

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS SIG PARA A OPTIMIZAÇÃO DE
SISTEMA ADUTOR COM RECURSO AO EPANET**

André Amaro de Carvalho Rego

Licenciado em Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais,
pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Dissertação submetida para satisfação parcial dos
requisitos do grau de mestre em
Engenharia do Ambiente (ramo Tratamento de Águas e Águas Residuais)**

Dissertação realizada sob a supervisão de
Professor Doutor Paulo Tenreiro dos Santos Monteiro,
do Departamento de Engenharia Civil
(Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente)
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

PORTO, MARÇO DE 2007

RESUMO

O presente trabalho pretende desenvolver um modelo de simulação hidráulica para apoio ao planeamento de sistemas de abastecimento de água, propondo-se uma metodologia de desenvolvimento com a aplicação em diversos cenários de exploração. O recurso a sistemas de informação geográfica (SIG) é considerado, neste estudo, como um instrumento de análise com elevado potencial para apoio à modelação hidráulica, recorrendo-se ao software EPANET, programa desenvolvido pela USEPA – United States Environmental Protection Agency.

A investigação na área de modelação hidráulica, suas funcionalidades e abordagem integrada do EPANET em ambientes SIG, permitiu a criação de um modelo adaptado à realidade de um caso de estudo. Para o efeito procedeu-se a uma detalhada análise e recolha de dados para caracterização do sistema adutor, introdução de bases de dados com as características hidráulicas, parâmetros de qualidade da água e descrição do funcionamento do sistema de abastecimento.

A base de desenvolvimento do modelo foi criada numa plataforma SIG que permite a integração dos dados, nomeadamente mapas, tabelas de dados e gráficos, utilizando o software ESRI ArcView GIS e uma extensão deste programa designada por “DC Water Design Extension” desenvolvida por “Dorsch Group – DC Water and Environment” de modo a permitir a integração dos dados com o software de modelação hidráulica “EPANET 2.00”.

A utilização da modelação matemática do sistema permite visualizar o comportamento da rede com as suas variações de caudal, pressão, qualidade da água e outros parâmetros, em todos os pontos do sistema, durante um intervalo de tempo definido. A análise do sistema adutor efectua-se com base na perspectiva de optimização do sistema de abastecimento ao nível do seu desempenho e fiabilidade para os diferentes cenários em estudo.

O modelo desenvolvido constitui um instrumento de avaliação e apoio à tomada de decisão para que, de uma forma rápida e eficaz, se possa analisar e prever o comportamento de um sistema de abastecimento de água, para as mais diversas condições operacionais, decorrentes das necessidades actuais e futuras, sem ser necessário interferir directamente com o sistema em causa. A complexidade usualmente associada aos sistemas de abastecimento mais do que justificam o esforço de desenvolver uma ferramenta que poderá trazer múltiplos benefícios em quase todas as áreas da gestão técnica dos sistemas.

ABSTRACT

The current investigation intends to develop a hydraulic model simulation in order to support water distribution systems, proposing a methodology of development with application to multiple exploration scenarios. The use of geographic information systems (GIS) is considered in this study as an analysis instrument with high potential to support hydraulic modelling, particularly the EPANET software, developed by USEPA – United States Environmental Protection Agency.

Hydraulic modelling is therefore investigated, in terms of functionalities and particularly in terms of an integrated approach to EPANET with GIS environment, to develop a model well-suited to the case study. For that purpose there was a need of detailed analysis and data collection to characterize the water distribution system, completion of databases with the hydraulic features, water quality parameters and operational descriptions.

The developed model was based on a GIS platform to allow data integration, such as maps, data tables and graphics, using the ESRI ArcView GIS software with the “DC Water Design Extension” developed by “Dorsch Group – DC Water and Environment” to permit the connection of different sources of information to the hydraulic model “EPANET 2.00”.

Mathematical modelling usage allows the visualization and analysis to the network performance, with several indicators such as flow, pressure, water quality and other parameters, in all points of the network during a defined time period. The water distribution systems considered in the case study is analysed within an optimization approach to its performance and reliability for different studied scenarios.

The developed model is an instrument that supports the decision making process and evaluates the performance of water distribution systems, in a quick and reliable manner. It can also simulate the most different operational conditions in order to achieve the actual and future needs, without having to intervene directly in the network. The usual complexity associated to water distribution systems more than justifies the effort to develop such a tool that brings multiple benefits into the systems technical management.

AGRADECIMENTOS

Desejo agradecer a todas as pessoas que, directa ou indirectamente, contribuíram para a realização desta tese de mestrado, em especial ao meu orientador Professor Doutor Paulo Monteiro pelo seu apoio e incentivo para o desenvolvimento deste trabalho na área fascinante da modelação de sistemas de abastecimento de água.

De igual modo, gostaria de retribuir ao Professor Doutor Tentúgal Valente pelo empenho e auxílio em todas as orientações e sugestões de caminhos a seguir em toda esta tarefa. Em particular, à administração da empresa Águas do Minho e Lima, S.A. pela disponibilidade na aplicação do modelo de dados a um caso prático de estudo. Ao Eng. José Couto Lopes e ao Eng. Augusto Silva Dias pelo apoio e compreensão demonstrados durante a evolução da presente investigação.

Ao Professor Doutor Sérgio Teixeira Coelho, pela ajuda e disponibilidade na partilha de conhecimentos sobre modelação hidráulica e de qualidade da água, bem como na troca de ideias e opiniões relativas ao sistema estudado na tese.

Aos meus pais, pela vida e apoio incondicional. Ao meu irmão, pela amizade e incentivo. Aos meus amigos e colegas de trabalho pela paciência e atenção em ouvir-me, e pela ajuda em renovar a energia e entusiasmo.

ÍNDICE DO TEXTO

1	Introdução.....	11
1.1	Sistema de Abastecimento de Água	11
1.2	Sistema de Informação Geográfica	14
1.2.1	Princípios	15
1.2.2	Modelo Conceptual.....	16
1.2.3	Dados do Modelo	17
1.3	Modelação Matemática	19
1.3.1	Seleção de Modelos	19
1.3.2	Caracterização de Modelos.....	20
1.3.3	Modelo Seleccionado	24
2	Caracterização do Caso de Estudo	26
2.1	Captação de Touvedo	26
2.2	ETA	28
2.3	Reservatório de Água Tratada	30
2.4	Condutas Adutoras.....	30
2.5	Estações Elevatórias.....	32
2.6	Reservatórios	34
3	Metodologia / Simulação	37
3.1	Planeamento do Modelo	39
3.2	Construção do Modelo	44
3.2.1	Descrição Física do Sistema	45
3.2.1.1	Condutas	45
3.2.1.2	Reservatórios.....	48
3.2.1.3	Reservatório de Nível Fixo	48
3.2.1.4	Reservatórios de Nível Variável	50
3.2.1.5	Nós	52
3.2.1.6	Válvulas	55
3.2.1.7	Estações Elevatórias	57
3.2.2	Consumos	58
3.2.3	Controlo Operacional.....	62
3.2.4	Qualidade da Água.....	62
3.2.5	Tempos.....	64
3.3	Implementação da Solução-Base	64

4	Resultados	68
4.1	Verificação do Modelo	68
4.1.1	Identificação de Anomalias de Funcionamento do Modelo	69
4.1.2	Análise e Correção Através de Processo Iterativo	71
4.2	Exploração do Modelo	73
4.2.1	Análise Hidráulica	73
4.2.1.1	Indicadores de Caudal	76
4.2.1.2	Indicadores de Pressão	78
4.2.1.3	Indicadores de Perda de Carga	84
4.2.1.4	Indicadores de Velocidade de Escoamento	86
4.2.2	Análise da Qualidade da Água	87
4.2.2.1	Tempo de Percorso	87
4.2.2.2	Cloro Residual	89
4.3	Potencialidades do Modelo	93
5	Conclusões	95
	Bibliografia	98
	Anexo A – Planta Geral do Sistema de Abastecimento de Água	105
	Anexo B – Dados do Modelo – Epanet Themes	107
	Anexo C – Dados do Modelo – Epanet Tables	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica do sistema multimunicipal	12
Figura 2 – Tems de informação	15
Figura 3 – Hierarquia da informação.....	16
Figura 4 – Conduta de aspiração, poço de aspiração e estação elevatória da captação de Touvedo.....	26
Figura 5 – Localização da captação de Touvedo	27
Figura 6 – Planta de implantação da ETA	28
Figura 7 – Linha de tratamento da ETA	29
Figura 8 – Planta da estação elevatória de Vila Chã	33
Figura 9 – Corte da estação elevatória de Vila Chã	33
Figura 10 – Integração de dados no ambiente SIG / EPANET	39
Figura 11 – Modelo de dados do programa DC Water Design Extension	40
Figura 12 – Localização dos troços de tubagem	47
Figura 13 – Localização do reservatório de nível fixo (origem de água).....	49
Figura 14 – Localização dos reservatórios de nível variavel.....	51
Figura 15 – Localização dos nós ao longo do sistema adutor	53
Figura 16 – Nós representativos dos pontos de consumo associados aos reservatórios	54
Figura 17 – Nós representativos da ETA de S. Jorge (qualidade inicial da água).....	54
Figura 18 – Conjunto de válvulas associadas aos reservatórios	55
Figura 19 – Localização da válvula redutora de pressão (PRV).	56
Figura 20 – Localização das estações elevatórias (Captação e EE de Vila Chã)	57
Figura 21 – Definição do ponto de funcionamento de uma instalação onde a central de	58
Figura 22 – Padrão de consumo adimensional (PC1) para zonas rurais em 24 horas	61
Figura 23 – Padrão de consumo adimensional (PC2) para zonas urbanas em 24 horas	61
Figura 24 – Determinação da constante cinética de decaimento de Cloro– $K_{seio\ água}$	63
Figura 25 – Caixa de diálogo referente aos temas utilizados no modelo “Epanet Themes”	65
Figura 26 – Caixa de diálogo para as tabelas associadas ao modelo “Epanet Tables”	65
Figura 27 – Menu da aplicação “DC Water Design Extension”.....	66
Figura 28 – Relatório sumário do modelo epanet criado	67
Figura 29 – Representação esquemática da entrada e saída de água nos reservatórios.....	70
Figura 30 – Gráfico de isolinhas de topologia do terreno	74
Figura 31 – Representação dos diâmetros de conduta	75
Figura 32 – Balanço de caudal na rede em função do tempo	76
Figura 33 – Caudais aduzidos ao sistema pela conduta adutora principal (T_ARV_083).....	77
Figura 34 – Distribuição de caudais pelo sistema adutor no período de maiores consumos.	77
Figura 35 – Representação gráfica de isolinhas de pressão às 4h00m do dia 4	78
Figura 36 – Representação do perfil longitudinal da conduta adutora principal e da linha de energia para diversos instantes da simulação (t=0:00h, t=76:00h, t=88:30h).....	79

Figura 37 – Pressão no nó N_VCT_115 durante o período simulado	80
Figura 38 – Períodos críticos de pressão mínima no nó TCV_VCT_10	82
Figura 39 – Redução de caudal no abastecimento ao reservatório RNV_VCT_10.....	82
Figura 40 – Nível de água no reservatório RNV_VCT_10 no período simulado	82
Figura 41 – Nível de água no reservatório RNV_CMN_01 no período simulado	83
Figura 42 – Nível de água no reservatório de orgiem RNV_ARV_01 no período simulado	83
Figura 43 – Representação da perda de carga unitária nas condutas para a hora de maior consumo	84
Figura 44 – Velocidade de escoamento para o caudal de ponta (t=88.30)	86
Figura 45 – Gráfico de isolinhas relativo aos tempos de percurso da água	87
Figura 46 – Gráfico temporal do tempo de percurso para o nó NC_CMN_07	87
Figura 47 – Representação esquemática da entrada de água nos reservatórios, adaptação para a modelação da qualidade da água.....	88
Figura 48 – Evolução sequencial do cloro residual livre na rede	90
Figura 49 – Cloro residual livre para o cenário do ano horizonte de projecto com Qmd=500 l/s	91
Figura 50 – Cloro residual livre para o cenário de anos iniciais da exploração com Qmd=375 l/s.....	91
Figura 51 – Local seleccionado para o ponto de rechloragem.	92

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Populações consideradas no sistema em estudo	13
Tabela 2 – Necessidades de água correspondentes	13
Tabela 3 – Subdivisão dos dados de exploração	18
Tabela 4 – Quadro comparativo de modelos aplicáveis na simulação de sistemas de abastecimento de água	21
Tabela 5 – Caracterização dos reservatórios do Sistema de S. Jorge	35
Tabela 6 – Principais grandezas consideradas na modelação	41
Tabela 7 – Nomenclatura para a localização geográfica	42
Tabela 8 – Convenções de nomenclatura para os nós e troços da rede	42
Tabela 9 – Convenções de nomenclatura para os reservatórios e captação da rede	43
Tabela 10 – Convenções de nomenclatura para as válvulas e grupos elevatórios da rede	43
Tabela 11 – Modelo EPANET e sumário dos dados necessários para a simulação	44
Tabela 12 – Nós de consumo e respectiva caracterização	59
Tabela 13 – Cotas topográficas nos nós (pontos notáveis do sistema)	74
Tabela 14 – Dados estatísticos das cotas topográficas nos nós	74
Tabela 15 – Listagem resumo de diâmetros e extensão das condutas	75
Tabela 16 – Pressões máximas verificadas no sistema adutor para $t > 160$	80
Tabela 17 – Pressões mínimas verificadas no sistema adutor para $t > 120$	81
Tabela 18 – Condutas com maior valor de perda de carga na estrutura principal do sistema adutor	85
Tabela 19 – Tempos de percurso a montante e jusante dos reservatórios	88
Tabela 20 – Concentrações de cloro residual livre no sistema adutor a montante dos reservatórios	92
Tabela B.21 – Propriedades do troços e resultados da modelação no instante $t:355$	107
Tabela B.22 – Propriedade do reservatório de nível fixo e resultados da modelação no instante $t:355$	121
Tabela B.23 – Propriedades dos reservatórios de nível variável e resultados da modelação no instante $t:355$	122
Tabela B.24 – Propriedades dos nós e resultados da modelação no instante $t:355$	123
Tabela B.25 – Propriedades das válvulas e resultados da modelação no instante $t:355$	130
Tabela B.26 – Propriedades das estações elevatórias e resultados da modelação no instante $t:355$	131
Tabela C.27 – Curvas características das bombas	132
Tabela C.28 – Padrões de consumo adimensionais, PC1 e PC2	132
Tabela C.29 – Opções da simulação	133
Tabela C.30 – Tempos da simulação	133
Tabela C.31 – Relatório da simulação	133
Tabela C.32 – Controlos operacionais	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AdML	Águas do Minho e Lima, S.A.
CAD	Computer-aided desing (desenho ou projecto apoiado em computador)
CV	Check valve (válvula de seccionamento)
DN	Diâmetro nominal
EE	Estação elevatória
ETA	Estação de tratamento de água
FCV	Flow control valve (válvula reguladora de caudal)
FFD	Ferro fundido dúctil
NC	Nó de consumo
NMC	Nível de máxima cheia
NME	Nível mínimo de exploração
NPA	Nível de pleno armazenamento
PC	Padrão de consumo
PE	Ponto de entrega
PRV	Pressure reducing valve (válvula redutora de pressão)
PSV	Pressure sustaining valve (válvula de alivio)
Qmd	Caudal médio diário
Qmda	Caudal médio diário anual
Qmmc	Caudal do mês de maior consumo
RNF	Reservatório de nível fixo
RNV	Reservatório de nível variável
SCADA	Supervisory control and data acquisition
SIG	Sistema de informação geográfica
TCV	Throttle control valve (válvula de borboleta)
USEPA	United States Environmental Protection Agency

1 INTRODUÇÃO

A utilização de modelos matemáticos de simulação de sistemas de abastecimento de água constitui uma ferramenta essencial para dimensionamento, análise e diagnóstico, quer de características hidráulicas, quer de parâmetros de qualidade da água.

No presente estudo, descrevem-se os principais aspectos referentes à modelação matemática de um caso concreto de um sistema de abastecimento de água. Indicam-se as principais características do sistema adutor analisado e descreve-se a metodologia de implementação de um modelo de simulação hidráulica recorrendo-se ao programa EPANET, que constituiu o modelo de simulação base, utilizado na presente investigação.

É efectuada uma abordagem sobre a utilização do modelo de simulação hidráulica na vertente do planeamento e apoio ao projecto de sistemas de abastecimento de água, propondo-se uma metodologia de desenvolvimento com a aplicação do modelo em diversos cenários para posterior análise dos resultados.

O objectivo desta investigação reside numa análise ao sistema adutor na perspectiva de optimização do sistema de abastecimento ao nível do seu desempenho e fiabilidade, no que se refere à análise hidráulica recorrendo aos indicadores de caudal, pressão, perda de carga e velocidade de escoamento, e no que se refere à análise da qualidade da água através dos tempos de percurso e decaimento de cloro residual na rede. Com base nestas considerações é possível definir um conjunto de potencialidades dos modelos de simulação hidráulica.

1.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A Águas do Minho e Lima, S.A. (AdML) foi constituída em Julho de 2000 com a responsabilidade de construir, explorar e gerir o Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Minho-Lima, um projecto desenvolvido pela Águas de Portugal e pelas Câmaras Municipais integradas no sistema, ver figura 1.

Potenciando a gestão sustentada e a optimização de soluções relativas ao abastecimento de água e saneamento, a actividade da AdML contribui para melhorar a qualidade ambiental e de vida das populações do Minho e Lima e para o desenvolvimento sócio-económico da região, sendo de realçar o seu contributo para a resolução da poluição industrial e para a melhoria dos ecossistemas.

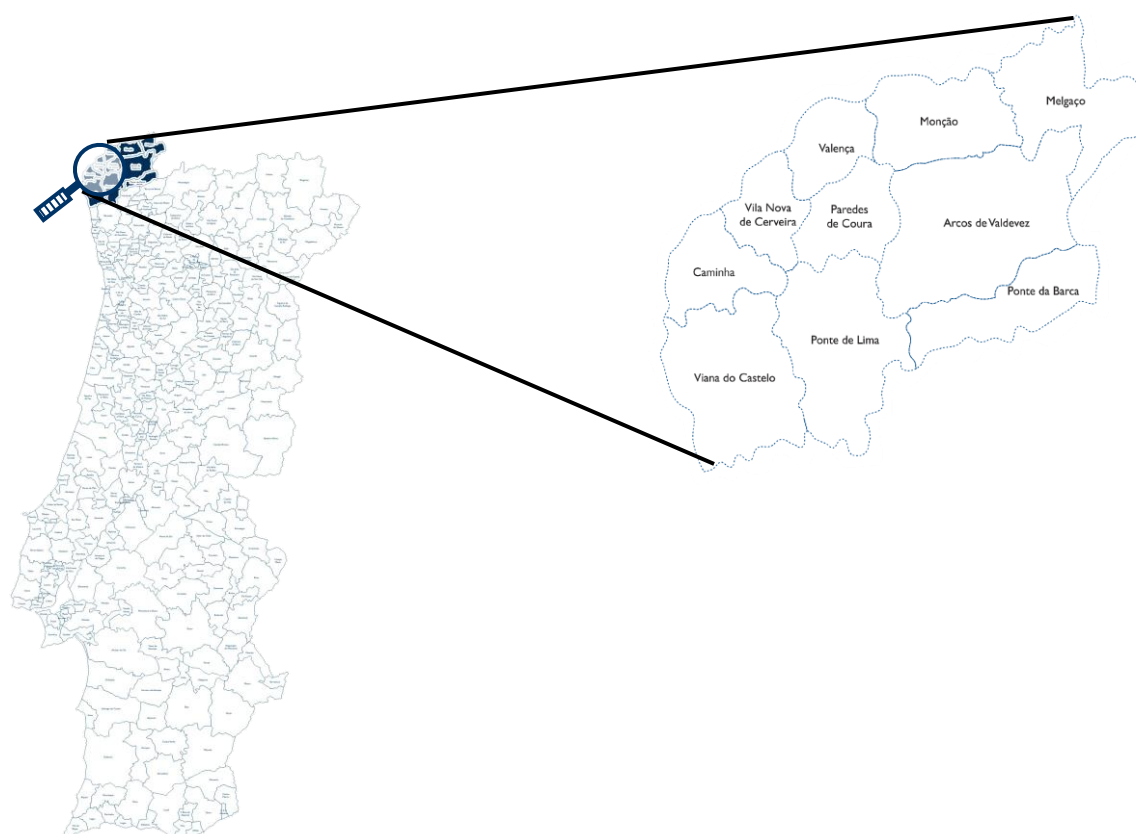


Figura 1 – Localização geográfica do sistema multimunicipal

O sistema de abastecimento de água de S. Jorge destina-se a abastecer uma população residente de cerca de 177.000 habitantes dos concelhos de Arcos de Valdevez, Caminha, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Viana do Castelo e Vila Nova de Cerveira.

Será constituído por uma captação principal em Touvedo e duas captações de reforço no Ázere e Cavada. A estação de tratamento de água (ETA) de Touvedo está dimensionada para a produção de um caudal da ordem dos 63.000m³/dia. O sistema de distribuição será composto por 180km de condutas adutoras com diâmetros que variam entre os 700 e 60mm.

No Anexo A é apresentada a planta geral do sistema de abastecimento de água, com a localização das infra-estruturas constituintes e indicação das respectivas características físicas e hidráulicas, consideradas no caso em estudo.

O sistema de abastecimento de água em análise foi dimensionado de acordo com os seguintes parâmetros de população (habitantes) e correspondentes necessidades de água (m³/dia) apresentados na tabela 1 e tabela 2, respectivamente.

Tabela 1 – Populações consideradas no sistema em estudo (AdML, 2004)

Concelho	População residente (hab.)		População flutuante (hab.)		População total (hab.)	
	2001	2015/2030	2001	2015/2030	2001	2015/2030
Arcos de Valdevez	19 792	19 003	10 500	12 000	30 292	31 003
Caminha	15 367	16 205	13 082	15 866	28 449	32 071
Ponte da Barca	9 929	9 623	5 000	5 000	14 929	14 623
Ponte de Lima	40 714	40 695	10 500	12 000	51 214	52 695
Viana do Castelo	84 716	84 401	23 300	37 300	108 016	121 701
Vila Nova de Cerveira	6 664	6 837	2 544	3 151	9 208	9 988
TOTAIS	177 182	176 764	64 926	85 317	242 108	262 081

Tabela 2 – Necessidades de água correspondentes (AdML, 2004)

Concelho	Necessidades médias diárias anuais (m³/dia)		Necessidades médias diárias do mês de maior consumo (m³/dia)	
	2001	2015/2030	2001	2015/2030
Arcos de Valdevez	2 231	3 448	5 334	6 255
Caminha	2 902	3 550	5 365	6 770
Ponte da Barca	1 684	1 870	2 849	3 180
Ponte de Lima	7 126	8 204	10 452	12 234
Viana do Castelo	17 428	19 927	26 272	32 374
Vila Nova de Cerveira	1 209	1 415	1 826	2 216
TOTAIS	32 580	38 415	52 098	63 029

Nos concelhos do Minho-Lima integrantes do sistema de S. Jorge as populações flutuantes totais concentram-se, de forma determinante, no mês de Agosto, com uma afluência média diária de 70% da afluência máxima diária e, logo de imediato, no mês de Julho, com uma afluência média diária de 24% da afluência máxima diária. Os meses de Setembro e Junho contribuem, em termos de afluência média diária, respectivamente, com 5% e com 1% daquela afluência máxima diária (AdML, 2004).

O caudal médio diário anual da população residente equivale, em termos de necessidades de água, ao total anual dividido pelo número de dias do ano, e o caudal médio diário no mês de maior consumo será aquele multiplicado por 1,3 enquanto que o caudal máximo diário resultará daquele mesmo multiplicado por 1,5 (AdML, 2004). Estes factores de ponta reflectem, quanto à população residente, hábitos de vida com variações sazonais.

Quanto à população flutuante, o caudal máximo diário será o que corresponde à máxima afluência diária do total dos correspondentes efectivos, ou seja, 100%. O caudal médio diário no mês de maior consumo, no caso do sistema de S. Jorge, verificar-se-á em Agosto, em que a afluência média diária atinge 70%.

O caudal de dimensionamento da solução global é de 750 l/s, com 500 l/s provenientes da captação de Touvedo e 250 l/s provenientes de origens múltiplas, que funcionarão como recurso, para as situações de caudais de ponta verificados nos meses de Verão.

A criação efectiva do sistema multimunicipal em causa teve em conta as melhores estimativas dos investimentos a realizar e os custos de exploração e manutenção dos sistemas. Saliente-se, pelo seu significado e especial relevância, a 2.^a Fase dos Planos de Bacia Hidrográfica dos Rios Lima e Minho que incluiu o estabelecimento e posterior aprovação de “Objectivos Estratégicos” para as referidas bacias hidrográficas envolvendo o desenvolvimento de sistemas multimunicipais e a fixação de regras relativas à “Procura da Água”, com influência directa no dimensionamento das infra-estruturas em causa.

1.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os sistemas de informação geográfica (SIG) são instrumentos de análise com elevado potencial, sendo feita neste capítulo uma breve revisão bibliográfica sobre o tema, abordando-se a perspectiva da sua aplicação genérica aos sistemas de abastecimento de água.

Devido às especificidades inerentes aos sistemas de abastecimento de água, cujas infra-estruturas e clientes estão dispersos geograficamente, com elevados padrões de exigência do serviço a prestar e com um conjunto de disciplinas diversas que interagem no negócio, é de todo adequado considerar o SIG como ferramenta indispensável na exploração, gestão e auxílio à decisão (Simão, 2000).

O SIG pretende reunir, no mesmo meio, a informação proveniente de planos e domínios distintos. Esta valência permitirá correlacionar e projectar perspectivas de análise impossíveis de se atingir se a informação se encontrar dispersa. Os temas de informação passíveis de integração no SIG encontram-se representados na figura 2.

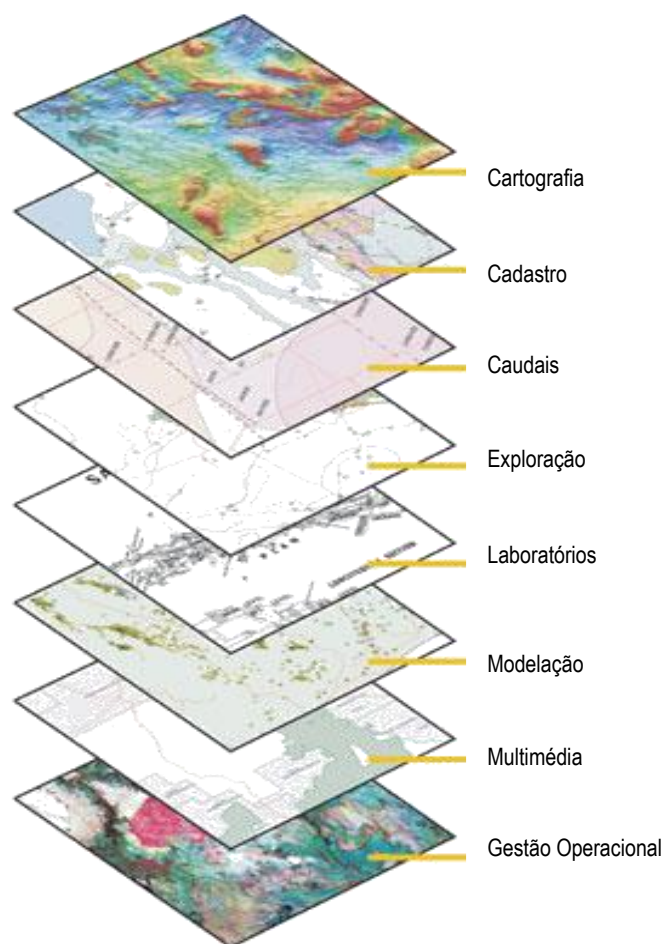


Figura 2 – Temas de informação

1.2.1 Princípios

O SIG deverá respeitar e promover alguns princípios, que se pretendem ver inseridos na concepção, implementação e funcionamento do modelo estudado no presente trabalho.

Autonomia

O sistema deverá ser autónomo, em relação à sua administração bem como ao conjunto de dados e informação que é exclusivo ao SIG. Segundo Leipnik *et al.* (1993), os procedimentos de configuração do sistema, manutenção e actualização deverão ser da responsabilidade de um administrador do modelo.

Integração

O sistema deverá ser capaz de integrar informação de diversas proveniências e projectá-las no seu meio de excelência que é a representação do espaço físico e geográfico. Também se espera que o SIG tenha a capacidade de se integrar no todo dos diversos sistemas de informação e constituir assim uma parte integrante dos sistemas de informação (Silberschatz *et al.*, 1997).

Fiabilidade e Credibilidade

O SIG e o modelo de dados associado deverão ser fiáveis, de modo a que o processo de obtenção e validação dos dados garanta a precisão do conteúdo da informação. A concepção do sistema, designadamente as funções que disponibilizará e o nível de detalhe da informação, deverá ser equilibrada, de forma a minimizar a sua complexidade (Healey, 1991). Deverá atender-se que demasiada informação poderá condicionar o processo de manutenção e actualização dos dados.

Adaptável e Evolutivo

A possibilidade de adaptar o SIG às necessidades do sistema de abastecimento de água é vital, para o bom desempenho desta ferramenta de trabalho. De acordo com Shepherd (1991), a evolução deve ser possível para o desenvolvimento de novas aplicações que não deverão ser condicionadas por limitações da tecnologia de suporte.

Simplicidade e Objectividade

O sistema deverá ser simples e intuitivo, evitando-se a complexidade. Deverá ser sempre concebido, nas suas diversas fases de evolução, de forma a responder a objectivos bem definidos baseados em critérios concretos para apoio ao planeamento e projecto do sistema adutor, bem como futura exploração.

1.2.2 Modelo Conceptual

O modelo conceptual de dados de um SIG deverá desenvolver-se segundo uma estrutura em camadas, ver figura 3, em que cada estrato representa um nível distinto de informação. Na base do modelo encontra-se a informação cartográfica da área de intervenção, que pode corresponder a uma ou várias divisões administrativas (concelhos, freguesias, lugares) ou simplesmente a delimitações convencionadas (Goodchild, 1993).

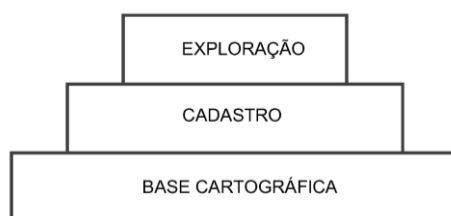


Figura 3 – Hierarquia da informação

Referenciado a este nível de informação e, por isso mesmo, num estrato imediatamente acima, encontra-se o cadastro dos sistemas de abastecimento de água e infra-estruturas associadas. O último estrato da pirâmide é ocupado pelos dados de exploração, nomeadamente as medições de caudais e pressões, níveis de água em reservatórios, consumos energéticos, gastos de produtos químicos no tratamento da água, entre outros.

Toda a construção da pirâmide obedece a uma ordenação decrescente quanto à estabilidade da informação ao longo do tempo e respectivos custos de aquisição e actualização à medida que se sobe da base até ao topo. O gráfico também revela o grau de precedência entre as diversas camadas, como será o exemplo da impossibilidade de constituir-se o cadastro sem a base cartográfica (Simão, 2000).

1.2.3 Dados do Modelo

Neste capítulo, pretende-se explicar quais os dados que incorporam cada uma das camadas do modelo conceptual e identificar os relacionamentos entre as diversas entidades. Deverá ser aprofundada a análise da estrutura dos dados, após definição da modelação matemática e selecção do modelo a utilizar, referindo-se estes elementos com maior detalhe na fase de planeamento do modelo (capítulo 3.1).

Informação Cartográfica

O sistema de informação geográfica será suportado em elementos como: cartas militares, ortofotomapas, modelos digitais de terreno, entre outros. Segundo a AdML (2004) esta informação, em benefício da uniformização e sistematização, deverá ter as seguintes características:

- Datum 73;
- Elipsóide: Hayford;
- Datum altimétrico nacional (Marégrafo de Cascais);
- Sistema de coordenadas: rectangulares;
- Projecção de Gauss;
- Ligação à rede geodésica nacional.

Segundo a mesma fonte, a base do SIG será assente em mapas georeferenciados compostos por:

- Carta militares: escala 1:25 000;
- Cartografia municipal: escala 1:10 000;
- Levantamentos topográficos: escala 1:1 000;
- Ortofotomapas;
- Modelos digitais de terreno;
- Dados de delimitação administrativa;
- Dado demográficos;
- Dados sobre o uso de solo;
- Dados de caracterização hídrica.

Informação Cadastral

Entende-se por informação cadastral, no contexto da AdML, todos os temas ou informação cuja propriedade seja da organização. Identificam-se os seguintes grupos de dados que compõe a informação do cadastro (infra-estruturas dos sistema de abastecimento, parcelas de terreno, edifícios, sistema de telegestão).

No entanto, nem todos os elementos do cadastro serão georeferenciados, impondo-se um limite para além do qual os benefícios da sua representação não se sobreponham aos custos. De acordo com Simão (2000), a eficácia de um sistema como o SIG, cuja profundidade do detalhe é elevada, onera o esforço de manutenção e actualização tornando-o mais complexo sem que daí se obtenham ganhos significativos.

