12
7141	-	7141	-	7180	2806.00	200 Ffd	33.76	469.25	120.00	120.00	1.15E-06	16.84
7180	-	7142	-	7142CV010	1.00	200 Ffd	469.25	458.96	120.00	120.00	1.15E-06	0.01
7142CV010	-	7142	-	7142CV140	5132.00	200 Ffd	458.96	720.50	120.00	120.00	1.15E-06	30.79
7142CV010	-	7142	-	PE(7142CV010)	1.00	200 Ffd	458.96	458.96	0.00	0.00	1.15E-06	0.00
7142CV140	-	7142	-	PE(7142CV140)	1.00	200 Ffd	720.50	720.50	69.00	69.00	1.15E-06	0.00
7142CV140	-	7142	-	7191	1.00	200 Ffd	720.50	727.00	51.00	51.00	1.15E-06	0.00
7191	-	7161	-	7161CV010	1006.90	150 Ffd	727.00	649.64	51.00	51.00	1.15E-06	5.06
7161CV010	-	7161	-	PE(7161CV010)	1.00	150 Ffd	649.64	649.64	25.00	25.00	1.15E-06	0.00
7161CV010	-	7161	-	7161CV020	1816.40	150 Ffd	649.64	469.19	26.00	26.00	1.15E-06	2.59
7161CV020	-	7161	-	PE(7161CV020)	1.00	150 Ffd	469.19	469.19	0.00	0.00	1.15E-06	0.00
7161CV020	-	7161	-	7161CV150	5863.83	150 Ffd	469.19	595.10	26.00	26.00	1.15E-06	8.38
7161CV150	-	7161	-	PE(7161CV150)	1.00	150 Ffd	595.10	595.10	0.00	0.00	1.15E-06	0.00
7161CV150	-	7161	-	PE(7161CV240)	2700.87	125 Ffd	595.10	494.32	26.00	26.00	1.15E-06	9.53
7130	-	7157	-	PE(7157CV010)	100.96	800 Ffd	366.85	360.79	28.00	28.00	1.15E-06	0.00
7130	-	7158	-	7158CV010	11.50	800 Ffd	366.85	362.36	756.25	756.25	1.15E-06	0.00
7158CV010	-	7158	-	PE(7158CV010)	1.00	800 Ffd	362.36	362.36	0.00	0.00	1.15E-06	0.00
7158CV010	-	7158	-	7158CV060	1968.92	800 Ffd	362.36	204.67	756.25	756.25	1.15E-06	0.38
7158CV060	-	7158	-	7158CV095	1389.30	800 Aço	204.67	250.63	756.25	756.25	1.15E-06	0.25
7158CV095	-	7158	-	PE(7158CV095)	1.00	800 Aço	250.63	250.63	23.25	23.25	1.15E-06	0.00
7158CV095	-	7158	-	7158CV140	2748.80	800 Aço	250.63	112.03	733.00	733.00	1.15E-06	0.46
7158CV140	-	7158	-	PE(7158CV140)	1.00	800 Aço	112.03	112.03	0.00	0.00	1.15E-06	0.00
7158CV140	-	7158	-	7158CV150	677.48	800 Aço	112.03	83.67	733.00	733.00	1.15E-06	0.11
7158CV150	-	7155	-	7155CV010	63.20	250 Ffd	83.67	88.25	119.00	119.00	1.15E-06	0.12
7155CV010	-	7155	-	PE(7155CV010)	1.00	250 Ffd	88.25	88.25	0.00	0.00	1.15E-06	0.00
7155CV010	-	7155	-	7155CV080	4043.50	250 Ffd	88.25	209.39	119.00	119.00	1.15E-06	7.80
7155CV080	-	7155	-	7155CV100	500.00	250 Ffd	209.39	220.52	119.00	119.00	1.15E-06	0.97
7155CV100	-	7155	-	PE(7155CV100)	1.00	250 Ffd	220.52	220.52	4.00	4.00	1.15E-06	0.00
7155CV100	-	7155	-	7155CV110/120	872.40	250 Ffd	220.52	201.65	115.00	115.00	1.15E-06	1.58
7155CV110/120	-	7155	-	PE(7155CV110/120)	1.00	250 Ffd	201.65	201.65	4.00	4.00	1.15E-06	0.00
7155CV110/120	-	7155	-	7155CV140/150	3230.00	250 Ffd	201.65	133.34	111.00	111.00	1.15E-06	5.47
7155CV140/150	-	7155	-	PE(7155CV140/150)	1.00	250 Ffd	133.34	133.34	0.00	0.00	1.15E-06	0.00
7155CV140/150	-	7155	-	7155CV180	1856.80	250 Ffd	133.34	129.48	111.00	111.00	1.15E-06	3.14
7155CV180	-	7155	-	PE(7155CV180)	775.20	250 Ffd	129.48	207.33	100.00	100.00	1.15E-06	1.08
7155CV180	-	7155	-	7155CV200	2758.20	200 Ffd	129.48	21.54	11.00	11.00	1.15E-06	0.20
7155CV200	-	7155	-	7155CV210	112.00	150 Ffd	21.54	21.95	11.00	11.00	1.15E-06	0.03

Figura 54 – Modelo Excel

As células assinaladas correspondem aos pontos de entrega, sendo inseridos na coluna do caudal os valores de consumo a considerar.

Após a análise de resultados verificou-se que estes eram semelhantes, decidindo-se que o modelo em Excel serviria para confirmar alguns valores sempre que ocorressem erros de computação no EPANET.

V. Calibração do modelo

A calibração do modelo completo efetuou-se em duas fases diferentes. A primeira corresponde à calibração dos caudais que circulam na rede. Uma vez que existem vários tanques interiores e não se encontraram registos dos níveis dos reservatórios de nível variável ao longo dos dias onde foram feitas as análises, é necessário verificar se a água que por eles passa corresponde à realidade. Um dos problemas no EPANET corresponde também a erros associados aos limites dos reservatórios, pois, ao serem inseridos vários reservatórios, aparecem problemas em que a água que chega ao reservatório não só faz com que ele não saia com o mesmo valor, mas também possibilita o enchimento do reservatório para níveis acima da sua capacidade. A segunda fase prende-se com a calibração das pressões na rede. Esta calibração servirá para ajustar as rugosidades nas diferentes condutas e verificar se existem erros no modelo. Após várias análises verificou-se que os valores de rugosidades usados em meio académico, para os diferentes materiais, eram os que permitiam obter valores de pressão mais próximos dos reais.

i. Ensaios no terreno

Relativamente a ensaios no terreno, a Águas do Douro e Paiva, S.A. dispõe de leitores de pressão e de caudal ligados em vários pontos da rede. Estes medidores estão ligados à rede da empresa, registando os seus valores numa base de dados. Com o acesso a essa base de dados foi possível retirar valores de controlo de forma a calibrar o modelo.

Os dados relativos a caudais e pressões foram obtidas na sala de controlo da ETA de Lever, correspondendo a valores instantâneos, observados nos registos diários da base de dados da empresa, possibilitando assim a análise horária.

ii. Correção do modelo hidráulico

A correção do modelo hidráulico iniciou-se com a calibração de caudais na rede. Um dos principais problemas que foi detetado aquando das primeiras simulações foi o facto de, quando a água chegava a um reservatório intermédio, este facilitar a entrada da água mesmo ultrapassando o seu limite disponível. A solução encontrada para impedir esta situação passou por três etapas:

- Inserção de válvulas controladoras de caudal à saída de cada reservatório;
- Estabelecimento de controlos para o funcionamento de algumas bombas;
- Extensão do período de análise para 72 horas.

As duas primeiras etapas relacionam-se diretamente com o controle dos caudais do sistema.

Com o aumento da análise para 72 horas puderam ser retiradas as seguintes conclusões:

- Os valores de pressão nas primeiras 24 horas não são completamente fiáveis uma vez que a simulação ainda não reproduziu convenientemente o funcionamento do reservatório.
- Os valores obtidos entre as 24 horas e 48 horas são os que melhor se assemelham à rede existente, pois aproximam-se mais de um dia representativo.

Estes cuidados foram apreendidos após vários ensaios e tentativas de solucionar o problema.

Desta forma, conseguiu-se a obtenção dos valores pretendidos para um período de 24 horas com valores indicativos de um bom funcionamento de níveis de água dentro dos reservatórios.

Calibração dos caudais da rede

A calibração dos caudais que percorrem a rede foi um processo moroso visto que o conhecimento do processo de cálculo em EPANET resultou de uma aprendizagem gradual. Por esse motivo, seguidamente explica-se, com algum detalhe, o processo adotado que permitiu melhorar a calibração dos caudais.

Aquando das primeiras análises, verificou-se que existia um consumo anormal nos reservatórios. Este fazia com que a água que entrava no reservatório não só o enchesse, como ultrapassasse o seu nível pleno de armazenamento. De forma a controlar esta situação, foram colocadas válvulas controladoras de caudal a jusante de alguns reservatórios principais da rede. Os valores de controlo inserido nessas válvulas corresponderam a valores calculados que, de certa forma, acertavam o volume de água existente dentro da rede e, ao mesmo tempo, configuravam o horário de funcionamento de alguns dos troços da rede.

Nas seguintes figuras (Figura 55 e Figura 56) são apresentados os resultados desta primeira fase. Os valores usados para a comparação foram retirados da base de dados da Águas do Douro e Paiva, S.A., correspondendo aos consumos do dia 12 de maio de 2014.

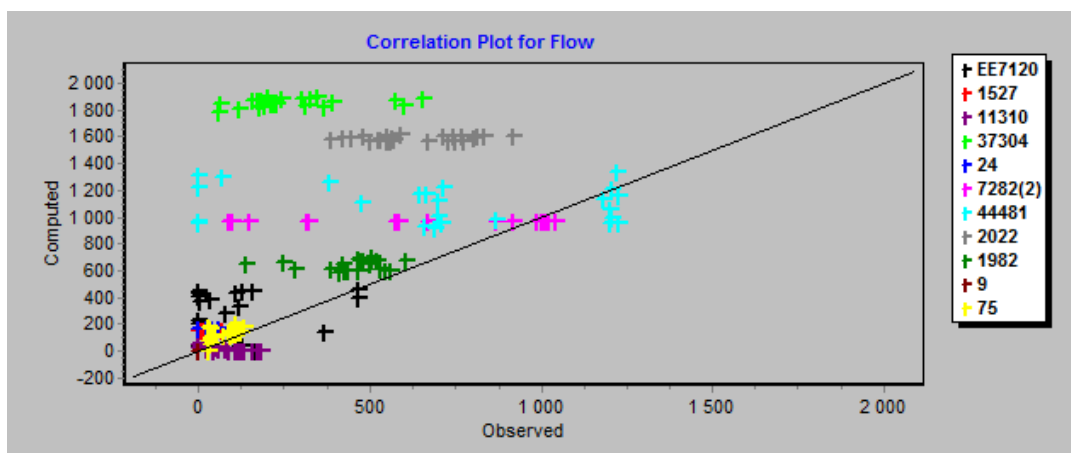


Figura 55 – Gráfico de correlação de valores de caudal (m^3/h) – antes da calibração

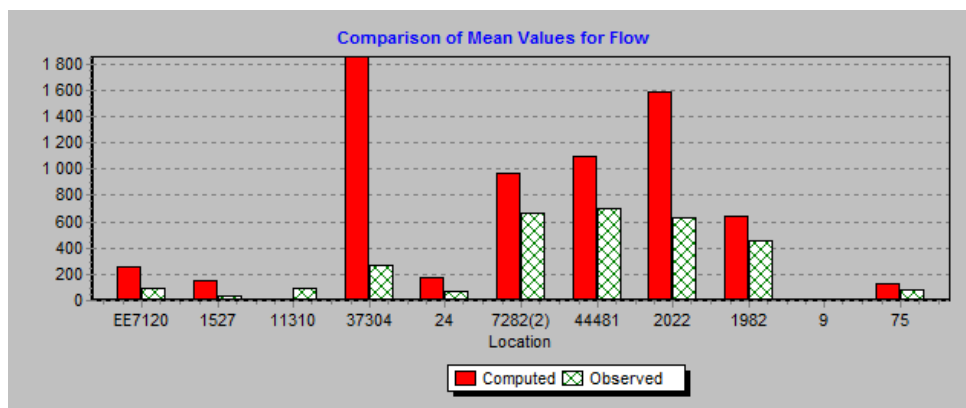


Figura 56 – Gráfico de comparação de valores de médias de caudal (m³/h) – antes da calibração

Como se verifica pela análise da Figura 55, a dispersão dos pontos é elevada, afastando-os da linha de tendência que iguala os valores observados aos calculados (reta a 45°). Na Tabela 9 é apresentado o resumo dos valores médios, sendo que, para esta situação, o coeficiente de correlação entre médias é de 0,722 (72,2%).

Tabela 9 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de caudal (m³/h) – antes da calibração

Calibration Statistics for Flow

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
EE7120	24	97.67	260.54	215.875	258.152
1527	24	30.63	151.53	120.906	123.304
11310	24	91.88	7.33	92.709	114.827
37304	24	266.33	1855.93	1589.595	1596.944
24	24	67.50	172.97	105.473	113.456
7282(2)	24	661.50	966.30	343.883	484.038
44481	24	705.58	1101.81	476.556	621.367
2022	24	632.67	1589.03	956.362	966.685
1982	24	453.33	641.54	188.210	216.787
9	24	0.00	0.00	0.000	0.000
75	24	83.25	130.08	49.333	59.970
Network	264	280.94	625.19	376.264	622.575

Correlation Between Means: 0.722

Apesar de se terem inserido as válvulas de controlo verificou-se, ainda, que em alguns pontos existiam caudais que diferiam da situação real. Isto devia-se ao facto de existirem horários de funcionamento das estações elevatórias. Para tal, e com o auxílio dos valores dos registos, foi realizado um estudo para determinar o horário de funcionamento das bombas. Ao inserir esses valores como comandos/regras, bem como ao introduzir válvulas controladoras de caudal, obtiveram-se novos resultados (Figura 57 e Figura 58).

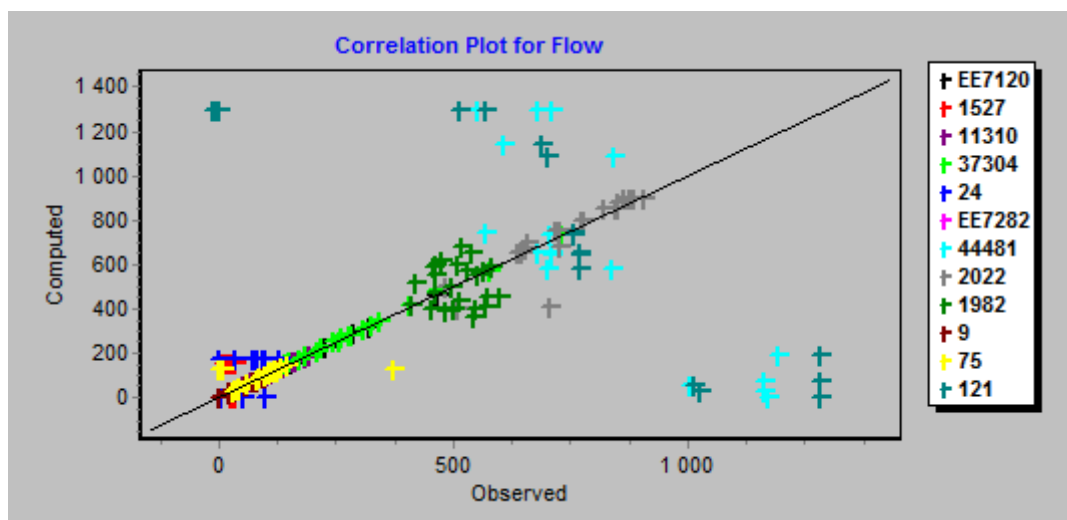


Figura 57 – Gráfico de correlação de valores de caudal (m³/h) – pós calibração

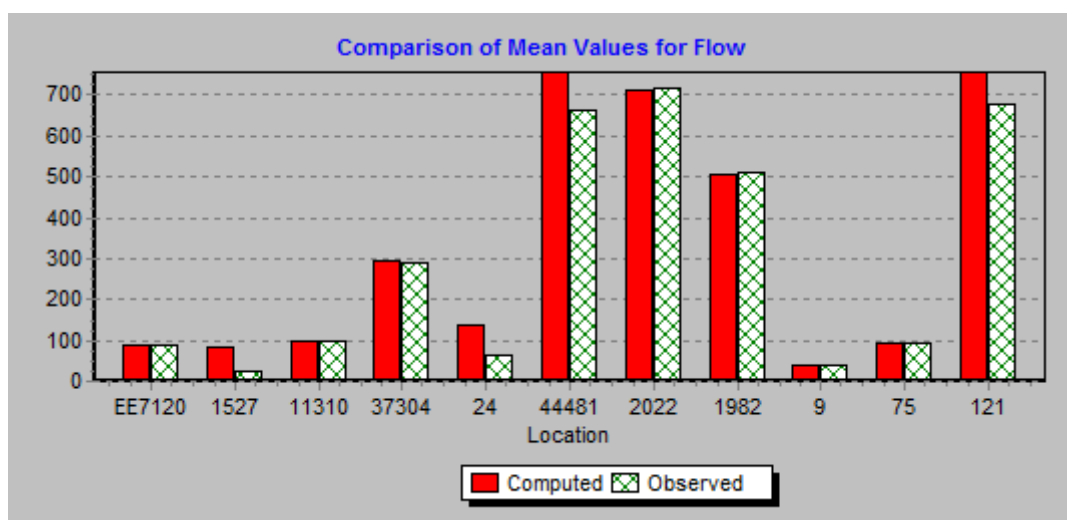


Figura 58 – Gráfico de comparação de valores de médias de caudal (m³/h) – pós calibração

Tabela 10 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de caudal (m³/h) – pós calibração

Calibration Statistics for Flow

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
EE7120	24	90.67	90.67	0.000	0.000
1527	24	25.00	81.97	71.308	88.749
11310	24	98.46	98.04	0.917	1.384
37304	24	289.00	294.14	6.864	8.878
24	24	61.92	136.94	96.859	109.767
44481	24	661.50	756.35	691.479	849.477
2022	24	717.83	710.76	37.319	69.228
1982	24	510.00	508.17	87.922	105.152
9	24	40.29	38.83	1.542	2.170
75	24	92.50	93.13	22.292	62.244
121	24	676.92	756.35	725.844	880.048
Network	264	296.73	324.12	158.395	373.659

Correlation Between Means: 0.992

Notam-se claras melhorias e, como é possível verificar na Tabela 10, o valor do coeficiente de correlação aumentou para 0,992 (99,2%). Este valor pode ainda ser melhorado caso se insiram controlos com os valores medidos para os dias. No entanto, esse procedimento melhoraria a correlação apenas para um dia, podendo piorar a situação noutra cenário. Caso não sejam alterados os valores introduzidos, o modelo poderá apresentar diferenças, entre valores de coeficiente de correlação, de 0,001 a 0,01. Este facto pode ser visto no relatório em anexo (Modelação Hidráulica de uma Conduto).