A visualização dos elementos pertencentes ao cadastro e respectivos dados, que se encontram inseridos nos grandes grupos, é efectuada através de tabelas associadas a base de dados, como são exemplos: a digitalização das infra-estruturas para o ambiente SIG proveniente de desenhos de pormenor em AutoCad (telas finais das empreitadas), fotografias, esquemas técnicos, circuitos hidráulicos e manuais de utilização entre outros.

Dados de Exploração

A grande vantagem do SIG está em associar os dados alfanuméricos provenientes da exploração e manutenção com o seu contexto geográfico (Leipnik *et al.*,1993). A pertinência do modelo e informação disponibilizada só faz sentido admitindo esse pressuposto. Os dados alfanuméricos provenientes da exploração e manutenção a disponibilizar pelo SIG deverão ser associados às famílias das infra-estruturas cadastradas.

Identificam-se na tabela 3, os três grupos de dados em que se podem subdividir os dados de exploração.

Tabela 3 – Subdivisão dos dados de exploração

Dados de Exploração		
Dados de desempenho	Dados de Operação e Manutenção	Dados Controlo de Qualidade
Consumos	Histórico de Intervenções	Parâmetros de qualidade de água
Caudais	Histórico de manutenções	Parâmetros de qualidade da descarga
Consumos de Energia	Programas de Inspeção	Relatórios de Análises Físico-Químico
Reagentes	Programas de manutenção	Relatórios de Análise Biológica
	Inspeção de vídeo	
	Custos	
	Estados operacionais	
	Existências	

1.3 MODELAÇÃO MATEMÁTICA

A modelação matemática aplicada aos sistemas de abastecimento de água é descrita neste capítulo introdutório ao desenvolvimento do presente trabalho. De facto, a base do estudo é fundamentada na criação e utilização de um modelo de simulação hidráulica para apoio ao planeamento de sistemas de abastecimento de água.

Os modelos de simulação são ferramentas de apoio à análise de sistemas de abastecimento, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Segundo Coelho *et al.* (2006), os modelos podem ser utilizados em diversas situações onde seja necessário efectuar simulações de sistemas de abastecimento. O estabelecimento de cenários de projecto (p. ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos constituem alguns exemplos.

De acordo com Dias (2003) um modelo não é só um software de cálculo para a resolução de um conjunto de equações previamente definidas, um modelo tem que ser complementado com as características do próprio sistema como sejam: a topologia do sistema, os comprimentos e diâmetros das condutas, as cotas dos reservatórios, os consumos, o tipo de tratamento, a qualidade da água na origem, o número e tipo de captações, que constituem o modelo do sistema propriamente dito.

A formulação e resolução computacional das equações básicas constituem como que as fundações dos modelos, mas os ficheiros de dados correctos e bem organizados, constituem os pilares da fiabilidade dos resultados (Alegre H., 1997).

Um programa bem codificado, assente na resolução correcta da formulação física e matemática, não pode fornecer mais precisão do que a dos dados introduzidos (Coelho *et al.*, 2006). A experiência dos utilizadores é concordante em relação ao facto de que a construção de um modelo eficaz para o utilizador pressupõe uma grande exigência de qualidade na recolha dos dados (Dias, 2003). A tradução correcta do sistema é a pedra angular da validade de qualquer simulação.

1.3.1 Selecção de Modelos

Actualmente, os computadores dispõem de vastas possibilidades e os programas de análise de redes tornaram-se mais abrangentes, mais flexíveis e mais fáceis de utilizar. Existem vários modelos com capacidade para satisfazer as necessidades dos utilizadores, mas também existem muitos factores a ponderar no processo de selecção.

A estratégia a utilizar consiste na comparação das características dos modelos disponíveis, baseada na informação disponibilizada pelos fornecedores e na experiência de outros utilizadores. A selecção de um programa para simulação de um sistema de abastecimento de água deve ter em conta, prioritariamente, o fim a que se destina, o que determina o tipo de análise a efectuar, nomeadamente uma simulação estática, dinâmica ou de qualidade.

De acordo com Dias (2003), devem ser analisados paralelamente:

- O custo;
- A facilidade de utilização;
- A operacionalidade e flexibilidade do programa;
- A robustez do modelo;
- A velocidade de processamento;
- As componentes representadas;
- A interface com o utilizador;
- As características do modelo de qualidade;
- A integração com bases de dados de CAD, SIG e SCADA;
- O apoio técnico e a documentação.

1.3.2 Caracterização de Modelos

Actualmente existem vários programas informáticos que permitem a determinação de parâmetros ligados à quantidade ou à qualidade da água. Este campo continua em desenvolvimento e novos modelos surgirão no futuro. Quase todos os programas aliam um modelo hidráulico a um modelo de qualidade e englobam subrotinas que facilitam a entrada e saída de dados, bem como a respectiva apresentação.

Na tabela 4 resumem-se as principais características de alguns modelos aplicáveis na simulação de sistemas de abastecimento de água, referindo-se o método numérico de resolução, quer do modelo hidráulico, quer do modelo de qualidade, o modo de gestão dos dados de entrada e saída, e o ambiente gráfico em que estão inseridos.

Tabela 4 – Quadro comparativo de modelos aplicáveis na simulação de sistemas de abastecimento de água (Dias, 2003)

MODELOS	ANÁLISE HIDRÁULICA	ANÁLISE DE QUALIDADE	GESTÃO DE DADOS		
			ENTRADA	SAÍDA	INTERFACE
WATERCAD	Análise estática e período alargado Perdas de carga: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, Manning-Strickler Resolução: método gradiente Modelação de emergências e incêndios	Várias origens Determinação da idade da água Identificação do percurso da água Resolução: MDVE Cinética das reacções no seio da água e paredes da tubagem	Com ou sem Autocad Numera automaticamente nós, troços, bombas reservatórios Padrões de consumo variados Regras de controlo de bombas e válvulas Curvas de bombas Modelo de teste de dados	Tabular ou gráfica Saída para fax, plotter ou impressora Calibração de consumos e rugosidade Ligação a: Word, Excel; Access, Autocad, SIG (ArcView) Permite personalizar relatórios e filtrar resultados	Sistema: "point -click-dragdrop-move" Interface gráfica para Windows 95, 98, 2000, NT, Autocad R14 ou 2000 Função de mapa "Query" Guias "pop-up", "wizard" e tutoriais interactivos para várias operações
PICCOLO	Análise estática e período alargado Perdas de carga: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams Resolução: método híbrido Simulação de incêndios Módulo de dimensionamento de tubagem Módulo de estratégia de operação Módulo de escoamento variável	Várias origens Determinação da idade da água Identificação do percurso da água Resolução: MDVE Permite prever incrustações e programar as operações de limpeza Modelação dinâmica do desenvolvimento de bactérias no sistema	Padrões de consumo variados Regras de controlo de bombas e válvulas Curvas de bombas de 3 a 20 pontos Permite programar macroprocedimentos Medidas de segurança de dados Várias configurações de entrada e saída de reservatórios	Tabular ou gráfica Permite várias vistas simultâneas Ligação a bases de dados ou SIG Desenho dos perfis longitudinais das tubagens Controlo em tempo real	Operadores gráficos para modificar, criar e inserir elementos Importa ou exporta dados ASCII e gráficos: DXF, GIF, WMF Extracção de submodelos Tutoriais interactivos para várias operações Visão animada em função do tempo

MODELOS	ANÁLISE HIDRÁULICA	ANÁLISE DE QUALIDADE	GESTÃO DE DADOS		
			ENTRADA	SAÍDA	INTERFACE
SINERGEE (Sucessor do Stoner Workstation Service -SWS)	Análise estática e período alargado Perdas de carga: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams Manning-Strickler Módulo de delimitação de zonas	Várias origens Determinação da idade da água Identificação do percurso da água Determina concentração de 2 substâncias em simultâneo	Padrões de consumo variados Regras de controlo de bombas e válvulas Curvas de bombas Módulo de gestão de clientes Extracção de subsistemas	Tabular ou gráfica Permite várias vistas simultâneas Módulo Geo-Backgroud para imagens raster ou vectoriais Filtração dos resultados	Sistema: "point -click-dragdrop-move" Importa ou exporta dados do ACCESS e gráficos: DXF, DGN, MIF, SHP, TIF, BMP Pode permutar dados com SCADA
WATNET	Análise estática e período alargado Perda de carga: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams	Várias origens Determinação da idade da água Identificação do percurso da água	Padrões de consumo variados Regras de controlo de bombas e válvulas Curvas de bombas	Tabular ou gráfica Permite várias vistas simultâneas Ligação a bases de dados, SIG, SCADA Calibração	Interface com Windows Criação ou correcção interactivas Seleccção gráfica ou através da função "query"
H₂ONET	Análise estática e período alargado Perdas de carga: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams Manning-Strickler Modelação de incêndios Módulo de energia	Várias origens Determinação da idade da água Identificação do percurso da água Cinética das reacções no seio da água e paredes da tubagem	Requer Autocad Padrões de consumo variados Regras de controlo de bombas e válvulas Curvas de bombas	Tabular ou gráfica Possibilidade de adaptar relatório de resultados Calibração de consumos e rugosidade e parâmetros de qualidade Ligação a: SCADA; SIG (ArcView)	Gera mapas para quaisquer atributos numéricos Interface gráfica para Windows 95, 98, 2000, NT Função de mapa "Query" SCADA interface

MODELOS	ANÁLISE HIDRÁULICA	ANÁLISE DE QUALIDADE	GESTÃO DE DADOS		
			ENTRADA	SAÍDA	INTERFACE
PERFORMANCE Q	Simulação dinâmica através do módulo "PERF" Perdas de carga: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, Manning-Strickler Modelação de reservatório de qualquer forma e volume Modelação de vários tipos de válvulas	Várias origens Determinação da idade da água Identificação do percurso da água Resolução: método comandado pelo acontecimento Cinética das reacções no seio da água e paredes da tubagem	Com ou sem Autocad Padrões de consumo variados Regras de controlo de bombas e válvulas Curvas de bombas e de reservatórios	Tabular ou gráfica Ligação a: Word, Excel; Access, Autocad, SIG (ArcView) Permite personalizar relatórios e filtrar resultados Resultados do balanço mássico	Interface com Windows Interface gráfica para Windows 95, 98, 2000, NT, Autocad R14 ou 2000 Função de mapa "Query"
EPANET	Análise estática e período alargado Perdas de carga: Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, Manning-Strickler Resolução: método gradiente Modelação de bombas com velocidade constante e variável Modelação de reservatório de qualquer forma Modelação de vários tipos de válvulas	Várias origens Determinação da idade da água Identificação do percurso da água Resolução: método comandado pelo tempo Cinética das reacções no seio da água e paredes da tubagem	Com ou sem Autocad Padrões de consumo variados Regras de controlo de bombas e válvulas Curvas de bombas Modelo de teste de dados	Tabular ou gráfica Calibração de consumos e rugosidade Ligação a: Word, Excel; Access, Autocad, SIG (Arcview) Permite personalizar relatórios e filtrar resultados	Sistema: "point -click-dragdrop-move" Função de mapa "Query" Guias "pop-up", "wizard" e tutoriais interactivos para várias operações Visão animada no tempo

1.3.3 Modelo Seleccionado

O modelo de simulação seleccionado para aplicação no presente estudo foi o EPANET, desenvolvido pela USEPA – United States Environmental Protection Agency (Rossman, 2000). As principais razões que implicaram esta selecção foram as seguintes:

- Programa adequado às necessidades actuais de simulação;
- Fiabilidade do modelo e investigação realizada sobre o domínio, nomeadamente desenvolvida em Portugal pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC);
- Utilização livre e gratuita, não havendo qualquer restrição ao seu uso;
- Possibilidade de simulação da qualidade da água na rede;
- Utilização universal, existindo fóruns de discussão sobre a matéria;
- Integração com ferramentas SIG nomeadamente a aplicação ArcView “DC Water Design Extension” (Dorsch Group, 2004).

O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação, de que se destacam como principais características (Rossman, 2000):

- Dimensão (número de componentes) da rede a analisar ilimitada;
- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc;
- Modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- Modelação dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de caudal;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controlos simples, dependentes de uma só condição, ou em controlos com condições múltiplas;
- Modelação do tempo de percurso da água através da rede;
- Modelação de reacções de decaimento do cloro no seio do escoamento em tubagens e reservatórios.

No que se refere à plataforma SIG utilizada como base do modelo da presente investigação, foi usado o software ESRI ArcView GIS version 3.3, atendendo à necessidade de ligação dos dados de origem, nomeadamente mapas, tabelas de dados e gráficos com o modelo de simulação EPANET.

A integração de ferramentas SIG com recurso ao EPANET permite a criação de análises hidráulicas ao modelo desde o ambiente SIG, de uma maneira simples e flexível, nomeadamente através da aplicação desenvolvida para o programa ArcView “DC Water Design Extension” (Dorsch Group, 2004), disponível gratuitamente na Internet e com diversas ferramentas de apoio à criação do modelo (ver capítulo 3.1).

2 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A descrição detalhada de todo o sistema estudado é fundamental para uma correcta representação dos elementos no modelo, bem como para um aumento do conhecimento do comportamento da rede e seu controlo operacional, necessários para efeitos da simulação. Neste sentido apresenta-se, de seguida, uma compilação das principais características do caso de estudo, nomeadamente no que se refere às infra-estruturas/elementos com representatividade no modelo a desenvolver.

2.1 CAPTAÇÃO DE TOUVEDO

Segundo os dados obtidos da AdML (2006) a obra a executar será constituída por um poço de bombagem escavado na margem, com a estação elevatória sobre o mesmo, e por uma conduta de captação enterrada, ligando graviticamente a albufeira ao poço de bombagem (ver figura 4).

- Conduta DN1200 de aspiração, mediante a qual será captada água na albufeira e transportada até ao poço de bombagem;
- Poço de bombagem que receberá a água transportada graviticamente pela conduta de aspiração e dentro do qual serão instaladas as bombas que permitirão elevar até à ETA, situada a cerca de 1130m de distância e a uma cota ≈ 170 m mais alta, um caudal máximo de 750 l/s;
- Estação elevatória propriamente dita, composta por um edifício superior (construído parcialmente sobre o poço de bombagem) no qual ficarão albergados os motores das bombas e todo o equipamento de manuseamento, controle, automação, segurança e alimentação de energia dos mesmos.

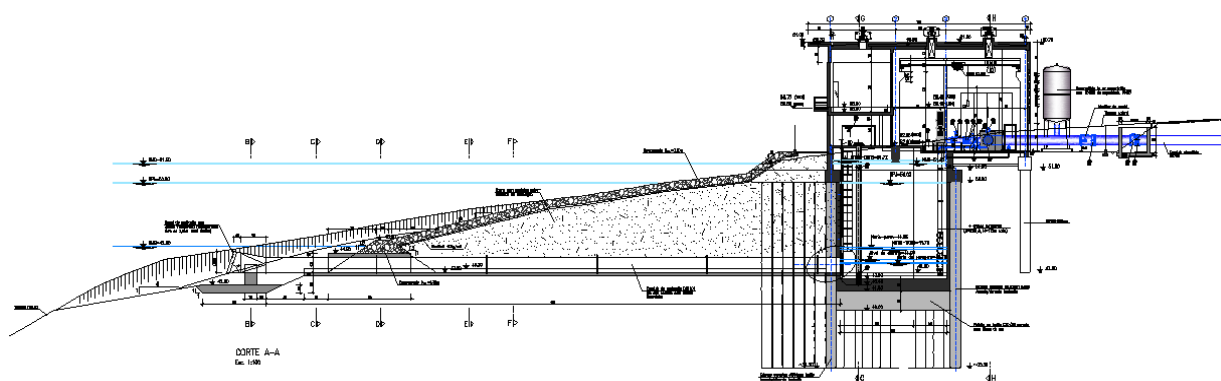


Figura 4 – Conduta de aspiração, poço de aspiração e estação elevatória da captação de Touvedo (AdML, 2006)

A estação elevatória da captação foi dimensionada para albergar quatro bombas de 250 l/s cada, três de serviço e uma de reserva mas, dado que o caudal não ultrapassará 500 l/s na primeira fase, só serão instaladas de início três bombas (duas de serviço e uma de reserva).

De acordo com os dados da entidade gestora, foram obtidos os seguintes níveis característicos na albufeira de Touvedo (ver figura 5), junto ao paramento de montante da barragem:

- Nível mínimo de exploração: NME = 45,00m;
- Nível de pleno armazenamento: NPA = 50,00m;
- Nível de máxima cheia: NMC = 51,50m.

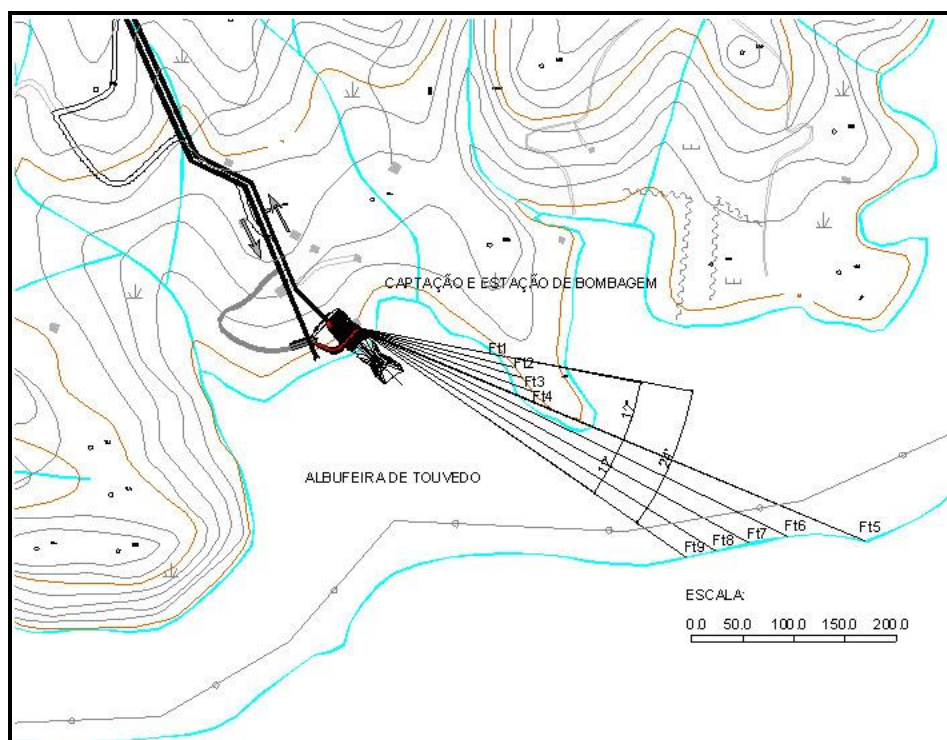


Figura 5 – Localização da captação de Touvedo (AdML, 2006)

A estação elevatória deverá ser comandada a partir da ETA e bombear caudais variáveis entre 150l/s e 750 l/s (na segunda fase). Como o caudal nominal de cada grupo é de 250 l/s, será necessário que todos os grupos funcionem com velocidade variável, de forma a fazer variar o caudal de cada um entre um mínimo de 125 l/s e um máximo de 250 l/s.

O funcionamento da estação elevatória será controlado de forma a igualar, em cada instante, os caudais bombeados e tratados, o que permite dispensar a existência de um reservatório de água bruta. A cota, no nível de água no órgão de entrada da ETA, será 213,45m, pelo que, a altura de elevação das bombas foi estabelecida, com base nesta cota.

2.2 ETA

A água bruta chegará bombeada à ETA (cota do órgão de entrada, 213,45m), proveniente da captação na albufeira de Touvedo. Apresenta-se na figura 6 a planta de implantação da ETA, com o respectivo edifício de apoio, edifício de reagentes e linhas de tratamento.



Figura 6 – Planta de implantação da ETA (AdML, 2006)

Em funcionamento normal, a água bruta efectuará o tratamento esquematizado na figura 7 e que inclui: pré-oxidação com ozono, remineralização com dióxido de carbono e água de cal, coagulação com sulfato de alumínio, adsorção em carvão activado em pó, floculação com polielectrólito, flotação por ar dissolvido com recirculação de parte do caudal tratado, filtração em filtros rápidos gravíticos de areia, desinfecção com cloro e correcção do pH com água de cal.

A desinfecção é feita na caixa de saída da cisterna de água filtrada, que funciona em trop-plein à cota 208,45m. O volume desta cisterna é suficiente para garantir a lavagens dos filtros e a água descarregada seguirá por uma conduta gravítica DN800 para o reservatório de água tratada. A correcção de pH através da adição de água de cal é efectuada em linha, na tubagem de água tratada.

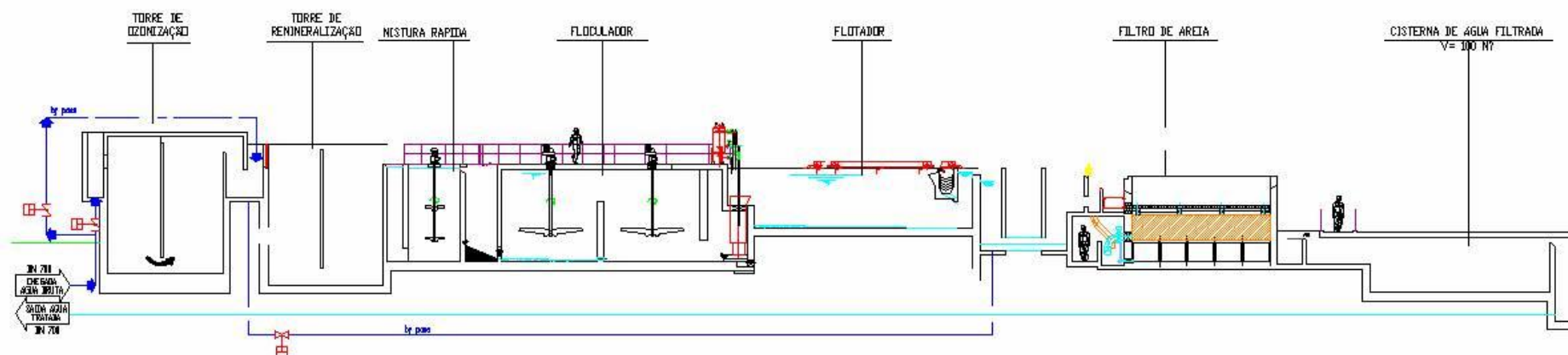


Figura 7 – Linha de tratamento da ETA (AdML, 2006)

2.3 RESERVATÓRIO DE ÁGUA TRATADA

A jusante da ETA existirá um reservatório de água tratada que constitui o reservatório principal do sistema adutor estudado. Este reservatório, de acordo com o projecto de execução da AdML (2006), deverá ter níveis oscilando entre um máximo de 207,0m e um mínimo de 202,0m.

O reservatório será também gerido pela ETA, que o utilizará como órgão de compensação que, fora de situações de ponta, permitirá concentrar o funcionamento da ETA e da estação elevatória em períodos em que as tarifas energéticas sejam mais favoráveis.

O volume estabelecido é de 15 000m³ e corresponde a 8 horas de funcionamento contínuo com o caudal máximo de 500 l/s, da primeira fase, e 6 horas com o caudal máximo de 750 l/s. Para além deste volume útil, considerou-se ainda um volume morto na base do reservatório com 0,50m de altura, resultando daí um acréscimo de volume de 1360m³.

Em síntese, são as seguintes as suas características principais:

- 2 células, cada uma com 29,75m x 50,00m de planta interior;
- cota geral da soleira: 201,5m;
- cota do nível de água máximo: 207,0m;
- cota do nível de água mínimo: 202,0m;
- conduta de entrada: diâmetro 800mm de ferro fundido dúctil, alimentando o reservatório pela parte superior, embora totalmente submerso para o nível máximo;
- conduta de saída: tomada em caldeira rebaixada em relação à soleira das cubas, de diâmetro 700mm, igual ao da conduta exterior.

2.4 CONDUTAS ADUTORAS

O sistema de adutor estudado possui cerca de 180km de condutas adutoras, maioritariamente gravíticas, dimensionadas de acordo com os critérios fixados para o caudal de dimensionamento (caudal do mês de maior consumo do ano 30).

É ainda de salientar que o dimensionamento do sistema adutor, totalmente gravítico desde o Reservatório RP1, em Arcos de Valdevez até Cavada (Caminha), teve como propósito fundamental uma utilização otimizada da carga piezométrica disponível, minimizando os troços elevatórios e correspondentes custos de exploração, visto a maior parte da população dos concelhos mais a jusante do sistema, designadamente de Caminha, se localizar abaixo da cota 80.

No dimensionamento das adutoras consideraram-se os seguintes limites base:

- inclinação mínima nos troços ascendentes 0,3%;
- inclinação mínima nos troços descendentes 0,5%;
- inclinação máxima 25%;
- velocidade mínima 0,50m/s;
- velocidade máxima 1,50m/s;
- recobrimento mínimo 1,00m.

O troço adutor principal (ver figura do Anexo A) estende-se desde o Reservatório RP1, em Arcos de Valdevez até Cavada em Caminha, e será constituído por tubagens de ferro fundido dúctil (FFD). A conduta adutora até Viana do Castelo (travessia no rio Lima) terá um diâmetro nominal de DN700, para a pressão nominal PN25 e uma extensão de 48853m.

Do início da travessia no rio Lima até ao nó da Praia Norte, a conduta adutora tem um diâmetro nominal de DN600 e uma extensão de 11956m de Viana do Castelo (Norte) até Caminha, a conduta principal tem uma extensão de cerca de 32264m e desenvolve-se em FFD nos diâmetros de DN500, DN400, DN350, DN300 e DN250.

As curvas e os vários acessórios do sistema adutor também são de FFD. Os equipamentos a instalar, nomeadamente, as válvulas de seccionamento, as ventosas e o equipamento de cada descarga de fundo, são em FFD. No interior das câmaras de instalação dos equipamentos, a ligação entre tubagens, acessórios e equipamentos instalados em FFD será feita, de uma forma geral, através de flanges.

Existem diversas derivações, ao longo da conduta adutora principal, que para assegurar o adequado funcionamento gravítico do sistema de S. Jorge, deverão garantir as cotas energéticas mínimas de entrada de água nos reservatórios, e que constituem uma condicionante do projecto.

2.5 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS

No que respeita às estações elevatórias que se integram no sistema adutor, de acordo com os projectos de execução da AdML, podemos distinguir dois tipos fundamentais:

- a estação elevatória associada à captação e à elevação para a ETA que, pela sua importância estratégica para o funcionamento global do sistema e pela sua dimensão, justifica um tratamento individualizado e mais pormenorizado;
- as restantes estações elevatórias de “percurso”, nomeadamente a associada ao reservatório de Vila Chã e as localizadas nos concelhos de Caminha e Vila Nova de Cerveira, são de menor dimensão e de importância mais local. As EE de Caminha e Vila Nova de Cerveira não foram alvo deste estudo uma vez que pertencem a um subsistema de abastecimento ligado a S. Jorge, mas independente, a Norte de Caminha – captação de Cavada.

Deste modo, e tendo em conta que já foi analisada a estação elevatória associada à captação apresenta-se, seguidamente, a caracterização da estação elevatória (EE Vila Chã) a localizar na conduta adutora de derivação para o reservatório de Vila Chã.

A 1480m de RP1, uma derivação de diâmetro 125mm abastecerá os reservatórios de Touvedo – cota 183m e o reservatório de Vila Chã – cota 314,20m. Como este último está situado a uma cota superior à de RP1, será necessária uma sobrelevação para garantir o caudal mínimo de abastecimento, que é de 5,9 l/s.

Para economizar energia, adopta-se uma estação elevatória do tipo *booster*, a instalar à cota 132,50m, intercalada na conduta que abastece o reservatório de Vila Chã. A função deste *booster* será a de vencer o desnível existente entre os dois reservatórios e a de compensar as perdas de carga que ocorrem nas condutas entre RP1 e o reservatório de Vila Chã.

A estação elevatória será constituída, fundamentalmente, por dois grupos electrobomba de eixo vertical, ver figura 8 e 9, que funcionarão automaticamente em função dos níveis de água no reservatório de Vila Chã e de outras condicionantes a prever no sistema de telegestão que comanda os grupos. Também estão previstos outros processos de comando, menos automatizados, a que se poderá recorrer no caso de avariar o sistema de telegestão ou o autómato previsto para o quadro eléctrico da estação. A conduta elevatória será em FFD, diâmetro 100mm, com cerca de 2730m de extensão.

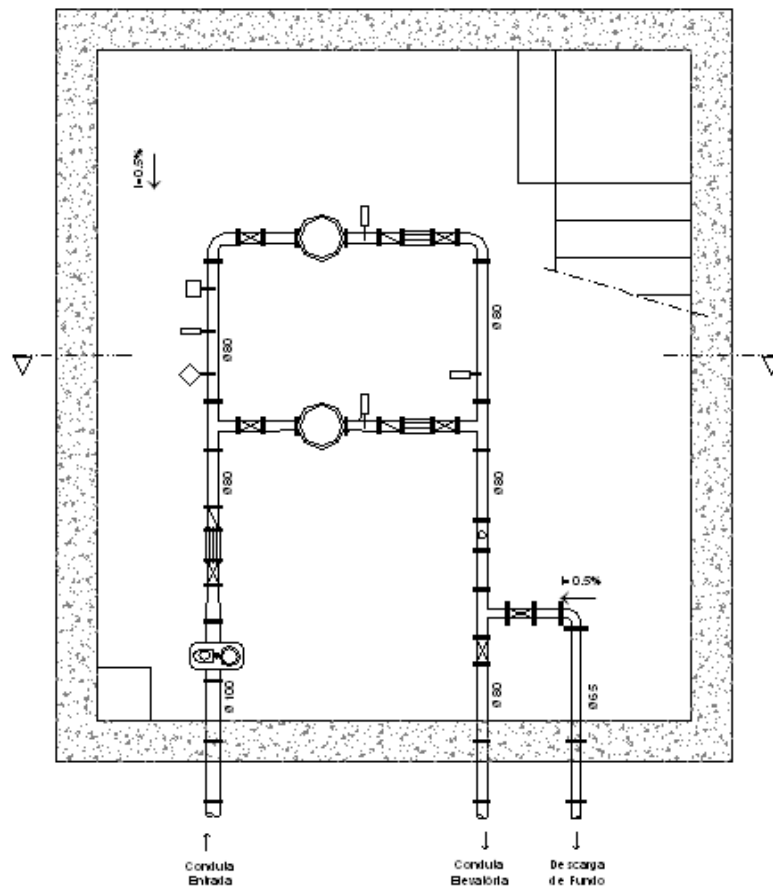


Figura 8 – Planta da estação elevatória de Vila Chã

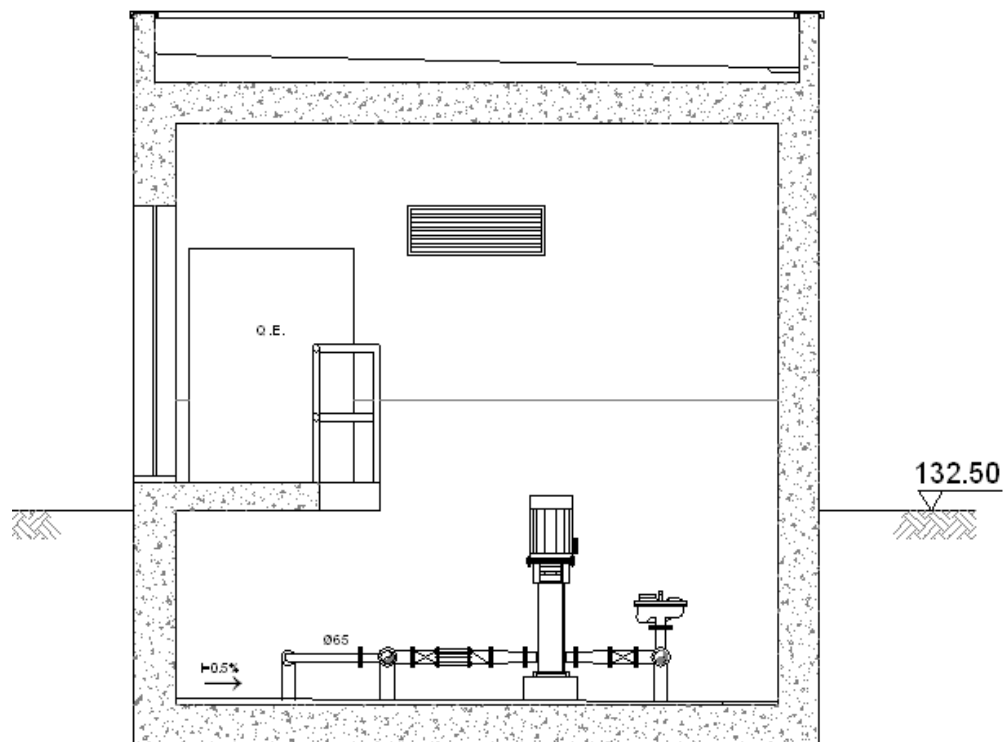


Figura 9 – Corte da estação elevatória de Vila Chã

2.6 RESERVATÓRIOS

O sistema adutor analisado inclui 39 reservatórios com funções distintas, desde a simples “entrega”, até várias funções em simultâneo, designadamente, entrega, regularização da adução e regularização da distribuição.