A análise do gráfico da Figura 57 indicia ainda uma nuvem de pontos ao longo da linha de tendência. Esta tendência deve-se ao facto dos valores calculados não igualarem exatamente os valores dos registos, existindo por vezes um pequeno desfasamento temporal. Assim sendo, temos valores, em média, bastante próximos, mas apresentando ainda ligeiras diferenças. Exemplificam-se, para algumas ligações, os valores temporais medidos e simulados (Figura 59, Figura 60, Figura 61).

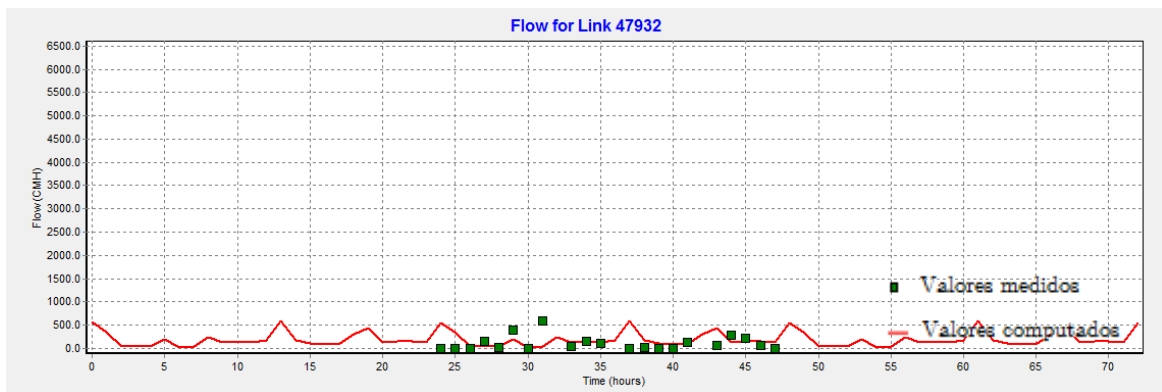


Figura 59 – Gráfico temporal de caudais (m³/h) para a ligação 47932

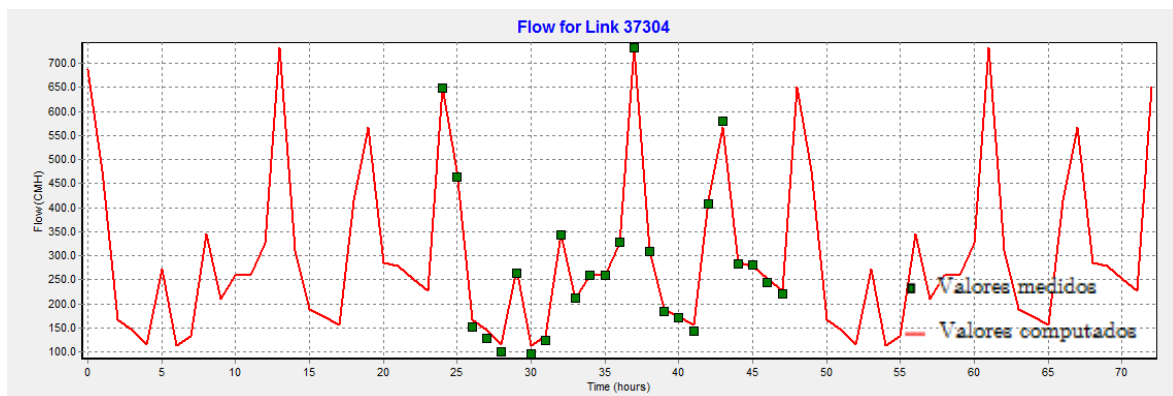


Figura 60 – Gráfico temporal de caudais (m³/h) para a ligação 37304

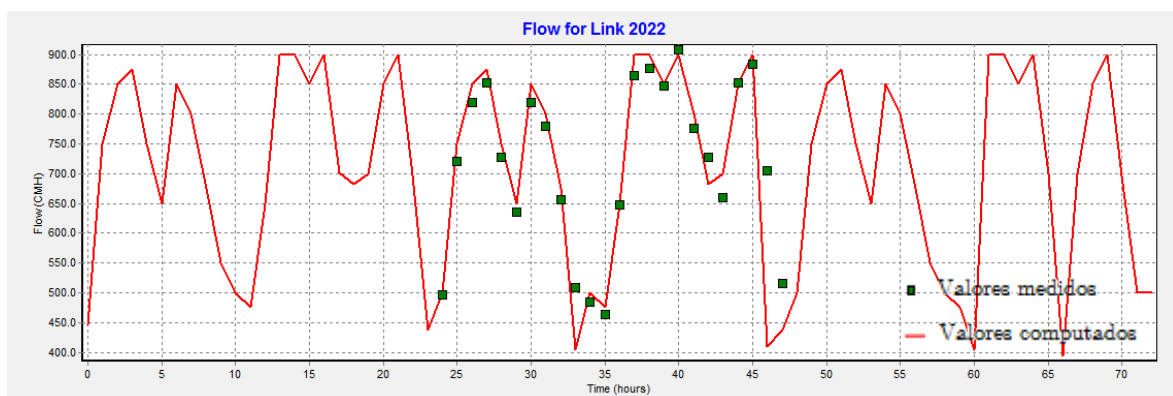


Figura 61 – Gráfico temporal de caudais (m³/h) para a ligação 2022

Calibração de pressões

O processo de calibração de pressões na rede foi realizado em três fases diferentes. Em primeiro lugar usaram-se os registos completos de um dia. Seguidamente, usaram-se os valores de pressão associados a caudais instantâneos. Finalmente, regressou-se aos registos completos, verificando-se a evolução dos valores e do coeficiente de correlação.

Após a primeira comparação, e tal como foi referido, usaram-se os valores do registo para um dia completo (neste caso 19 de maio de 2013). Os resultados obtidos em pressão sintetizam-se nas próximas figuras (Tabela 11, Figura 62 e Figura 63).

Tabela 11 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de pressão (m.c.a.)

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
7180PE610	24	2.83	4.52	1.694	1.698
PE (7161CV240)	24	179.26	227.14	47.881	47.940
PE (7144CV090)	24	146.78	147.48	20.740	26.503
7148PE650	24	2.41	7.09	4.676	4.711
PE (7353CV030)	24	53.13	67.94	14.807	15.531
PE (7348CV060)	24	36.62	100.05	63.434	63.691
7155PE772	24	219.38	227.67	9.139	11.527
Network	168	91.49	111.70	23.196	32.637

Correlation Between Means: 0.964

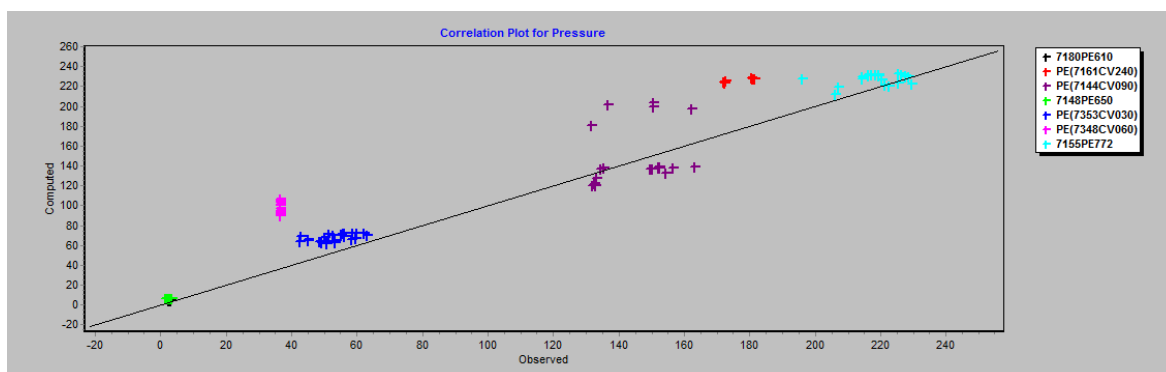


Figura 62 – Gráfico de correlação de valores de pressão (m.c.a.)

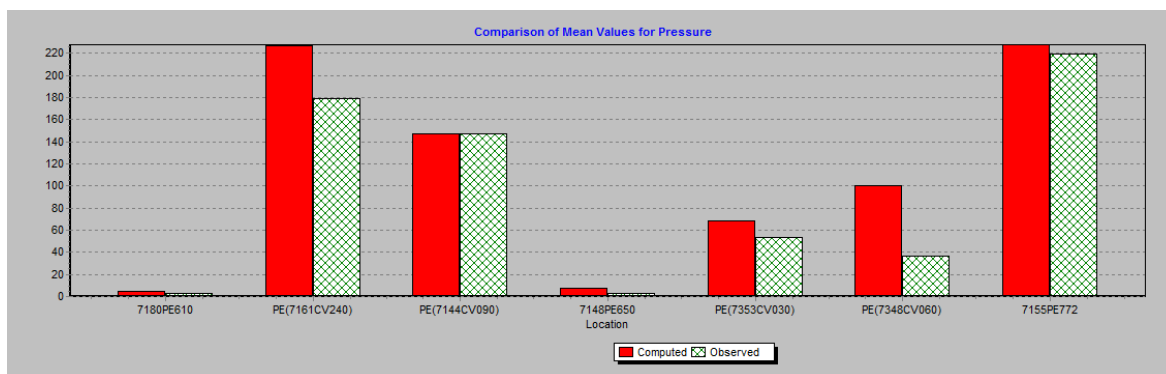


Figura 63 – Gráfico de comparação de valores de médias de pressão (m.c.a.)

Como se pode verificar, a distribuição de valores é muito semelhante, obtendo-se um coeficiente de correlação de 0,964 (96,4%). Ao analisar a Figura 63, verifica-se que os valores de pressão calculados são geralmente superiores aos registados. Um dos motivos que origina esta ligeira diferença é o facto de existirem algumas válvulas reductoras de pressão antes dos pontos de entrega.

Após essa primeira análise, procedeu-se à segunda fase deste processo cuja calibração do modelo efetuou-se para pressões medidas associadas a caudais instantâneos. Os valores medidos reportam ao dia 07 de maio de 2014 (Tabela 12, Figura 64 e Figura 65).

Tabela 12 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de pressão (m.c.a.)

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
7161PE596	1	35.19	36.00	0.809	0.809
7161PE599	1	159.12	159.99	0.873	0.873
7144PE630	1	135.35	114.93	20.425	20.425
7154PE670	1	115.05	121.49	6.436	6.436
7353PE716	1	47.73	49.98	2.254	2.254
7440PE722	1	19.48	19.98	0.501	0.501
7348PE725	1	36.62	36.69	0.066	0.066
7349PE730	1	64.46	65.00	0.539	0.539
7155PE770	1	132.90	138.84	5.942	5.942
7155PE771	1	59.06	60.00	0.940	0.940
7155PE774	1	113.22	115.00	1.780	1.780
7159PE778	1	119.34	125.96	6.622	6.622
Network	12	86.46	86.99	3.932	6.763

Correlation Between Means: 0.989

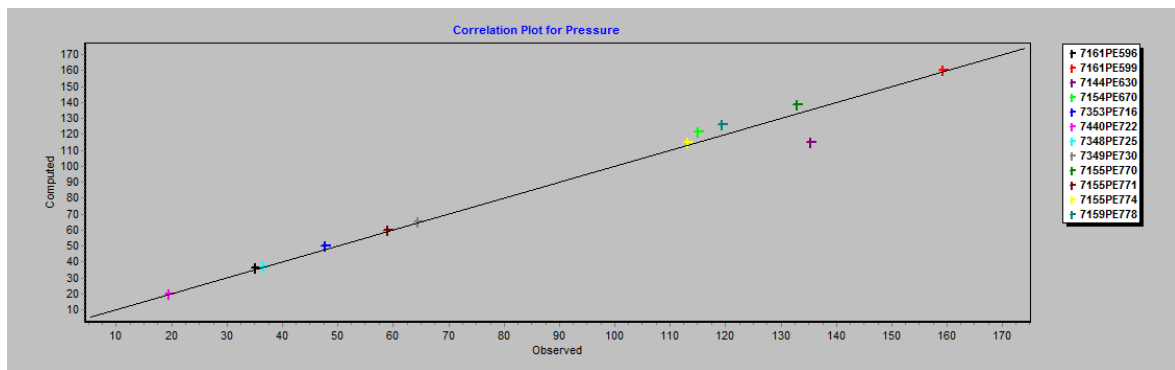


Figura 64 – Gráfico de correlação de valores de pressão (m.c.a.)

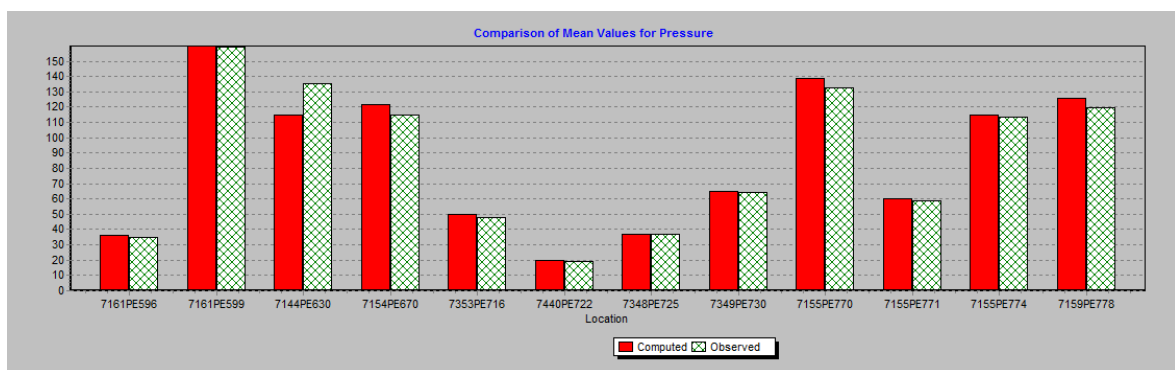


Figura 65 – Gráfico de comparação de valores de médias de pressão (m.c.a.)

Nesse dia existiam mais medidores de pressão do que aquando dos dados de registos completos. Por esse motivo, existem mais pontos de comparação. Graças a este facto foi possível confirmar a ordem de grandeza das pressões em alguns pontos de entrega colocando-se as respetivas válvulas reductoras de pressão. Com a sua inserção os valores aproximaram-se ainda mais, obtendo-se um coeficiente de correlação de 0,989 (98,9%). Isso revela que o modelo reproduz com bastante acuidade o que se passa na realidade.

Após esta ligeira calibração do modelo, introduzindo as válvulas reductoras de pressão, voltou-se ao registo de valores de dia 19 de maio de 2013, obtendo-se novos resultados (Tabela 13, Figura 66 e Figura 67).

Tabela 13 – Quadro de estatísticas de calibração para valores de pressão (m.c.a.)

Calibration Statistics for Pressure

Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
7180PE610	24	2.83	4.52	1.695	1.699
7161PE599	24	179.26	160.00	19.263	19.611
7144PE630	24	146.78	134.60	12.610	13.844
7353PE716	24	53.13	49.99	5.375	6.466
7348PE725	24	36.62	36.69	0.074	0.075
7155PE772	24	219.38	227.34	8.985	11.313
7148PE650	24	2.41	2.00	0.575	0.705
Network	168	91.49	87.88	6.940	10.347

Correlation Between Means: 0.995

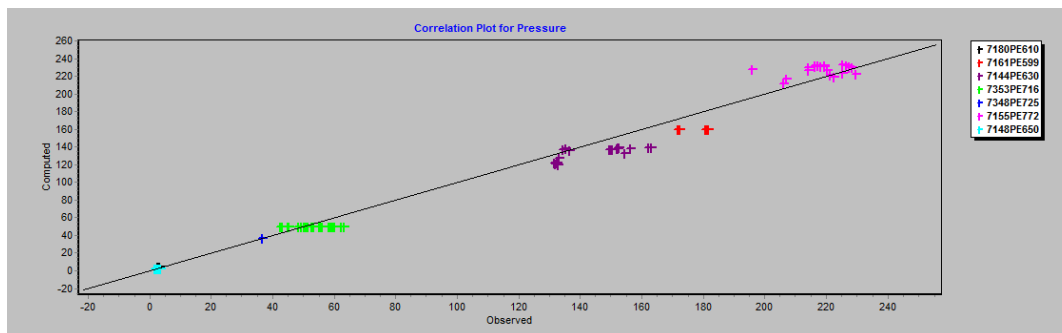


Figura 66 – Gráfico de correlação de valores de pressão (m.c.a.)

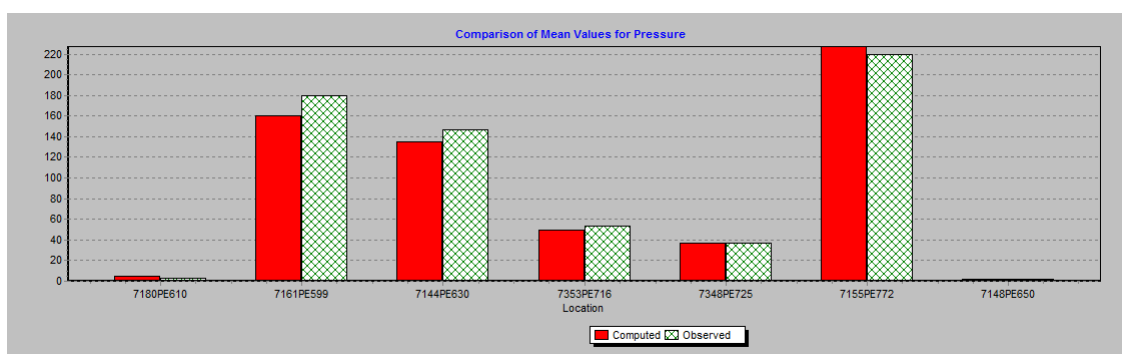


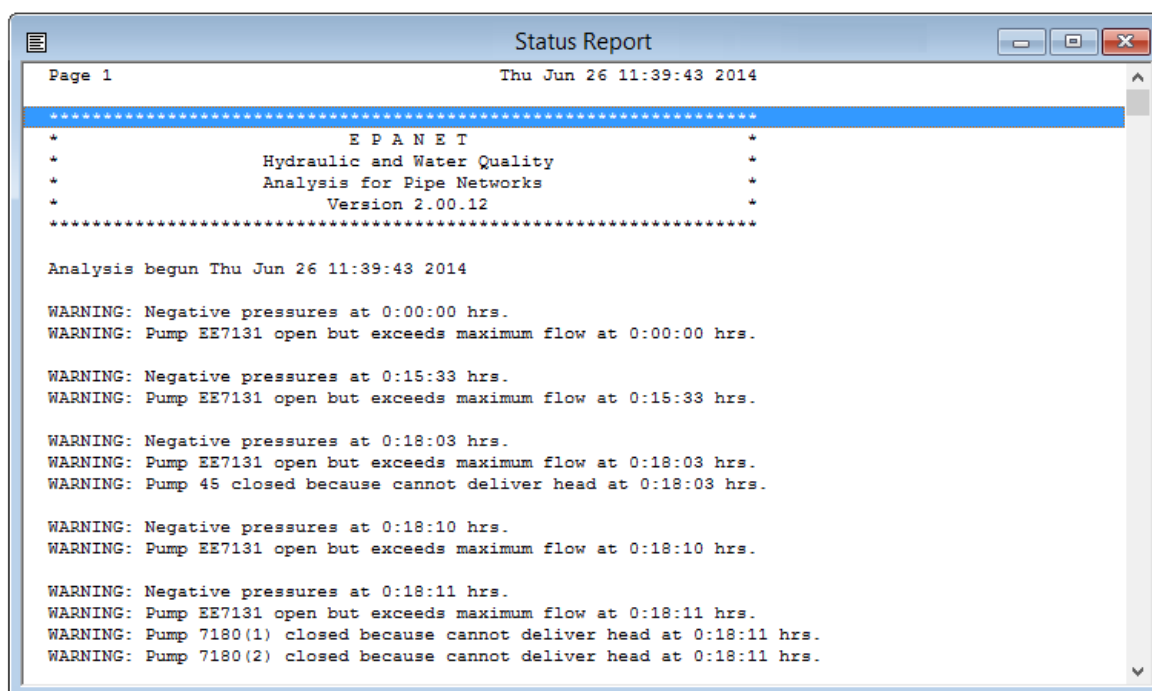
Figura 67 – Gráfico de comparação de valores de médias de pressão (m.c.a.)