Do conjunto dos reservatórios que constituem o sistema salienta-se, naturalmente, o de água tratada RP1 (reservatório de origem para o sistema adutor gravítico), não só pela sua dimensão, como também pelo seu significado estratégico.

A entrada de água far-se-á sempre por cima e a saída por baixo, sendo a altura dos reservatórios variável de 4m a 5m. Será sempre considerada uma válvula de controlo altimétrico, para além das tubagens e acessórios usuais.

Do conjunto de válvulas a instalar nos reservatórios, destaca-se para efeitos de modelação a válvula de controlo altimétrico que é uma válvula de controlo automática para controlar o nível de água no reservatório. Este tipo de válvula abre para encher o reservatório e fecha, quando se atinge o nível pré-determinado através de um sensor que, acoplado ao reservatório, reage de acordo com a altura da coluna de água, sem a utilização de controlos externos como flutuadores.

Os resultados dos volumes para os reservatórios que integram o sistema são indicados na tabela 5. Indicam-se igualmente as funções a que se destina cada um deles por concelho e por subsistema.

Tabela 5 – Caracterização dos reservatórios do Sistema de S. Jorge

Concelho	Subsistema	Reservatório	População total servida	Capacidade (m³)	Funções a que se destina			
					Entrega	Regularização		Regularização Distribuição
						Bombagem	Adução	
Arcos de Valdevez	S. Jorge	Res. de origem RP1	262101	15000	-	-	×	-
	Aboim	Aboim	6287	500	×	-	×	×
	Couto	Couto	2410	500	×	-	×	-
	Casal Soeiro	Silvares	5154	1000	×	×	-	×
		Casal Soeiro	3956	800	×	-	-	×
	Faquelo	Faquelo	2368	800	×	-	-	×
		Zona Alta - S. Paio	8093	600	×	×	-	×
Ponte da Barca	Vila Chã	Vila Chã	2241	400	×	-	×	×
	Touvedo	Touvedo	435	200	×	×	-	×
	Vila Este	R1	4471	1250	×	×	-	×
Ponte de Lima	Correlhã	Correlhã	21242	4999	×	-	×	×
	Sto. Ovídeo	Sto. Ovídeo	9737	1500	×	-	×	×
	S. Pedro d'Arcos	S. Pedro d'Arcos	2207	2500	×	-	×	×
	S. João	Arca	6279	1250	×	-	-	×
		Cp. Golf	3308	600	×	×	-	×
	Beiral do Lima	Gemieira	1122	400	×	-	-	×
		Brichal	568	200	×	-	-	×
		Figueiras	2436	500	×	×	-	×

Concelho	Subsistema	Reservatório	População total servida	Capacidade (m³)	Funções a que se destina			
					Entrega	Regularização		Regularização Distribuição
						Bombagem	Adução	
Viana do Castelo	Espergueira Mendes	Espergueira Mendes II	22587	2000	×	-	×	×
	Faro de Anha	Faro de Anha	28560	5000	×	-	×	×
		Monte da Ola	8252	1000	×	-	-	×
		Neiva Monte	8388	1500	×	-	-	×
	Mujães	Subportela	1789	500	×	-	-	×
		Penagudo	9718	500	×	×	-	×
	Deão	R1-Deão	1702	400	×	×	-	×
	Santa Maria	Sta. Maria	665	250	×	-	-	×
		Sta. Maria - Zona Alta	1138	400	×	×	-	×
	Vila Franca	Vila Franca	4009	300	×	-	-	×
	Afife	Pedreira	3802	1000	×	-	-	×
	Carreço	Paçô	3427	1000	×	-	-	×
	Areosa	Pêgo	7674	750	×	-	-	×
	Ursulinas	Ursulinas	5884	2500	×	-	-	×
	S. Pedro d'Arcos	Lanheses	3545	100	×	-	-	×
Caminha	Âncora	Âncora	3525	300	×	-	×	-
	Cristelo	Cristelo	3246	400	×	-	×	-
	Venade	Venade	1815	280	×	-	×	-
	Vila Praia de Âncora	V. P. Âncora	10618	1000	×	-	-	×
	Caminha	Caminha	5514	1200	×	-	-	×
	Argela	Argela	801	200	×	-	-	×

3 METODOLOGIA / SIMULAÇÃO

O desenvolvimento de modelos de simulação foi abordado de uma forma estruturada e sistemática, de modo a garantir a optimização do esforço e recursos investidos, tanto na geração da solução inicial, como na manutenção do modelo ao longo da sua vida útil.

De acordo com Coelho (2006) o faseamento aconselhado para o desenvolvimento de modelos, deverá seguir diversas etapas, nomeadamente:

- 1.ª Fase – Planeamento do modelo;
- 2.ª Fase – Construção do modelo:
 - Descrição física do sistema;
 - Consumos;
 - Controlo operacional;
- 3.ª Fase – Implementação da solução-base;
- 4.ª Fase – Verificação do modelo;
- 5.ª Fase – Exploração do modelo e planeamento da gestão futura.

A metodologia do presente estudo segue as fases referidas anteriormente, sendo que a fase de verificação do modelo, quando aplicável a soluções já construídas, deverá ser substituída pela calibração do modelo.

O sistema adutor estudado encontra-se em construção e todo o modelo servirá como base para posteriores evoluções do mesmo e possível calibração com dados reais de exploração. Atendendo ao facto de o modelo se destinar numa primeira etapa ao apoio de projecto e planeamento, a sua análise e verificação será efectuada com os valores de parâmetros físicos e de consumos a partir de dados existentes em estudos prévios e projectos.

De seguida são aprofundados os principais objectivos das diferentes fases envolvidas.

- 1.ª Fase – Planeamento do modelo:
 - Definição do sistema a estudar, âmbito e objectivos do modelo;
 - Levantamento preliminar de dados de cadastro e projectos;
 - Definição da estrutura/codificação dos dados a modelar;
 - Definição de opções/configurações da modelação.

- 2.^a Fase – Construção do modelo:

- Introdução dos dados de localização das infra-estruturas e respectivas características (cadastro das redes, reservatórios, estações elevatórias e válvulas);
- Organização dos respectivos elementos segundo a estrutura definida;
- Atribuição de dados de caudais relativos aos consumos, de acordo com os estudos prévios e projectos;
- Tipificação de cenários e definição de padrões de consumo;
- Análise das regras de operação do sistema, nomeadamente níveis de operação de reservatórios, regulações de válvulas, bombas e consignas de caudal;
- Processamento dos dados para carregamento no modelo.

- 3.^a Fase – Implementação da solução-base:

- Compilação dos ficheiros completos correspondentes aos cenários modelados;
- Eliminação dos erros detectáveis e afinação de opções de modelação;
- Exploração das capacidades de simulação oferecidas e ganho de sensibilidade ao modelo.

- 4.^a Fase – Verificação do modelo:

- Identificação das anomalias de funcionamento do modelo;
- Análise de falhas e correcção através de um processo iterativo;
- Verificação da conformidade dos resultados obtidos com os dados de projecto.

- 5.^a Fase – Exploração do modelo e planeamento da gestão futura:

- Definição das potencialidades do modelo para apoio ao projecto e planeamento;
- Análise hidráulica e avaliação do desempenho técnico;
- Análise de qualidade da água;
- Planeamento do desenvolvimento continuado do modelo.

3.1 PLANEAMENTO DO MODELO

A base de desenvolvimento do modelo foi criada numa plataforma SIG que permite a integração dos dados, nomeadamente mapas, tabelas de dados e gráficos, utilizando o software ESRI ArcView GIS Version 3.3 (ver figura 10).

Foi utilizada uma extensão do software ESRI ArcView GIS designada por “DC Water Design Extension” desenvolvida por “Dorsch Group – DC Water and Environment” (Dorsch Group, 2004) de modo a permitir a integração do ArcView com o software de modelação hidráulica “EPANET 2.00” (Rossman, 2000).

A estrutura associada à base de dados desta aplicação encontra-se esquematizada na figura 11, identificando-se as diversas tabelas associadas ao modelo de dados e respectivos campos necessários para o seu funcionamento.

Esta ferramenta permite arquivar, editar e consultar modelos hidráulicos EPANET, incluindo as opções e funcionalidade do ArcView. Adicionalmente, possibilita correr as análises do modelo hidráulico EPANET no ArcView e carregar os respectivos resultados em ambiente SIG.

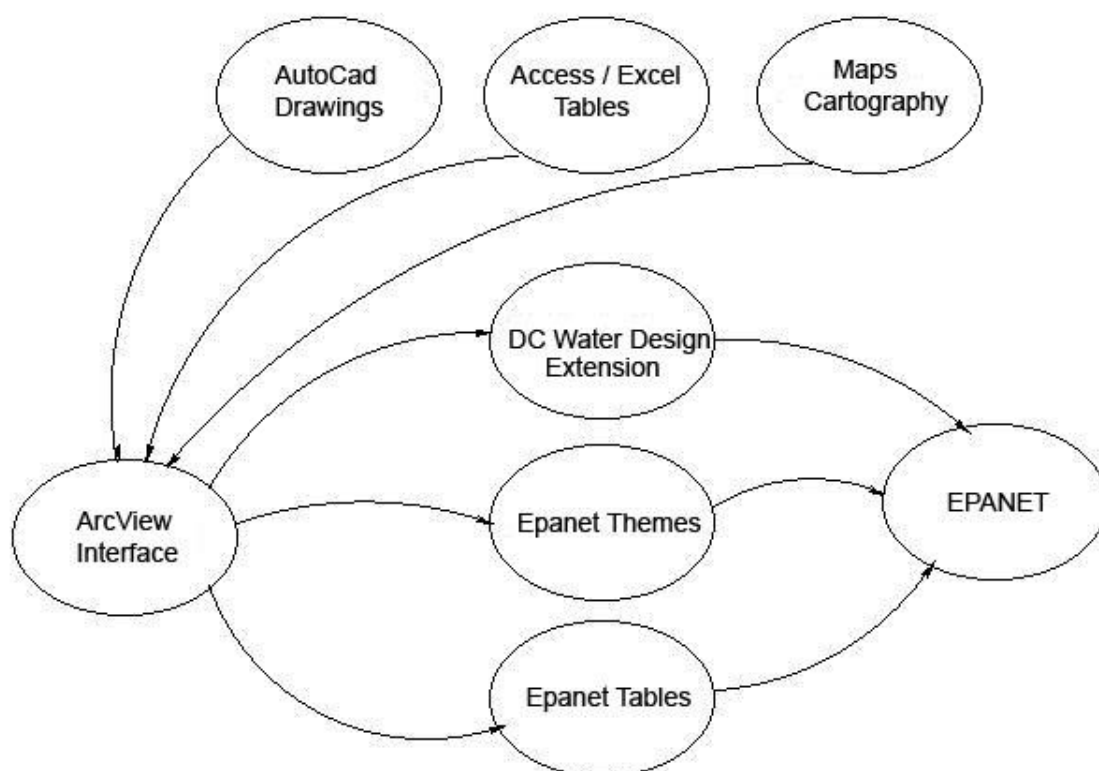


Figura 10 – Integração de dados no ambiente SIG / EPANET

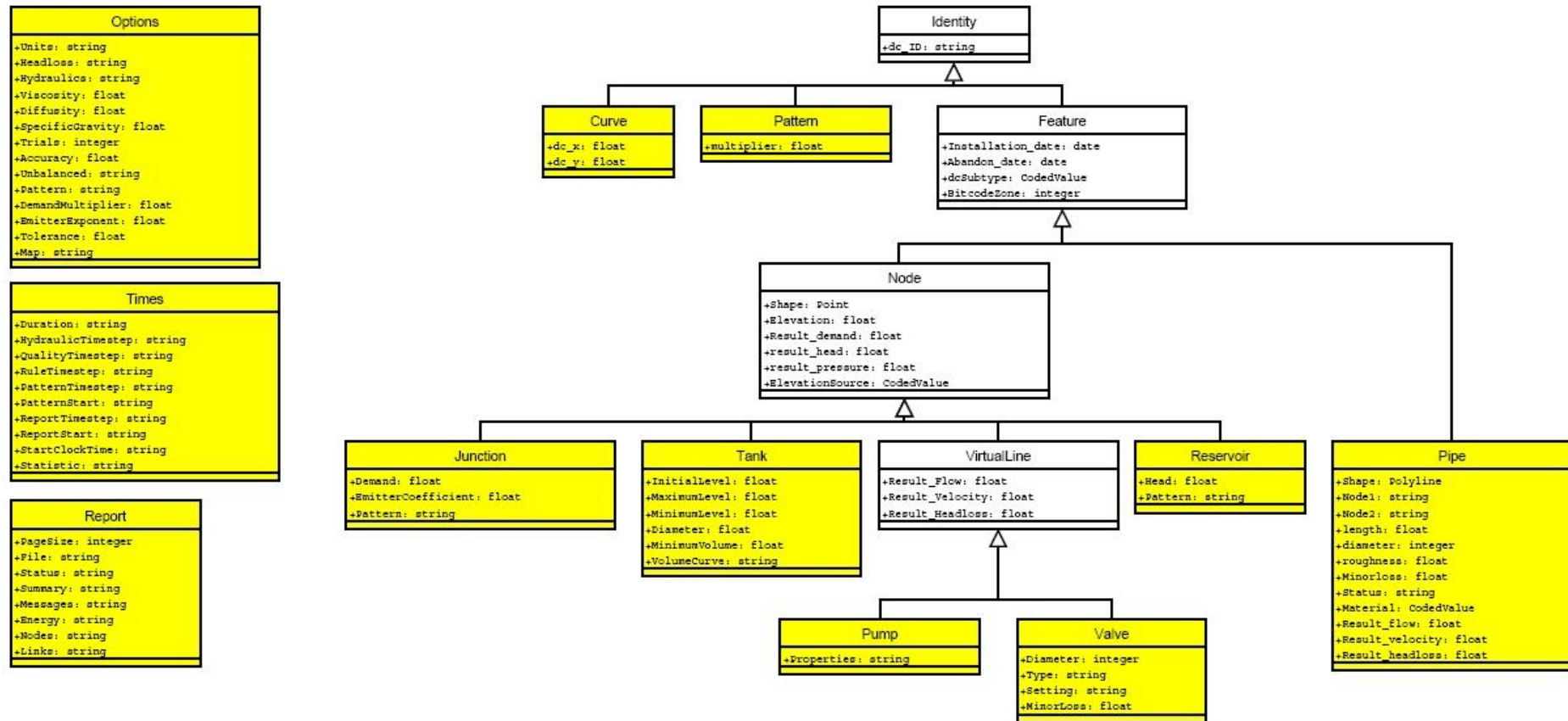


Figura 11 – Modelo de dados do programa DC Water Design Extension
(Revision 2.10, created 2004-07-08 with dia 0.92.2- Dorsch Group, 2004)

Antes de se iniciar o carregamento de dados para o modelo, foram configuradas as opções necessárias do software, nomeadamente as unidades das principais grandezas consideradas na modelação (tabela 6), fundamentais para o carregamento dos dados descritivos do modelo e para a expressão dos seus resultados.

Tabela 6 – Principais grandezas consideradas na modelação (Coelho *et al.*, 2006)

Parâmetro	Unidades
Carga hidráulica	m
Caudal	l/s
Coeficiente de perda de carga (rugosidade Darcy-Weisbach)	mm
Comprimento	m
Concentração	mg/l
Consumo	l/s
Cota	m
Diâmetro (reservatórios)	m
Diâmetro (condutas, válvulas ou bombas)	mm
Energia	kWh
Tempo de percurso	h
Perda de carga unitária	m/km
Potência	kW
Pressão (altura piezométrica)	m
Rendimento	%
Velocidade	m/s
Volume	m ³

A definição de uma nomenclatura relativa aos elementos físicos da rede foi devidamente estruturada de modo a identificar facilmente todos os elementos de uma forma clara e fundamentada.

Na tabela 7 apresenta-se a convenção para os elementos referentes à localização geográfica da rede, compatível com a macro-sectorização da rede e que constituem a nomenclatura de base para os dados do modelo em estudo.

Tabela 7 – Nomenclatura para a localização geográfica

Elemento	Subdivisão	Campo alfanumérico
Concelho	Arcos de Valdevez	ARV
	Ponte da Barca	PTB
	Ponte de Lima	PTL
	Viana do Castelo	VCT
	Caminha	CMN

Nas tabelas 8, 9 e 10 refere-se a convenção de nomenclatura para os elementos físicos e nós da rede, utilizando os códigos de referência geográfica definidos na tabela anterior.

Tabela 8 – Convenções de nomenclatura para os nós e troços da rede

Elemento	Descrição	Campo alfanumérico	Campo numérico
Nó	Arcos de Valdevez	N_ARV_	001-999
	Ponte da Barca	N_PTB_	001-999
	Ponte de Lima	N_PTL_	001-999
	Viana do Castelo	N_VCT_	001-999
	Caminha	N_CMN_	001-999
Nó de Consumo	Arcos de Valdevez	NC_ARV_	01-99
	Ponte da Barca	NC_PTB_	01-99
	Ponte de Lima	NC_PTL_	01-99
	Viana do Castelo	NC_VCT_	01-99
	Caminha	NC_CMN_	01-99
Troço	Arcos de Valdevez	T_ARV_	001-999
	Ponte da Barca	T_PTB_	001-999
	Ponte de Lima	T_PTL_	001-999
	Viana do Castelo	T_VCT_	001-999
	Caminha	T_CMN_	001-999

Tabela 9 – Convenções de nomenclatura para os reservatórios e captação da rede

Elemento	Descrição	Campo alfanumérico	Campo numérico
Reservatório	Arcos de Valdevez	RNV_ARV_	01-99
	Ponte da Barca	RNV_PTB_	01-99
	Ponte de Lima	RNV_PTL_	01-99
	Viana do Castelo	RNV_VCT_	01-99
	Caminha	RNV_CMN_	01-99
Captação	Captação de Touvedo	RNF_TOUVEDO	---

Tabela 10 – Convenções de nomenclatura para as válvulas e grupos elevatórios da rede

Elemento	Descrição	Campo alfanumérico	Campo numérico
Válvula reguladora de caudal (FCV)	Arcos de Valdevez	FCV_ARV_	01-99
	Ponte da Barca	FCV_PTB_	01-99
	Ponte de Lima	FCV_PTL_	01-99
	Viana do Castelo	FCV_VCT_	01-99
	Caminha	FCV_CMN_	01-99
Válvula redutora de pressão (PRV)	Arcos de Valdevez	PRV_ARV_	01-99
	Ponte da Barca	PRV_PTB_	01-99
	Ponte de Lima	PRV_PTL_	01-99
	Viana do Castelo	PRV_VCT_	01-99
	Caminha	PRV_CMN_	01-99
Válvula de Alívio (PSV)	Arcos de Valdevez	PSV_ARV_	01-99
	Ponte da Barca	PSV_PTB_	01-99
	Ponte de Lima	PSV_PTL_	01-99
	Viana do Castelo	PSV_VCT_	01-99
	Caminha	PSV_CMN_	01-99
Válvula de borboleta (TCV)	Arcos de Valdevez	TCV_ARV_	01-99
	Ponte da Barca	TCV_PTB_	01-99
	Ponte de Lima	TCV_PTL_	01-99
	Viana do Castelo	TCV_VCT_	01-99
	Caminha	TCV_CMN_	01-99
Grupo elevatório	EE Captação Touvedo	EE_ARV_	01
	EE Vila Cha	EE_PTB_	02

3.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO

O modelo construído pretende representar o sistema de adução, referido no capítulo anterior, especificado para a simulação hidráulica em período alargado de 5 dias (120 horas) com os ciclos diários mais relevantes na área em estudo. Este modelo é constituído por componentes físicos nomeadamente: tubagens, reservatórios de nível fixo, reservatórios de nível variável, nós, válvulas e bombas, cujos dados necessários para a sua construção se apresentam na tabela 11.

Uma das diferenças na representação entre os modelos para sectores de distribuição e os modelos para sistemas de adução consiste no maior grau de detalhe necessário nestes últimos, no que se refere às regras operacionais e às topologias e configurações de bombeamentos e reservatórios.

Tabela 11 – Modelo EPANET e sumário dos dados necessários para a simulação

Componentes Físicos	Dados necessários
Tubagem	Comprimento (m)
	Diâmetro (mm)
	Rugosidade (mm)
Reservatório de Nível Fixo (RNF)	Nível de água (m)
Reservatório de Nível Variável (RNV)	Cota (m)
	Altura de água inicial (m)
	Altura de água mínima (m)
	Altura de água máxima (m)
	Diâmetro (m)
Nó	Cota (m)
	Consumo base (l/s) (quando aplicável após reservatório)
Válvula	Diâmetro (mm)
	Tipo (FCV - reguladora de caudal; TCV – válvula de borboleta; PRV – válvula redutora de pressão; PSV – válvula de alívio)
	Parâmetro de controlo
Bomba	Curva da bomba

3.2.1 Descrição Física do Sistema

3.2.1.1 Condutas

Numa fase inicial introduziram-se em ambiente SIG (ArcView) as condutas adutoras provenientes de desenhos no formato de AutoCAD com a configuração real do sistema adutor. Foram analisados os perfis hidráulicos das condutas, tendo sido introduzido posteriormente os respectivos diâmetros internos da conduta, bem como o coeficiente de rugosidade em função do tipo de material e idade das condutas.

As condutas foram divididas por troços, de modo a representar a evolução das mesmas ao longo do terreno. Considerou-se um troço de conduta sempre que existem derivações, caixas de acessórios, válvulas de seccionamento, pontos altos (ventosas) e pontos baixos (descargas de fundo).

Os comprimentos das respectivas condutas são calculados automaticamente uma vez que o sistema se encontra representado à escala real no ambiente SIG georeferenciado. O nó inicial e o nó final permitem identificar o sentido de escoamento, sendo também introduzidos automaticamente no sistema pela aplicação “DC Water Design Extension”.

A opção de estado (aberto, fechado ou contendo uma válvula de retenção) foi definida como aberto para a generalidade das condutas, verificando-se apenas a montante dos reservatórios a colocação de tubagem que contem a válvula de retenção de modo a permitir que o escoamento na tubagem se processe apenas num sentido.

O cálculo da perda de carga contínua foi efectuado através da fórmula de Darcy-Weisbach que segundo Rossman (2000) é teoricamente a mais correcta:

$$\Delta H = 0,083 \cdot f \cdot Q^2 \cdot D^{-5} \cdot L$$

Em que,

ΔH = perda de carga ao longo do comprimento da conduta (m);

f = coeficiente de rugosidade Darcy-Weisbach (mm);

Q = caudal (m³/s);

D = diâmetro interno da conduta (m);

L = comprimento da conduta (m).

Existem também perdas de carga localizadas devidas a singularidades no escoamento tais como curvas, aparelhos de medida, válvulas e tubagens de diferentes diâmetros, tendo-se considerado um acréscimo de 10% das perdas de carga contínuas para fazer face às perdas de carga localizadas.

Os valores do coeficiente de rugosidade encontram-se tabelados, diferindo no entanto os seus valores de acordo com a fonte, devido à consideração de factores como: a variabilidade do material consoante o fabricante, consideração ou não da influencia das juntas, e contabilização ou não do envelhecimento das condutas. No presente estudo foi considerado um coeficiente de rugosidade único para todas as condutas, considerando que as condutas são novas e que o material da grande maioria das tubagens é ferro fundido revestido. Este coeficiente segundo Coelho (2006), situa-se entre 0,102 para ferro fundido revestido e 0,226 para ferro fundido não revestido, tendo-se considerado o valor de 0,15 para compensar as perdas de carga localizadas.

Para simular o sistema adutor (figura 12) foram introduzidas 612 troços de tubagem que podem ser divididos em 417 condutas adutoras que efectuem o transporte de água ao longo dos 177kms de extensão, e em ligações entre as válvulas, os reservatórios e os pontos de consumo que constituem 195 pequenos troços com cerca de 630m na sua totalidade.

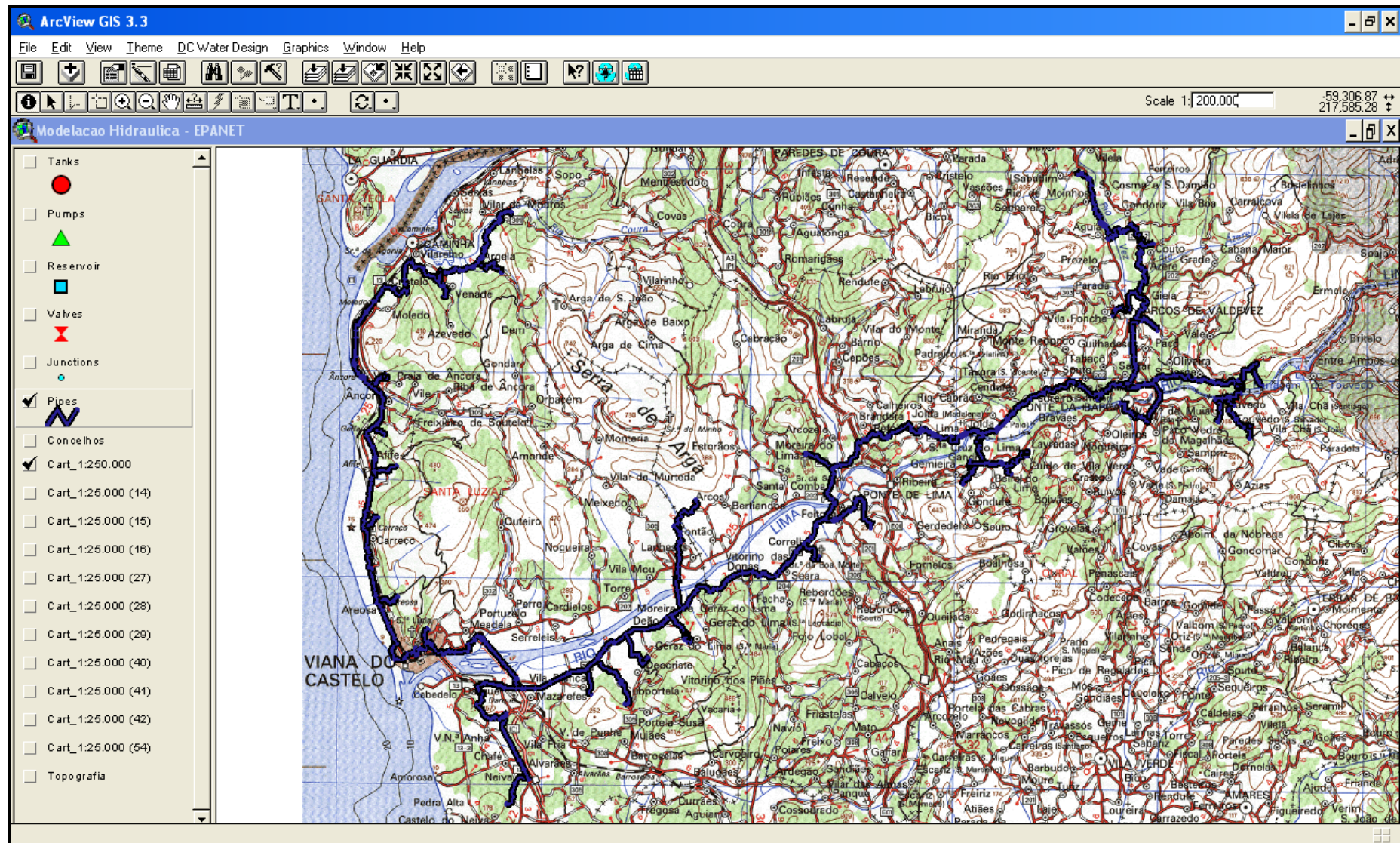


Figura 12 – Localização dos troços de tubagem

3.2.1.2 Reservatórios

Posteriormente à introdução das condutas adutoras foram introduzidos os reservatórios no modelo. Consideram-se duas situações distintas de reservatórios nos modelos EPANET, nomeadamente os reservatório de nível fixo (RNF) que constituem a origem de água do sistema e os reservatórios de nível variável (RNV) que se distinguem dos anteriores por terem uma capacidade de armazenamento limitada e podendo o volume de água armazenado variar ao longo da simulação.

Os dados provenientes de desenhos em AutoCAD foram exportados como pontos para o SIG onde se associaram os atributos relativos aos diversos elementos considerados:

- 1 – Reservatórios de nível fixo;
- 39 – Reservatórios de nível variável.

3.2.1.3 Reservatório de Nível Fixo

O modelo construído é abastecido por uma única origem de água, designada por captação de Touvedo. Esta origem é representada por um reservatório de nível fixo (figura 13), que corresponde à albufeira de Touvedo, e que constitui na simulação um volume de armazenamento de água de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante.

Considerou-se nas propriedades deste nó especial o nível de água constante à cota de 45,0m que corresponde ao nível mínimo de exploração (NME) da barragem de Touvedo, a situação mais desfavorável em termos de funcionamento do sistema.

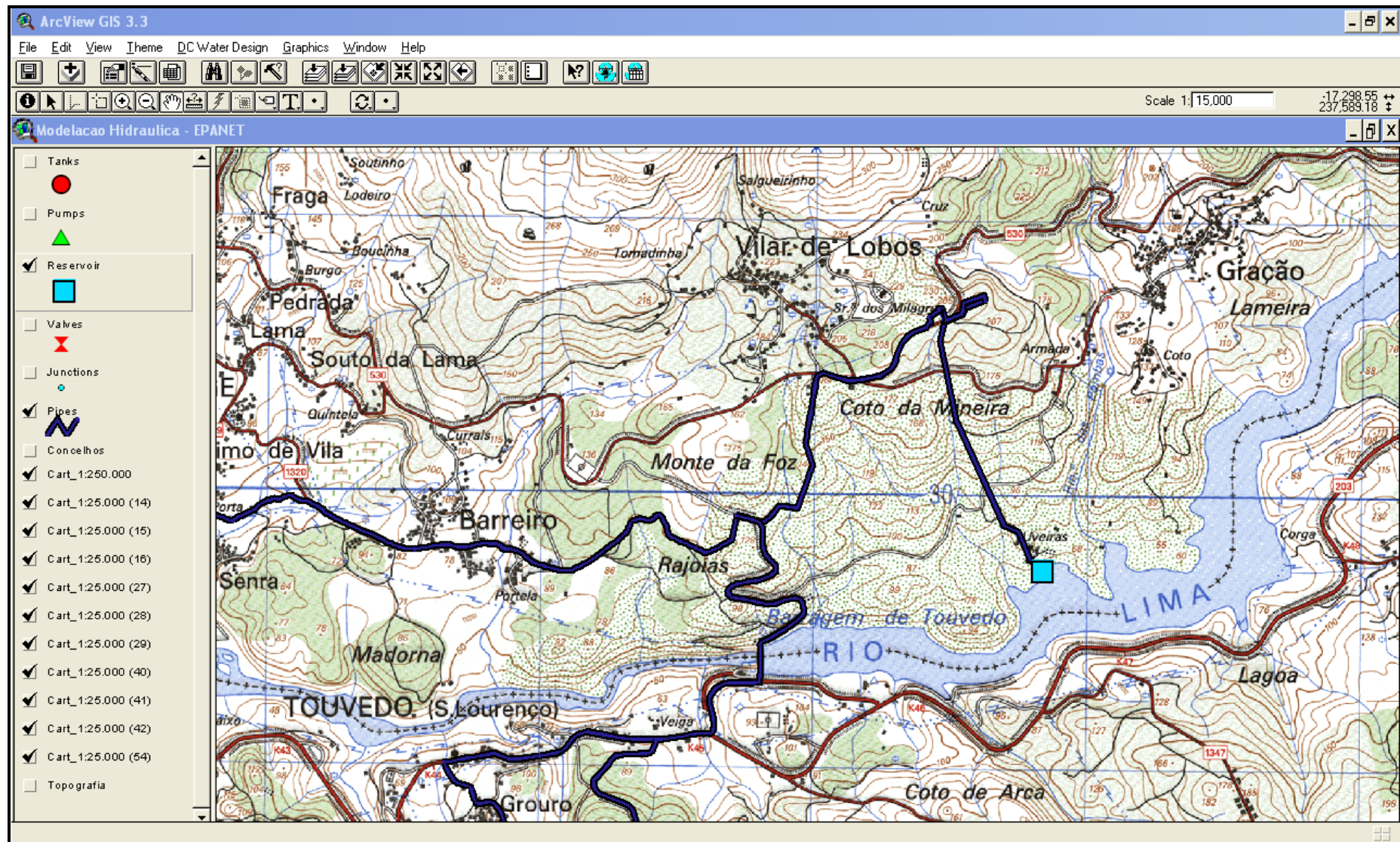


Figura 13 – Localização do reservatório de nível fixo (origem de água)

3.2.1.4 Reservatórios de Nível Variável

O sistema adutor em análise é constituído por 39 reservatórios de nível variável. Nas propriedades destes elementos introduziram-se os seguintes atributos:

- Cota de soleira;
- Altura de água inicial;
- Altura de água mínima;
- Altura de água máxima;
- Diâmetro.

A informação necessária foi proveniente dos projectos existentes, bem como das telas finais de execução das infra-estruturas.

Considerou-se para efeitos da simulação que todos os reservatórios se encontravam cheios na sua situação inicial, correspondendo este valor à altura de água máxima. A altura mínima corresponde ao nível mínimo admissível no funcionamento do reservatório, sendo no entanto este valor regulado por uma válvula altimétrica também representada no modelo conforme se refere adiante. Esta regulação é feita por intermédio de controlos definidos também no programa.