Claramente, houve uma melhoria significativa na predição dos valores de pressão. Essa melhoria da calibração de pressões espelha-se na análise da Tabela 13, podendo-se verificar que o coeficiente de correlação aumentou para 0,995 (99,5%).

VI. Funcionamento do modelo

No modelo calibrado as únicas regras definidas correspondem ao funcionamento das estações elevatórias EE7120 e 7180. As válvulas existentes têm valores médios de controlo definidos, quer de caudais, quer de pressões, de forma a apresentar valores próximos dos reais.

Ao correr a análise no modelo são apresentados os seguintes avisos:



```
Page 1 Thu Jun 26 11:39:43 2014
*****
*           E P A N E T           *
*   Hydraulic and Water Quality   *
*   Analysis for Pipe Networks    *
*   Version 2.00.12               *
*****

Analysis begun Thu Jun 26 11:39:43 2014

WARNING: Negative pressures at 0:00:00 hrs.
WARNING: Pump EE7131 open but exceeds maximum flow at 0:00:00 hrs.

WARNING: Negative pressures at 0:15:33 hrs.
WARNING: Pump EE7131 open but exceeds maximum flow at 0:15:33 hrs.

WARNING: Negative pressures at 0:18:03 hrs.
WARNING: Pump EE7131 open but exceeds maximum flow at 0:18:03 hrs.
WARNING: Pump 45 closed because cannot deliver head at 0:18:03 hrs.

WARNING: Negative pressures at 0:18:10 hrs.
WARNING: Pump EE7131 open but exceeds maximum flow at 0:18:10 hrs.

WARNING: Negative pressures at 0:18:11 hrs.
WARNING: Pump EE7131 open but exceeds maximum flow at 0:18:11 hrs.
WARNING: Pump 7180(1) closed because cannot deliver head at 0:18:11 hrs.
WARNING: Pump 7180(2) closed because cannot deliver head at 0:18:11 hrs.
```

Figura 68 – Avisos

Apesar do aparecimento destes avisos os resultados não estão comprometidos, pois há justificação para cada um deles (ver Tabela 14).

Tabela 14 – Lista de avisos

Aviso	Justificação
Negative pressures	As pressões negativas na rede estão associadas a pontos onde não existem consumos e em que o transporte de água é feito através de estações elevatórias.
Pump open but exceeds maximum flow	Estes avisos referem que existem problemas com as curvas das bombas. Neste caso eles aparecem em algumas das bombas quando não existe o transporte de água, estando associados ao aviso “Negative pressures”.
Pump cannot deliver head	

É de salientar que, apesar de algumas das condutas da rede estarem desativadas, estas ainda foram consideradas no modelo, sendo responsáveis por alguns dos avisos obtidos.

VII. Divisão da rede em modelos mais pequenos

Após a calibração, a rede foi dividida em várias redes de menor dimensão, que não só diminuem o tempo de cálculo, como evitam o aparecimento de avisos de erros na rede.

Estes novos modelos facilitam a sua utilização e permitem a realização de testes sem envolver diretamente os diferentes troços da rede. Como são modelos mais pequenos, têm por base um dos seguintes percursos:

- Reservatório – Reservatório;
- Reservatório – Ponto de Entrega Final.

Assim, consegue-se uma melhor simulação do fluxo dentro da conduta, sem existir a necessidade de cálculo dos tempos de enchimento e esvaziamento dos reservatórios de nível variável.

Cada um dos modelos tem como nome o código do reservatório de abastecimento, formando um total de 13 modelos (Figura 69) que podem ser analisadas separadamente ou em dependência uns dos outros. A ligação entre os modelos atende sempre a continuidade dos caudais em cada nó. Esse processo tem início nas extremidades e vai-se repercutindo até aos reservatórios de captação.

Uma vez que não existe a dependência dos tempos de enchimento e esvaziamento dos reservatórios, os avisos e/ou erros que os modelos poderão encontrar correspondem, somente, ao funcionamento de bombas quando não exista caudal nas condutas.

Relativamente à sua calibração, os modelos apresentam valores de caudais ainda mais próximos do real, bem como as pressões registadas.

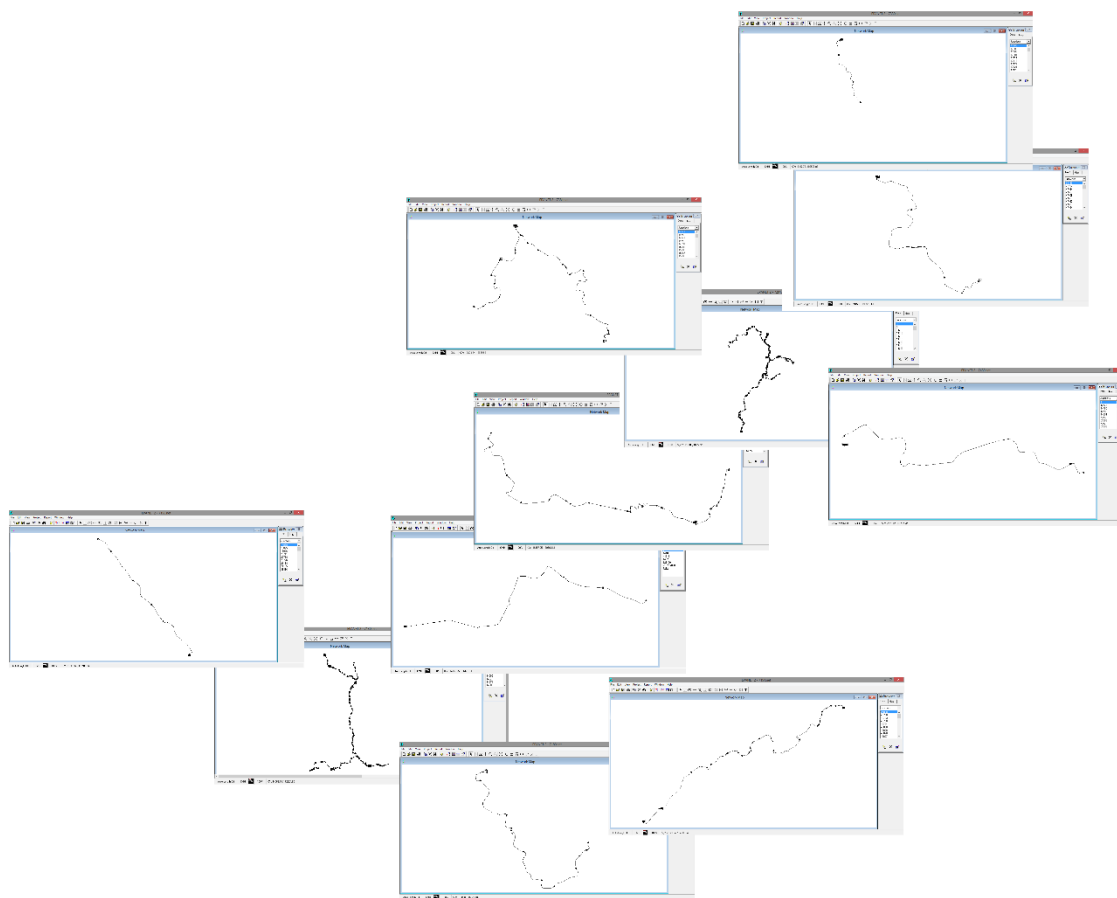


Figura 69 – Esquema dos minimodelos

i. Funcionamento dos modelos

Seguidamente lista-se o processo de cálculo a efetuar nestes novos minimodelos:

- Em primeiro lugar deverá ser efetuado o estudo para os troços finais da rede. Estes são representados pelos seguintes modelos:
 - 7190
 - 7191
 - 7381
 - 7480
- Tendo sido realizada a análise, são retirados os valores do fluxo que sai do reservatório inicial (7190, 7191, 7381 e 7480).
- Os valores obtidos são inseridos como consumos nos modelos intermédios:
 - 7180
 - 7291
- Mais uma vez o processo é repetido, mas agora para os seguintes modelos:
 - 7130
 - 7282
 - 7380
- Por fim e tendo sido obtidos os valores do fluxo para os reservatórios anteriores (7130, 7282 e 7380) procede-se à análise dos modelos de início da rede.
 - 6262-7282
 - 7110
 - 7131
 - 7330

Este método pode ser simplificado caso se somem os valores de consumos nos diferentes pontos de entrega. Apesar de parecer mais trabalhoso, os modelos são mais rápidos de computar e caso existam erros associados ao cálculo, estes serão mais fáceis de serem encontrados e corrigidos, devido à menor dimensão dos modelos.

O processo mais rápido de inserção dos resultados de um modelo para o outro é o seguinte:

- Obter uma tabela com os valores de consumos/fluxo que sai do reservatório;

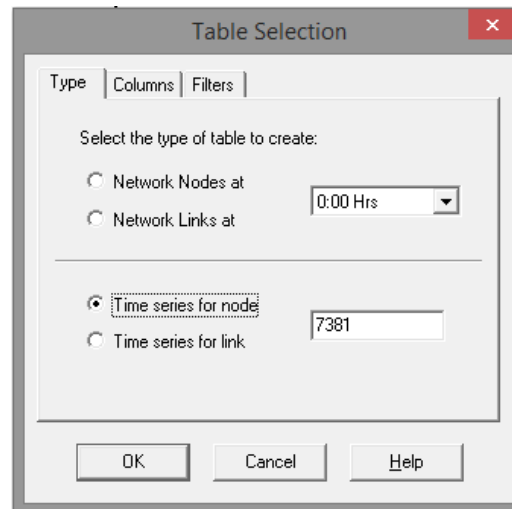


Figura 70 – Janela “Table Selection”

- Selecionar a coluna consumos e copiá-la;

Time Series Table - Node 7381				
Time Hours	Demand CMH	Head m	Pressure m	Nonemg/L mg/L
0:00	-41.21	290.00	0.00	0.00
1:00	-127.21	290.00	0.00	0.00
2:00	-177.21	290.00	0.00	0.00
3:00	-176.21	290.00	0.00	0.00
4:00	-177.21	290.00	0.00	0.00
5:00	-179.21	290.00	0.00	0.00
6:00	-98.21	290.00	0.00	0.00
7:00	-41.21	290.00	0.00	0.00
8:00	-41.21	290.00	0.00	0.00
9:00	-32.21	290.00	0.00	0.00
10:00	-5.21	290.00	0.00	0.00
11:00	-5.21	290.00	0.00	0.00
12:00	-8.21	290.00	0.00	0.00
13:00	-39.21	290.00	0.00	0.00

Figura 71 – Tabela de resultados para o ponto exemplo

- Criar um ficheiro de texto “.txt” e colar os valores copiados;
- Limpar todos os dados, deixando apenas os valores de consumo;

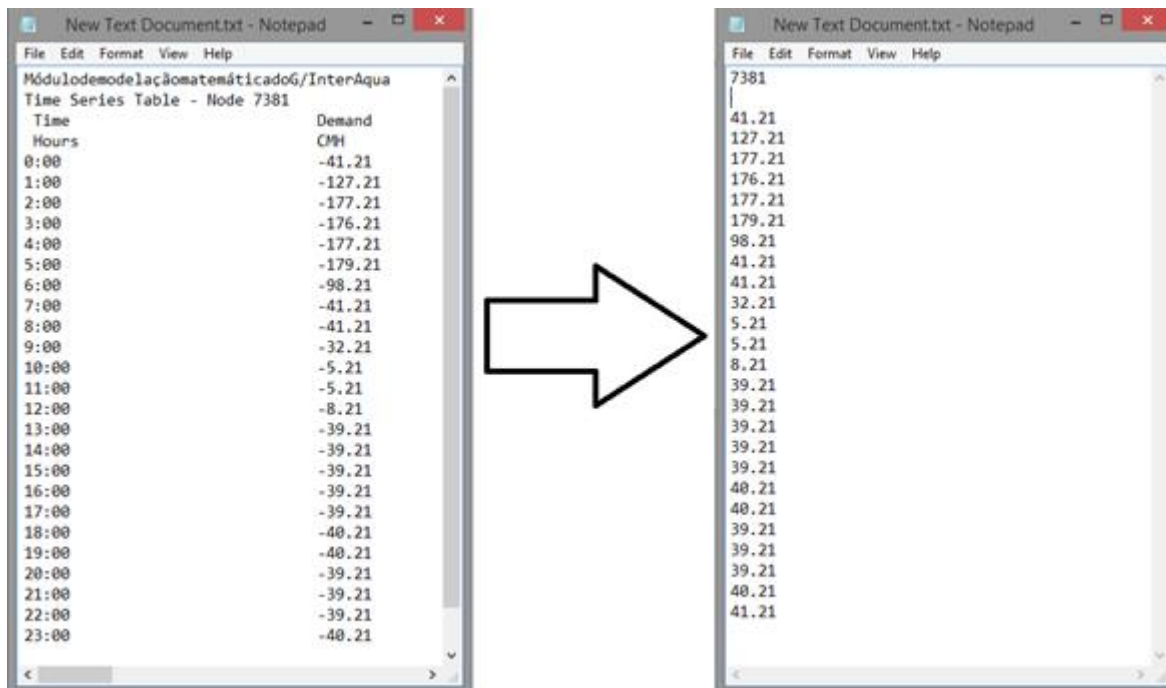


Figura 72 – Organização do ficheiro de texto

- Guardar o ficheiro, alterando “.txt” para “.pat”;

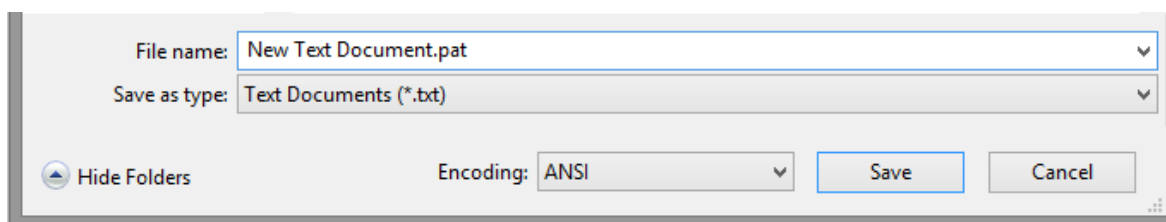


Figura 73 – Alteração do tipo de ficheiro

- No modelo seguinte, seleccionar o padrão a alterar e de seguida pressionar o botão “Load...” para carregar o ficheiro anteriormente criado;
- Por fim carrega-se no botão “OK” para finalizar as alterações.

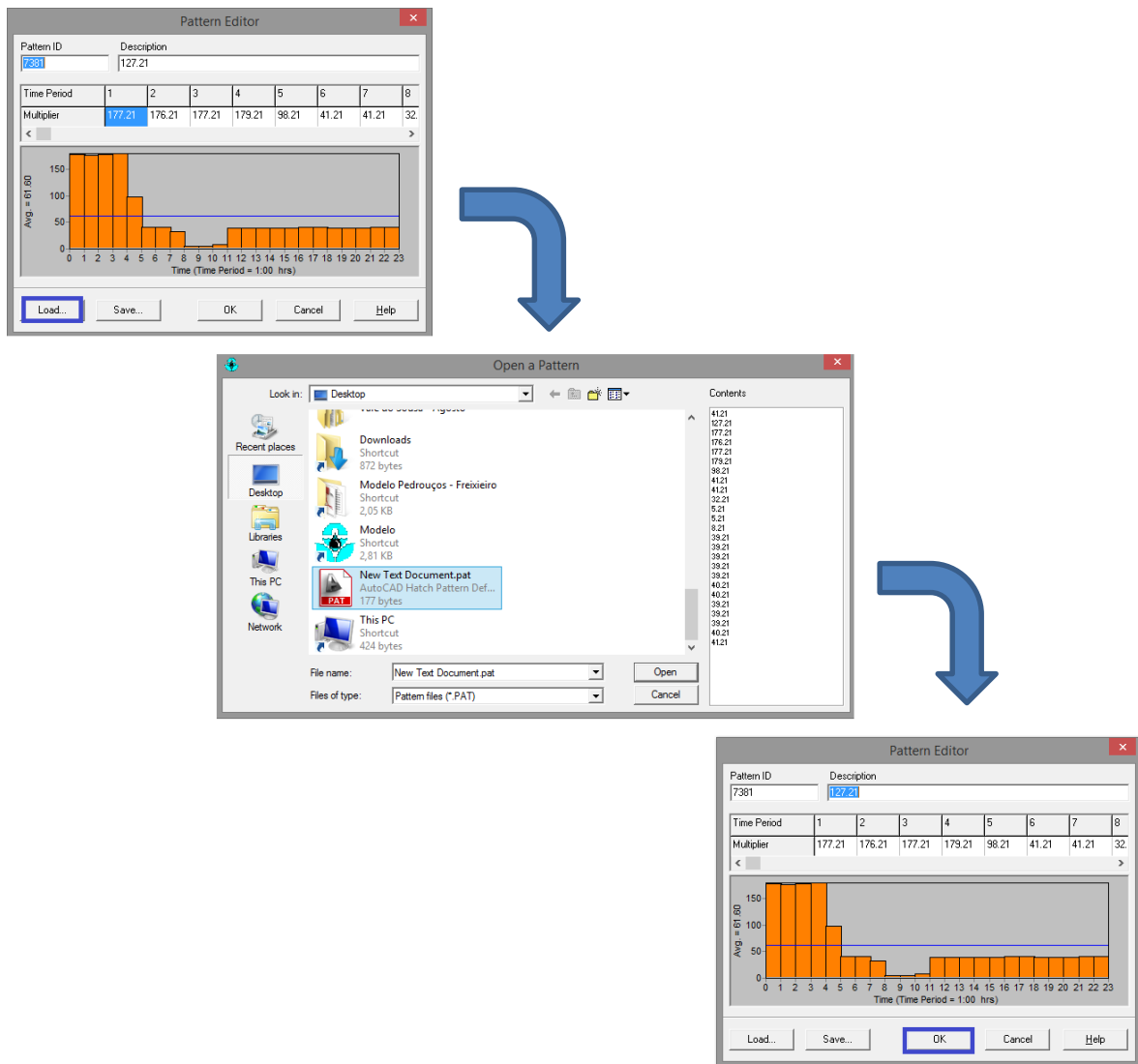


Figura 74 – Importação de padrões

ii. Apresentação de resultados

Os resultados seguidamente apresentados foram fruto de uma análise dos minimodelos no 31 dia de agosto de 2013. Estes são dispostos em gráficos representando os valores da seguinte forma:

- Caudal fornecido *versus* caudal de saída;
- Pressão nos pontos de entrega;
- Tempo de percurso da água, reservatório – ponto de entrega.