O diâmetro dos reservatórios foi calculado tendo em consideração o volume de água armazenado, em função da respectiva fórmula de cálculo:

$$V = h \cdot \pi \frac{d^2}{4}$$

Em que:

- V – Volume (m³);
- h – altura do reservatório (m);
- d – diâmetro (m).

Para efeitos de simplificação do modelo todos os reservatórios de duas células foram representados como constituídos por uma única célula (ver figura 14), tendo sido considerado um diâmetro equivalente, que corresponde ao volume total das duas células. Os reservatórios do modelo apresentam uma forma cilíndrica, deste modo não foi necessário especificar a curva de volume, uma vez que esta apenas se aplica às situações em que os reservatórios apresentam formas distintas.

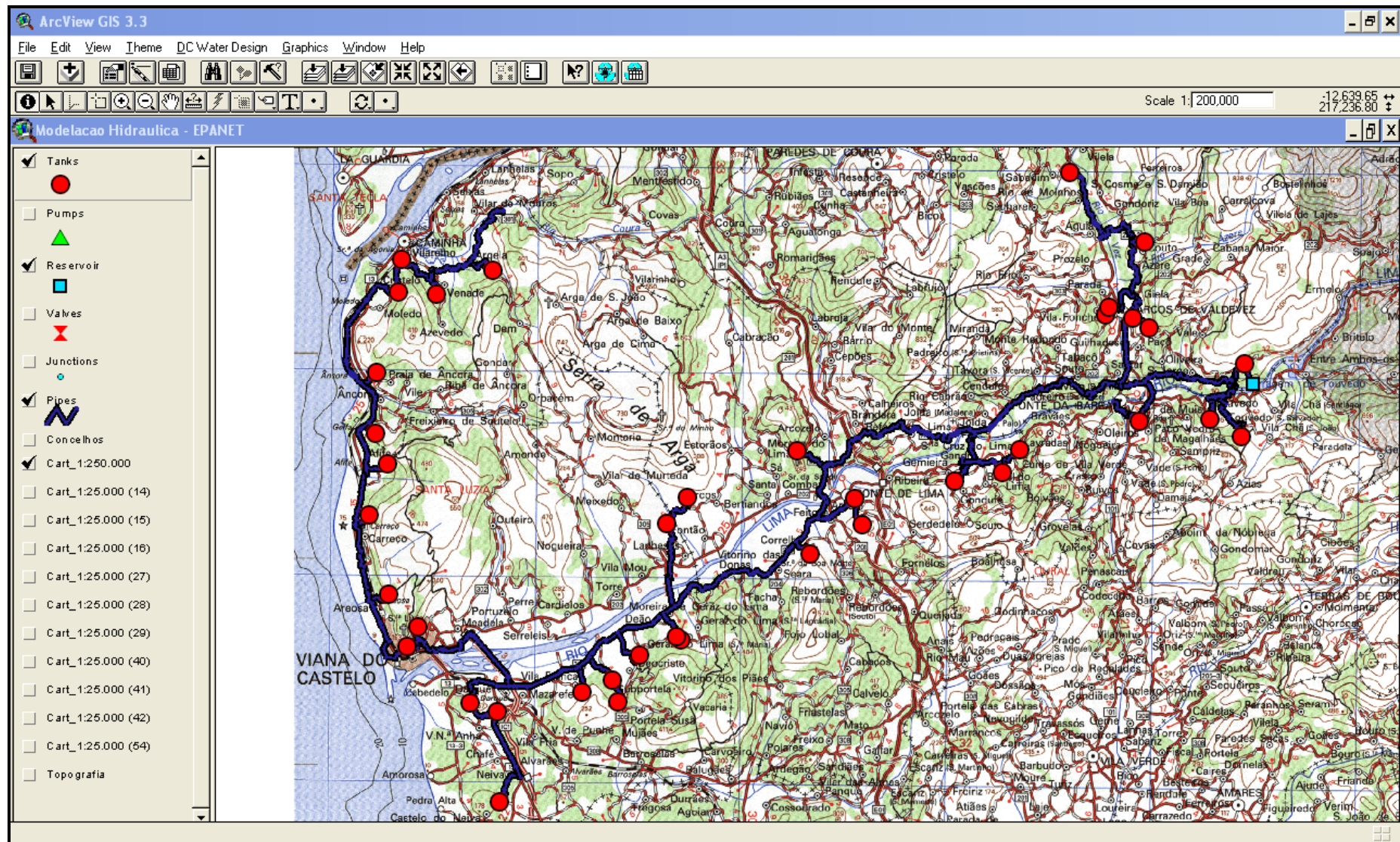


Figura 14 – Localização dos reservatórios de nível variável

A entrada de água nos reservatórios é efectuada por cima, com a excepção do RP1 em que esta se encontra submersa. Para a efectiva representação no modelo foi necessário recorrer a uma válvula de alívio regulada para o nível de entrada de água no reservatório de modo a garantir a correcta simulação desta particularidade.

Estes reservatórios estão portanto associados a um conjunto de elementos, conforme demonstrado no capítulo 3.2.1.6 – Válvulas, em que existem troços de tubagem de pequena dimensão que fazem as ligações entre as válvulas, os reservatórios e os pontos de consumo.

3.2.1.5 Nós

Após a introdução das condutas e dos reservatórios no SIG, procedeu-se à colocação dos nós nas extremidades das condutas adutoras. Para além desta situação foram introduzidos nós sempre que se verificou a existência de derivações, caixas de acessórios, válvulas de seccionamento, pontos altos (ventosas) e pontos baixos (descargas de fundo).

No ambiente SIG foram introduzidos um total de 456 nós que se podem distinguir como:

- 414 Nós simples – figura 15;
- 41 Nós de Consumo – figura 16;
- 1 Nó especial (origem de concentração da qualidade da água) – figura 17.

Os dados necessários para a caracterização dos nós simples, resumem-se à cota acima do nível média das águas do mar.

Para os nós de consumo foram introduzidos adicionalmente os valores de consumos associados aos reservatórios ou pontos de entrega nas condutas adutoras. Estes consumos estão associados à rede de distribuição que se encontra a jusante, e que faz a separação entre o modelo representado e a rede de distribuição. Associado ao consumo foi especificado o padrão temporal de forma a traduzir a sua variação no tempo.

A ETA de S. Jorge é representada por um nó com características especiais, uma vez que se verifica a introdução do valor da qualidade inicial da água para o parâmetro considerado neste modelo (cloro residual).

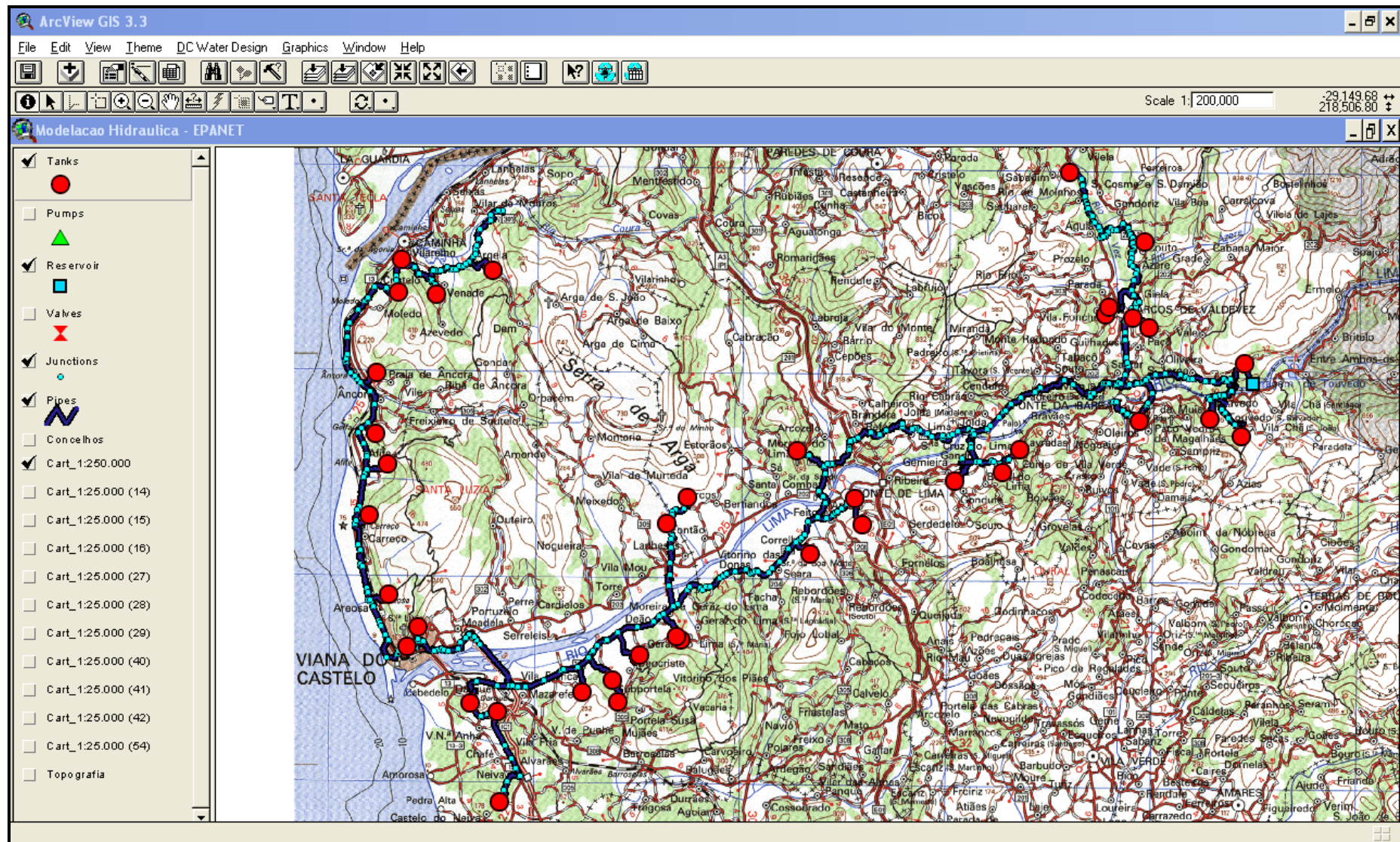


Figura 15 – Localização dos nós ao longo do sistema adutor

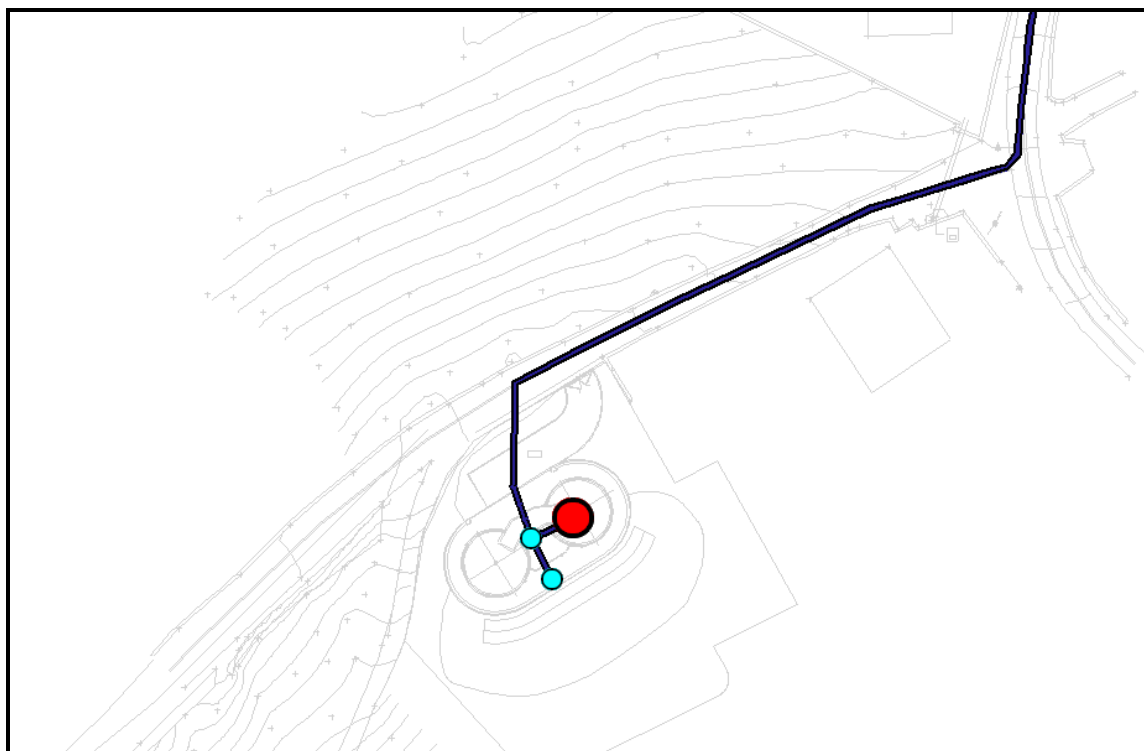


Figura 16 – Nós representativos dos pontos de consumo associados aos reservatórios

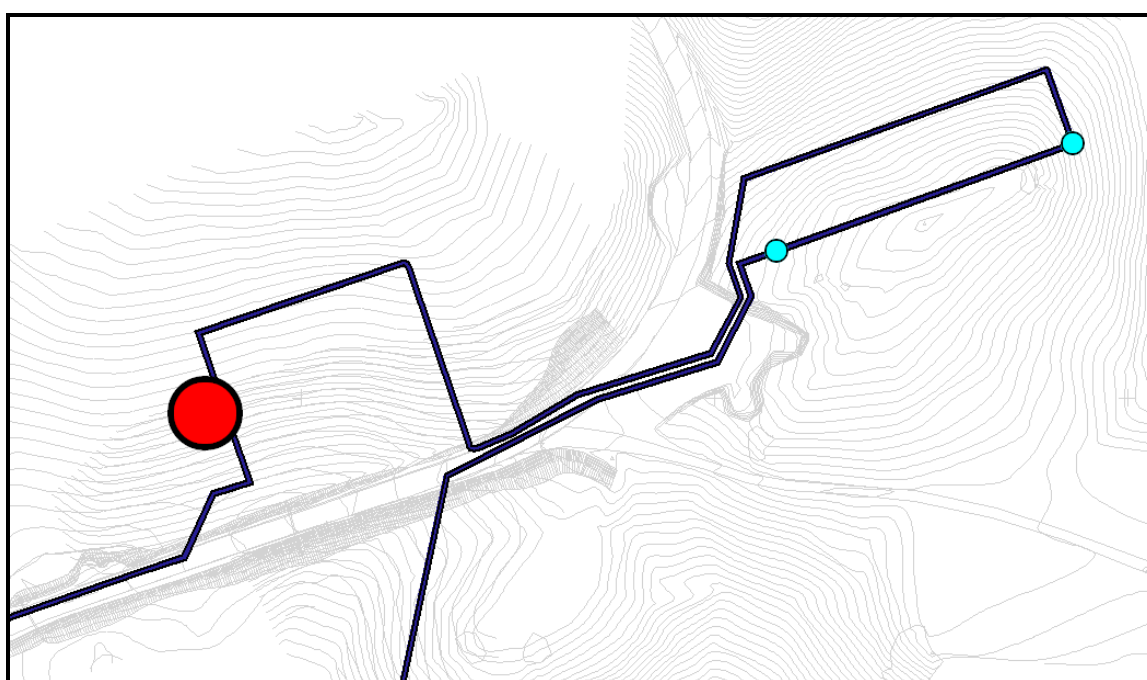


Figura 17 – Nós representativos da ETA de S. Jorge (qualidade inicial da água)

3.2.1.6 Válvulas

De seguida, foram introduzidas as válvulas associadas na sua maioria aos reservatórios e outras associadas ao sistema adutor. No sistema de informação geográfica desenvolvido as válvulas são representadas por pontos em que se caracterizaram os seguintes elementos:

- Diâmetro;
- Tipo de válvula;
- Parâmetro de controlo na válvula.

No sistema adutor modelado, foram introduzidas 115 válvulas distribuídas pelas seguintes categorias:

- 38 Válvulas de borboleta (TCV);
- 38 Válvulas reguladoras de caudal (FCV);
- 38 Válvulas de alívio (PSV);
- 1 Válvula redutora de pressão (PRV).

Na entrada dos reservatórios de nível variável instalados ao longo do sistema adutor gravítico foram instalados um conjunto de válvulas destinadas a simular as válvulas altimétricas que controlam o nível de água no reservatório, bem como para simular a entrada de água acima da superfície livre e com regulação de caudal, conforme representado na figura 18.

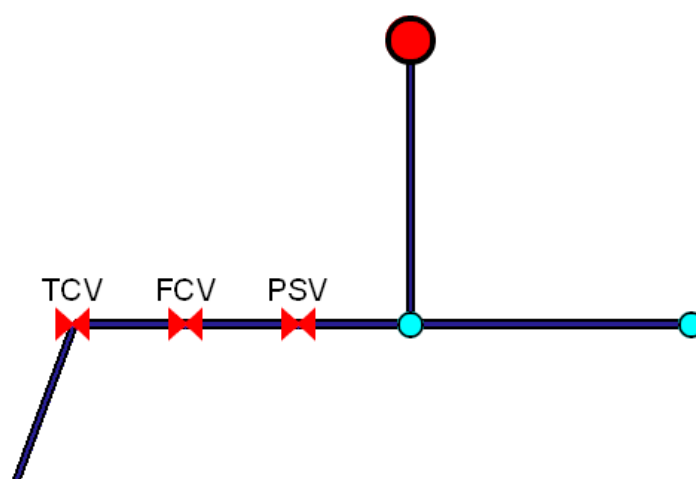


Figura 18 – Conjunto de válvulas associadas aos reservatórios

As válvulas de borboleta regulam o grau de fecho/abertura da válvula e o correspondente coeficiente de perda de carga singular. Permite deste modo simular no modelo criado a regulação ou a interrupção do escoamento aos reservatórios.

As válvulas reguladoras de caudal limitam o valor de caudal na conduta onde estão inseridas. O parâmetro de controlo introduzido regula o caudal máximo aduzido aos reservatórios, permitindo no entanto fornecer caudais inferiores para os quais foram reguladas. O valor de caudal considerado como limite foi o valor de consumo no nó, de modo a totalizar no conjunto de todas as válvulas no estado aberto, o valor do caudal do cenário em causa, 500 l/s.

As válvulas de alívio mantêm o valor de pressão de entrada nesse ponto da rede, se as condições assim o permitirem. Este tipo de válvula permite simular a entrada de caudal por cima num reservatório de nível variável, tendo sido regulada para o efeito, a válvula no valor da altura de entrada de água no reservatório. A água apenas entra no reservatório se a pressão disponível for igual ou superior ao nível da entrada de água.

Ao longo do sistema adutor foi introduzida uma válvula redutora de pressão (figura 19) prevista no projecto do sistema adutor de modo a evitar pressões elevadas numa zona litoral em que as cotas do terreno são bastante inferiores às de montante, sendo a classe de pressão das conduta adutora principal e acessórios alterada de PN25 (a montante) para PN16 (a jusante).

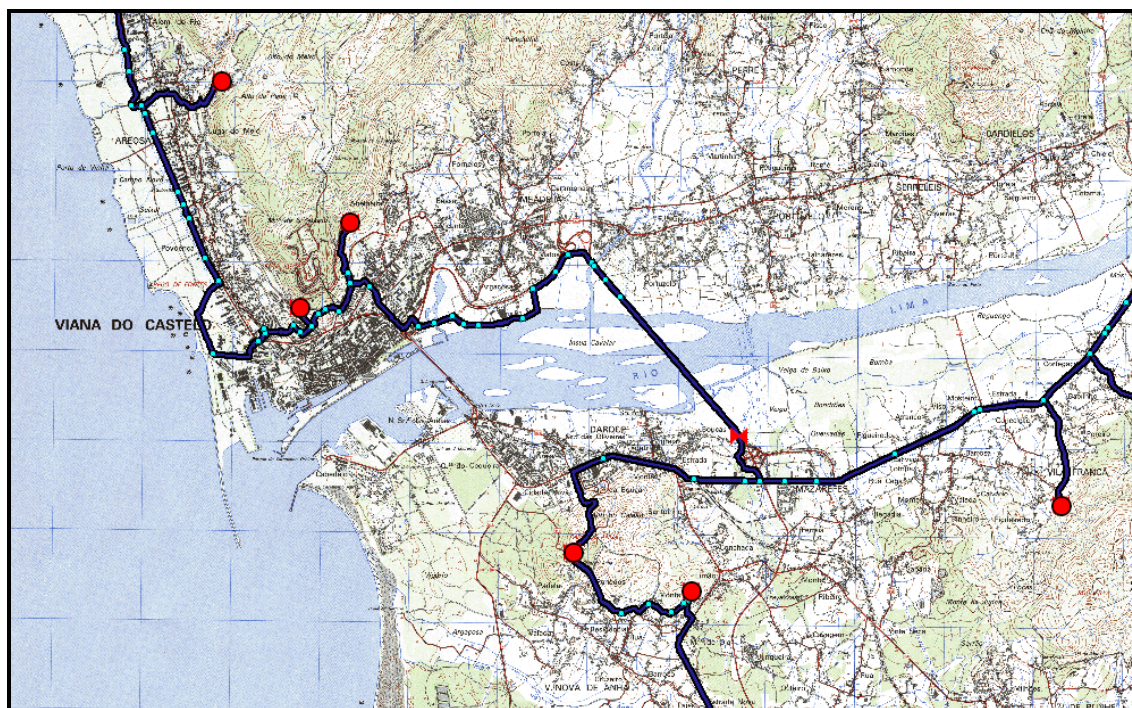


Figura 19 – Localização da válvula redutora de pressão (PRV).

A válvula redutora de pressão limita a pressão para jusante da secção onde se encontram, não permitindo que o valor da pressão exceda o valor especificado no parâmetro de controlo.

O conjunto de válvulas referido anteriormente apenas não foi introduzido a montante do Reservatório de Vila Chã, uma vez que a entrada de água neste, é controlada a partir da estação elevatória a montante (EE Vila Chã), sendo por isso desnecessária a existência destas válvulas de controlo.

3.2.1.7 Estações Elevatórias

As estações elevatórias foram introduzidas no ambiente de ArcView, sendo representadas na figura 20, referindo-se apenas à bombagem desde captação de água na origem (45m) até à ETA (213m) e outra associada à derivação para o reservatório de Vila Chã (314m) que se situa a uma cota superior ao reservatório principal de água tratada RP1 (202m). O transporte de água ao longo de todo o restante sistema adutor é efectuado de modo gravítico desde o RP1.

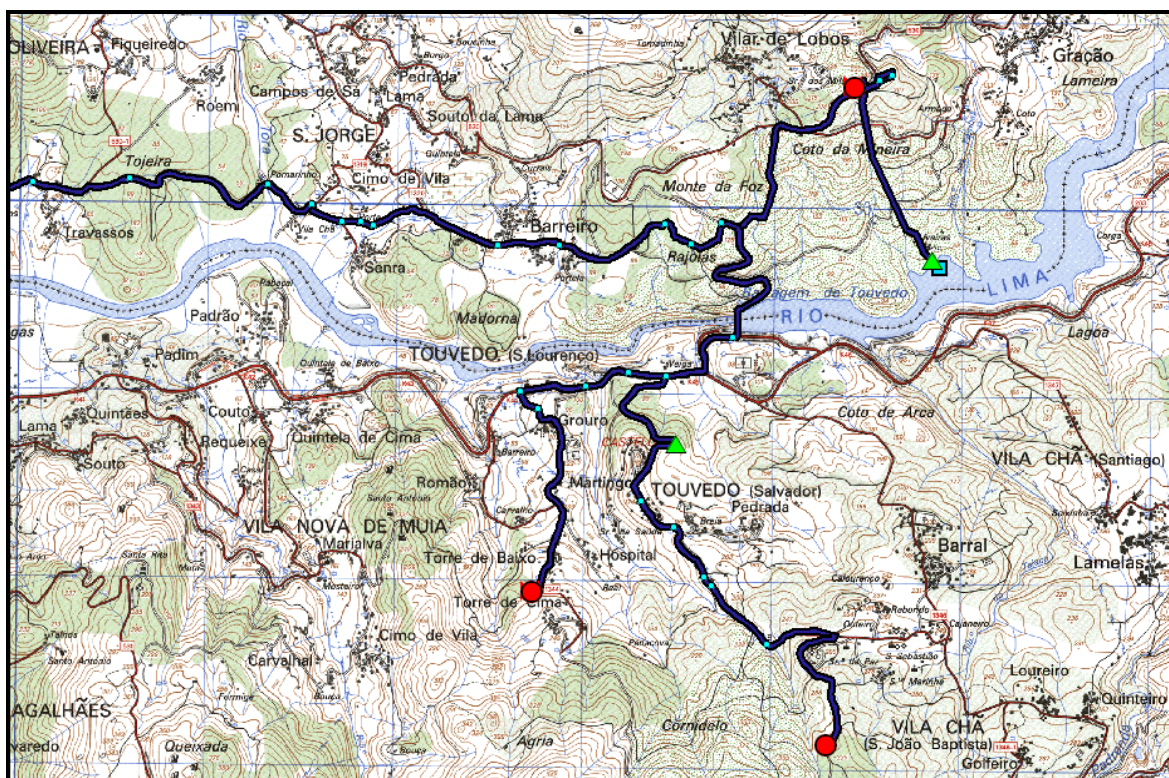


Figura 20 – Localização das estações elevatórias (Captação e EE de Vila Chã)

Para a caracterização destes elementos são necessárias os seguintes dados:

- ID da bomba;
- Cota de aspiração;
- Tipo de bomba (velocidade fixa ou velocidade variável);
- Identificação da curva característica da bomba;
- Regulação da velocidade.

A curva característica da bomba é o parâmetro fundamental a especificar, sendo uma combinação de valores de caudal e de valores de altura de elevação, usualmente fornecidos pelos fabricantes das bombas.

No caso da captação de Touvedo, em que funcionarão duas bombas montadas em paralelo para o caudal de 500 l/s, foi calculada a curva característica de altura manométrica equivalente do conjunto de bombas (figura 21) que, interceptada com a curva da instalação, traduz o valor do respectivo ponto de funcionamento (ponto de máxima eficiência).

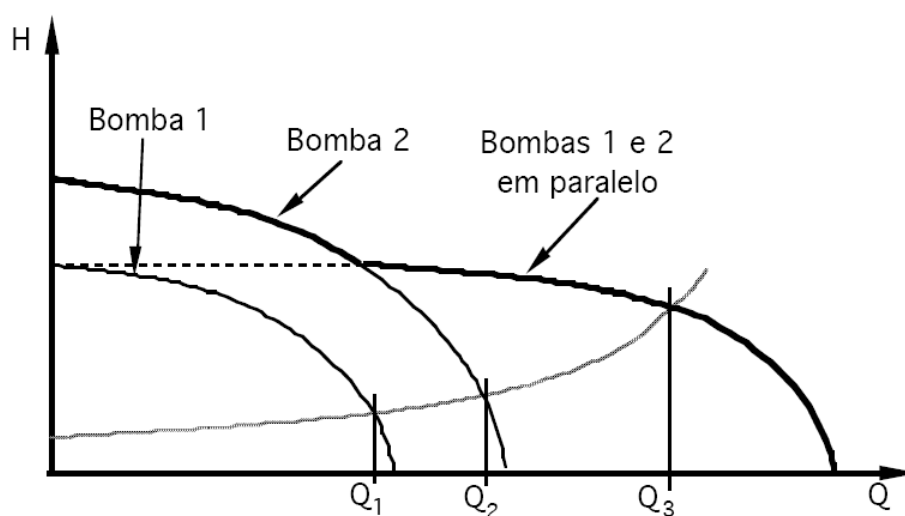


Figura 21 – Definição do ponto de funcionamento de uma instalação onde a central de bombagem é constituída por um paralelo de bombas (F.Pinho, 2006)

Para a estação elevatória de Vila Chã, foi introduzida a curva característica de uma única bomba, sendo que na infra-estrutura existe um grupo electrobomba adicional que funciona apenas como reserva.

3.2.2 Consumos

Para a simulação do sistema adutor foram estimados os consumos com base nos estudos prévios e projectos da AdML, dado que o modelo se destina numa primeira etapa a apoio ao projecto e planeamento.

Estes consumos referem-se a cenários distintos de futura exploração, sendo considerados fundamentais a análise das necessidades médias diárias anuais e médias diárias no mês de maior consumo.

Para o desenvolvimento do modelo de simulação foram especificados os consumos nos nós associados na sua maioria aos reservatórios que correspondem ao fim de linha do sistema adutor, onde se efectua a transição para o sistema de distribuição.

Existem situações pontuais em que o consumo não está associado a um reservatório específico, mas sim ao longo do percurso da conduta adutora. Estas circunstâncias devem-se ao facto de existirem derivações para subsistemas cujas reais características não são bem conhecidas e que implicariam uma complexidade matemática significativamente agravada, com um incremento discutível na qualidade do modelo. Estes casos são referidos ao longo do presente trabalho como pontos de entrega.

Os consumos são especificados na tabela 12, em que se efectua a respectiva caracterização do reservatório ou ponto de entrega e área de influência associada.

Tabela 12 – Nós de consumo e respectiva caracterização

Concelho	Nó de Consumo (código)	Infra-estrutura associada	População total servida	Qmda (l/s)	Qmmc (l/s)
Arcos de Valdevez	NC_ARV_02	Res. Faquelo	2368	3,50	5,70
	NC_ARV_03	Res. S. Paio - Za	8093	11,20	18,50
	NC_ARV_04	Res. C. Soeiro	3956	5,90	9,60
	NC_ARV_05	Res. Silvares	5154	7,20	12,00
	NC_ARV_06	Res. Couto	2410	3,70	5,60
	NC_ARV_07	Res. Aboim	6287	10,50	14,60
	NC_ARV_08	Pe. Padreiro	2735	4,10	6,40
Ponte da Barca	NC_PTB_01	Res. Vila Cha	2241	3,80	5,60
	NC_PTB_02	Res. Touvedo	435	0,80	1,10
	NC_PTB_03	Res. R1	4471	7,70	11,20
	NC_PTB_04	Pe. Vila	3365	6,50	10,40
	NC_PTB_05	Pe. Vila Oeste	4112	5,80	8,50
Ponte de Lima	NC_PTL_01	Res. Brichal	568	1,00	1,50
	NC_PTL_02	Res. Figueiras	2436	4,50	6,60
	NC_PTL_03	Res. Gemieira	1122	2,70	3,80
	NC_PTL_04	Res. Sto. Ovideo	9737	17,80	24,00
	NC_PTL_05	Res. Arca	6279	11,00	16,00
	NC_PTL_06	Res. Golf	3308	6,10	8,90
	NC_PTL_07	Res. Correlha	21242	45,20	57,60
	NC_PTL_08	Res. S. P. Arcos	2207	4,10	6,00
	NC_PTL_09	Pe. Brandara	5797	9,60	17,20

Concelho	Nó de Consumo (código)	Infra-estrutura associada	População total servida	Qmda (l/s)	Qmmc (l/s)
Viana do Castelo	NC_VCT_01	Res. Lanheses	3545	5,60	8,20
	NC_VCT_02	Res. Sta. Maria	665	1,40	1,80
	NC_VCT_03	Res. Sta. Maria (Za)	1138	2,50	3,20
	NC_VCT_04	Res. Deao	1702	3,60	4,50
	NC_VCT_05	Res. Subportela	1789	4,00	5,30
	NC_VCT_06	Res. Penegudo	9718	22,00	32,00
	NC_VCT_07	Res. Vila Franca	4009	8,20	12,00
	NC_VCT_08	Res. Faro de Anha	28560	58,80	84,70
	NC_VCT_09	Res. Monte da Ola	8252	16,00	23,40
	NC_VCT_10	Res. Neiva Monte	8388	16,00	24,20
	NC_VCT_11	Res. Esp. Mendes II	22587	52,00	75,80
	NC_VCT_12	Res. Ursulinas	5884	13,80	19,80
	NC_VCT_13	Res. Pego	7674	15,10	23,50
	NC_VCT_14	Res. Paço	3427	6,50	9,70
	NC_VCT_15	Res. Pedreira	3802	7,00	9,80
	NC_VCT_16	Pe. Viana	10561	28,00	36,80
Caminha	NC_CMN_01	Res. Ancora	3525	6,50	8,60
	NC_CMN_02	Res. V. P. Ancora	10618	17,80	26,00
	NC_CMN_03	Res. Cristelo	3246	5,50	8,00
	NC_CMN_04	Res. Caminha	5514	9,60	14,00
	NC_CMN_05	Res. Venade	1815	3,20	4,60
	NC_CMN_06	Res. Argela	801	1,40	2,00
	NC_CMN_07	Pe. Valada	16538	22,80	40,80
Total			262081	500,00	729,50

A simulação efectuada no presente estudo prevê apenas a existência do cenário para o Qmda de 500 l/s em que o consumo varia ao longo do tempo, utilizando-se para o efeito a simulação em período alargado, também designada por simulação dinâmica. O cenário de Qmmc não é considerado no presente estudo dado ser desconhecido o conjunto de controlos operacionais associados às múltiplas origens que funcionarão como alternativas de reforço.

A forma de incorporar as variações temporais ao longo do período simulado (5 dias) consiste em introduzir padrões de variação de consumo que correspondem a sequências de factores multiplicativos do consumo, para cada passo temporal da simulação hidráulica.

Para efeitos de simulação do presente modelo, foram utilizados dois tipos de padrões de consumo que dependem do tipo de zona servida pelos reservatórios. Os reservatórios localizados em zonas mais rurais, nomeadamente as mais afastadas das sedes dos concelhos e do litoral utilizaram o padrão de consumo PC1 enquanto que para as zonas mais urbanas foi considerado o padrão PC2.

Estes padrões encontram-se representados nas figuras 22 e 23, e apresentam um passo temporal de 15 minutos. A origem dos dados é proveniente de um sistema adutor com características semelhantes ao considerado neste estudo, também localizado na zona norte do país (Águas do Cavado, 2006), sendo no entanto importante referir que a variabilidade de consumos têm um comportamento de natureza estocástica, tanto no tempo como no espaço, sendo uma estimativa com algum grau de incerteza associada, no entanto, para efeitos de planeamento e apoio à futura exploração, são considerados adequados.

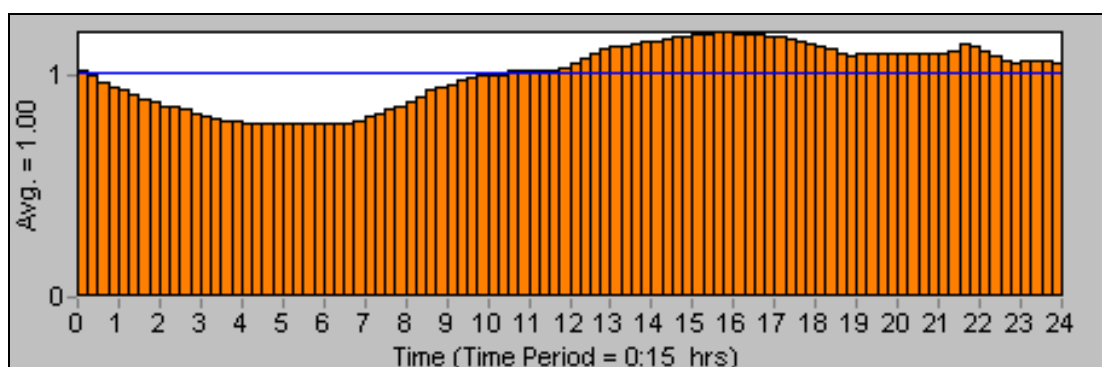


Figura 22 – Padrão de consumo adimensional (PC1) para zonas rurais em 24 horas

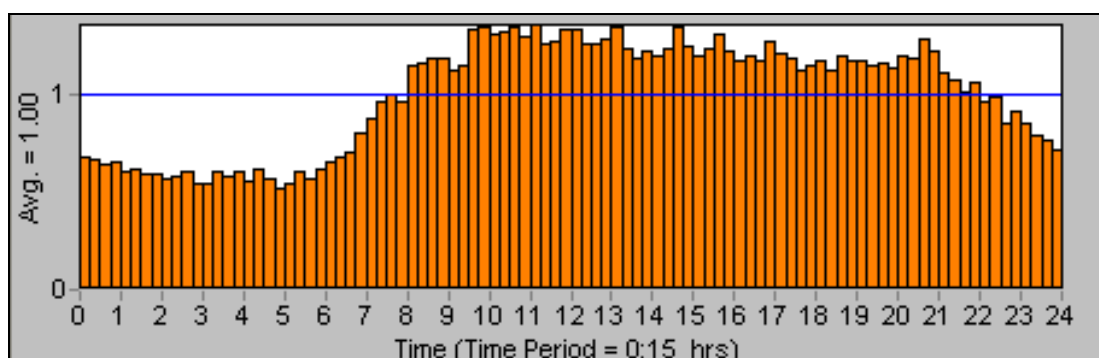


Figura 23 – Padrão de consumo adimensional (PC2) para zonas urbanas em 24 horas

3.2.3 Controlo Operacional

Os controlos são um conjunto de instruções que estabelecem o modo como a rede opera ao longo do tempo em função de determinadas condições. Aplicam-se estes controlos sobre o estado das condutas, bombas ou válvulas, que poderão ser accionados em função do tempo, da altura de água num reservatório e da variação de caudal ou pressão em determinados pontos da rede.

Para o cenário considerado, e tendo em consideração o funcionamento quase totalmente gravítico do sistema adutor, apenas são necessários os controlos relativos ao funcionamento das válvulas altimétricas à entrada dos reservatórios bem como da EE de Vila Chã em função do respectivo nível de água no reservatório associado.

Foram aplicados controlos simples que alteram o estado de um elemento com base na altura de água num reservatório de nível variável de acordo com as seguintes instruções:

LINK x status IF NODE y ABOVE/BELOW z

em que:

x – ID do elemento (válvula ou bomba);

status – OPEN ou CLOSED;

y – ID do nó (reservatório);

z – altura de água no RNV.

3.2.4 Qualidade da Água

Ao nível da qualidade da água, foram analisadas duas situações distintas mas interrelacionadas, que se referem à variação da idade da água ao longo do sistema de adução e o decaimento de cloro residual na mesma rede.

O módulo de simulação de qualidade da água do EPANET utiliza um modelo Lagrangeano para seguir o destino dos segmentos (que representam parcelas de água) à medida que estes se deslocam nas tubagens e se misturam nos nós entre passos de cálculo (Coelho, 2004).

O modelo permite simular o crescimento ou decaimento de diferentes substâncias ao longo da rede, devido a reacções entre espécies químicas presentes na água. Estas reacções podem ocorrer no seio do escoamento ou na interface com as paredes das tubagens ou dos reservatórios de nível variável, situações estas que o EPANET permite tratar separadamente.

Para caracterizar as reacções de mistura no interior dos reservatórios de nível variável podem ser considerados quatro tipos diferentes de modelos, nomeadamente: mistura completa; mistura com dois compartimentos; escoamento em êmbolo FIFO e escoamento em êmbolo LIFO. No presente estudo foi assumido o modo de mistura mais simples e que se revela bastante adequado na maioria dos reservatórios com ciclos sucessivos de enchimento e esvaziamentos (mistura completa).

Internamente, o EPANET trata a idade como um constituinte reactivo que segue uma lei cinética de crescimento de ordem zero. No caso do decaimento do cloro residual foi considerada uma lei cinética de primeira ordem, adaptada de um sistema adutor (Águas do Cavado, 2006) com características semelhantes e localizado geograficamente na zona norte do país, com água de qualidade semelhante na origem.

O modelo de 1.^a ordem, onde a velocidade da reacção é proporcional à concentração de cloro, é o de maior simplicidade e o tradicionalmente usado nos modelos de simulação, atendendo à seguinte equação:

$$C = C_0 \exp(-kt)$$

Em que,

C – concentração no instante t;

C₀ – concentração no instante inicial;

k – constante cinética;

t – tempo.

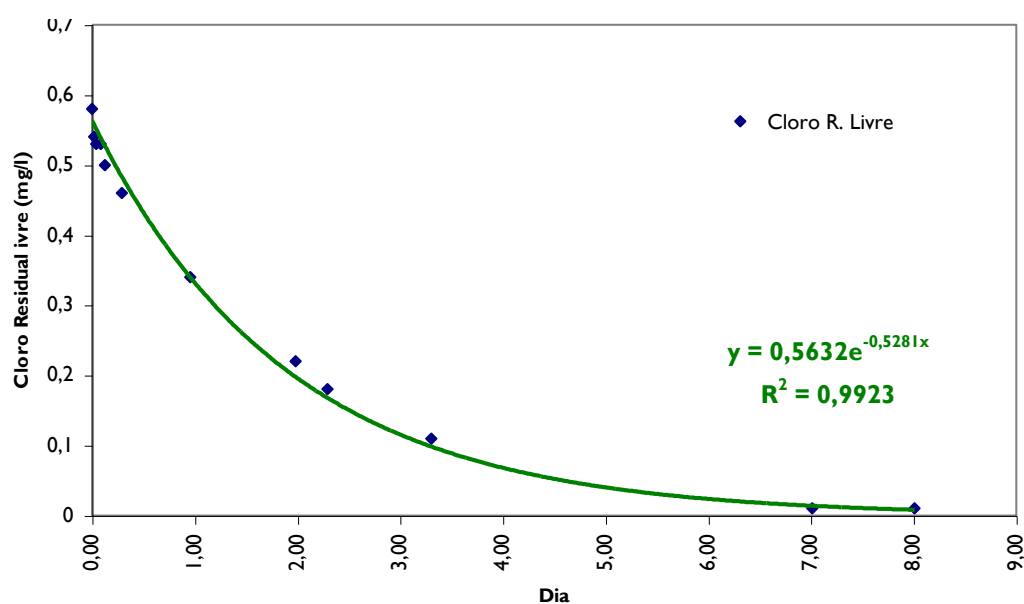


Figura 24 – Determinação da constante cinética de decaimento de Cloro– K_{seio água} (Águas do Cávado, 2006)

De acordo com a figura 24, o valor da constante cinética utilizado na simulação foi $k = 0,5281 \text{ dia}^{-1}$. A qualidade inicial da água foi introduzida no nó representativo da ETA de S. Jorge, tendo sido estimado um valor de concentração de cloro residual livre à saída da ETA de 1,0mg/l. O tipo de origem de qualidade foi especificado como ponto de reforço de concentração “Setpoint Booster” em que se adiciona uma concentração fixa àquela resultante da mistura de todo o caudal que entra no nó.

3.2.5 Tempos

A modelação do sistema de abastecimento de água, foi efectuada com base em simulações da evolução do sistema ao longo do tempo, através de sequências de soluções de equilíbrio hidráulico obtidas para sucessivos instantes.

No caso analisado foi utilizada uma duração total da simulação de 5 dias (120 horas), em que o padrão de consumo é repetido no início de cada intervalo de 24 horas. O passo de tempo considerado para o cálculo hidráulico foi de 15 minutos, e no que se refere à qualidade da água o intervalo de cálculo considerado foi de 5 minutos.

A aplicação “DC Water Design Extension” permite a importação dos resultados do cálculo hidráulico, de acordo com o passo de tempo considerado. O valor dos instantes de tempo, variam na presente investigação entre 1 e 481, que correspondem a 0:00h e 120:00h respectivamente, com intervalos de 15 minutos.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO-BASE

No decorrer do carregamento dos dados descritos anteriormente, foram criadas bases de dados na solução SIG, que no seu conjunto permitem utilizar a aplicação “DC Water Design Extension”. Esta ferramenta baseia-se num conjunto de tabelas representadas esquematicamente e a cor amarela na figura 11, em conformidade com o modelo EPANET. A informação que constitui o modelo encontra-se distribuída por duas classes distintas de dados nomeadamente:

- Epanet Themes;
- Epanet Tables.

No conjunto de temas criados, designados por “Epanet themes” encontram-se representados todos os elementos com informação espacial, aos quais se encontram associados os respectivos dados de

características, conforme Anexo B. Fazem parte destes dados os nós, tubagens, reservatórios de nível variável, reservatórios de nível fixo, válvulas e bombas que se encontram representados na caixa de diálogo apresentada na figura 25.

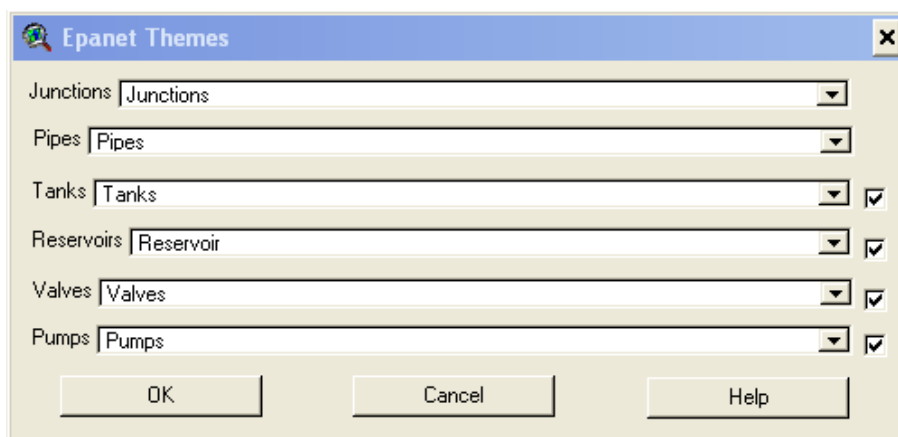


Figura 25 – Caixa de diálogo referente aos temas utilizados no modelo “Epanet Themes”

No entanto, existem dados de configuração que não dispõem de informação espacial e por este motivo se apresentam apenas em tabelas associadas ao modelo, conforme Anexo C. Estes elementos são as opções de análise hidráulica, tempos da simulação, configurações de relatórios, controlos operacionais, curvas características das bombas e padrões de consumo, ver figura 26.

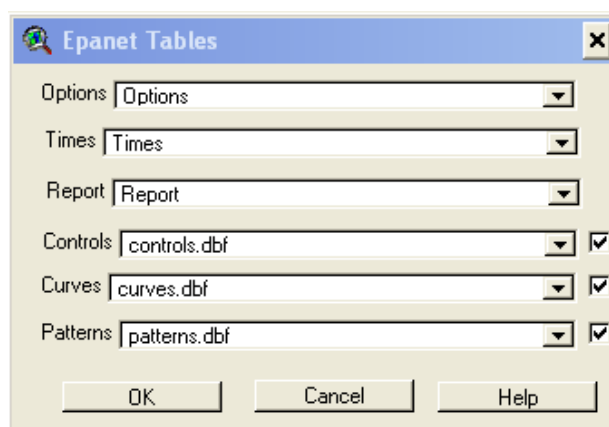


Figura 26 – Caixa de diálogo para as tabelas associadas ao modelo “Epanet Tables”

A aplicação tem um conjunto de comandos de auxílio à construção do modelo que se encontram referidas no manual do programa e são apresentadas no menu da figura 27. Das principais funções destinadas à implementação da solução base, destacam-se as de verificação do modelo “Check Epanet Model”, de criação das ligações nó/tubagem “Make Epanet Model” e de cálculo do modelo simulado “Run Epanet Calculation”.

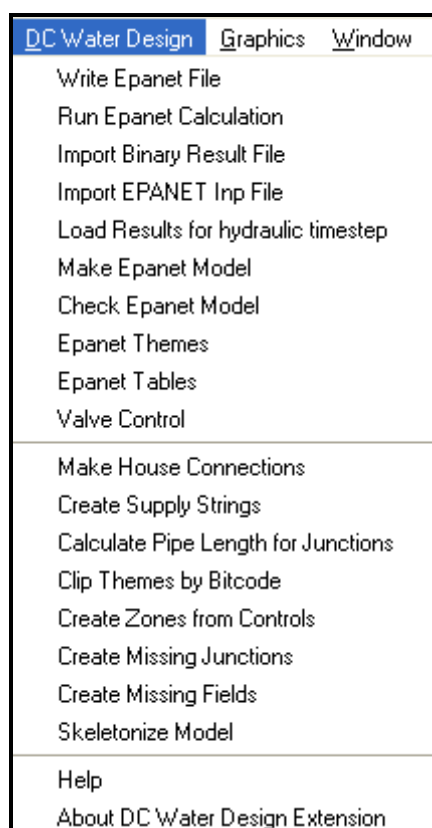


Figura 27 – Menu da aplicação “DC Water Design Extension”

Após a introdução de todos os dados no sistema a verificação do modelo torna-se fundamental, de modo a eliminar erros detectáveis pela aplicação, decorrentes de campos vazios, extensões de tubagens mais curtas que o raio de “snapping”, campos de identificação ID duplicados ou demasiado longos.

A criação das ligações nó/tubagem permite analisar a conectividade dos elementos que compõe o modelo, seleccionando automaticamente os elementos que apresentam problemas. Simultaneamente, são preenchidos pela aplicação os campos relativos ao nó inicial e nó final das tubagens, com o correspondente ID dos nós. Uma vez completa a criação desta estrutura com sucesso é emitido um relatório sumário do modelo criado, apresentado na figura 28.

As tabelas utilizadas no presente estudo, encontram-se no Anexo B e C, constituindo a origem do modelo de dados das simulações realizadas. Atingida esta fase, foi possível efectuar as simulações da solução base, com duas alternativas que se distinguem pela criação de um ficheiro (.inp) externo ao ambiente SIG para posterior análise no programa EPANET ou a possibilidade de correr o modelo internamente e inclusão dos respectivos resultados nas tabelas associadas aos “Epanet Themes”.

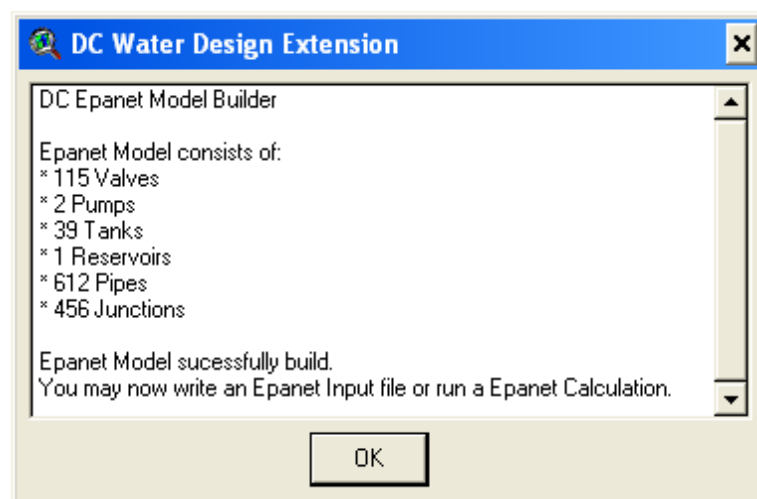


Figura 28 – Relatório sumário do modelo epanet criado

Este processo foi efectuado de modo iterativo com a compilação de diversos ficheiros correspondentes aos cenários modelados, eliminação dos erros detectáveis e afinação de opções de modelação, que permitiram o ganho de sensibilidade ao modelo para posterior exploração das capacidades de simulação oferecidas.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos nas simulações e discussões desta investigação encontram-se organizados em três secções distintas. De acordo com a metodologia seguida no estudo, apresenta-se primeiro a verificação do modelo e posteriormente a exploração do mesmo, segundo a análise hidráulica, a avaliação do desempenho técnico e análise de qualidade da água. Estes resultados e respectiva interpretação tem como linhas orientadoras, a utilização do modelo para planeamento e apoio à futura exploração. Na última parte dos resultados é efectuada uma abordagem às potencialidades do modelo e planeamento do seu desenvolvimento continuado.

4.1 VERIFICAÇÃO DO MODELO

O modelo foi desenvolvido com base nos itens descritos na metodologia do estudo, de modo a permitir a simulação do comportamento do sistema adutor, numa determinada gama de configurações e cenários operacionais para as quais foi projectado.

A fase de verificação do modelo constitui uma importante etapa dos resultados atingidos, uma vez que permite a identificação das anomalias de funcionamento do modelo, bem como a análise e correcção através de um processo iterativo com base na repetição de simulações computacionais do modelo.

Os resultados obtidos foram comparados com os dados dos estudos e projectos de execução realizados anteriormente, tendo também sido efectuada uma análise com base nos critérios de dimensionamento e requisitos regulamentares. Este processo permitiu a aferição dos resultados obtidos de modo a aproximá-los da realidade considerada no cenário estudado.

A calibração do modelo com dados de caudais e de pressão comparáveis entre os resultados do modelo e os resultados de medições no sistema físico, não foi possível de realizar devido à fase inicial do ciclo de vida do sistema adutor, ainda em construção. Face a estes condicionantes, o modelo foi verificado tendo em consideração os dados disponíveis, sendo certo que a calibração do modelo conduziria inevitavelmente a resultados mais ajustados às condições de funcionamento.

As principais grandezas que reflectem o comportamento hidráulico de um sistema de abastecimento de água são o caudal e a pressão. Neste sentido, como resultado desta etapa de verificação foram detectadas e corrigidas diversas anomalias, principalmente associadas a pressões negativas na rede e a velocidades exageradas nas tubagens, que implicaram a análise detalhada e revisão de todos os componentes do modelo.

4.1.1 Identificação de Anomalias de Funcionamento do Modelo

O relatório de estado processado pelo EPANET, após executar a simulação, indica mensagens de erro e aviso, associadas aos elementos pelo respectivo código (ID) e localizadas no tempo pelo correspondente passo de cálculo hidráulico.

As mensagens de pressões negativas foram detectadas ao longo das várias simulações, estas indicam que determinado nó da rede não está a receber caudal, uma vez que as condições do sistema não o permitem. Nos casos em que o sistema interrompe o transporte em determinados troços, foi apresentada uma mensagem adicional informando que a rede se encontrava desligada. De seguida, mostram-se alguns exemplos de mensagens associadas a este tipo de erros:

WARNING: Node NC_PTB_01 disconnected at 1:56:30 hrs

WARNING: System disconnected because of Link T_PTB_029

WARNING: Negative pressures at 1:58:22 hrs.

Todas estas situações foram resolvidas com base no estudo do comportamento do sistema adutor, detectando-se uma sensibilidade associada à entrada de água nos reservatórios, que requer cuidados especiais no que se refere à configuração das válvulas altimétricas que controlam o nível de água nos reservatórios e, simultaneamente, limitam os caudais aduzidos.

A solução para estes problemas passou pela configuração de um conjunto de válvulas referidas no capítulo 3.2.1.6 Válvulas, que na sua globalidade permitem uma boa modelação do sistema, simulando a abertura e fecho da entrada de água nos reservatórios em função do nível, bem como a regulação de caudal e o efeito da descarga de água acima da superfície livre.

Outra das verificações do modelo passou pela eliminação das mensagens de “Equilíbrio não atingido” ou de número máximo de iterações atingido.

WARNING: Maximum trials exceeded at 10:23:45 hrs. System may be unstable.

Esta condição ocorre quando o EPANET não consegue convergir para uma solução hidráulica em determinado passo de cálculo com o número máximo de iterações fixado. O valor por defeito na aplicação é 40, no entanto para a simulação em causa, este valor foi elevado para 100, permitindo assim um correcto cálculo hidráulico.

Outro aspecto considerado foi o das ligações entre a conduta de entrada, o reservatório e a conduta de saída. De acordo com Coelho *et al.* (2006), no modelo deve evitar-se a ligação de mais de uma conduta ao mesmo reservatório que pode em certos casos, provocar instabilidade numérica nas malhas fictícias criadas a partir dos reservatórios.

A solução para este tipo de problema passa pela ligação do RNV a uma única conduta fictícia (ver figura 29) que se liga ao nó de passagem à mesma cota do terreno. Esta solução é hidraulicamente idêntica, sendo que o caudal que passa na conduta de ligação, em cada momento, é igual à diferença entre o caudal que entra e o caudal que sai do RNV (Coelho, 2006).

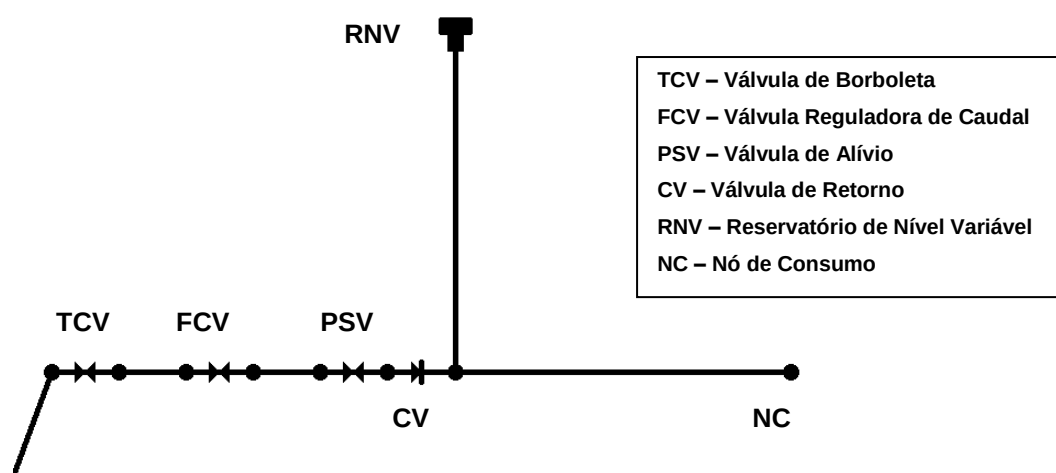


Figura 29 – Representação esquemática da entrada e saída de água nos reservatórios

Ao nível de controlos operacionais, surgiram na execução das simulações iniciais determinadas dificuldades em convergir para uma solução hidráulica. Neste sentido foram simplificados todos os comandos associados às regras operacionais criadas, de modo a evitar incompatibilidades no sistema. A cada reservatório de nível variável foi adicionado um controlo simples de abertura e fecho da válvula de entrada de água em função do nível no reservatório. A amplitude foi regulada para valores na ordem dos 20% do nível máximo do reservatório de modo a evitar longos períodos de enchimento das células. No caso da estação elevatória de Vila Chã foi estabelecido um controlo de arranque ou paragem da bombagem em função do respectivo nível no reservatório a jusante.

A existência de válvulas de retenção ao longo de vários troços sucessivamente, induz no modelo uma complexidade matemática no cálculo do equilíbrio hidráulico que impossibilita a execução da simulação com sucesso. Deste modo foi restringida a sua utilização apenas aos pontos críticos da rede, onde existia a possibilidade de um retorno do caudal, nomeadamente nos troços imediatamente a montante do nó de ligação aos reservatórios.

O ajuste das válvulas reguladoras de caudal (FCV) na entrada dos reservatórios abastecidos graviticamente desde o reservatório principal (RNV_ARV_01) é fundamental para a simulação. Tendo sido verificado que este parâmetro é decisivo e influencia o desempenho de todo o sistema a montante, o fenómeno de modelação das válvulas foi alvo de estudo e ponderação dos seus eventuais efeitos, ao longo de um processo moroso e de análise complexa dada a ausência de valores reais no terreno para termo de comparação e calibração.

Foi adoptada uma situação conservativa em termos de distribuição de caudais, tendo sido considerada a optimização do desempenho do sistema na sua globalidade, estabelecendo-se o limite de caudal no valor médio de consumo no nó a jusante dos reservatórios. O somatório dos limites de caudal estabelecidos para os reservatórios e nós de consumo corresponde ao valor de caudal aduzido na origem do sistema para o cenário em causa de 500 l/s.

No entanto, existem situações em que o programa alerta para mensagens de que a FCV não consegue debitar o caudal regulado, aviso este que não representa uma condição de erro na modelação, alertando apenas para o facto de o caudal que circula na conduta onde a válvula está inserida ser inferior ao estipulado no “parâmetro de controlo”.

WARNING: FCV FCV_CMN_02 open but cannot deliver flow at 74:45:00 hrs.

Esta situação poderá ser frequente e é perfeitamente aceitável, sempre que não seja possível ou desejável fornecer o caudal para o qual foi regulada como limite máximo.

4.1.2 Análise e Correção Através de Processo Iterativo

As infra-estruturas representadas no modelo em estudo, são aquelas que constituem o sistema multimunicipal de abastecimento de águas, ou seja, as principais condutas de adução incluindo alguns reservatórios, vulgarmente designados por “sistema em alta” até ao primeiro nível das infra-estruturas de distribuição (reservatório municipal) que fazem a entrega de caudal nas infra-estruturas municipais e posterior distribuição aos consumidores.

Esta situação de fronteira foi estabelecida dada a necessidade de simplificação do modelo, existindo derivações para subsistemas cujas reais características não são bem conhecidas, e que implicariam uma complexidade matemática significativamente agravada com um incremento discutível na qualidade do modelo. Os resultados obtidos são por sua vez beneficiados desta separação, dado que existem diferenças claras no comportamento dos sistemas de adução relativamente aos sistemas de distribuição.

Dada a existência de infra-estruturas previstas com ligações ao sistema adutor ainda não bem definidas (sistemas em baixa), foram também verificadas ao longo do desenvolvimento do modelo, situações pontuais de ausência de cumprimento das situações regulamentares, nomeadamente velocidades máximas nas condutas superiores a 2m/s em troços de ligação aos reservatórios municipais. Este facto deve-se a um dimensionamento das condutas para um diâmetro nominal desadequado às considerações globais afectas ao presente estudo, nomeadamente caudais aduzidos, e que foram alvo de correcção para diâmetros considerados adequados no âmbito das suas características e funcionamento hidráulico.

Como complemento da construção do modelo, foram introduzidos todos os pontos altos e pontos baixos (ventosas e válvulas de descarga de fundo) existentes ao longo do sistema adutor. A configuração do modelo inicial, apenas com os nós principais de derivação, passou de um total de 130 nós e 285 troços para um modelo final com aproximadamente 460 nós e 615 troços de condutas. Esta alteração às simulações iniciais, teve como principal vantagem uma representatividade mais sensível ao traçado das condutas, possibilitando uma análise mais rigorosa dos valores de pressões no transporte ao longo do sistema adutor.

A simulação em período alargado permitiu verificar que o sistema entra num regime cíclico estável. Estes resultados foram conseguidos quando se utilizaram períodos de tempo na ordem dos 5 dias (120 horas) com um passo de cálculo hidráulico de 15 minutos. No que se refere à qualidade da água o intervalo de cálculo considerado foi de 5 minutos, de modo a considerar os pequenos tempos de percurso que possam ocorrer no interior das tubagens.

Todos estes processos de verificação do modelo anteriormente descritos foram realizados num processo iterativo, cujos passos principais foram repetidos até determinadas condições de aceitabilidade serem verificadas.

Este é um processo demorado que requer uma análise cuidada dos diversos parâmetros envolvidos na simulação, desde os dados físicos, consumos, controlos operacionais, opções e configurações da modelação. Durante as primeiras simulações específicas dos cenários, obtiveram-se alguns resultados com disparidades facilmente identificáveis e devidas a causas evidentes, surgiram ainda outras de maior dificuldade de identificação. Segundo Coelho (2006), a correcção deste tipo de discrepâncias é chamada macro-calibração que decorre iterativamente, com ajustamentos, simulações e comparações sucessivas, até à obtenção do melhor grau de precisão desejado para apoio ao projecto e planeamento.

4.2 EXPLORAÇÃO DO MODELO

A execução da simulação, conforme referido anteriormente, permitiu a exploração do modelo em ambiente SIG através da aplicação “DC Water Design Extension”, que se revelou como um ferramenta com elevado potencial de utilidade confirmada quer para a criação do modelo, quer para a interpretação dos dados.

A integração de ferramentas SIG para exploração do sistema adutor com recurso ao EPANET foi determinante para o desenvolvimento de todo o processo posterior relativo a análise hidráulica, da qualidade da água e optimização do sistema. Simultaneamente, a possibilidade de integração dos resultados da execução da simulação internamente no modelo SIG/EPANET permitiu uma análise dos resultados nas tabelas associadas aos “Epanet themes”, com inúmeras vantagens do ponto de vista organizacional uma vez que a aplicação utilizada efectua a associação dos dados do modelo à estrutura interna associada ao SIG/Cadastro.

Deste modo, é possível obter um modelo de simulação EPANET devidamente actualizado no que diz respeito às suas componentes físicas e, por sua vez, o modelo é capaz de fornecer dados característicos do seu funcionamento compatíveis com o SIG, evitando-se a possibilidade de existir informação redundante e de evolução em sentidos opostos.

Esta é de facto uma tendência a seguir e que permite conciliar de um modo centralizado toda a informação relativa ao sistema de abastecimento em causa, compilando uma diversidade de informação associada à descrição física, à descrição dos consumos e respectiva variação temporal, e à discriminação detalhada dos controlos e regras de operação.

Toda esta informação existente no SIG é passível de ser cruzada com uma vasta gama de dados externos, nomeadamente cartografia, ortofotomapas, modelos digitais do terreno, levantamentos topográficos, ficheiros multimédia, relatórios, dados de operação e manutenção, registos dos sistemas de telegestão, automação e controlo, bem como históricos de intervenções e de facturação.

4.2.1 Análise Hidráulica

Do ponto de vista do desempenho técnico do sistema, importa salientar a representatividade do modelo, tendo por base os elementos dos estudos prévios e projectos de execução, reflectindo-se neste trabalho, todas as alterações realizadas até à data e evoluções que são inerentes à construção de um sistema de abastecimento multimunicipal desta dimensão.

Numa primeira fase da análise de resultados efectua-se uma descrição genérica do sistema adutor apresentando-se um conjunto de gráficos explicativos do sistema e cuja informação de base se encontra representada nas tabelas do Anexo B. Na figura 30 representa-se a topologia do terreno ao longo do sistema adutor, verificando-se a evolução quase totalmente gravítica desde o reservatório principal (RNV_ARV_01).