A análise dos caudais e pressão estão intimamente ligadas à modelação hidrodinâmica da rede. O cálculo do tempo de percurso entra em consideração com o tempo de permanência de água nas condutas, estando diretamente associado à qualidade da água.

Os modelos onde não existiam caudais para o período referido não foram contabilizados, por exemplo, minimodelo 7131.

7191

Este minimodelo corresponde às condutas que partem do reservatório 7191 e abastecem os pontos de entrega 7142PE605, 7161PE596, 7161PE599 e 7191PE595.

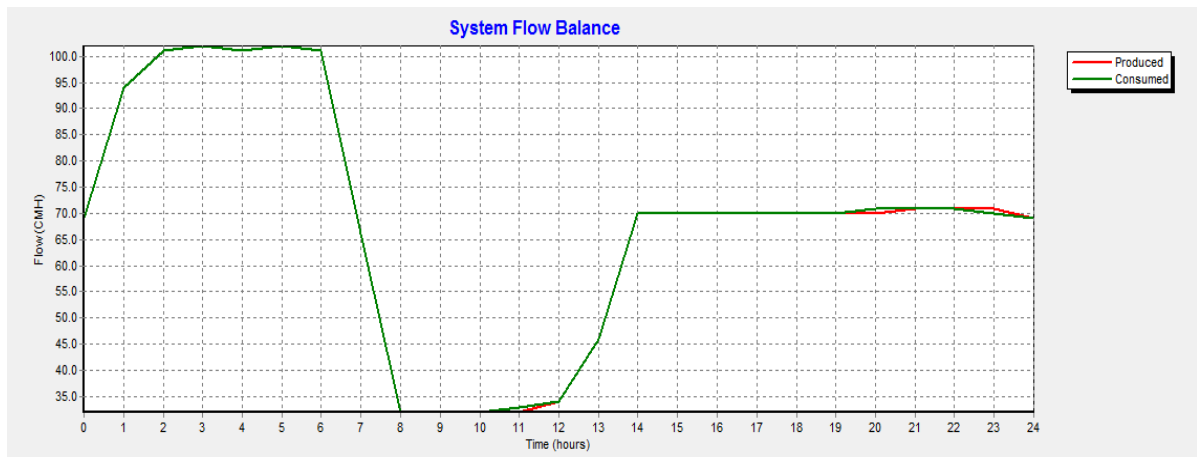


Figura 75 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

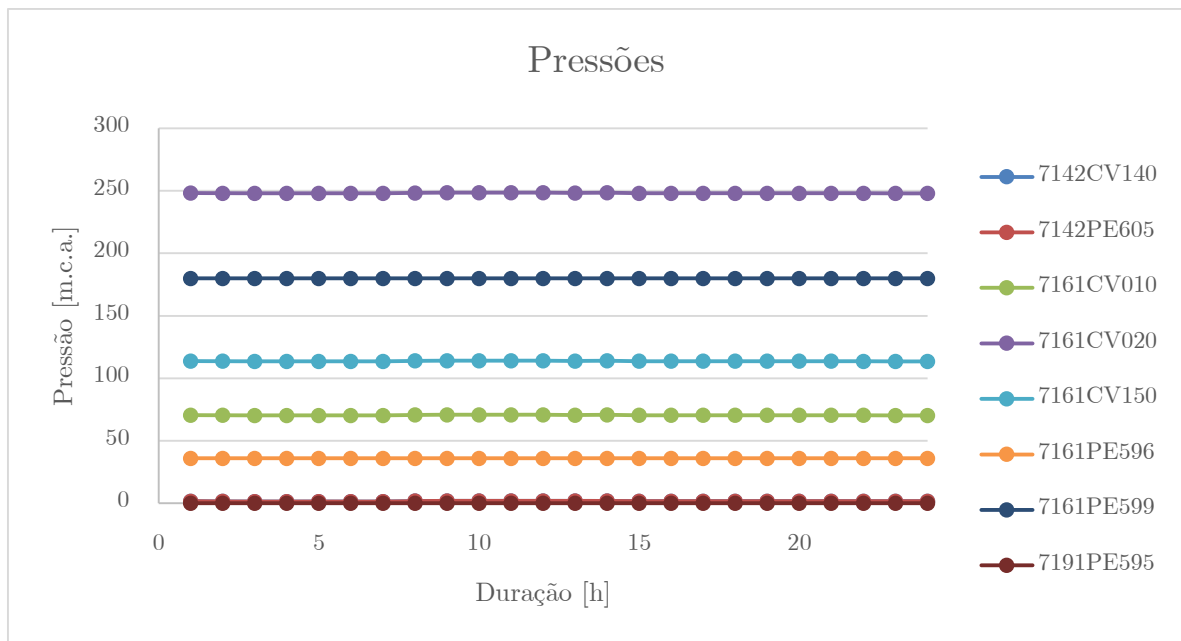


Gráfico 12 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

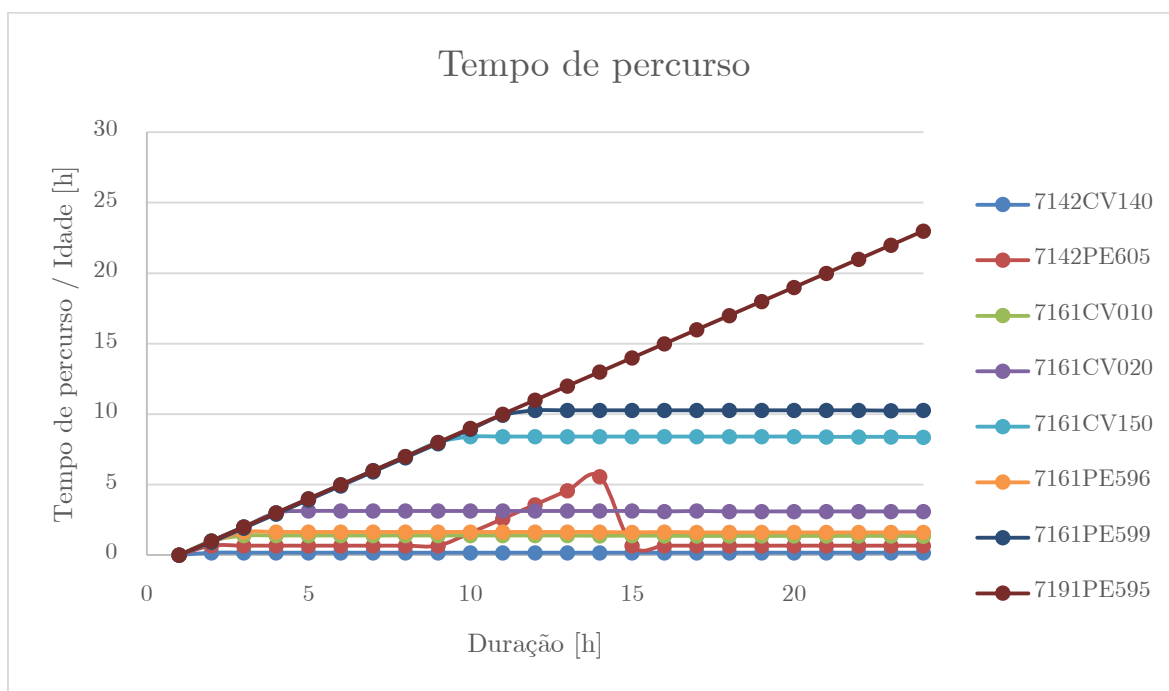


Gráfico 13 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 75 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 12 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos e sensivelmente constantes.

No Gráfico 13 estão presentes os tempos de percurso da água. Como é possível analisar existem pontos onde o valor é crescente. Isto deve-se ao facto de não existirem consumos para o período em causa, logo a água estará, teoricamente, parada até que estes existam. É também de referir que quanto menor o consumo, menor é o caudal, diminuindo a velocidade e aumentando o tempo de percurso.

7180

O reservatório 7180 é responsável pelo abastecimento dos pontos de entrega 7142PE638 e 7180PE610.

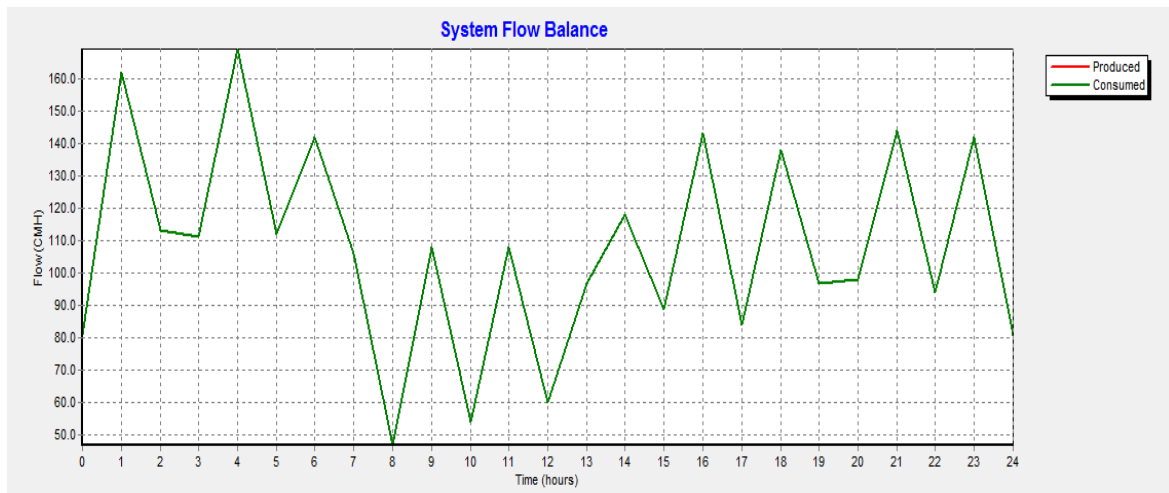


Figura 76 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

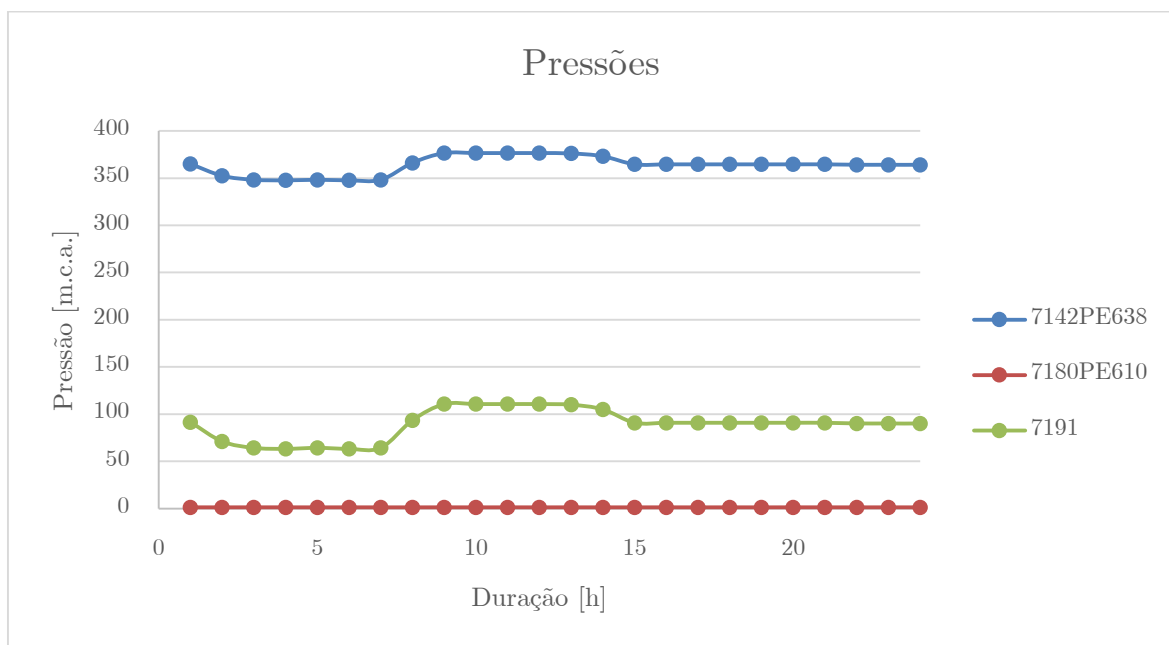


Gráfico 14 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

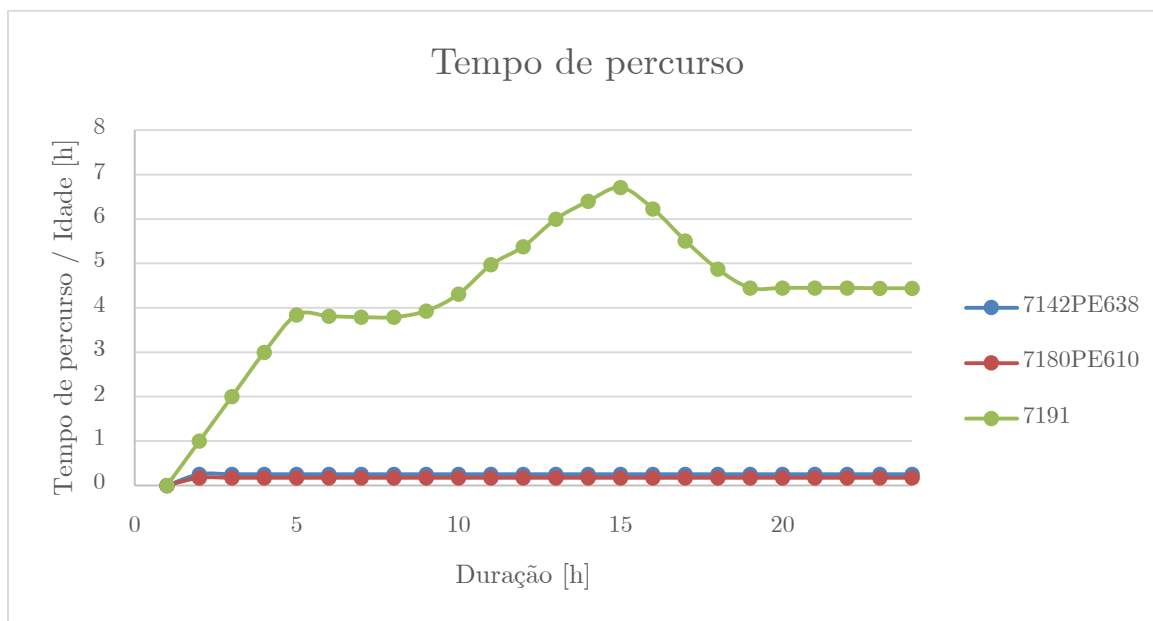


Gráfico 15 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Na Figura 76 verifica-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 14 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 15 estão presentes os tempos de percurso da água.

7190

Esse reservatório abastece o ponto de entrega 7149PE655.

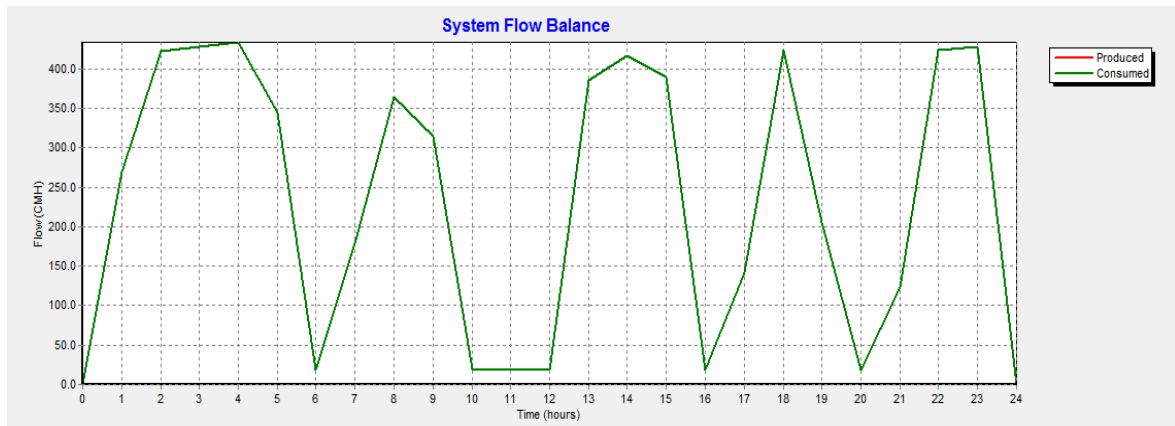


Figura 77 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

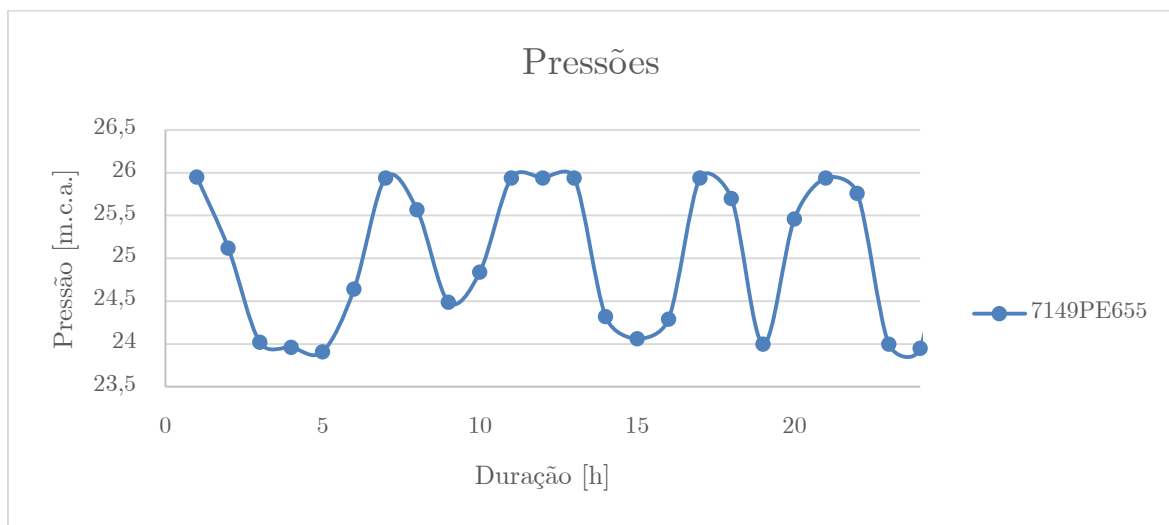


Gráfico 16 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

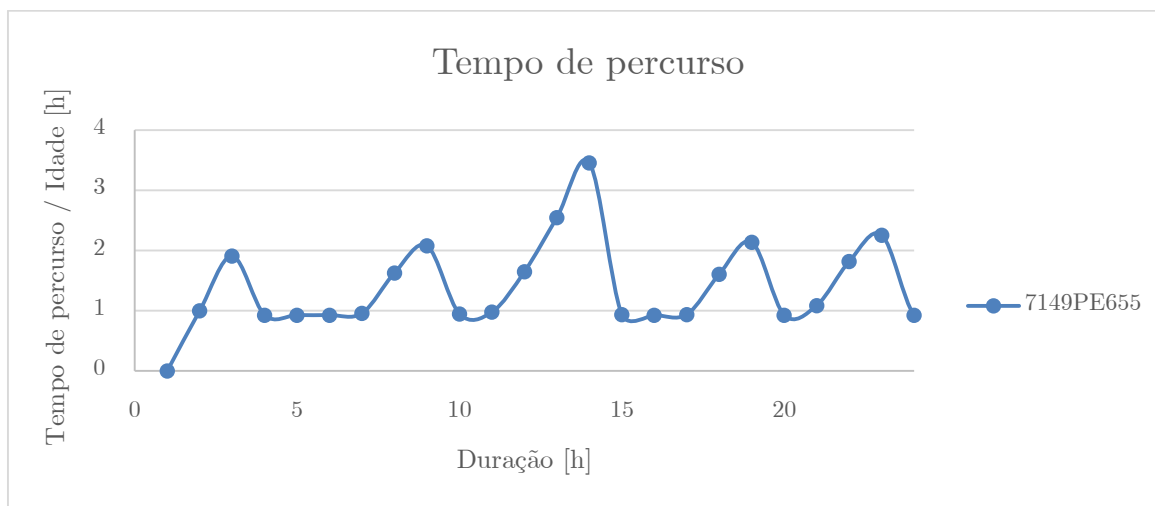


Gráfico 17 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 77 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 16 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 17 estão presentes os tempos de percurso da água.

7130

O reservatório 7130 corresponde à ETA de Castelo de Paiva e é responsável pelo abastecimento dos pontos de entrega 7146PE635, 7148PE650, 7154PE670, 7155PE618, 7155PE770, 7155PE771, 7155PE772, 7155PE774, 7155PE776, 7157PE600, 7158PE666 e 7159PE778. Bem como os reservatórios 7180 e 7190.

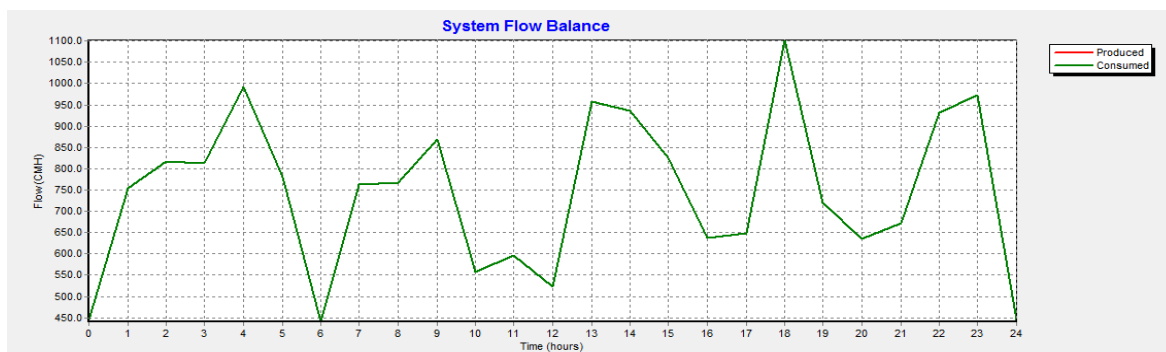


Figura 78 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

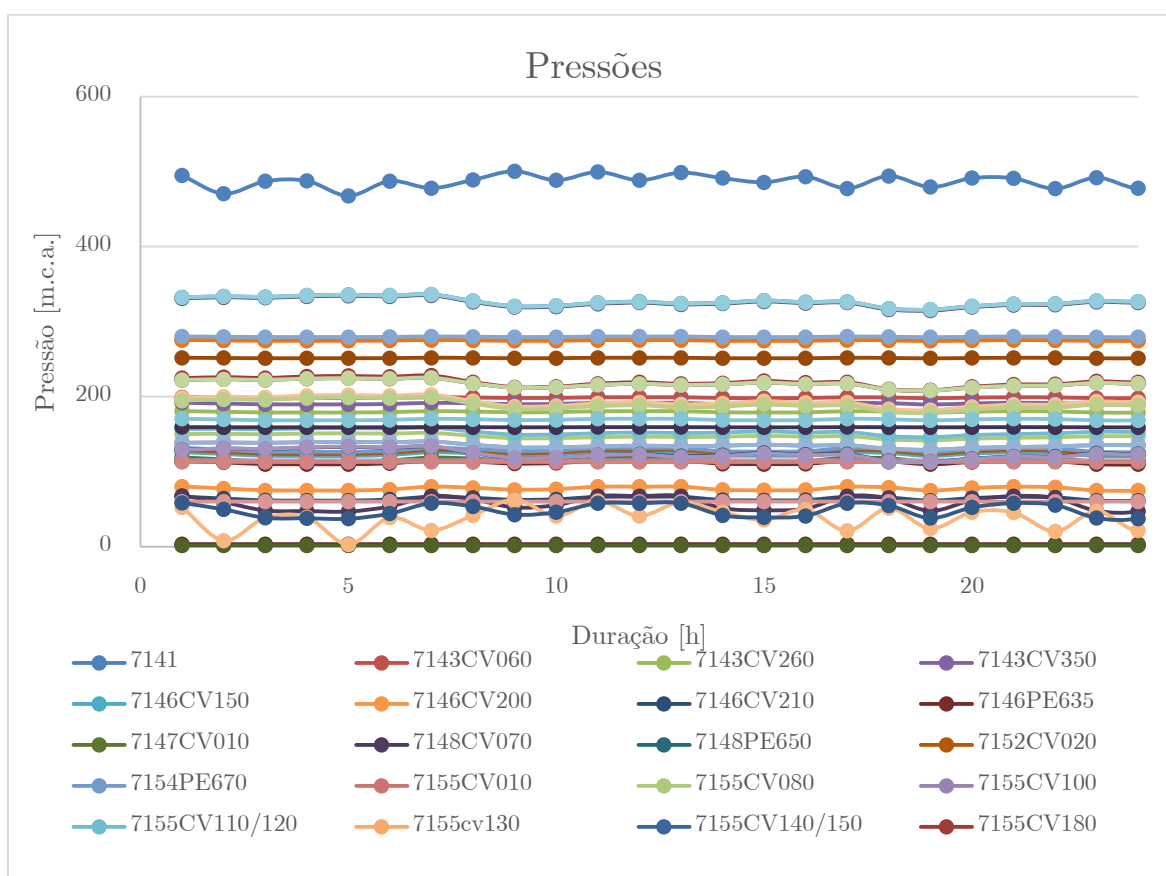


Gráfico 18 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

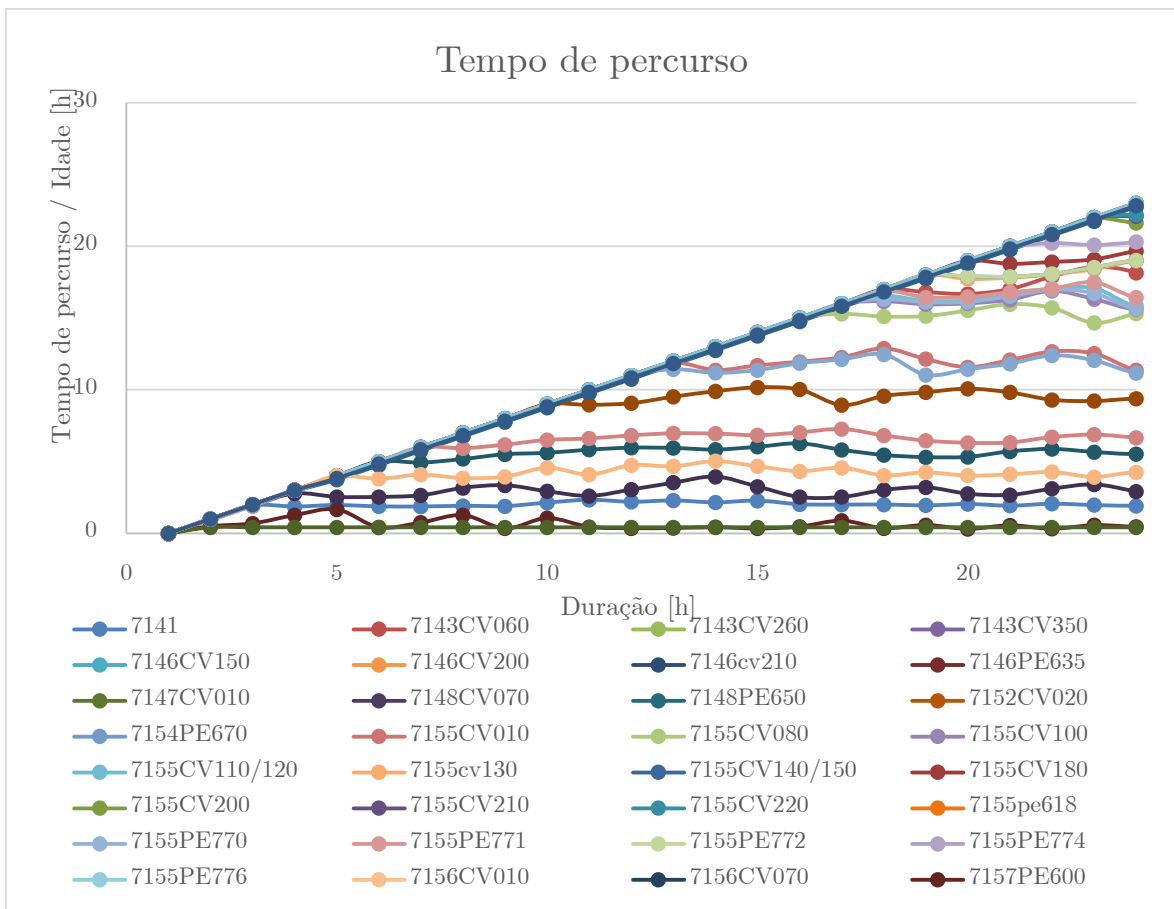


Gráfico 19 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 78 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 18 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 19 estão presentes os tempos de percurso da água. Como é possível analisar existem pontos onde o valor é crescente. Isto deve-se ao facto de não existirem consumos para o período em causa, logo a água estará, teoricamente, parada até que estes existam. É também de referir que quanto menor o consumo, menor o caudal, que por sua vez diminui a velocidade e conseqüentemente aumenta o tempo de percurso.

7110

7110 corresponde à captação de água do rio Paiva e abastece a estação de tratamento de água de Castelo de Paiva.

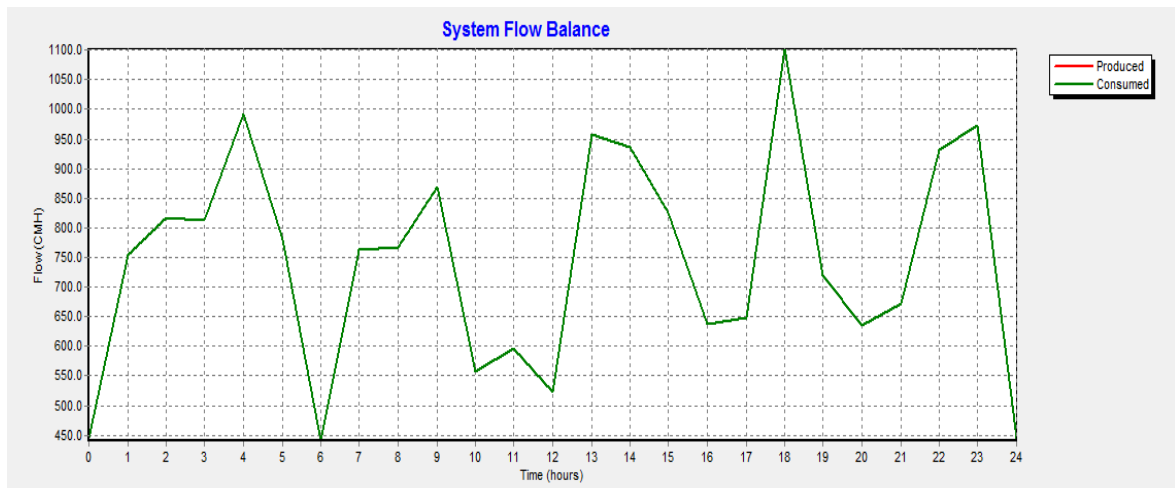


Figura 79 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

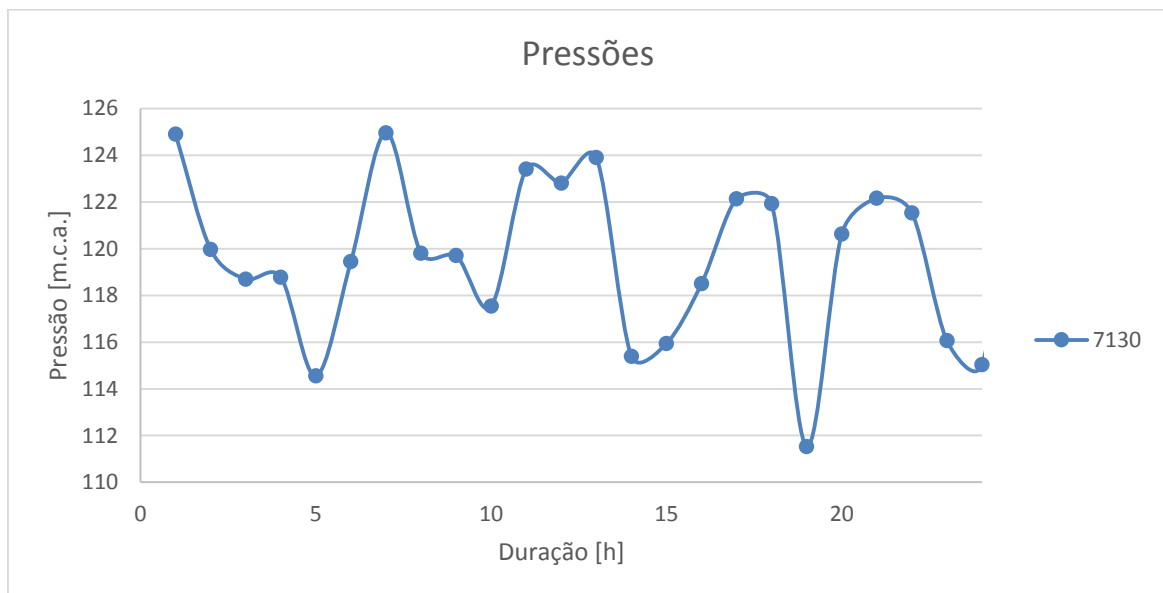


Gráfico 20 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

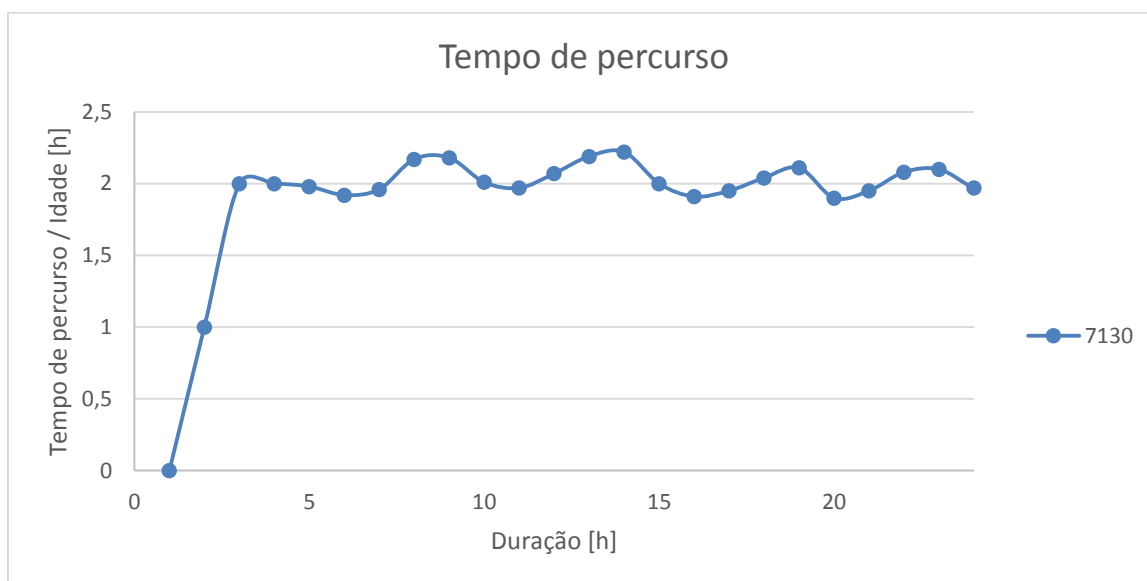


Gráfico 21 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 79 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 20 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 21 estão presentes os tempos de percurso da água.

7480

O reservatório 7480 é responsável pelo abastecimento do ponto de entrega 7442PE208.