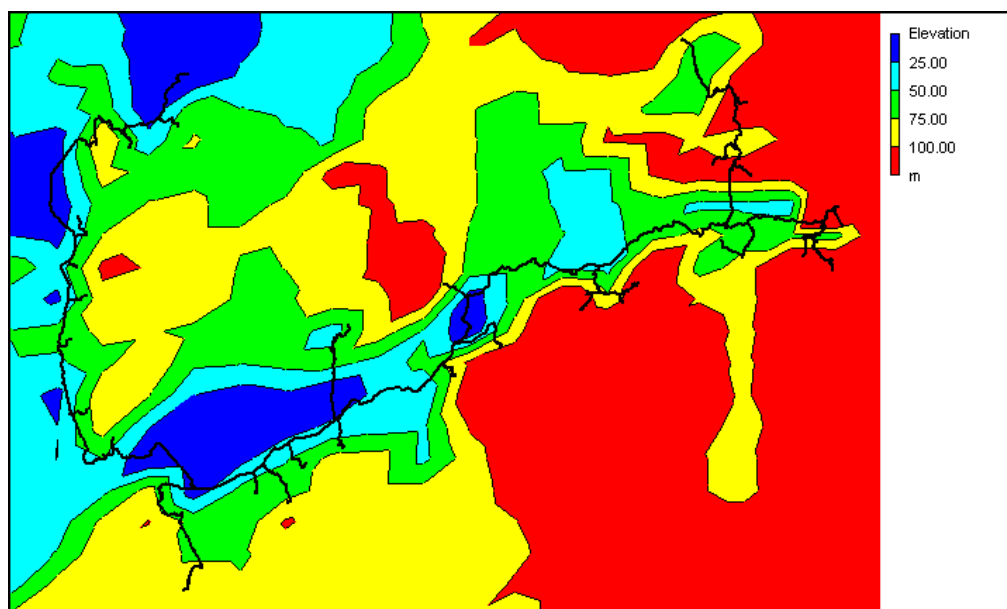


Figura 30 – Gráfico de isolinhas de topologia do terreno

Apresenta-se nas tabelas 13 e 14, os dados relativos às cotas dos pontos notáveis ao longo do sistema adutor, permitindo de uma forma geral analisar as características orográficas do local estudado.

Tabela 13 – Cotas topográficas nos nós (pontos notáveis do sistema)

Pontos notáveis do sistema adutor	Cota topográfica (m)
Captação de água	45,0
ETA (entrada)	214,0
ETA (saída)	208,5
RP1 (entrada)	206,0
RP1 (soleira)	201,5

Tabela 14 – Dados estatísticos das cotas topográficas nos nós

Dados estatísticos dos nós	Cota topográfica (m)
Cota topográfica máxima	314,0
Cota topográfica mínima	-0,3
Cota topográfica média	53,7
Desvio padrão	45,2

A representação dos diâmetros é um dos aspectos que permite analisar a estrutura base do sistema, conforme se apresenta na tabela 15 e no esquema da figura 31. Verifica-se uma predominância em termos de extensão das condutas de médio e grande diâmetro.

Tabela 15 – Listagem resumo de diâmetros e extensão das condutas

Diâmetro (mm)	Extensão (m)	N.º troços
60	2142	10
80	2385	16
90	908	18
100	9591	33
110	1970	17
125	3256	13
150	8246	36
160	5144	30
200	28681	124
250	16206	52
300	5636	23
350	13076	32
400	10050	27
500	10375	22
600	8773	28
700	51068	126
800	332	5
Total	177839	612

A topologia do terreno e os diâmetros das condutas são características físicas do sistema modelado e, por isso, estáticas ao longo do período de simulação (120 horas). Do ponto de vista das principais variáveis de estado, com influência no desempenho hidráulico do sistema de abastecimento, foram analisados os indicadores de caudal, pressão, perda de carga e velocidade de escoamento.

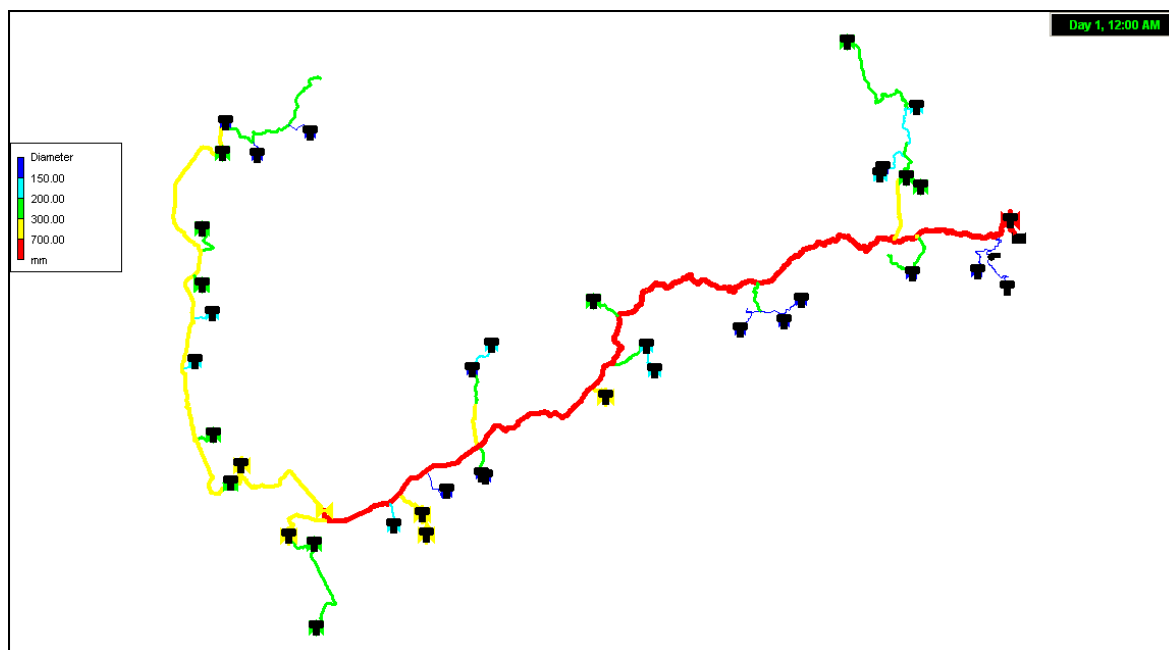


Figura 31 – Representação dos diâmetros de conduta

4.2.1.1 Indicadores de Caudal

A figura 32 representa o caudal total produzido (500 l/s) que simula o funcionamento do conjunto captação e ETA, constante ao longo do período simulado, e o caudal consumido para todos os nós ao longo de todos os instantes de tempo (120 horas). Verifica-se a existência de comportamentos claramente distintos entre o consumo no período nocturno e diurno, reflectindo os padrões de consumo aplicados ao modelo.

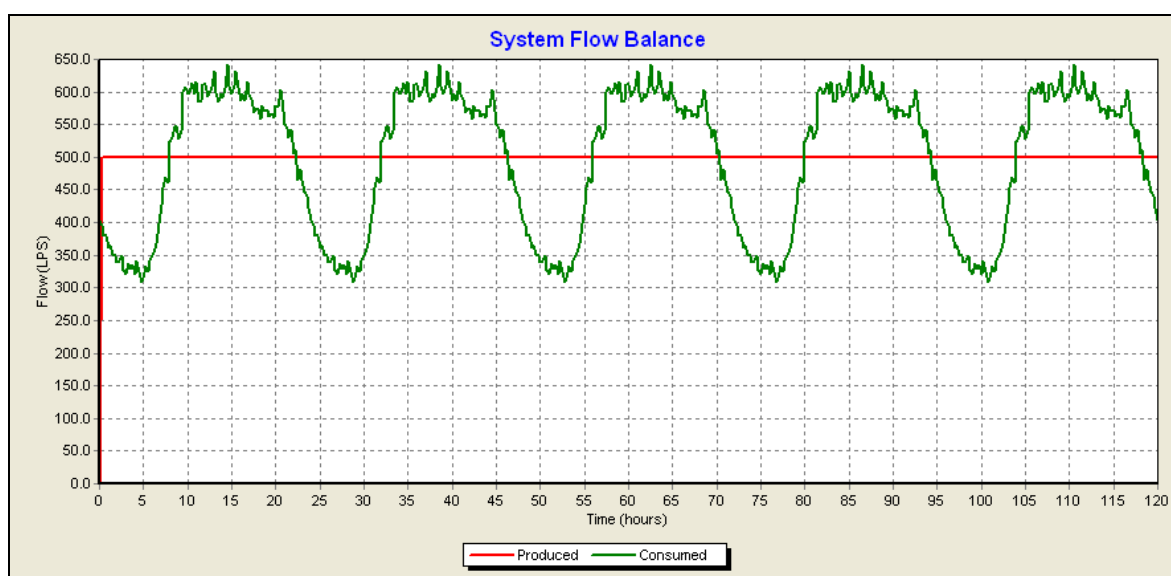


Figura 32 – Balanço de caudal na rede em função do tempo

O consumo máximo ocorre às 14:30h e o consumo mínimo às 4:45h repetindo-se ciclicamente ao longo dos 5 dias da simulação. As horas evidenciadas de maior e menor consumo são uma estimativa com algum grau de incerteza associada, que poderão não corresponder efectivamente aos períodos exactos de ocorrência dos picos horários reais. No entanto para efeitos de planeamento e apoio à futura exploração, são considerados adequados uma vez que reflectem uma variação temporal de consumos.

Os caudais aduzidos ao sistema encontram-se representados sobre a forma de gráfico, na figura 33, referente ao troço de conduta adutora principal (T_ARV_083) entre o reservatório principal (RNV_ARV_01) e o primeiro nó de derivação (N_ARV_009). A diferença verificada entre o total dos consumos no período de maior consumo (640,89 l/s) e o caudal máximo aduzido (530,79 l/s) demonstra a capacidade de armazenamento e de regularização que os reservatórios introduzem no sistema de abastecimento.

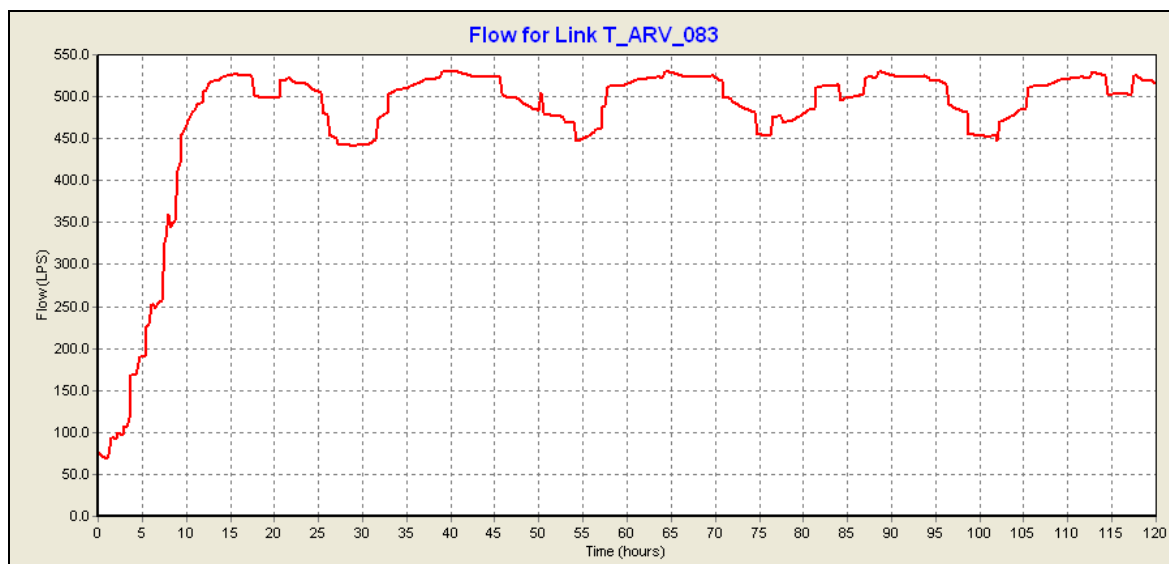


Figura 33 – Caudais aduzidos ao sistema pela conduta adutora principal (T_ARV_083)

Através da análise da figura 34, que representa a distribuição de caudais pelo sistema adutor, verifica-se a existência de elevados caudais transportados pela conduta adutora principal desde a origem em Arcos de Valdevez até à zona litoral de Viana do Castelo, em concordância com os diâmetros das condutas já apresentados anteriormente na figura 31.

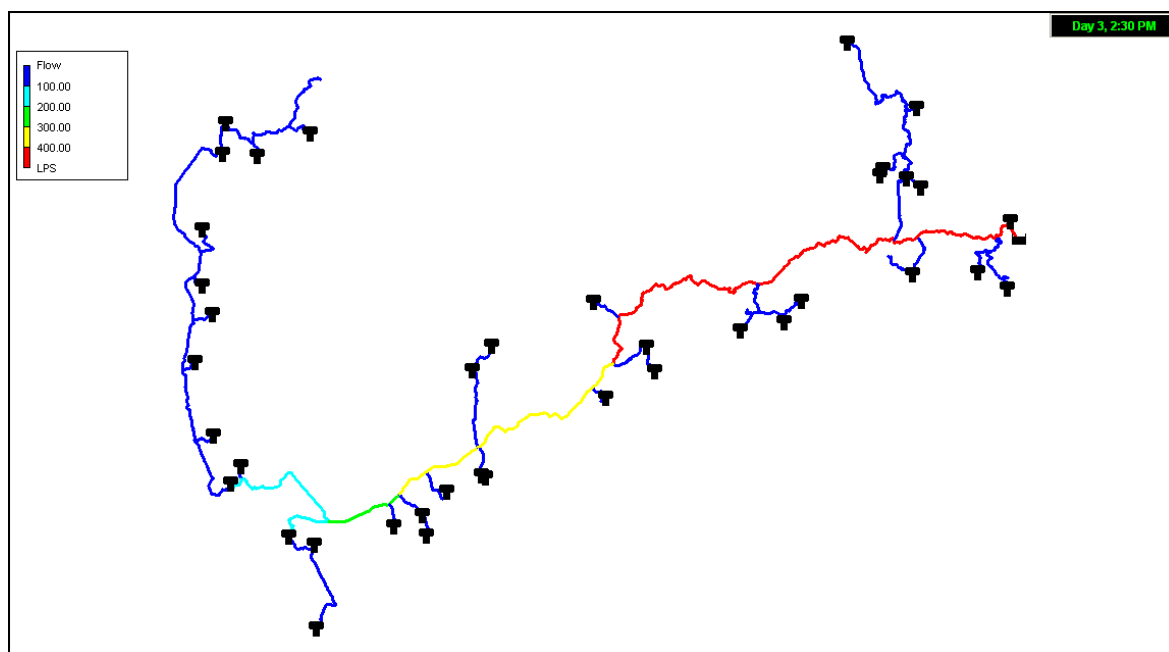


Figura 34 – Distribuição de caudais pelo sistema adutor no período de maiores consumos.

O transporte de água ao longo da conduta adutora principal até à derivação para Viana do Castelo, corresponde a cerca de 50% do caudal total no sistema. O consumo máximo nos nós dá-se às 14:30h, no entanto os maiores caudais na conduta adutora verificam-se no período entre as 16:15h e 16:30h, fruto da capacidade de armazenamento dos reservatórios.

4.2.1.2 Indicadores de Pressão

No que se refere à pressão nos nós, importa sobretudo atender às pressões máximas e mínimas que se verificam nos períodos de menor e maior consumo, respectivamente. A representação gráfica apresentada na figura 35 demonstra essa distribuição de pressões ao longo do sistema adutor.

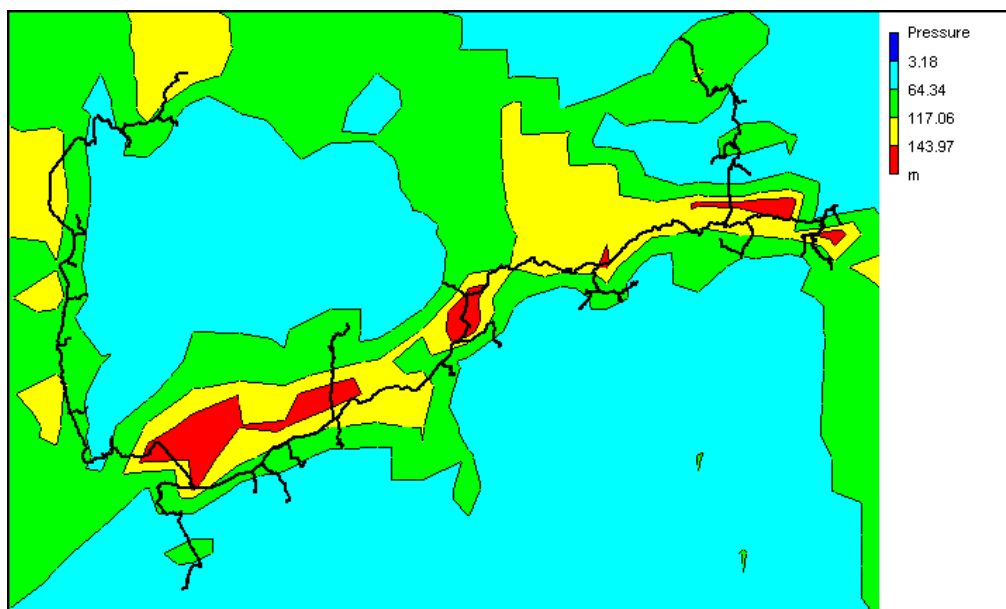


Figura 35 – Representação gráfica de isolinhas de pressão às 4h00m do dia 4

Verifica-se pela análise dos resultados obtidos no modelo, que as maiores pressões se localizam ao longo da conduta adutora principal, nomeadamente nos pontos de cotas de terreno mais baixas (travessias ao longo do rio Lima e zona litoral) e os pontos de menores pressões junto aos reservatórios localizados nos pontos mais altos.

A linha piezométrica do sistema, que representa a soma dos valores de cota piezométrica (pressão) e cota topográfica é apresentada na figura 36. Esta linha indica o valor da carga hidráulica ao longo do escoamento na conduta adutora principal. Uma vez que apresenta variações no tempo, foram considerados diversos estados, de modo, a permitir a sua comparação, nomeadamente, o estado inicial ($t=0$ e $Q=76,3$ l/s), o estado de consumo mínimo ($t=76:00$ e $Q=452,75$ l/s) e o estado de consumo máximo ($t=88:30$ e $Q=529,9$ l/s).

Representa-se, simultaneamente, o perfil longitudinal da conduta adutora principal, verificando-se que a linha piezométrica não intersecta a conduta em nenhum dos seus pontos altos, resultado este que se encontra em concordância com a solução projectada. A necessidade de garantir as cotas energéticas mínimas foi também comprovada, através da entrada de água na totalidade dos reservatórios.

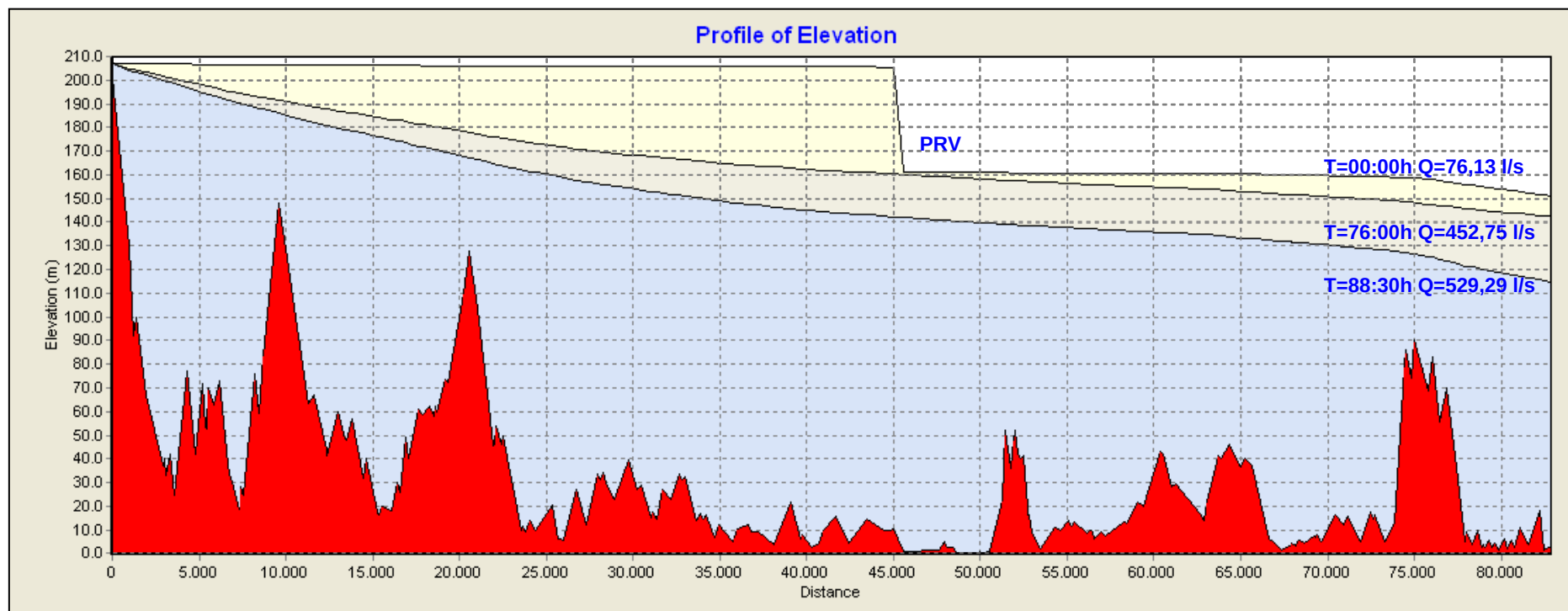


Figura 36 – Representação do perfil longitudinal da conduta adutora principal e da linha de energia para diversos instantes da simulação (t=0:00h, t=76:00h, t=88:30h)

Na figura 37 apresenta-se um gráfico de evolução temporal da pressão num nó localizado na conduta adutora principal, que permite observar as situações de maior e menor pressão, exemplo da hora 76:00 e 88:30 respectivamente. Refere-se ainda que no período inicial, entre as 0:00h e 8:00h, se verificam as maiores pressões em toda a rede, devido ao facto de existirem baixos consumos e devido ao sistema se encontrar numa fase de ajuste até se atingir um estado de equilíbrio em que se verifica um comportamento cíclico estável (a partir das 40:00h, $t > 160$).

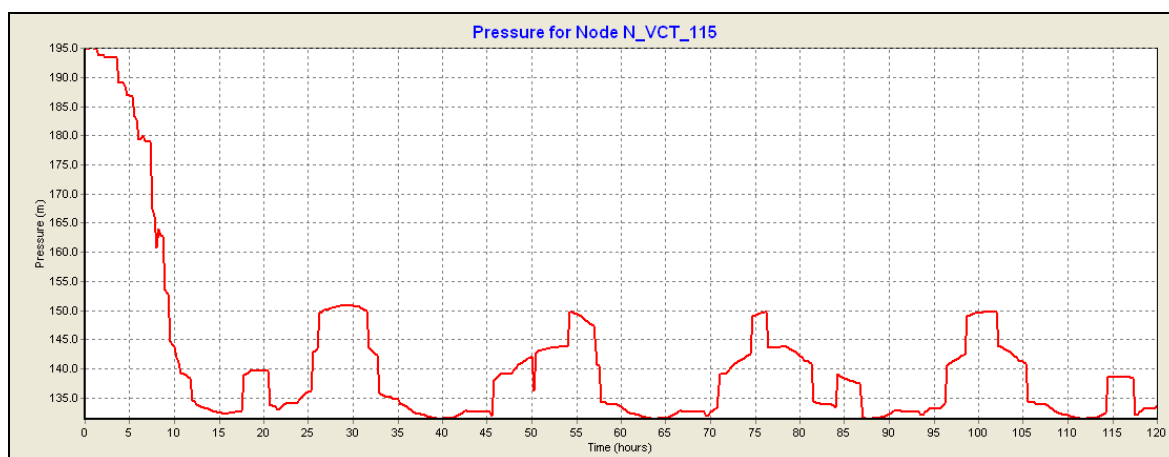


Figura 37 – Pressão no nó N_VCT_115 durante o período simulado

Na tabela 16 e 17 referem-se os pontos com maior e menor pressão, respectivamente, bem como o respectivo instante de tempo e infra-estrutura associada.

Tabela 16 – Pressões máximas verificadas no sistema adutor para $t > 160$

Nó	Instante (t)	Pressão (m)	Carga hidráulica (m)	Infra-estrutura associada	Cota da conduta (m)
N_PTL_028	409 (102:00h)	179,40	184,40	Travessia Rio Lima em Jolda	5,0
N_ARV_084	409 (102:00h)	176,57	194,57	Travessia Rio Vez	18,0
N_ARV_034	409 (102:00h)	175,72	200,72	Travessia Rio Tora	25,0
N_ARV_079	409 (102:00h)	175,65	194,64	Travessia Rio Vez	19,0
N_PTB_001	404 (100:45h)	173,16	196,16	Travessia Rio Vade	13,0

Do ponto de vista hidráulico os locais de maior pressão não reflectem qualquer problema, visto que as pressões atingidas se encontram dentro dos níveis adequados às correspondentes classes de pressão das condutas adutoras e respectivos acessórios. Para as menores pressões importa garantir as cotas energéticas mínimas, ou seja, a cota da entrada de água no reservatório.

Tabela 17 – Pressões mínimas verificadas no sistema adutor para $t > 120$

Nó	Instante (t)	Pressão (m)	Carga hidráulica (m)	Reservatório associado	Cota entrada água reserv. (m)
TCV_VCT_10	159 (39:30h)	4,01	106,01	RNV_VCT_10	106,0
TCV_CMN_01	159 (39:30h)	13,59	132,59	RNV_CMN_01	122,2
TCV_PTL_03	159 (39:30h)	15,96	170,96	RNV_PTL_03	158,2
TCV_PTL_01	159 (39:30h)	16,53	171,53	RNV_PTL_01	158,2
TCV_ARV_06	159 (39:30h)	21,50	174,50	RNV_ARV_06	152,2

Para uma análise mais detalhada dos pontos críticos detectados no sistema, foi efectuada uma comparação das pressões no nó (TCV_VCT_10) a montante do reservatório (RNV_VCT_10) para se verificar a capacidade de funcionamento do mesmo reservatório e entrada de água. A pressão neste ponto da rede, revela valores baixos, que correspondem ao mínimo necessário para atingir a cota de entrada de água no reservatório. Este valor é mantido para valores superiores a 4,00m, uma vez que existe a válvula de alívio (PSV_VCT_10) que garante que a entrada de água apenas se a pressão disponível for igual ou superior ao nível da entrada de água.

Esta situação é demonstrada pelos gráficos da figura 38 e figura 39, em que se verifica que nos períodos de tempo com pressões próximas do nível de entrada de água (4,00m) o abastecimento de água ao reservatório mantêm-se, no entanto regista-se uma diminuição do caudal de entrada de 24l/s para 21,5 l/s. Nos casos em que não existe caudal de entrada, estes são devidos ao estado da válvula altimétrica (TCV_VCT_10) como fechada em função do nível máximo de água no reservatório. A respectiva evolução do nível de água no reservatório (RNV_VCT_10) é apresentada na figura 40.

Este ponto da rede é considerado crítico a nível de desempenho do sistema, uma vez que para situações de caudais superiores aos modelados no presente estudo, poderão ocorrer anomalias no sistema, nomeadamente a existência de pressões negativas. Esta situação poderá ser solucionada com a implantação de uma estação elevatória de modo a garantir a entrada de água no reservatório RNV_VCT_10 em alturas mais críticas. Alternativamente, e dado que este reservatório se situa numa zona de fronteira com o sistema multimunicipal adjacente (Águas do Cavado) com o qual já existe uma conduta adutora de ligação, será possível garantir o abastecimento com essa origem alternativa em situações de consumos mais elevados.

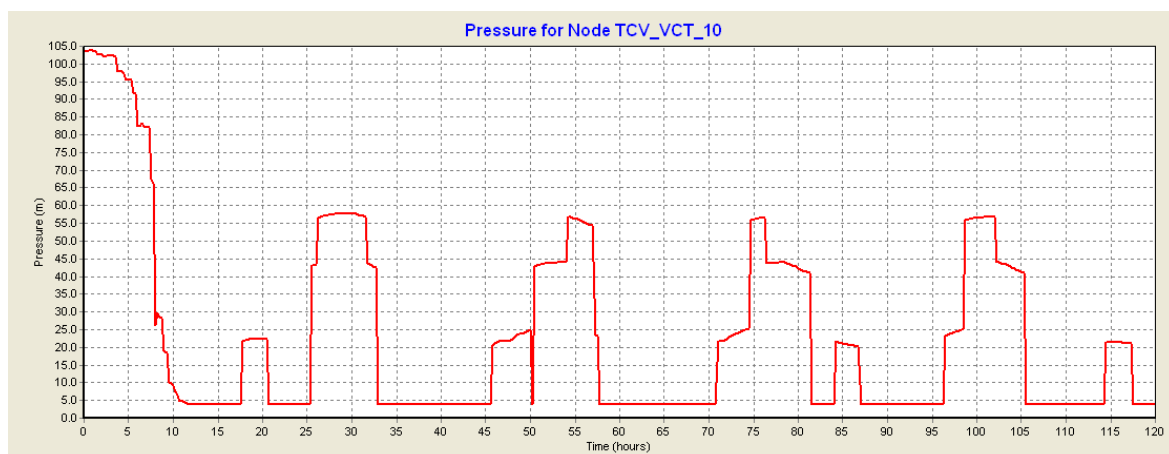


Figura 38 – Períodos críticos de pressão mínima no nó TCV_VCT_10

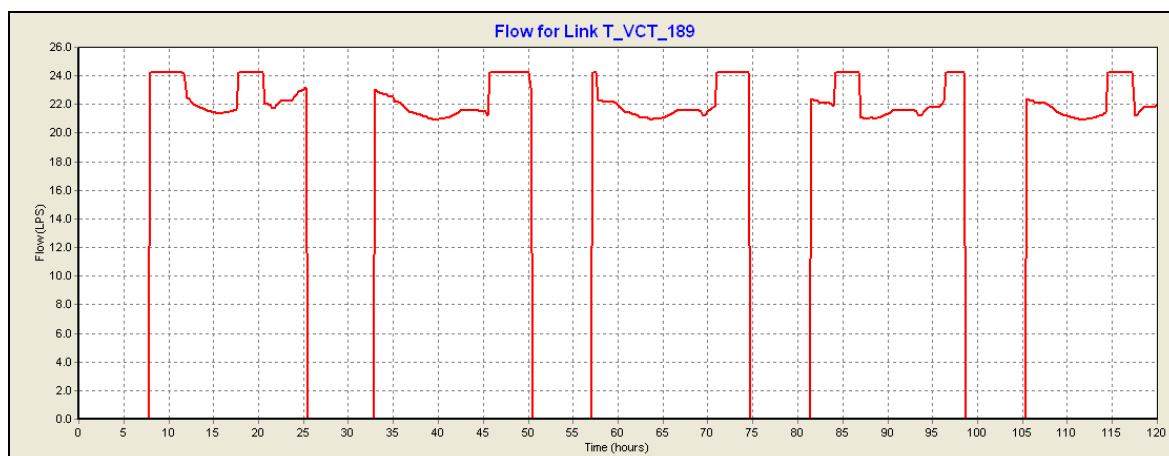


Figura 39 – Redução de caudal no abastecimento ao reservatório RNV_VCT_10

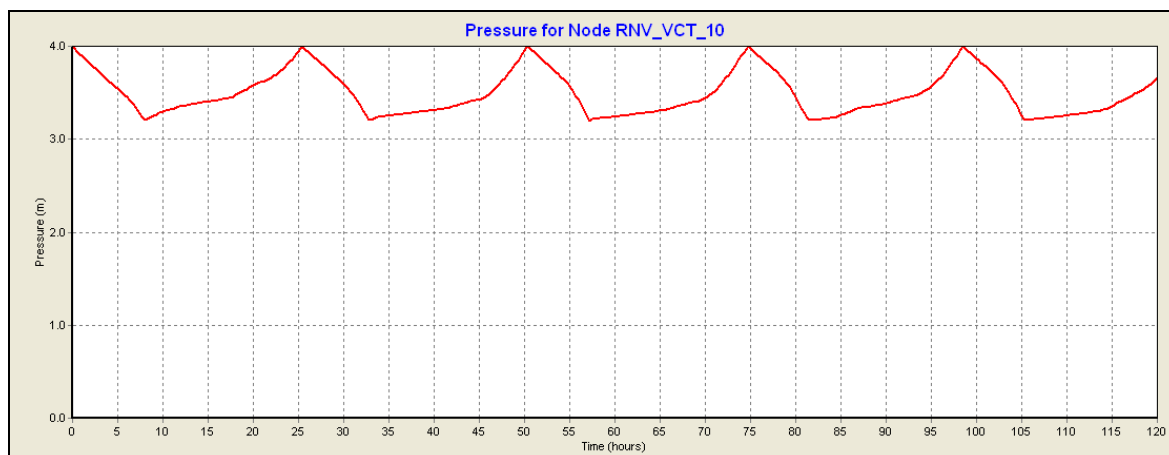


Figura 40 – Nível de água no reservatório RNV_VCT_10 no período simulado

Outra situação crítica de pressões baixas, verifica-se no nó TCV_CMN_01 para o instante $t=159$ (39:30h) com um valor de pressão de 13,59m. Neste caso, o valor de pressão é consideravelmente superior ao do nível de entrada de água no reservatório (3m), o que não implica qualquer condicionamento no caudal de entrada para o RNV_CMN_01 (ver figura 41), no cenário simulado. Igualmente à situação anterior, verificou-se a ocorrência de anomalias para desempenhos do sistema com caudais superiores aos valores médios diários.