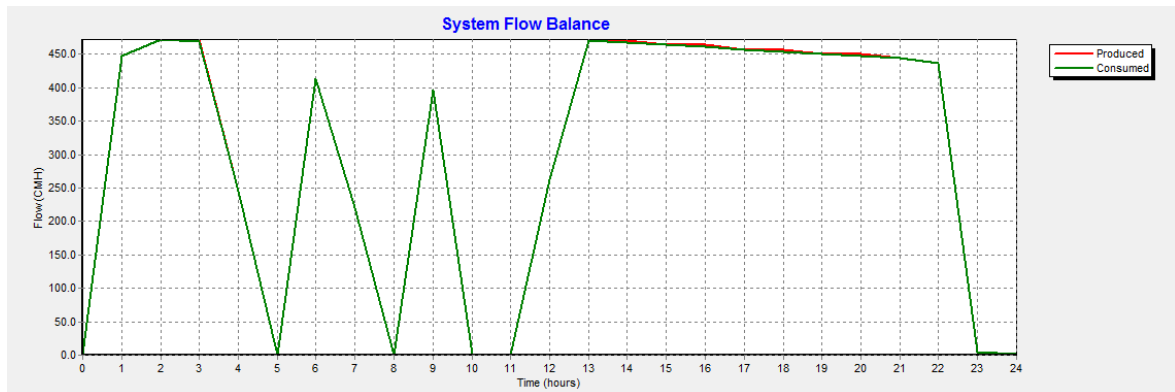


Figura 80 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

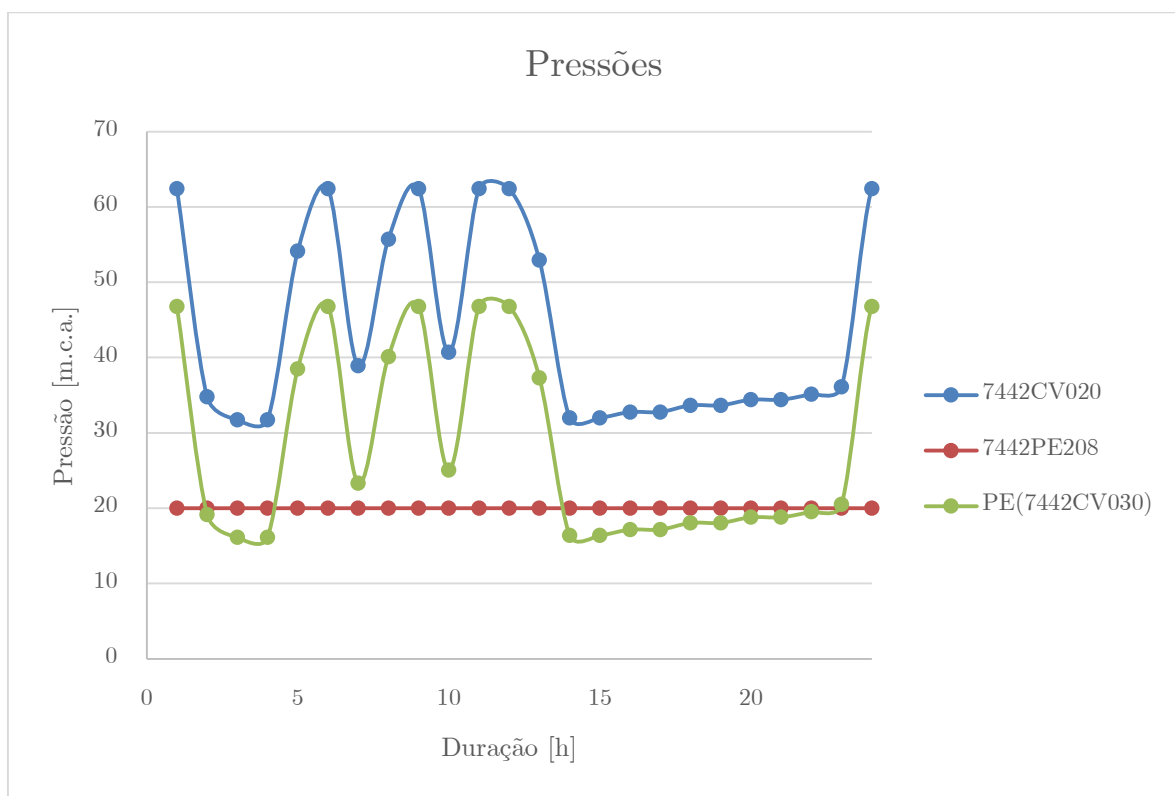


Gráfico 22 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

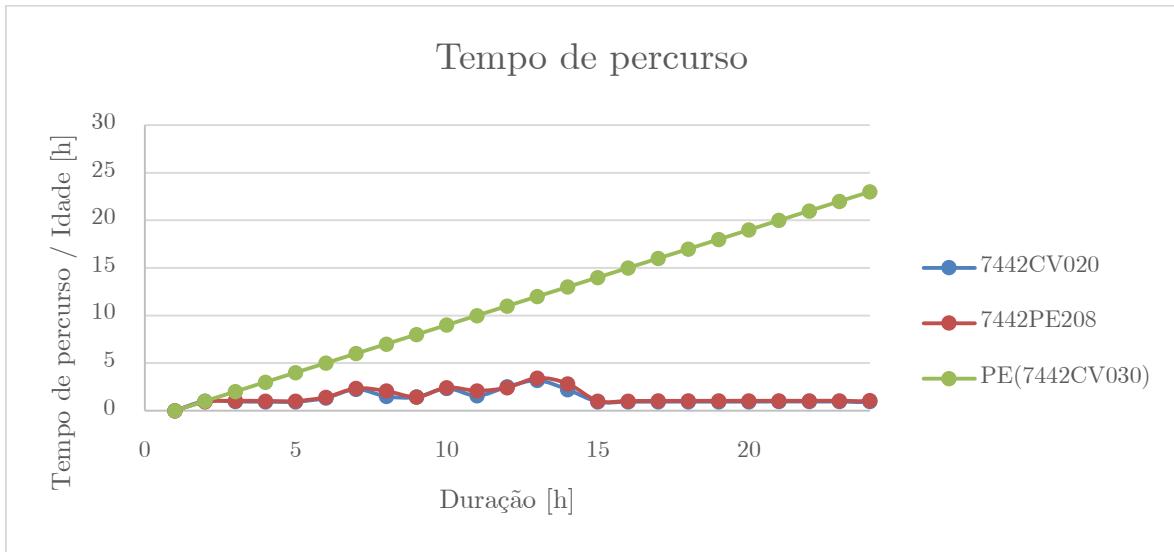


Gráfico 23 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 80 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 22 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 23 estão presentes os tempos de percurso da água. Como é possível analisar existem pontos onde o valor é crescente. Isto deve-se ao facto de não existirem consumos para o período em causa, logo a água estará, teoricamente, parada até que estes existam. É também de referir que quanto menor o consumo, menor o caudal, que por sua vez diminui a velocidade e conseqüentemente aumenta o tempo de percurso.

7381

O reservatório 7381 é responsável pelo abastecimento dos pontos 7354PE755, 7355PE760 e 7355PE762.

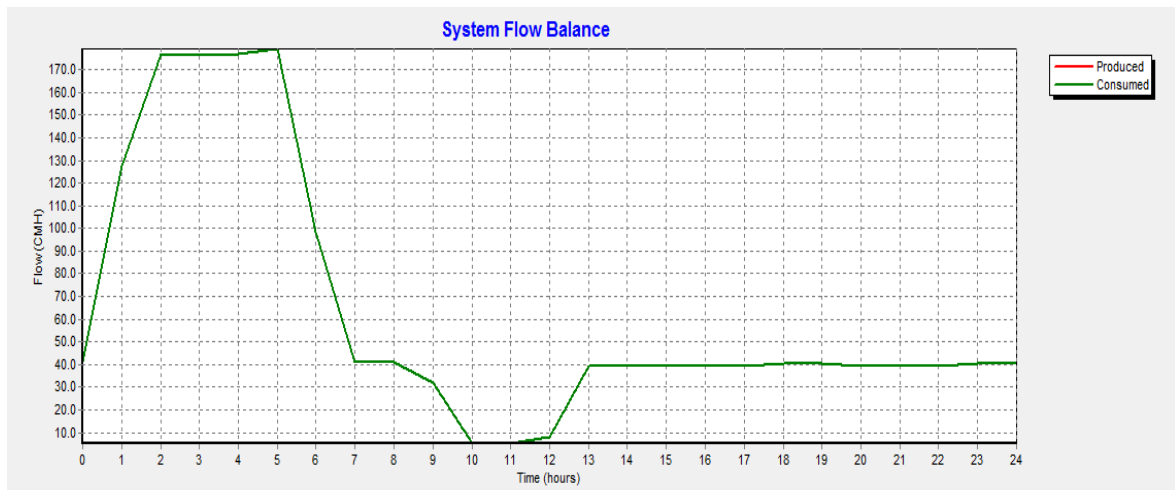


Figura 81 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

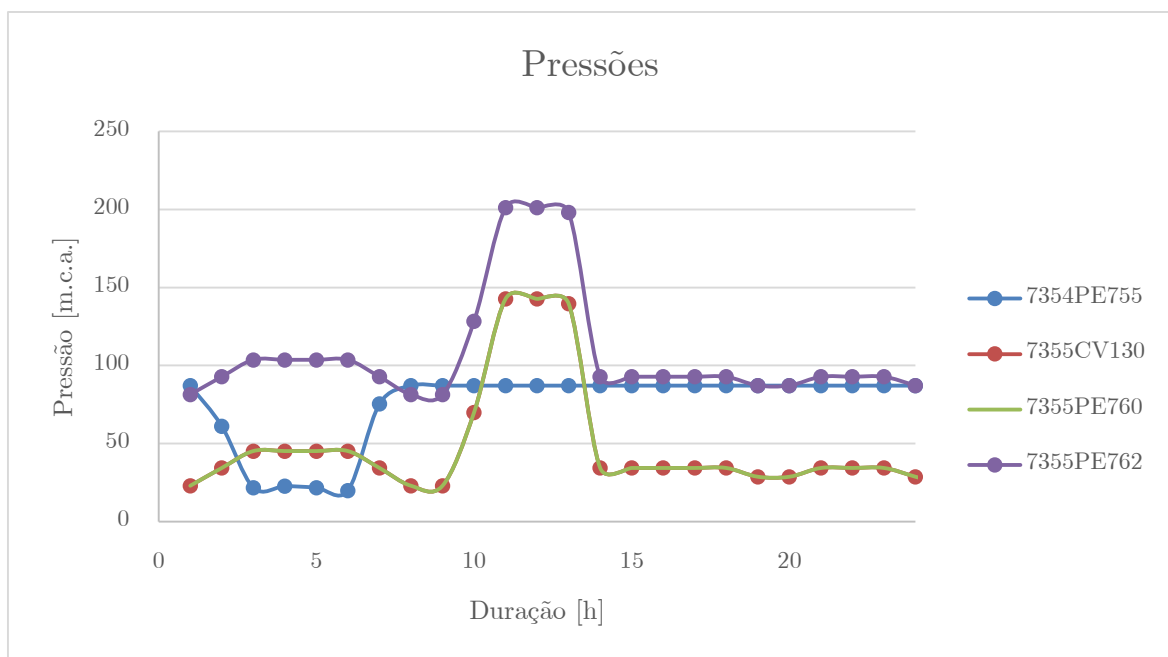


Gráfico 24 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

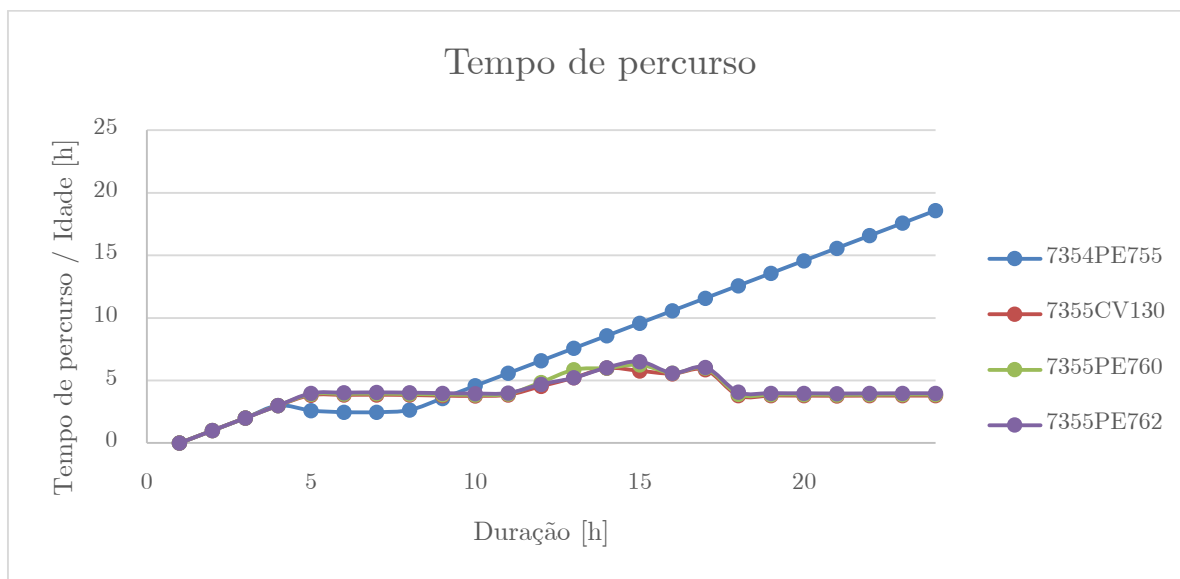


Gráfico 25 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 81 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 24 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 25 estão presentes os tempos de percurso da água. Como é possível analisar existem pontos onde o valor é crescente. Isto deve-se ao facto de não existirem consumos para o período em causa, logo a água estará, teoricamente, parada até que estes existam. É também de referir que quanto menor o consumo, menor o caudal, que por sua vez diminui a velocidade e consequentemente aumenta o tempo de percurso.

7291

Os pontos de entrega abastecidos por este reservatório são os seguintes: 7291PE682, 7345PE700, 7348PE725, 7349PE730, 7440PE722 e o reservatório 7480.

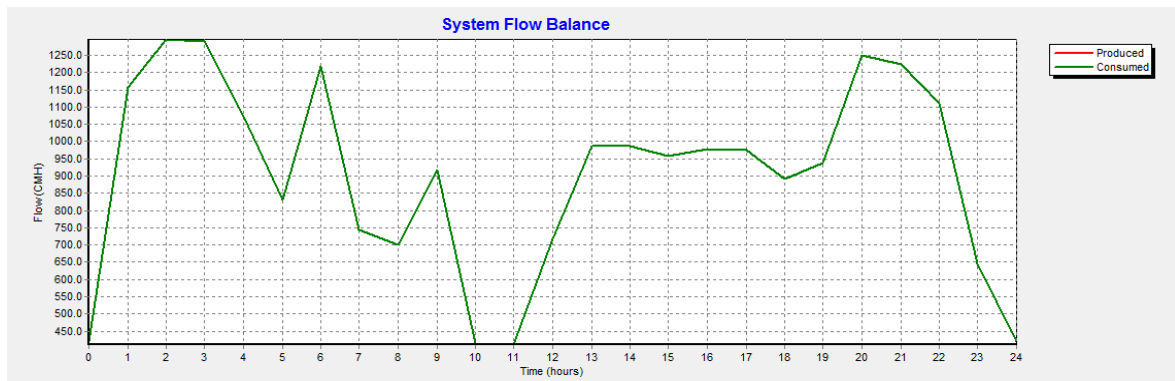


Figura 82 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

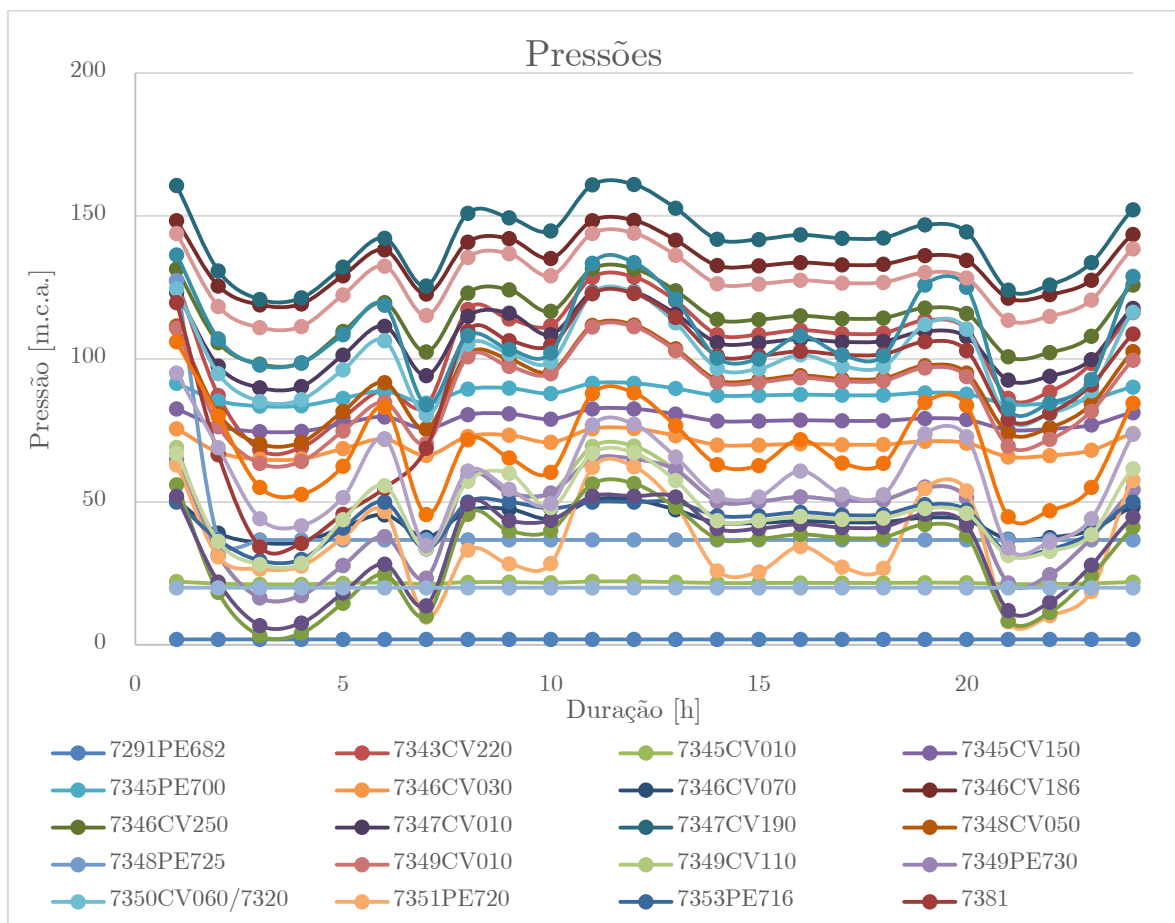


Gráfico 26 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

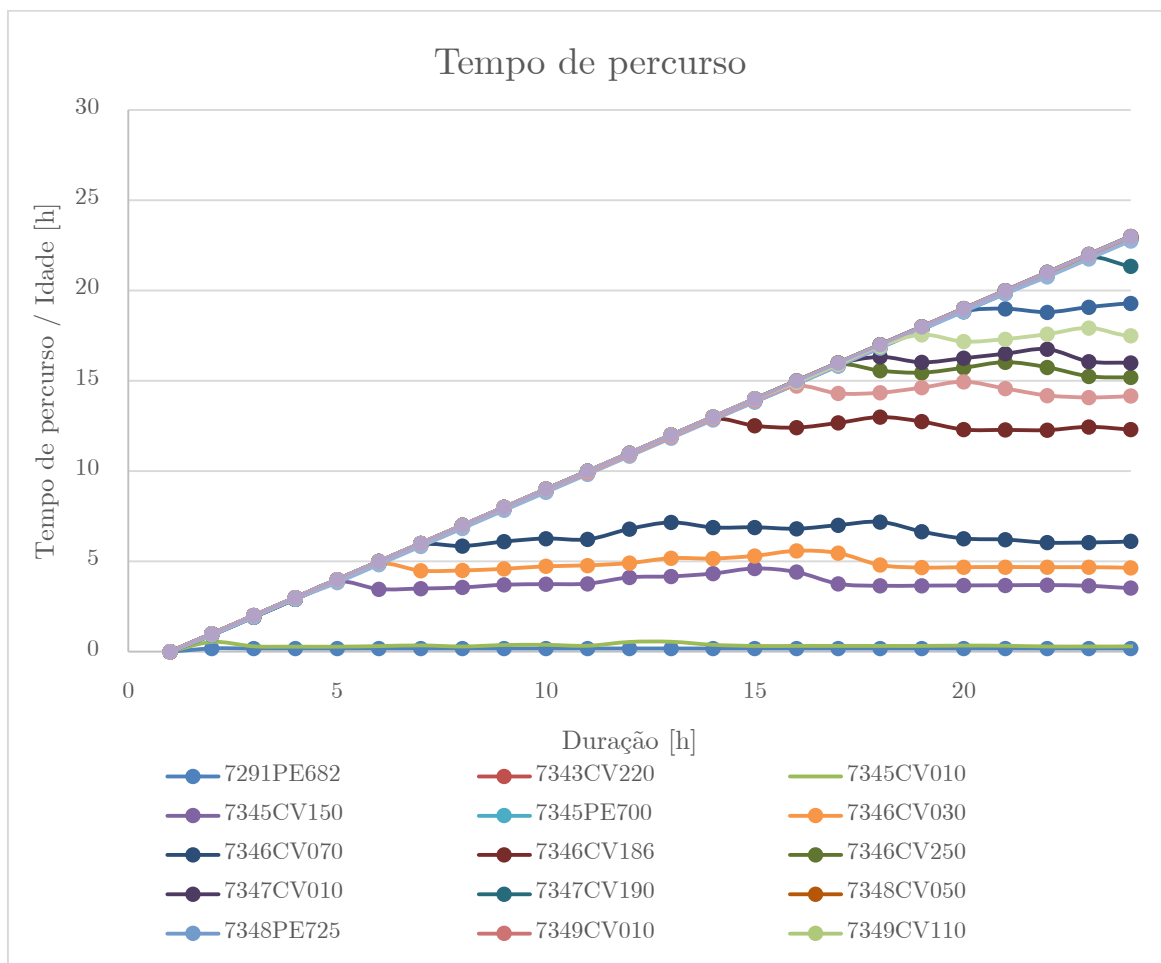


Gráfico 27 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 82 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 26 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 27 estão presentes os tempos de percurso da água. Como é possível analisar existem pontos onde o valor é crescente. Isto deve-se ao facto de não existirem consumos para o período em causa, logo a água estará, teoricamente, parada até que estes existam. É também de referir que quanto menor o consumo, menor o caudal, que por sua vez diminui a velocidade e consequentemente aumenta o tempo de percurso.

7282

O reservatório em questão fornece água ao ponto 7144PE630 e ao reservatório 7291.

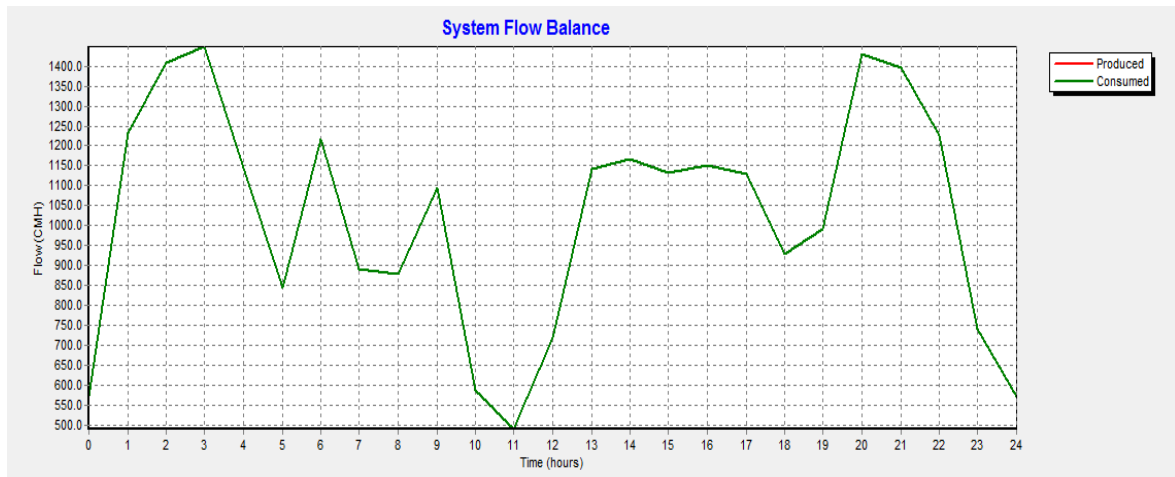


Figura 83 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

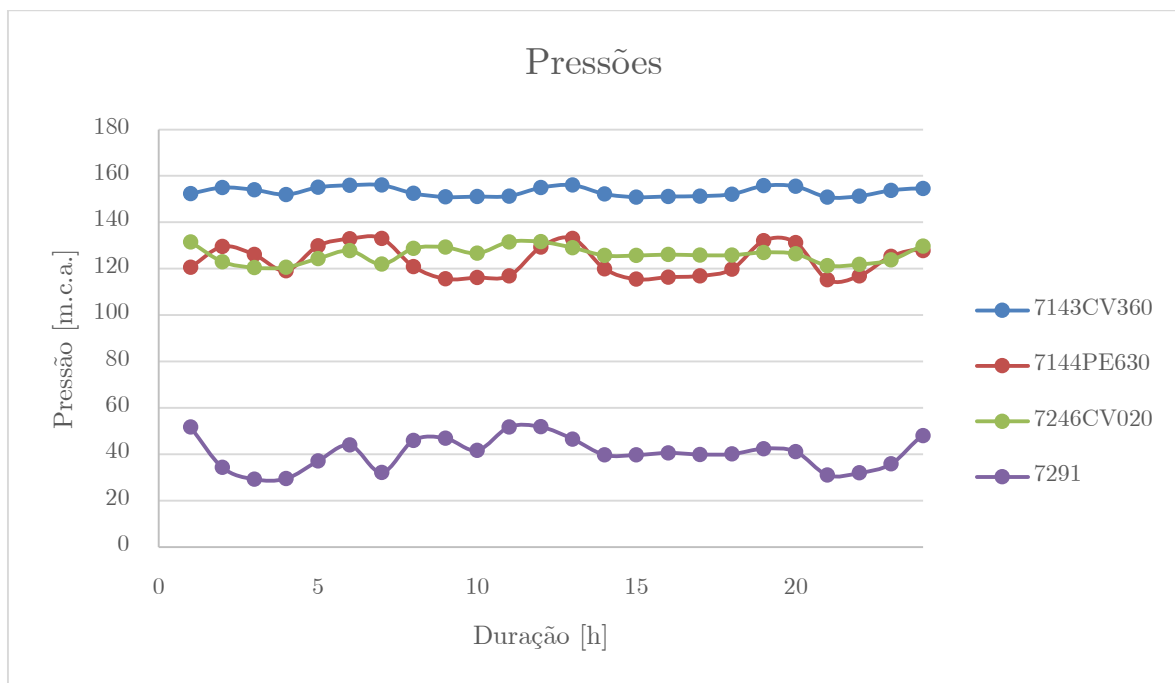


Gráfico 28 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

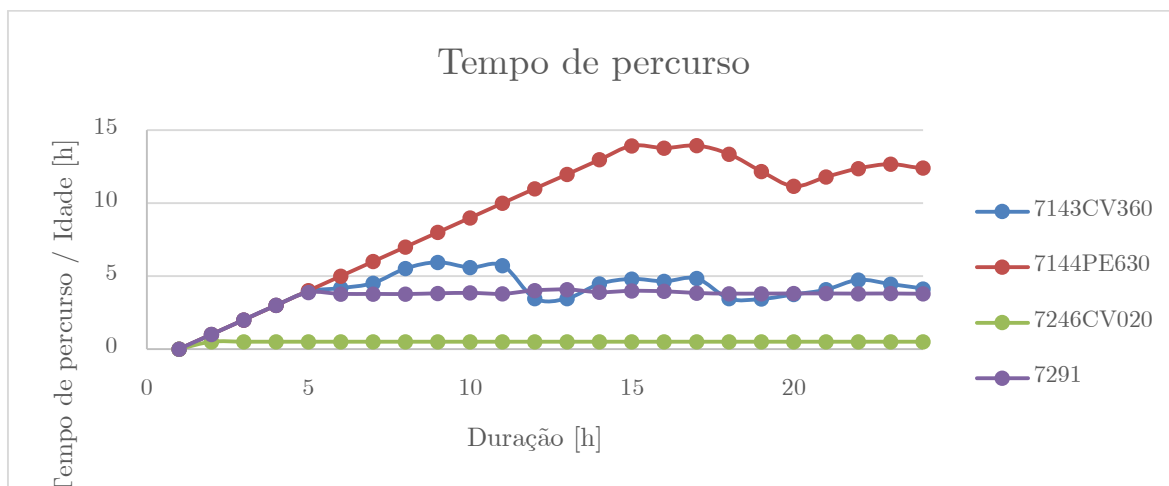


Gráfico 29 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 83 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 28 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 29 estão presentes os tempos de percurso da água.

6262-7282

O ponto 6262 representa uma conduta proveniente de Lever que vai abastecer a parte norte da rede. Neste minimodelo o ponto de entrega corresponde ao reservatório 7282 que por sua vez irá abastecer outros pontos.

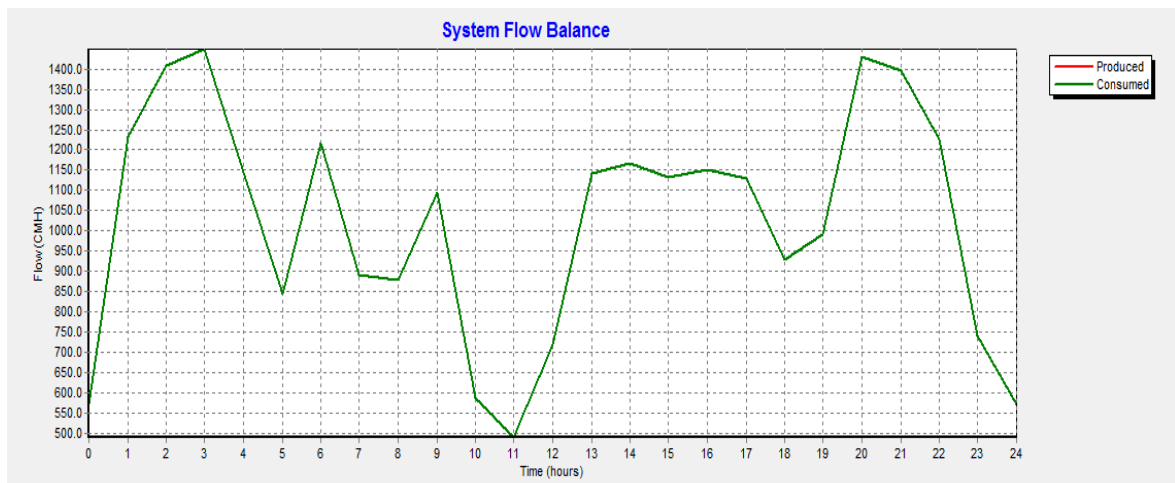


Figura 84 – Gráfico de balanço de fluxo no sistema

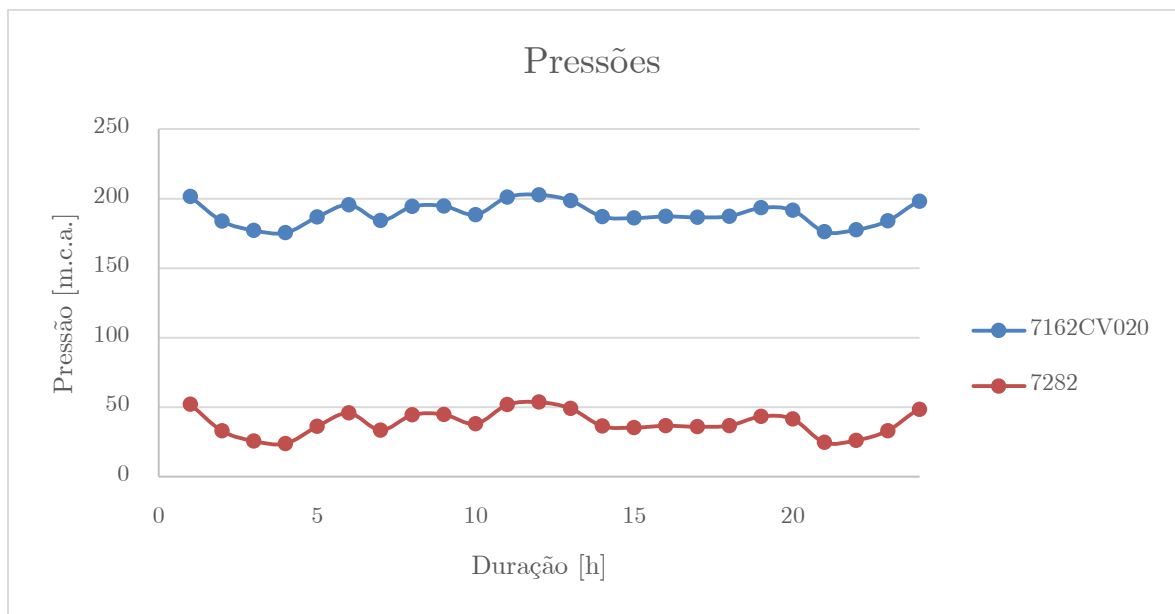


Gráfico 30 – Pressões nos pontos de entrega do modelo

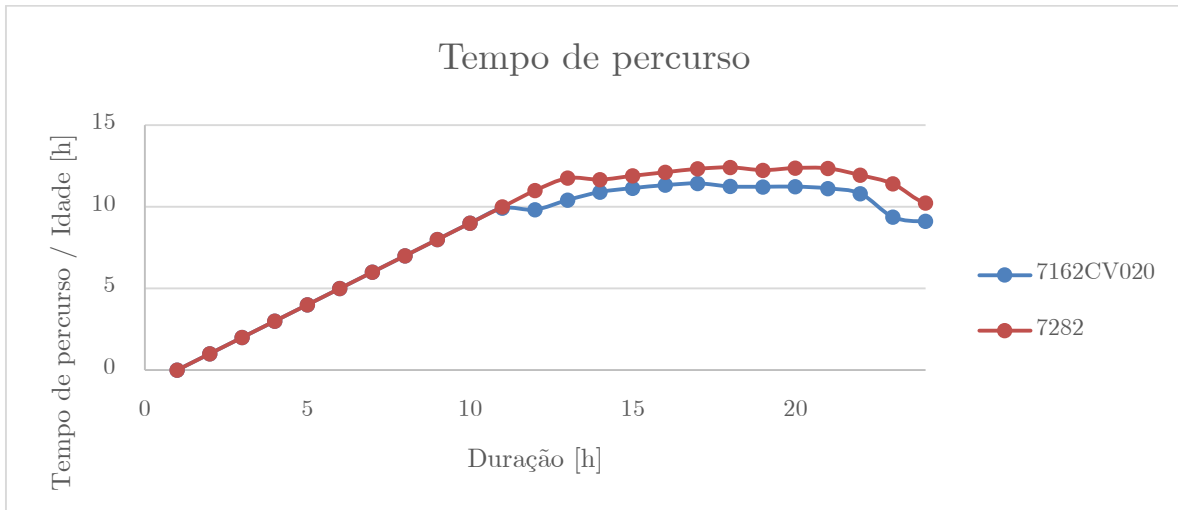


Gráfico 31 – Tempos de percurso da água nos pontos de entrega do modelo

Da análise da Figura 84 conclui-se que a água que sai do sistema é sensivelmente igual à que entra.

Como se pode verificar no Gráfico 30 não existem problemas de pressão, tendo todas elas valores positivos.

No Gráfico 31 estão presentes os tempos de percurso da água. Como é possível analisar existem pontos onde o valor é crescente. Isto deve-se ao facto de não existirem consumos para o período em causa, logo a água estará, teoricamente, parada até que estes existam. É também de referir que quanto menor o consumo, menor o caudal, que por sua vez diminui a velocidade e conseqüentemente aumenta o tempo de percurso.

VIII. Modelo alternativo

Este modelo surge como alternativa ao modelo calibrado, tornando a sua computação mais rápida, dispensando a inserção e alteração de regras no modelo. A grande diferença entre os dois modelos é que neste (alternativo) não existem reservatórios intermédios, estando os caudais a montante e a jusante dos reservatórios equilibrados.

Na Figura 85 é apresentada a comparação entre o resultado obtido numa rede onde existem dois reservatórios interligados sem uma válvula controladora de caudal. Consequentemente, não existem regras a definir nas válvulas e o reservatório intermédio é substituído por dois pontos ligados por uma válvula redutora de pressão, com definição de redução de pressão para o valor de 0 m.c.a.

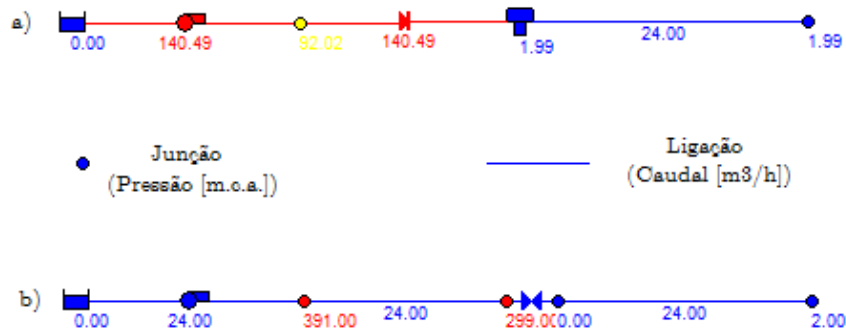


Figura 85 – Comparação de resultados entre dois modelos semelhantes: a) com reservatório intermédio, b) com válvula redutora de pressão.

Apesar dos modelos parecerem diferentes, a única alteração que existe de um para o outro é a substituição do reservatório intermédio por dois pontos ligados por uma válvula redutora de pressão.

Em relação aos resultados, verifica-se uma diferença de valor a jusante da bomba, sendo os restantes valores próximos uns dos outros. Isto deve-se ao seguinte facto, quando existe um reservatório a ser abastecido por uma bomba, o EPANET vai calcular o valor que melhor se adequa ao transporte de água. Nesta situação ao aumentar o caudal a energia será menor,

mas na realidade, se estes valores fossem verificados, significaria uma rotura de água do reservatório por falta de capacidade de armazenamento.

Assim sendo, esta alternativa (dois pontos ligados por uma válvula redutora de pressão) traduz uma solução viável para a modelação de redes mais complexas. Seguidamente são apresentados os resultados obtidos (Figura 86, Gráfico 32 e Gráfico 33).