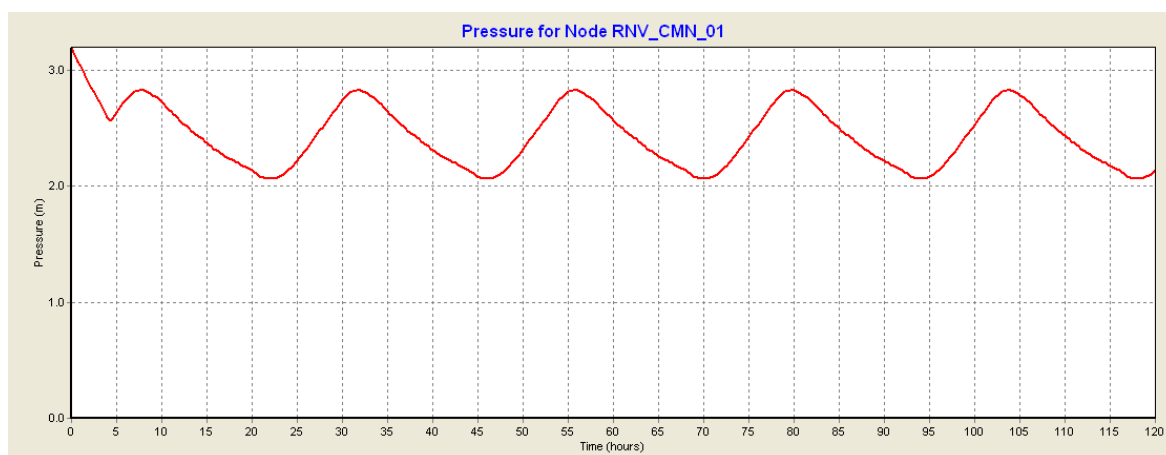


Figura 41 – Nível de água no reservatório RNV_CMN_01 no período simulado

No que se refere ao funcionamento dos restantes reservatórios que compõem o sistema de abastecimento, não se registou qualquer situação crítica de funcionamento dos mesmos, verificando-se que após uma fase em que o modelo efectua o ajuste inicial, os reservatórios estabilizam num ciclo de enchimento e esvaziamento estável a partir do segundo dia da simulação.

O reservatório principal de origem RNV_ARV_01 é o que apresenta menores oscilações de nível (ver figura 42), sendo reflexo do funcionamento constante em 24 horas da estação elevatória a montante (EE_ARV_01) associada à captação e ETA a um caudal de 500 l/s.

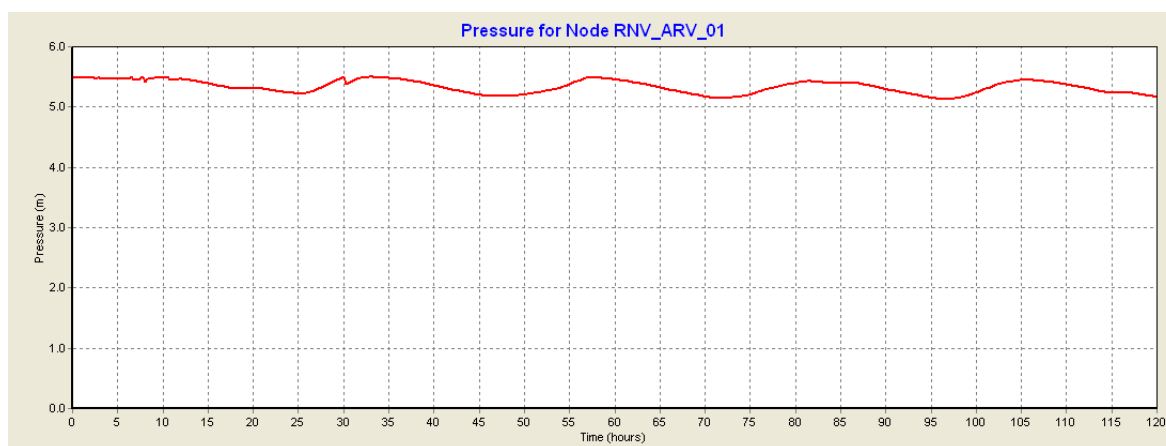


Figura 42 – Nível de água no reservatório de origem RNV_ARV_01 no período simulado

4.2.1.3 Indicadores de Perda de Carga

As perdas de carga verificadas ao longo do sistema são outro factor de importância a conhecer na análise de desempenho hidráulico do sistema. Analisou-se a perda de carga unitária das condutas, para as horas de maior consumo, obtendo-se uma distribuição espacial esquematizada na figura 43.

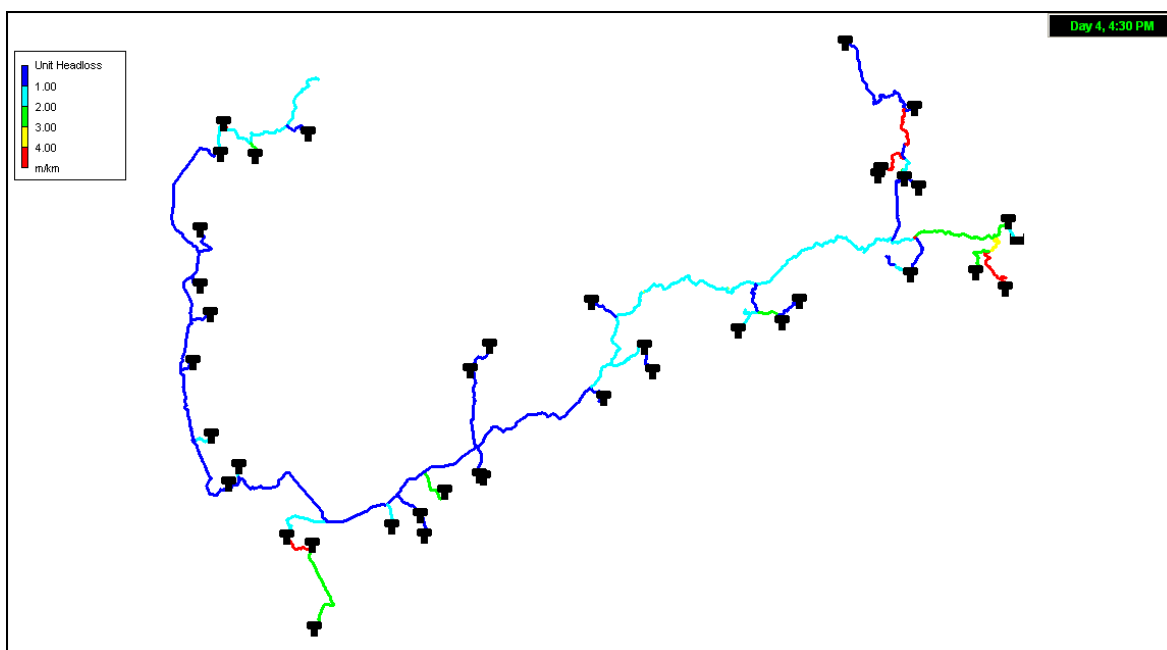


Figura 43 – Representação da perda de carga unitária nas condutas para a hora de maior consumo

Do ponto de vista global, as perdas de carga mais significativas registaram-se nos troços de conduta onde se localizam as válvulas reguladoras de caudal. Esta situação resulta do facto de as válvulas introduzirem uma perda de carga no sistema, de modo a controlarem o caudal para o qual foram reguladas.

No entanto do ponto de vista do presente estudo, pretende-se uma análise mais incidente sobre o sistema adutor, nomeadamente as condutas que constituem a estrutura principal do sistema de abastecimento. Deste modo, são apresentados na tabela 18 os valores de perda de carga mais elevados registados no sistema adutor, coincidentes com a representação gráfica da figura 43 no instante $t=355$ (88:30h).

Verifica-se que existem determinadas derivações do sistema adutor principal que apresentam valores de perdas de carga significativas, no entanto estes referem-se a pequenos troços em que existem ligações para os sistemas em “baixa” cujos dados de projecto ainda não estão bem definidos. Importa por esta razão analisar a conduta adutora principal e derivações do sistema em “alta” em que estas situações se encontram bem definidas em termos de traçado de condutas e respectivos diâmetros.

Tabela 18 – Condutas com maior valor de perda de carga na estrutura principal do sistema adutor (t:88:30)

Troço (ID)	Diâmetro (mm)	Extensão (m)	Caudal (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de carga unitária (m/km)	Descrição
T_CMN_046	90	375	9,60	1,51	30,92	Derivação rede em baixa
T_PTL_054	80	524	4,50	0,90	13,10	Derivação rede em baixa
T_ARV_063	90	20	5,90	0,93	12,07	Derivação rede em baixa
T_VCT_088 T_VCT_089 T_VCT_090 T_VCT_180 T_VCT_195 T_VCT_196	200	1804	44,40	1,41	10,04	Derivação rede em alta
T_PTB_008 T_PTB_009 T_PTB_010 T_PTB_011 T_PTB_012 T_PTB_021 T_PTB_022	100	3455	6,93	0,88	9,48	Derivação rede em alta
T_PTB_016	110	132	7,70	0,81	7,24	Derivação rede em baixa
T_ARV_118 T_ARV_119 T_ARV_120 T_ARV_121 T_ARV_122 T_ARV_123 T_ARV_124 T_ARV_152 T_ARV_153 T_ARV_159 T_ARV_160 T_ARV_161 T_ARV_162	150	2469	14,20	0,80	4,83	Derivação rede em alta
T_ARV_062	150	2330	13,10	0,74	4,14	Derivação rede em baixa
T_ARV_067	600	57	499,41	1,77	4,04	Adutora principal – travessia
T_PTL_005	600	64	444,37	1,57	3,22	Adutora principal – travessia
T_PTL_121	600	86	433,05	1,53	3,06	Adutora principal – travessia

Os troços de conduta a salientar da seguinte listagem são, por ordem decrescente de grandeza, a ligação entre o reservatório de Faro de Anha e o reservatório de Monte da Ola (T_VCT), a conduta elevatória da EE de Vila Chã para o reservatório de Vila Chã (T_PTB) e a ligação entre o Ázere e a derivação para o reservatório de Couto (T_ARV).

Ao longo do troço adutor principal as perdas de carga unitárias são aceitáveis, sendo de destacar três troços de conduta, que confirmam a redução de diâmetro de 700mm para 600mm, existente nos locais de travessias (perfuração horizontal dirigida) em vias principais de comunicação rodoviária. Nestes casos a velocidade de escoamento é superior à verificada na restante conduta Ø700mm, obtendo-se valores de perda de carga unitária superiores, no entanto, dada a reduzida extensão destes troços, não constituem qualquer problema ao nível de desempenho operacional do sistema adutor.

4.2.1.4 Indicadores de Velocidade de Escoamento

As maiores velocidades de escoamento verificam-se nos troços da conduta adutora principal localizados em travessias de vias de comunicação, em que ocorre uma redução de diâmetro, referidos anteriormente (ver tabela 18, troços T_ARV_067, T_PTL_005 e T_PTL_121), em que se registam valores superiores ao limite estabelecido no projecto de execução em 1,50m/s (figura 44).

Considerando o “Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais”, aprovado pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto, a velocidade de escoamento para o caudal de ponta no horizonte de projecto não deve exceder o valor calculado pela expressão:

$$V = 0,127 D^{0,4}$$

onde,

V – velocidade limite (m/s);

D – diâmetro interno da tubagem (mm).

No caso das situações anteriores obtém-se uma velocidade máxima de 1,64m/s para o diâmetro em causa (600mm), sendo que apenas o troço T_ARV_067 excede este limite em 0,13m/s o que se considera como aceitável face ao carácter pontual e de pequena expressão no conjunto do sistema adutor (57m de extensão).

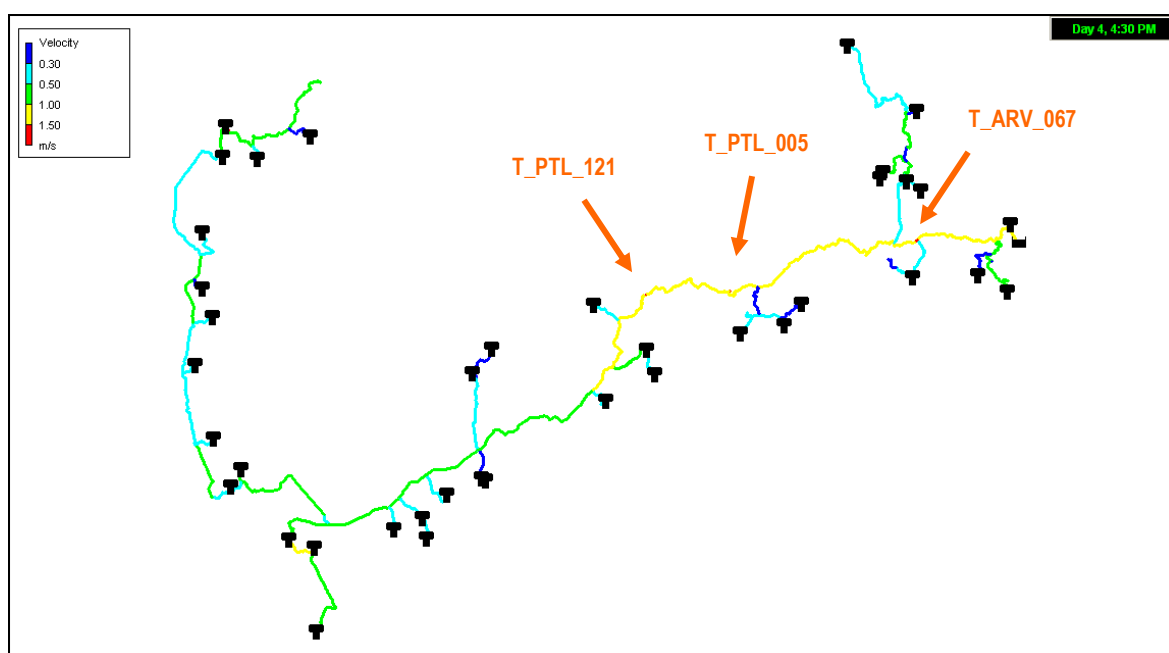


Figura 44 – Velocidade de escoamento para o caudal de ponta (t=88.30)

4.2.2 Análise da Qualidade da Água

4.2.2.1 Tempo de Percurso

Os resultados obtidos ao nível da qualidade da água foram inicialmente analisados no que se refere ao tempo de percurso. Esta variável constitui um dos parâmetros fundamentais para a análise de qualidade da água deste tipo de modelos, sendo que apenas depende das características hidráulicas da rede e não requer a introdução de parâmetros adicionais.

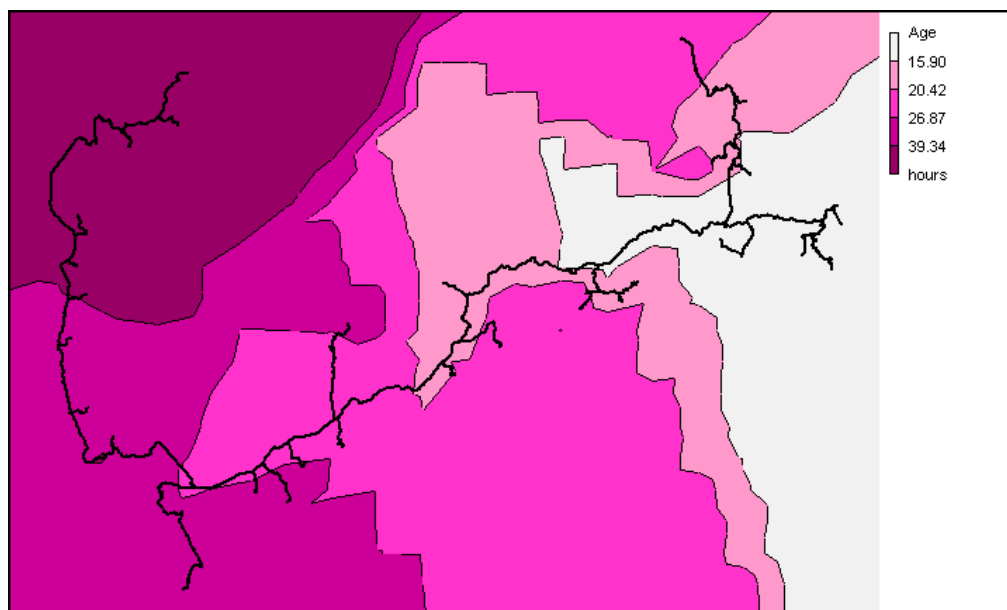


Figura 45 – Gráfico de isolinhas relativo aos tempos de percurso da água

A figura 45 mostra os intervalos de tempo necessário para a água percorrer o sistema adutor em estudo. Por sua vez, na figura 46 é apresentado o tempo de percurso no ponto mais distante do sistema (NC_CMN_07), onde se verifica o tempo máximo de percurso, 53 horas ao longo da conduta adutora principal.

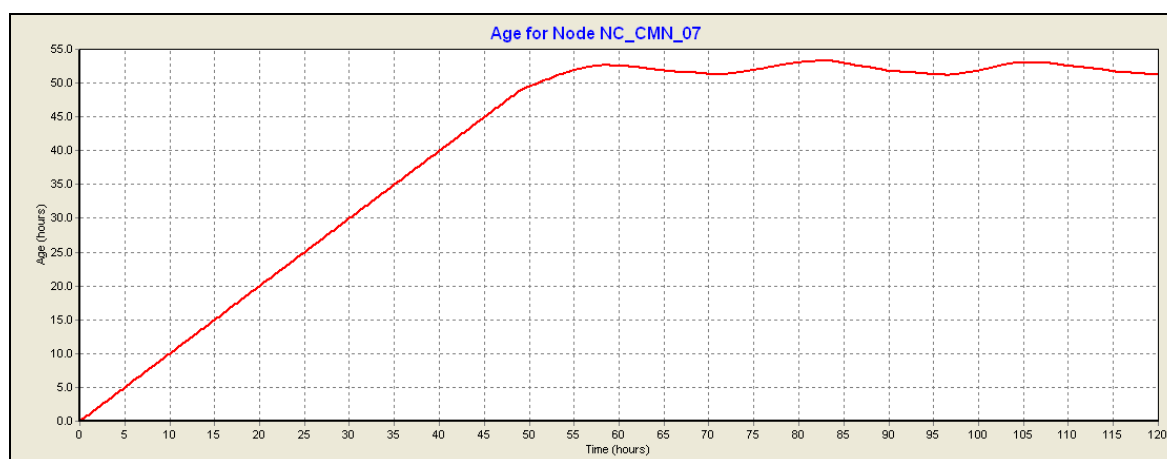


Figura 46 – Gráfico temporal do tempo de percurso para o nó NC_CMN_07

Verificou-se que a simplificação efectuada nas condutas de entrada e saída dos reservatórios descrita no capítulo “4.1 Verificação do Modelo”, implica que o tempo de residência de água nos reservatórios seja maior. Esta situação reflecte-se posteriormente na qualidade da água, conduzindo a uma redução significativa nos níveis de cloro residual, no que se refere à modelação desse parâmetro.

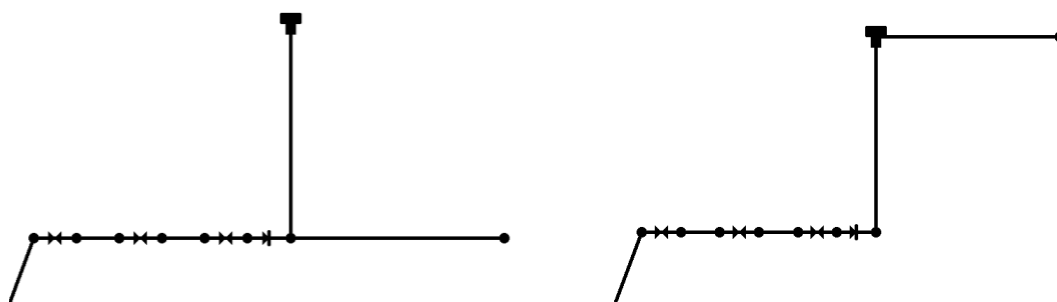


Figura 47 – Representação esquemática da entrada de água nos reservatórios, adaptação para a modelação da qualidade da água

A conduta única de entrada e saída de água no reservatório (figura 47), sendo embora uma solução mais estável do ponto de vista de cálculo numérico, é no entanto prejudicial em termos de qualidade da água. A solução passou pela ligação da conduta de ligação ao nó de consumo, directamente ao reservatório de nível variável no modelo, implicando a passagem de todo o caudal pelo interior do reservatório, permitindo assim uma modelação mais adaptada à realidade do sistema.

Através da análise detalhada dos tempos de percurso verifica-se a existência de situações, nos reservatórios, em que será necessária a calibração do modelo numa fase de exploração do sistema, de modo à obtenção de uma maior fiabilidade dos resultados gerados pelo modelo hidráulico subjacente: ver tabela resumo dos tempos de percurso a montante e a jusante dos reservatórios (tabela 19). Deste modo, para efeitos da análise do decaimento de cloro na rede foi considerada apenas a sua evolução ao longo do sistema adutor, uma vez que nesta fase de planeamento e projecto, é o factor de maior importância e simultaneamente de maior fiabilidade.

Tabela 19 – Tempos de percurso a montante e jusante dos reservatórios (*)

	Nó a montante do reservatório (horas)	Nó a jusante do reservatório (horas)
Valor mínimo	12,74	27,97
Valor máximo	52,68	95,49
Valor médio	27,17	51,48

(*) Valores para os 38 reservatórios do sistema de abastecimento, excluindo o reservatório principal de origem (tempo de percurso: 9,67)

4.2.2.2 Cloro Residual

Conforme referido anteriormente no capítulo 3.2.4 Qualidade da Água, o teor de cloro residual da água tratada diminui gradualmente desde a estação de tratamento até aos pontos de entrega, devido a reacções que ocorrem quer no seio da água, quer na interface com as paredes dos componentes do sistema.

No caso estudado, de um sistema de adução com dimensão considerável, em que a água viaja grandes extensões e onde existe um número elevado de reservatórios, por vezes de grande capacidade, os tempos de percurso são elevados, podendo facilmente atingir vários dias conforme demonstram os resultados apresentados na tabela 19.

Este efeito será particularmente sentido nos anos iniciais da exploração, tanto por ocorrerem consumos inferiores aos utilizados no dimensionamento do sistema, como pelo facto de o sistema não estar ainda a abastecer a totalidade dos seus pontos de entrega. Para consumos inferiores aos previstos corresponderão velocidades de escoamento menores e consequentemente maiores tempos de percurso.

É crucial para a validade da análise dos dados obtidos que as simulações sejam efectuadas para durações superiores à do maior tempo de percurso verificado na rede, para assim permitir uma adequada inicialização completa da rede com os valores de cloro adequados (Coelho, 2006). As simulações apresentadas no conjunto da figura 48 foram efectuadas numa base temporal de 120 horas – 5 períodos iguais de 24 horas, em sequência – sendo os valores para análise, os representados apenas no último período de 24 horas.

De acordo com os resultados obtidos, a ocorrência de grandes tempos de percurso inviabiliza a utilização de um único ponto de cloragem no sistema (ETA), capaz de garantir os valores de cloro residual numa gama adequada entre os 0,3 e 0,8mg/l no sistema adutor, conforme recomendações do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR, 2005) relativas a planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano.

Considerando o valor de cloro residual livre à saída da ETA de 1,0mg/l obtiveram-se os seguintes resultados apresentados no conjunto da figura 48 com uma evolução sequencial de 12 horas em 12 horas.

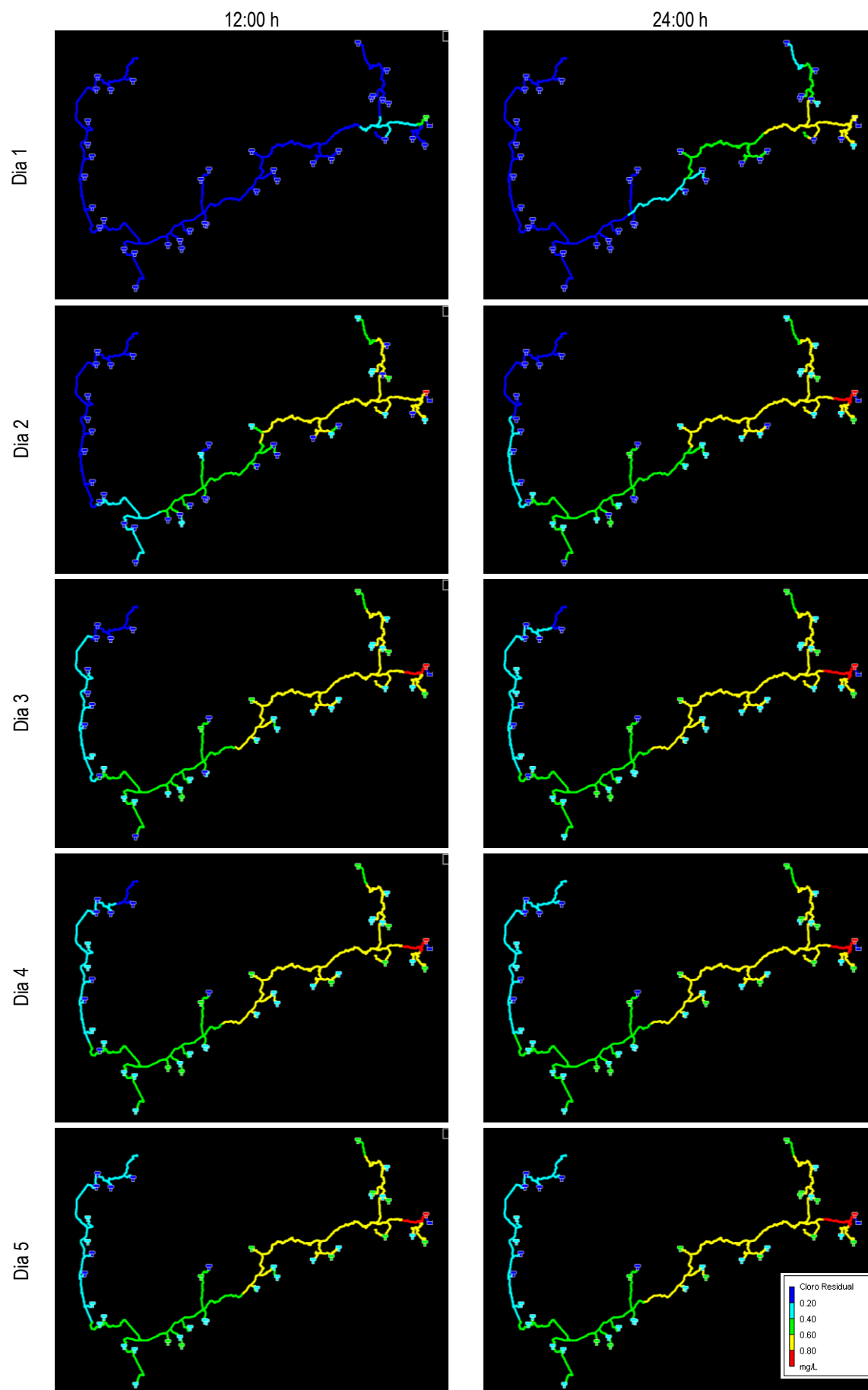


Figura 48 – Evolução sequencial do cloro residual livre na rede

Assim, em sistemas como o estudado com grandes tempos de percurso, é vantajoso o recurso a pontos de reforço de cloragem, principalmente considerando que o cenário apresentado anteriormente se refere ao ano horizonte de projecto com um caudal médio diário de 500 l/s. Considerando um cenário de caudais mais reduzidos nos anos iniciais de exploração do sistema, com consumos estimados em 75% dos valores estudados (375 l/s), obteríamos as seguintes condições de qualidade da água referidas nas figuras 49 e 50.

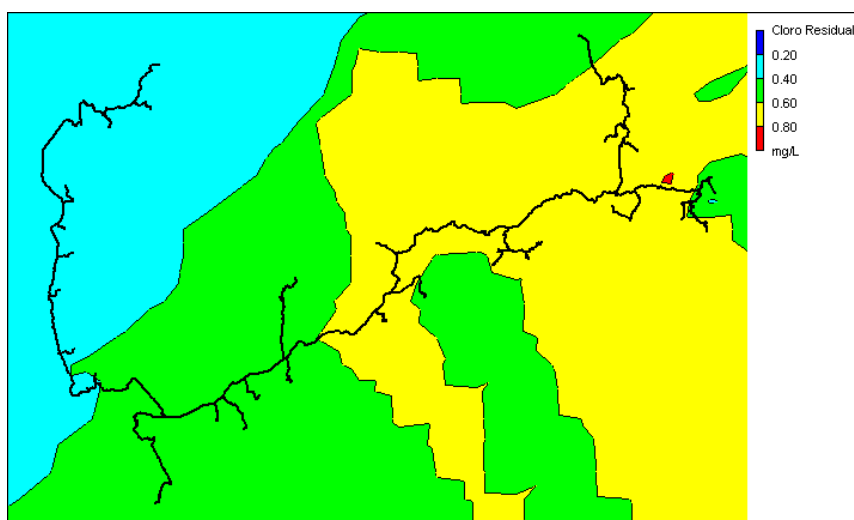


Figura 49 – Cloro residual livre para o cenário do ano horizonte de projecto com $Q_{md}=500$ l/s

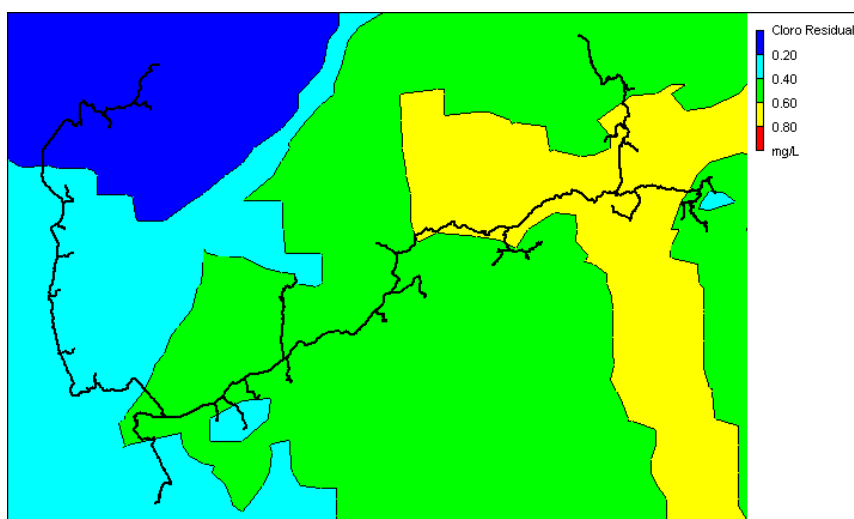


Figura 50 – Cloro residual livre para o cenário de anos iniciais da exploração com $Q_{md}=375$ l/s

Uma solução adequada às considerações efectuadas anteriormente, conduz à necessidade de instalação de um ponto de rechloragem no sistema capaz de garantir os valores de cloro residual dentro da gama adequada entre os 0,3 e 0,8mg/l no sistema adutor.

A localização do ponto de rechloragem estudado permitiu obter uma solução que se revela vantajosa em ambos os cenários considerados, no início de exploração e no ano horizonte de projecto, mantendo os níveis de cloro residual dentro dos parâmetros recomendáveis, conforme revela a tabela 20.

Tabela 20 – Concentrações de cloro residual livre no sistema adutor a montante dos reservatórios (*)

	Conc. cloro no sistema sem rechloragem (mg/l)		Conc. cloro no sistema com rechloragem (mg/l)	
	Cenário Qmd: 500 l/s	Cenário Qmd: 375 l/s	Cenário Qmd: 500 l/s	Cenário Qmd: 375 l/s
Valor mínimo	0,20	0,13	0,36	0,30
Valor máximo	0,76	0,70	0,77	0,77
Valor médio	0,51	0,43	0,60	0,53

(*) Valores para os 38 reservatórios do sistema de abastecimento, excluindo o reservatório principal de origem (cloro residual 0,83mg/l à saída no cenário de 500 l/s e 0,79mg/l no cenário de 375 l/s)

O local seleccionado (ver figura 51) teve em consideração as concentrações críticas de cloro residual verificadas no sistema adutor, para o cenário dos anos iniciais de exploração, em que estes valores eram de aproximadamente 0,40mg/l e um tempo de percurso na ordem das 34 horas na conduta adutora principal.

Simultaneamente, procurou-se um sítio estratégico de modo a permitir uma área de influência suficientemente abrangente de modo a evitar a necessidade de pontos de rechloragem adicionais. A concentração utilizada no ponto de rechloragem foi de 0,80mg/l de cloro residual livre à saída do mesmo local.