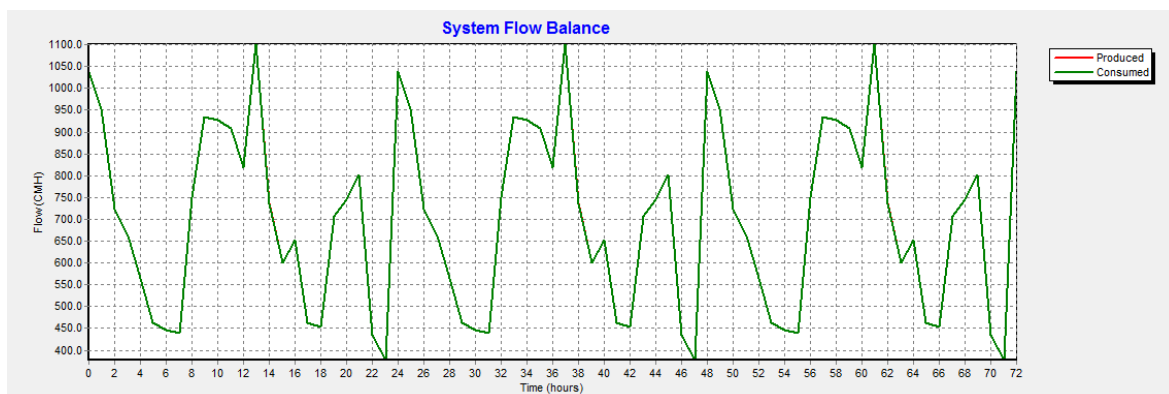


Figura 86 – Balanço de fluxo no sistema

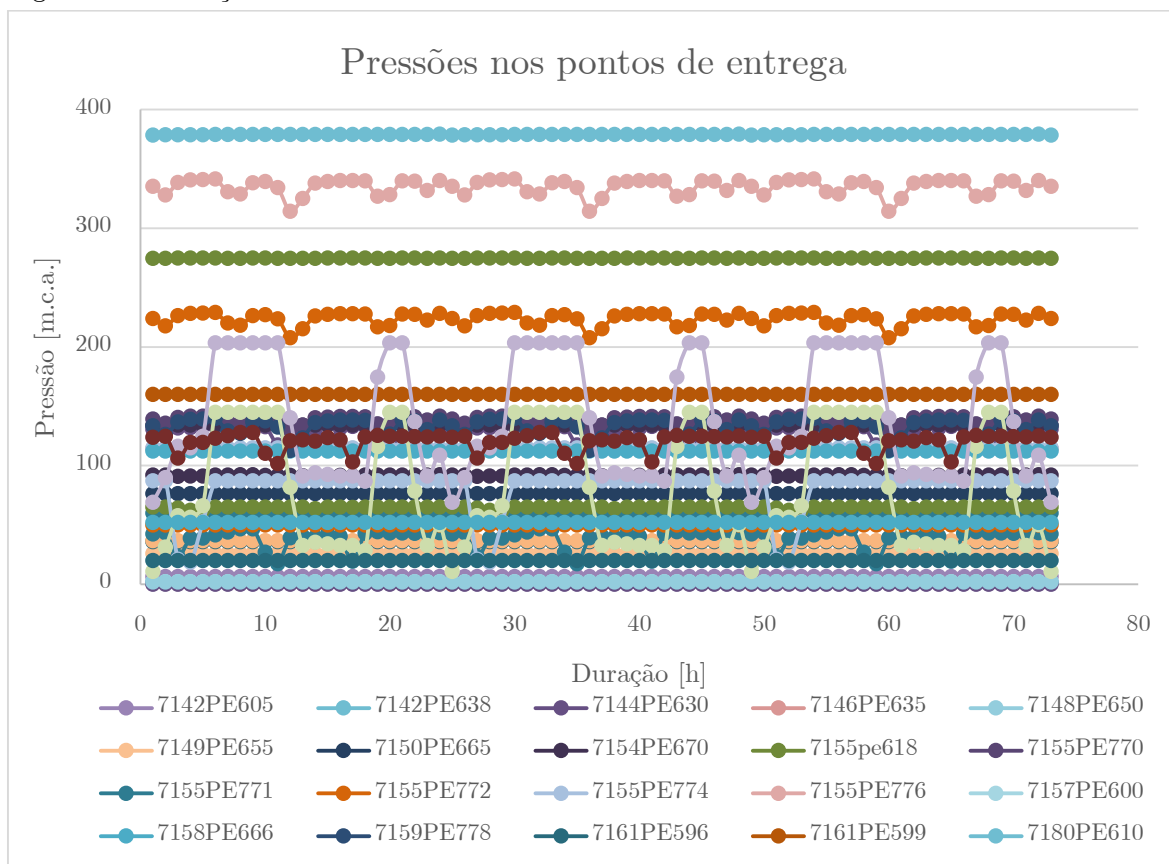


Gráfico 32 – Pressões nos pontos de entrega do modelo alternativo

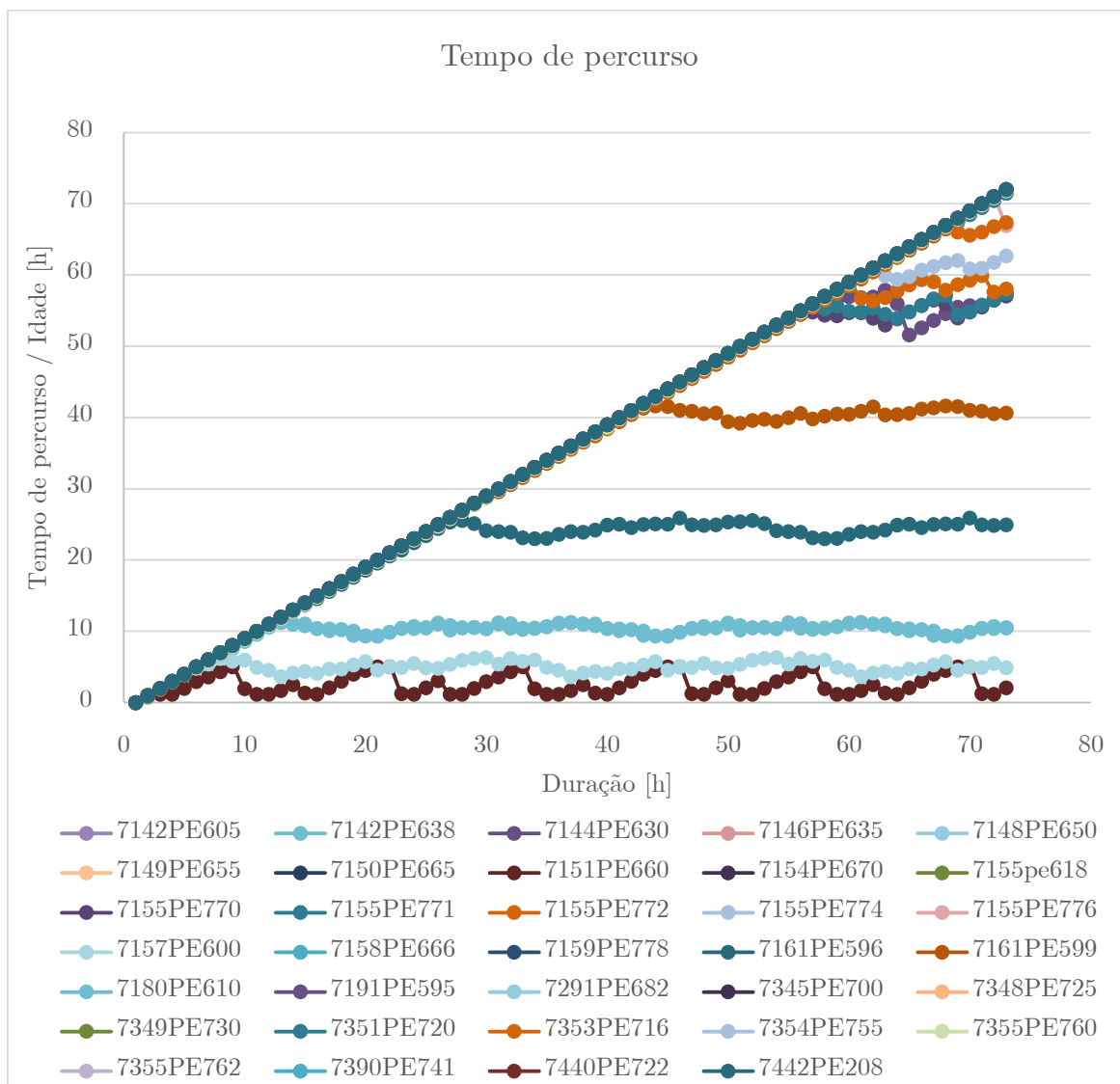


Gráfico 33 – Tempo de percurso da água no modelo alternativo

Comparando os dados desses gráficos anteriores com os resultados dos minimodelos é possível verificar que os valores são muito próximos, sendo alguns deles iguais.

Capítulo IV – Outros trabalhos realizados ao longo do estágio

Para além dos objetivos propostos inicialmente pelo plano de estágio, foi pedido a elaboração de mais um modelo de uma rede. Esta, de menores dimensões, apresenta um transporte de água efetuado de forma gravítica. Foi também elaborado um guia para retratar o processo de criação de modelos no EPANET, de forma a facilitar o uso do programa a novos utilizadores.

Estes objetivos extras foram realizados sem nunca descurar o trabalho principal uma vez que o tempo se revelou suficiente para a sua execução.

A realização de mais uma rede conduziu a uma maior prática de funcionamento no programa EPANET, tendo sido confirmados alguns dos conhecimentos obtidos, bem como a aquisição de novas matérias, sempre relacionados com o programa.

O guia corresponde a um documento de apoio a todo o processo que envolve a modelação em EPANET.

Ao longo do estágio ocorreram, ainda, duas apresentações concernentes ao ponto de situação do trabalho a desenvolver, apresentando-se também no CD em anexo.

I. Modelação Hidráulica de uma Conduta

Além do modelo da rede do Vale do Sousa, foi também pedida a elaboração de um modelo para uma conduta gravítica que liga um reservatório situado em Pedrouços até um ponto situado em Freixieiro. Neste caso o reservatório considerado foi um de nível fixo, sendo atribuído o valor da cota de soleira do reservatório de modo a simular o pior cenário possível. No relatório apresentado no CD em anexo, estão presentes os valores obtidos, bem como uma análise de vários cenários onde existe uma alteração dos consumos registados (Figura 87).

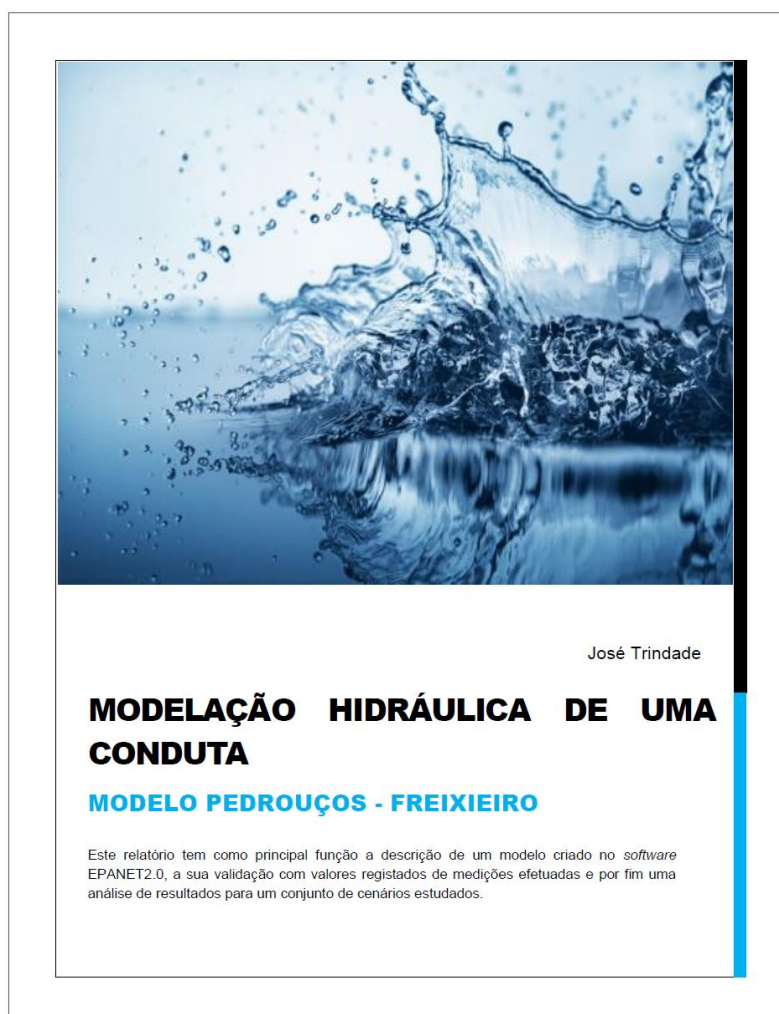


Figura 87 – Capa do relatório do modelo Pedrouços-Freixieiro

II. Elaboração de um guia para EPANET

A elaboração de um guia para EPANET, tal como já foi referido, teve como principal objetivo facilitar o uso do programa para novos utilizadores. Este é composto por várias imagens e tenta focar apenas os aspetos mais importantes de uma modelação. Durante a escrita do relatório tentou-se tornar o texto o mais claro possível, sempre com o apoio de imagens por forma a não originar dúvidas aquando da criação e análise de uma rede em EPANET.

Este é composto por um total de 101 páginas das quais 63 correspondem ao guia em si e o restante a anexos, sendo que estes são oriundos do manual em português do EPANET e indicam o modo de preenchimento dos vários campos num ficheiro INP.



Figura 88 – Capa do guia criado

Este guia é apresentado no CD em anexo.

III. Apresentações do ponto de situação

Nestas apresentações o objetivo principal foi mostrar como estava o processo de desenvolvimento do plano de trabalhos. Nelas existiu a necessidade de explicar os caminhos tomados, valores utilizados, e a apresentação de resultados obtidos.

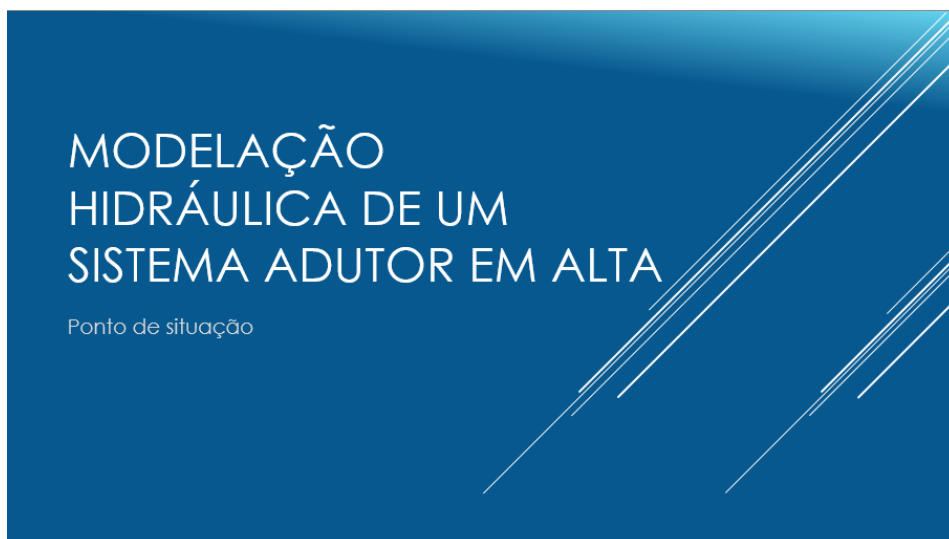


Figura 89 – Diapositivo de apresentação do ponto de situação



Figura 90 – Diapositivo de apresentação do Modelo Pedrouços - Freixieiro

Capítulo V – Conclusões e observações

Em relação a este capítulo, conclui-se que a realização deste estágio foi profícua em termos de aplicação e aquisição de conhecimentos. Adicionalmente, a ambientação e percepção do funcionamento de uma empresa acaba por ser uma experiência enriquecedora.

No plano de estágio, destacam-se dois pontos principais: em termos pessoais e profissionais.

Em termos da concretização dos objetivos detalham-se os seguintes pontos:

- Funcionamento com os programas;
- Resultados e funcionamento do modelo.

I. Funcionamento com os programas

Apesar de existir alguma experiência de trabalho com programas como o AutoCAD, o mesmo não sucedeu com o G/InterAqua e o EPANET. Assim sendo, os últimos levaram algum tempo até à aquisição de uma ambientação e confiança para realizar os trabalhos propostos.

Relativamente ao G/InterAqua foi possível observar-se que praticamente toda a informação nele existente podia ser exportada para um ficheiro INP para posterior abertura no EPANET.

Em relação ao EPANET, este é um programa de fácil manuseamento, permitindo a criação de modelos fiáveis de redes de abastecimento de água, desde que as capacidades do programa não sejam excedidas.

As conclusões que se podem retirar do modelo são as seguintes:

- O EPANET apresenta resultados próximos aos calculados por métodos académicos, devendo-se ao facto das fórmulas utilizadas serem semelhantes;
- A análise dinâmica de redes em EPANET é rápida e a calibração do modelo fácil de implementar;

- Apesar de existir um acréscimo de trabalho, deverá ser preferencial a criação de modelos mais pequenos de uma rede. Neste caso, para além do cálculo se tornar mais rápido, iriam aparecer menos erros e seria mais fácil o controlo dos valores.

II. Resultados e funcionamento do modelo

As conclusões que se podem retirar dos diferentes modelos são as seguintes:

- Modelo Vale do Sousa devidamente calibrado

Este modelo apesar de ser o mais correto em termos de representação real da rede, é muito pesado para o programa e torna o seu cálculo moroso. Os resultados obtidos, caso as regras e valores de controlo estejam bem inseridos para os valores de consumo a analisar, aproximam-se dos que são observados na realidade.

- Minimodelos

Nos minimodelos, como não existe a necessidade de colocação de restrições na rede, o cálculo é mais rápido, obtendo-se valores próximos dos reais, quer para valores de pressão, quer para valores de fluxo.

- Modelo alternativo

O modelo alternativo devolve valores de pressão próximos da realidade, sendo semelhantes aos outros modelos. Uma vez que não apresenta reservatórios intermédios, as simulações nele calculadas são rápidas e evitam o aparecimento de erros relacionados com o excesso de água na rede.

Em suma, as soluções alcançadas evidenciam um ajuste muito bom face a valores medidos, revelando que o programa pode reproduzir o sistema com bastante acuidade. É, por conseguinte, uma ferramenta útil, que permite uma gestão eficiente de um sistema existente e possibilita uma análise integrada aquando de novas solicitações/alterações.

Referências Bibliográficas

- [1] Apontamentos das formações da AdDP
<http://eformacao.addp.pt/>
(Consultado a 12 de fevereiro de 2014)
- [2] ARNALICH, Santiago, outubro 2011. Epanet and Development. How to calculate water networks by computer. First English Edition. Arnalich - water and habitat. 184 pp.
- [3] Código de Conduta e Ética. Águas de Portugal. 14 pp.
- [4] Consulta de dados da empresa na página oficial Águas do Douro e Paiva, S.A. In:
<http://www.addp.pt/pt/home.php>
(Consultado a 28 de fevereiro de 2014)
- [5] Consulta de regulamentos na página Diário da República Online. In:
<http://www.dre.pt/sug/1s/diplomas.asp>
(Consultado a 03 de março de 2014)
- [6] Definição de câmara de carga. In:
<http://www.eletrabras.com/>
(Consultado a 25 de junho de 2014)
- [7] Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, 2008-2013. In:
<http://www.priberam.pt/dlpo/>
(Consultado a 04 de julho de 2014)
- [8] ETC 1302 R16 SGI. 2012, Sistema de Gestão Integrada - Manual de Acolhimento. Porto: Águas do Douro e Paiva, S.A.. 36 pp.

- [9] MARQUES, J.A.A.S. & SOUSA, J.J.O., 2008. Hidráulica Urbana: Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais. Imprensa da Universidade de Coimbra. 450 pp.
- [10] METHODS, Haestad, 2003. ADVANCED WATER DISTRIBUTION MODELING AND MANAGEMENT. First Edition, Second Printing. HAESTAD PRESS, Waterbury, CT USA. 800 pp.
- [11] Ministério do Ambiente e Recursos Naturais - Cria a sociedade Águas do Douro e Paiva, S.A.. Decreto-Lei 116/95, de 29 de Maio.
- [12] Página da AQUASIS e G/InterAqua. In:
<http://www.aquasis.pt/pt/sistemas-de-informacao-geografica/solucao-g/interaqua>
(Consultado a 14 de fevereiro de 2014)
- [13] Página oficial EPANET. In:
<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>
(Consultado a 19 de dezembro de 2013)
- [14] ROSSMAN, Lewis A., 2000. EPANET 2 USERS MANUAL. Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati, OH 45268. 200 pp.

Anexos

Os anexos apresentados foram descritos no Capítulo IV e poderão ser consultados no CD em anexo.

Seguidamente apresenta-se a sua lista:

- Apresentações de ponto de situação
- Guia de EPANET
- Modelação Hidráulica de uma Conduta
- Notas breves (este ficheiro serve de apoio à interpretação de alguns gráficos e tabelas presentes neste documento).