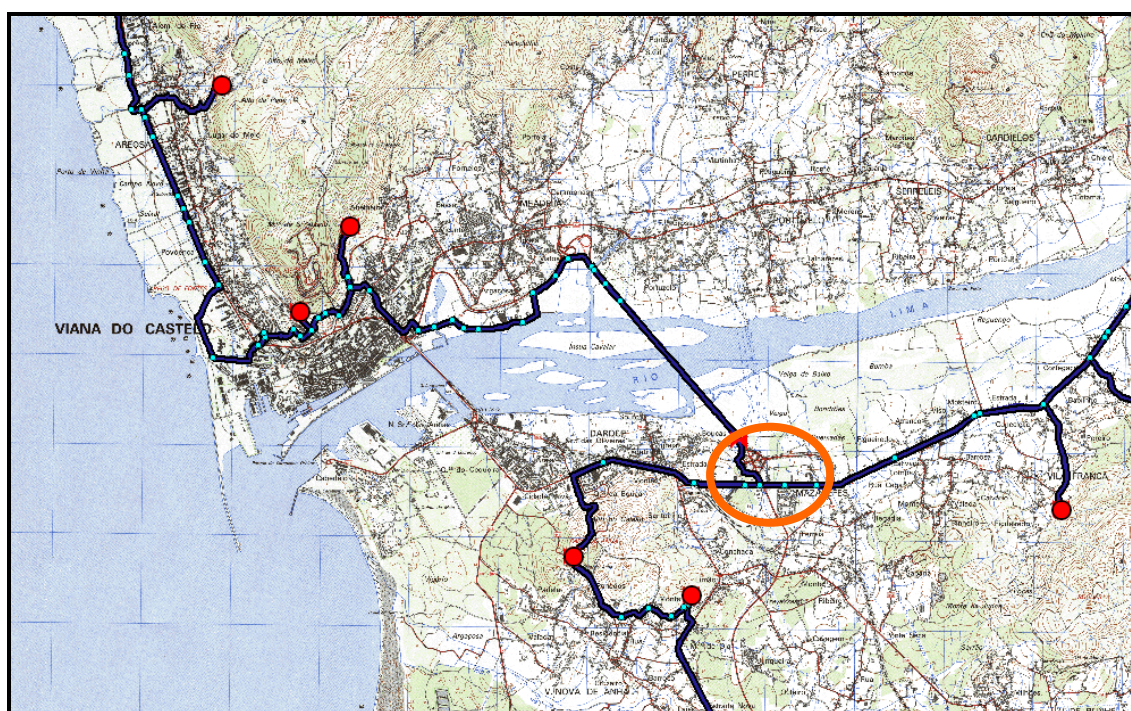


Figura 51 – Local seleccionado para o ponto de rechloragem.

4.3 POTENCIALIDADES DO MODELO

Os diversos cenários criados e respectiva análise de resultados tiveram como base a vertente de planeamento e apoio ao projecto do sistema adutor em causa. Numa fase posterior, em que o mesmo já se encontre em exploração, será possível evoluir na efectiva calibração do modelo de modo à obtenção de resultados mais ajustados às condições de funcionamento.

De entre as potencialidades a considerar no planeamento de desenvolvimento continuado do modelo, são referidas aquelas que se consideram prioritárias sendo detalhadas de seguida:

- Utilização do sistema adutor com múltiplas origens;
- Regimes de funcionamento de grupos elevatórios associados à captação e ETA;
- Análise do consumo energético;
- Interligação com sistema de telegestão;
- Controlo de perdas;
- Controlo de qualidade da água.

O estudo do funcionamento do sistema adutor com múltiplas origens deverá ser um cenário a considerar, uma vez que o dimensionamento do sistema adutor prevê essas alternativas de reforço. Para além dos 500 l/s, assegurados pela captação de Touvedo, em caso de ocorrência de um caudal de 730 l/s no sistema adutor, seria utilizado o recurso à Captação do Ázere (75 l/s) em Arcos de Valdevez, à Captação de Fonte Velha (80 l/s), em Ponte da Barca, à Captação de São João (50 l/s) em Ponte de Lima e à captação de Valada (40 l/s) em Caminha. Neste caso, seria oportuno garantir que os seus caudais possam ser introduzidos no sistema adutor com toda a qualidade e fiabilidade.

Por outro lado, os regimes de funcionamento da estação elevatória associada à captação de Touvedo em conjunto com a ETA poderão vir a ser modelados com diversas alternativas a considerar. Considerando a impossibilidade de arranque e paragens em cada dia de trabalho na ETA, dado o esquema de tratamento previsto, revela-se necessária a garantia de uma produção contínua ao longo das 24 horas. No entanto poderá ser simulada a variação de caudal nas duas linhas em paralelo de tratamento entre o caudal de 150e 250 l/s cada, em função das necessidades de água a satisfazer.

Do ponto de vista da análise do consumo energético será ainda possível analisar as economias de energia que o funcionamento variável da ETA possa permitir, de modo a privilegiar-se a coincidência de horas de vazio, com o funcionamento a um caudal superior de bombagem na captação durante o período nocturno, e um caudal inferior nas horas de ponta e cheias. Esta

variação poderá ser regulada em função do nível de água e capacidade de armazenamento no reservatório principal, RP1.

No que se refere à interligação com o sistema de telegestão, na vertente de exploração, importa referir as potencialidades associadas à definição dos modos de funcionamento em automático local e remoto, nomeadamente dos automatismos a cumprir e dos alarmes críticos a atender. Na vertente de modelação, constitui uma grande vantagem em termos de registos provenientes de medidores de caudal, medidores de nível nos reservatórios e monitorização do estado de funcionamento dos equipamentos em cada instalação. Este sistema permitirá efectuar análises de tendências, a geração de relatórios estatísticos e de ocorrências por natureza e instalação, a geração de relatórios de controlo de consumo e custos energéticos, de relatórios de caudais para facturação, entre outros.

No caso específico do controlo de perdas, o apoio da modelação matemática é particularmente importante no estabelecimento de zonas de medição associadas aos sistemas em “baixa” e de soluções de gestão de pressões. Este controlo está associado à monitorização obtida pelo sistema de telegestão, e permitirá uma análise do regime de caudais e dos padrões de consumo da área em estudo, de modo a proporcionar um aumento de eficiência do sistema de abastecimento de água.

O modelo deverá ainda evoluir no sentido de melhorar a sua representatividade no que se refere ao controlo de qualidade da água, nomeadamente para a determinação da constante cinética de decaimento de cloro no seio da água e devido ao efeito de parede, bem como no estudo dos tempos de residência de água nos reservatórios e consequente degradação da qualidade da água. Admite-se ainda a potencialidade da análise do crescimento de subprodutos de desinfecção, como sejam os trihalometanos na rede. Estes factores são de extrema relevância, uma vez que se pretende atingir uma solução suficientemente eficaz do ponto de vista da saúde pública.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do modelo de simulação hidráulica para apoio ao planeamento e projecto do sistema adutor estudado, bem como a aplicação de uma metodologia inerente às ferramentas SIG utilizadas com recurso ao EPANET constituiu um factor determinante para o alcance dos objectivos propostos na presente investigação.

De facto a integração dos instrumentos utilizados no decurso do estudo permitiu a criação de um modelo adaptado à realidade do caso de estudo. Uma detalhada análise e recolha de dados para caracterização do sistema adutor, introdução de dados de base, características hidráulicas, parâmetros de qualidade da água e descrição do funcionamento do sistema de abastecimento, revelaram-se peças fundamentais para a construção de um modelo eficaz para o utilizador.

A tradução correcta do sistema é a pedra angular da validade de qualquer simulação, pressupondo uma grande exigência de qualidade na recolha dos dados. No caso do sistema de abastecimento de água de S. Jorge, construiu-se um modelo de EPANET com 612 condutas, 456 nós, 115 válvulas, 39 reservatórios, 2 estações elevatórias e 1 origem de água.

O recurso a sistemas de informação geográfica revelou-se um processo extremamente eficaz e flexível, sendo um instrumento de análise com elevado potencial para apoio à modelação hidráulica. Por sua vez o recurso ao simulador EPANET, desenvolvido pela USEPA – United States Environmental Protection Agency, largamente difundido na comunidade científica universal, e com aplicações concretas na vertente da gestão de sistemas de abastecimento de água, constitui uma ferramenta robusta e perfeitamente adequada às necessidades actuais da simulação.

A execução da simulação para diversos cenários permitiu a exploração do modelo em ambiente SIG através da aplicação “DC Water Design Extension” o que demonstrou uma capacidade fundamental deste estudo. A integração de ferramentas SIG para exploração do sistema adutor com recurso ao EPANET, foi determinante para o desenvolvimento de todo o processo posterior relativo a análise hidráulica, da qualidade da água e optimização do sistema.

A simulação realizou-se em período alargado de 5 dias (120 horas) sendo o consumo variável ao longo do tempo, para o cenário do ano horizonte de projecto com um caudal médio diário de 500 l/s. No caso da modelação da qualidade da água na rede, foi também considerando um cenário de caudais mais reduzidos nos anos iniciais de exploração do sistema, com consumos estimados em 375 l/s.

A utilização da modelação matemática permitiu uma análise na perspectiva de optimização do sistema de abastecimento ao nível do seu desempenho e fiabilidade, no que se refere à análise hidráulica recorrendo aos indicadores de caudal, pressão, perda de carga e velocidade de escoamento, e no que se refere à análise da qualidade da água através dos tempos de percurso e decaimento de cloro residual na rede, em todos os pontos do sistema, durante o intervalo de tempo definido.

Dos resultados obtidos é de salientar, que as maiores pressões se localizam ao longo da conduta adutora principal, nomeadamente nas travessias ao longo do rio Lima, e os pontos de menores pressões junto ao reservatório de Neiva Monte e reservatório de Âncora. Ao nível de desempenho do sistema verificou-se a necessidade de implantação de estações elevatórias a montante destes reservatórios de modo a garantir o abastecimento em cenários de caudais superiores aos modelados no presente estudo (caudal do mês de maior consumo no ano horizonte de projecto, 730 l/s).

Nos restantes parâmetros analisados, verificou-se um desempenho do sistema de abastecimento de S. Jorge com um comportamento adequado às condições previstas no projecto. O modelo construído possibilita ainda a análise e previsão do comportamento do sistema, para as mais diversas condições operacionais, decorrentes das necessidades actuais e futuras, de modo a garantir fiabilidade do abastecimento.

Do ponto de vista da qualidade da água no sistema, registou-se a necessidade de instalação de um ponto de rechloragem no sistema, capaz de garantir os valores de cloro residual dentro da gama adequada entre os 0,3 e 0,8mg/l no sistema adutor. Determinou-se uma solução que se revela vantajosa em ambos os cenários considerados, no início de exploração ($Q_{md}=375$ l/s) e no ano horizonte de projecto ($Q_{md}=500$ l/s).

Com base nestas considerações foi possível definir um conjunto de potencialidades do modelo de simulação hidráulica a desenvolver a médio prazo, com o início de exploração do sistema. De entre as potencialidades a desenvolver salienta-se a optimização do modo de operação dos grupos electrobomba associados à captação de Touvedo em conjunto com a ETA e nível de água no reservatório principal RP1. Poderão vir a ser modeladas diversas alternativas, de modo a permitir a definição de estratégias de operação e exploração do sistema com valias nos campos da redução dos custos de energia, em função dos horários e dos regimes tarifários energéticos.

Conclui-se assim que o EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de abastecimento, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Pode ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efectuar simulações de sistemas de abastecimento. O estabelecimento de cenários de projecto (p. ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do crescimento de subprodutos de desinfecção, como sejam os trihalometanos na rede, a simulação de condições operacionais irregulares e a avaliação dos consumos constituem alguns exemplos.

Os modelos de qualidade da água, quando correctamente implementados, são uma ferramenta eficaz para o estudo da melhor localização dos pontos de cloragem no sistema e o respectivo doseamento. A sua localização no sistema, bem como a dosagem a ser utilizada em cada posto, constituem um problema com alguma complexidade cuja optimização só pode efectivamente ser correctamente abordada por recurso a um bem calibrado modelo de simulação.

A complexidade usualmente associada aos sistemas de abastecimento, mais do que justificam o esforço de desenvolver uma ferramenta que traz múltiplos benefícios em quase todas as áreas da gestão técnica dos sistemas.

É de salientar que o desenvolvimento de um modelo de simulação fiável é, tanto para a componente hidráulica como para a de qualidade da água, uma opção de fundo na gestão moderna de um sistema de abastecimento de água. A utilidade de um modelo de simulação, tanto para a correcta exploração dos sistemas, na procura da garantia de satisfação das condições hidráulicas e de qualidade ideais, como para o melhor planeamento das suas expansões e outras intervenções, é incontornável e claramente evidenciada ao longo deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

ABREU, A.P., Modelação do consumo de água em redes municipais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1986.

ADML. Projecto de execução do reforço do abastecimento de água a algumas freguesias do concelho de Viana do Castelo (parte ocidental do vale do rio Neiva) a partir do sistema de águas do Cávado. Viana do Castelo, 2000.

ADML. Aprofundamento dos estudos preliminares do sistema de abastecimento de água e saneamento dos vales dos rios Minho e Lima – Viana do Castelo, 2001.

ADML. Projecto de execução do subsistema de abastecimento de água de S. Jorge, parte 1 – sistema adutor: condutas adutoras entre o Ázere e o reservatório de Aboim. Viana do Castelo, 2003.

ADML. Projecto de execução do subsistema de abastecimento de água de S. Jorge, parte 2 – Reservatórios de Aboim, Couto, Neiva Monte e Faro de Anha. Viana do Castelo, 2003.

ADML. Reanálise e validação dos estudos preliminares do sistema multimunicipal de abastecimento de água do Minho – Lima. Viana do Castelo, 2004.

ADML. projecto de execução do subsistema de abastecimento de água de S. Jorge do limite norte do porto de Viana do Castelo a Cavada – Condutas adutoras e reservatórios de Âncora, Cristelo e Venade. Viana do Castelo, 2004.

ADML. Projecto de execução do subsistema de abastecimento de água de S. Jorge a montante de Nogueira – Condutas adutoras, reservatórios de Touvedo e Vila Chã e estação elevatória, revisão do dimensionamento. Viana do Castelo, 2005.

ADML. Projecto de execução do subsistema de abastecimento de água de S. Jorge de Nogueira ao Cabedelo – Condutas adutoras, Reservatório da Correlhã, revisão do dimensionamento. Viana do Castelo, 2005.

ADML. Estudo das condições de arranque dos sistemas de abastecimento de água “em alta” nos concelhos da bacia do rio Lima e do Rio Minho. Viana do Castelo, 2006.

ADML. Projecto das infraestruturas de captação, tratamento e reserva do subsistema de S. Jorge. Viana do Castelo, 2006.

ÁGUAS de PORTUGAL. Recomendações orientativas, especificadas em DT AdP – 02.01.02. Lisboa, 2002.

ÁGUAS do CÁVADO, Determinação da constante cinética de decaimento de cloro, Barcelos, 2006.

ÁGUAS do CÁVADO, Padrões de consumo do sistema de abastecimento de água, Barcelos, 2006.

ALEGRE, H. Modelação de redes de distribuição de água de abastecimento – guia de utilização, ICT Informação Técnica, ITH 31, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1990.

ALEGRE, H.; COELHO, S. T., A methodology for the characterization of water consumption in integrated computer application on water supply, ed Bryan Coulbeck, 1993.

ALEGRE, H.; COELHO, S. T., Princípios relevantes para a eficiente gestão técnica de sistemas de abastecimento de água, Anais do 8º encontro nacional de saneamento básico, Barcelos, 1990.

ALEGRE, H.; COELHO, S.T.; ALMEIDA, M.C.; VIEIRA, P. Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição – série guias técnicos 3 – Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2005.

AWWA, Principles and practices of water supply operations, volume 1 – Introduction to water sources and transmission, American Water Works Association, Denver, Colorado, 1985.

BRIÈRE, F.G., Distribution et collecte des eaux, École Polytechnique de Montréal, 1997.

BARROSO, L.B., Estudo da minimização das perdas físicas em sistema de distribuição de água utilizando o modelo Epanet, Dissertação de mestrado em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

BURROWS, R.; CROWDER, G.S.; ZHANG, J., Utilisation of network modeling in operational management of water distribution systems, Department of Civil Engineering, University of Liverpool, 2000.

BURROUGH, P. A. Principals of geographical information systems for land resource assessment. Clarendon press, Oxford, 1986.

CESARIO, L., Modelling, analysis, and design of water distribution systems, American Water Works Association, Denver, Colorado, 1995.

CHANDRASEKARAN, L, Predicting disease incidence due to contaminant intrusion in a water distribution system, Department of civil and environmental engineering, University of Cincinnati, Ohio, 2006.

CLARK, R. M., Chlorine demand and TTHM formation kinetics – a second order model, Journal of environmental engineering, 1998, 124, 1, pp. 16-24.

COELHO, S.T.; MENAIA, J.; VIEIRA, P., Control of bacterial regrowth in water distribution networks in water-short european and mediterranean countries. INCO-DC Project No. 1C18CT970136 Final Report, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2001.

COELHO, S.T.; LOUREIRO, D.; ALEGRE H., Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água. – série guias técnicos 4 – Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2006.

DECRETO REGULAMENTAR n.º23/95, Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais, Diário da Republica, I Série-B, 194 Lisboa, 23 de Agosto de 1995.

DIAS, M.C.B., Modelação matemática de quantidade e qualidade de água em sistemas de abastecimento público, Universidade do Minho. Guimarães, 2002.

DIAS, M.C.B.; DIAS, L.A.B., Aplicabilidade de modelos matemáticos em sistemas de abastecimento de água. Simulação do sistema de abastecimento de água à cidade de Bragança Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança, Campus de Sta Apolónia, Bragança, 2003.

DIAS, M.C.B.; VIEIRA, J.; VALENTE, J.T.; COELHO, S.T. Localização de estações de amostragem num sistema de abastecimento de água, Anais do 5º Congresso da Agua, APRH, Lisboa, 25-29 Setembro de 2000.

DORSCH GROUP, DC Water Design Extension – DC Water and Environment. Germany, 2004

ESRI ArcView® GIS, The Geographic information systems for everyone. Environmental Systems Research Institute Inc. (ESRI), Redlands, California, 1996.

GOODCHILD, M. F., Towards an enumeration and classification of GIS functions. in international geographic information systems (IGIS) Symposium: the research agenda (Aageenbrug R. T. e Schiffman Y. M. eds.), pp. 67-77. AAG, Falls Church Virginia, 1998.

GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. Environmental modelling with GIS. Oxford University Press, New York, 1993.

HAAS, C. N.; KARRA, S. B., Kinetics of wastewater chlorine demand exertion. Journal of the Water Pollution Control Federation. 56 (2), pp. 170-173, 1984.

HEALEY, R.G., Database management systems. In geographical information systems: principles and applications (D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, eds.), Vol. 1, 18, pp. 251-267. Longman Scientific & Technical, London, 1991.

INSSAA, Iniciativa nacional para a simulação de sistemas de abastecimento de água, DHA-NES, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2006.

LEIPNIK, M.R.; KEMP, K.K.; LOAICIGA, H.A. Implementation of GIS for water resource planning and management. Journal of water resources planning and management – ASCE, Vol. 119, n.º 2, pp. 184-205, 1993.

LI, Z., Network water quality modeling with stochastic water demands and mass dispersion Department of civil and environmental engineering, University of Cincinnati, Ohio, 2006.

LYONNAISE DES EAUX, Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement, tome I – Eau dans la ville, Alimentation en eau, Technique & Documentation, Lavoisier, Paris, 1994.

MACKE, S. DC water design extension manual, Dorsch Consult. Germany, 2005.

MAIER, S. H.; POWELL, R. S.; WOODWARD, C. A. Calibration and comparison of Chlorine decay models for a test water distribution system. Pergamon Elsevier. United Kingdom, 1999.

MAYS, L. W.; OZGER, S. Optimal location of isolation valves in water distribution systems: A reliability/optimization approach (Chapter 7) – Water resource systems management tools. McGraw-Hill. New York, 2004.

MCCRARY, S. W.; BENJAMIN, C. O. E; SCHMIDT, P. J. Decision-support tools for transferring AM/FM/GIS to small communities. Journal of planning and development, Vol. 119, n.º 4, pp. 173-188, University of Maryland, 1993.

MUNAVALLI, G. R.; MOHAN, M. S., Modified Lagrangian method for modeling water quality in distribution systems. Department of civil engineering, Indian Institute of Science, India, 2004.

MURRAY, M. G., An investigation into object-oriented approaches for hydroinformatics tools, Water resource systems research laboratory, School of Civil Engineering & Geosciences, University of Newcastle, 2003.

MAYS, L., Water distribution systems handbook. McGraw-Hill / American Water Works Association, New York, 2001.

NACE, A.; FOTOOHI, E.; LEVI, Y.; VILLON, P. Optimising the choice of sampling points in a drinking water supply network. Computing and control for the water industry. eds. Powell and Hindi, Research Studies Press, Reino Unido, 1997.

OSTFELD, A.; KOGAN, D.; SHAMIR, U., Reliability simulation of water distribution systems – single and multiquality. Faculty of civil engineering Israel Institute of Technology, Israel, 2001.

QUINTELA, A.C. Hidráulica. Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1981.

REGO, A. Modelação hidráulica do subsistema adutor de um sistema de abastecimento de água. Estudo de casos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

REGO, A. Plano de implementação de sistema de informação geográfica. Projecto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

ROSSMAN, L.A. EPANET 2 User's manual, National risk management research laboratory, Office of research and development, USEPA, EPA Publication. Cincinnati, Ohio, 2000.

ROSSMAN, L.A. Manual do utilizador do EPANET 2.0 (tradução e adaptação Loureiro D. e Coelho S.T.). série guias técnicos 5 – Instituto Regulador de Águas e Resíduos Laboratório Nacional de Engenharia Civil,. Lisboa, 2004.

SHEPHERD, I.D. Information integration and GIS in geographical information systems: Principal and applications (D. J. Maguire, M. F. Goodchild e D. W. Rhind, eds.), Vol. 1, 22, Longman Scientific & Technical, London, 1991.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H.; SUDARSHAN, S. Database system concepts, 3th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc, New York, 1997.

SIMÃO, A. C. Planeamento e gestão de sistemas de abastecimento de água com recurso à tecnologia dos SIG, Dissertação de mestrado em engenharia civil – Universidade de Coimbra, 2000.

SIMON, A.L. Hydraulics. John Wiley & Sons, New York, 1986.

Simpósio Luso-Brasileiro sobre simulação e modelação em hidráulica. Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Humanos, Fortaleza, 1983.

SOARES, A. K. Calibração de modelos de redes de distribuição de água para abastecimento considerando vazamentos e demandas dirigidas pela pressão. Dissertação de mestrado em Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2003.

SOARES, A.K.; REIS, L.F.; FORMIGA, K.T.; BRAGA DA SILVA, F.G.; CARRIJO, I.B. Aplicação de modelo dirigido pela pressão na estimativa de parâmetros de redes de distribuição de água. São Paulo, 2003.

TORRES, J. M., Micropolis: a virtual city for water distribution system research applications Texas A&M University, 2006.

TULLIS, J.P. Hydraulics of pipelines. John Wiley & Sons, New York, 1989.

VASCONCELOS, J. J.; ROSSMAN, L. A.; GRAYMAN, W. M.; BOULOS, P. E.; CLARK, R. M. Kinetics of chlorine decay. Journal American Water Works Association. 89, 7, pp. 54-65, 1997.

VIEIRA, P.; COELHO, S.T. Decaimento do cloro em sistemas de distribuição, Anais do 5º congresso da água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa, 2000.

VIEIRA, P. Decaimento do cloro em sistemas de distribuição de água para consumo humano. Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2001.

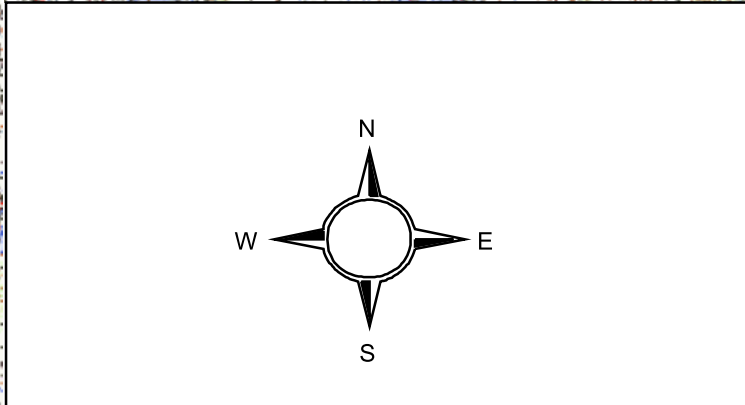
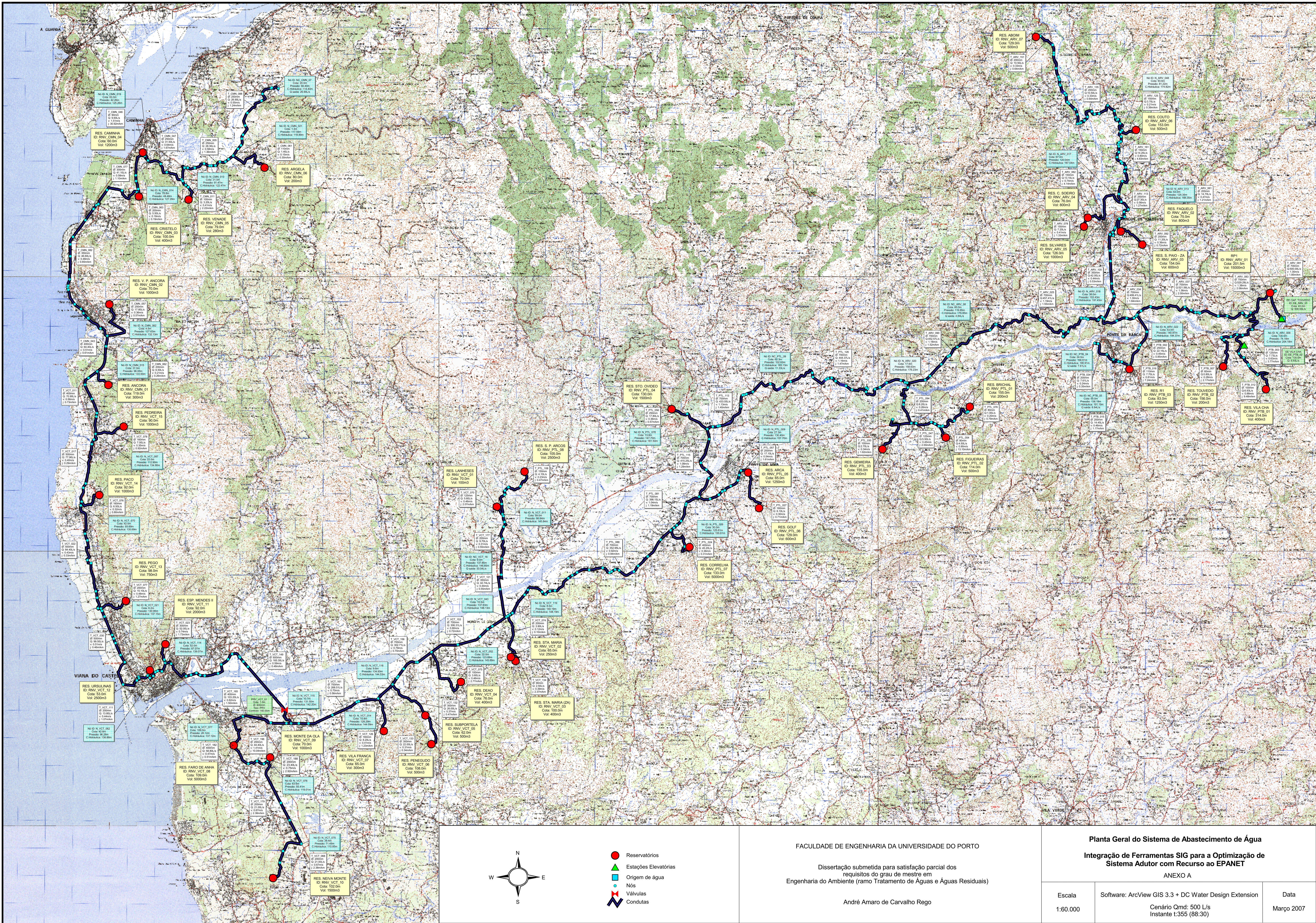
YOSHIMOTO, P.M.; FILHO, J.T.; SARZEDAS, G.L. Programa nacional de combate ao desperdício de água. Presidência da República – Secretaria especial de desenvolvimento urbano – Secretaria de Política Urbana. Brasil, 1999.

CHENG, Chia-Yau. Realização de ensaio de tratabilidade das águas da albufeira de Touvedo no rio Lima destinado à definição do processo de tratamento da ETA de S. Jorge da Águas do Minho e Lima, S.A. – Laboratório de Engenharia Sanitária (LES). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005

WALSKI, T. M. Using water distribution system models. Journal American Water Works Association, pp 58-63, 1983.

WHITE, C. Handbook of chlorination and alternative disinfectants. 4th ed. John Wiley & Sons, New York, 1999.

ANEXO A – PLANTA GERAL DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA



- Reservatórios
- Estações Elevatórias
- Origem de água
- Nós
- Válvulas
- Conduitas

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia do Ambiente (ramo Tratamento de Águas e Águas Residuais)

André Amaro de Carvalho Rego

Planta Geral do Sistema de Abastecimento de Água		
Integração de Ferramentas SIG para a Optimização de Sistema Adutor com Recurso ao EPANET		
ANEXO A		
Escala	Software: ArcView GIS 3.3 + DC Water Design Extension	Data
1:60.000	Cenário Qmd: 500 L/s Instante t:355 (88:30)	Março 2007

ANEXO B – DADOS DO MODELO – EPANET THEMES

Tabela B.21 – Propriedades do troços e resultados da modelação no instante t:355 (88:30h)

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_ARV_001	RNF_TOUVEDO	EE_ARV_01	4	700	0,15	0,00		500,00	1,85	1,30
T_ARV_002	N_ARV_009	N_PTB_013	1177	125	0,15	0,00		7,73	3,77	0,63
T_ARV_003	N_ARV_113	N_ARV_079	471	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_004	N_ARV_112	N_ARV_018	695	700	0,15	0,00		499,41	1,84	1,30
T_ARV_005	N_ARV_111	N_ARV_057	283	700	0,15	0,00		499,41	1,84	1,30
T_ARV_006	N_ARV_110	N_ARV_022	214	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_007	N_ARV_109	N_ARV_035	536	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_008	N_ARV_108	N_ARV_034	310	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_009	N_ARV_107	N_ARV_021	99	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_010	N_ARV_091	N_ARV_092	1143	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_011	N_ARV_106	N_PTL_069	298	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_ARV_012	N_ARV_105	N_ARV_106	551	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_ARV_013	N_ARV_104	N_ARV_105	179	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_ARV_014	N_ARV_103	N_ARV_020	674	700	0,15	0,00		452,57	1,52	1,18
T_ARV_015	N_ARV_102	N_ARV_103	225	700	0,15	0,00		452,57	1,52	1,18
T_ARV_016	N_ARV_101	N_ARV_102	592	700	0,15	0,00		452,57	1,52	1,18
T_ARV_017	N_ARV_100	N_ARV_101	386	700	0,15	0,00		452,57	1,52	1,18
T_ARV_018	N_ARV_099	N_ARV_100	73	700	0,15	0,00		452,57	1,52	1,18
T_ARV_019	N_ARV_098	NC_ARV_08	644	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_020	N_ARV_097	N_ARV_098	28	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_021	N_ARV_096	N_ARV_097	767	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_022	N_ARV_095	N_ARV_096	305	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_023	N_ARV_094	N_ARV_095	30	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_024	N_ARV_093	N_ARV_094	1587	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_025	N_ARV_092	N_ARV_093	563	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_026	N_ARV_090	N_ARV_091	190	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_027	N_ARV_088	N_ARV_090	336	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_028	N_ARV_087	N_ARV_088	810	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_029	N_ARV_086	N_ARV_087	24	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_030	N_ARV_085	N_ARV_086	111	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_031	N_ARV_084	N_ARV_085	77	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_032	N_ARV_079	N_ARV_084	68	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_033	N_ARV_068	N_ARV_113	208	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_034	N_ARV_057	N_ARV_112	389	700	0,15	0,00		499,41	1,84	1,30
T_ARV_035	N_ARV_046	N_ARV_111	103	700	0,15	0,00		499,41	1,84	1,30
T_ARV_036	N_ARV_035	N_ARV_110	398	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_ARV_037	N_ARV_034	N_ARV_109	889	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_038	N_ARV_021	N_ARV_108	205	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_039	N_ARV_010	N_ARV_107	71	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_040	N_ARV_008	N_ARV_010	736	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_041	N_ARV_007	N_ARV_008	337	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_042	N_ARV_026	N_ARV_007	653	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_043	N_ARV_025	N_ARV_026	206	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_044	TCV_ARV_01dn	FCV_ARV_01	2	800	0,15	0,00		500,00	0,94	1,00
T_ARV_045	PSV_ARV_05dn	N_ARV_030	2	150	0,15	0,00	CV	7,20	1,33	0,41
T_ARV_046	FCV_ARV_05dn	PSV_ARV_05	2	150	0,15	0,00		7,20	1,33	0,41
T_ARV_047	PSV_ARV_07dn	N_ARV_027	2	200	0,15	0,00	CV	10,50	0,64	0,33
T_ARV_048	FCV_ARV_07dn	PSV_ARV_07	2	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_049	PSV_ARV_06dn	N_ARV_028	2	150	0,15	0,00	CV	3,70	0,39	0,21
T_ARV_050	FCV_ARV_06dn	PSV_ARV_06	2	150	0,15	0,00		3,70	0,39	0,21
T_ARV_051	PSV_ARV_04dn	N_ARV_029	2	90	0,15	0,00	CV	5,90	12,07	0,93
T_ARV_052	FCV_ARV_04dn	PSV_ARV_04	2	90	0,15	0,00		5,90	12,07	0,93
T_ARV_053	PSV_ARV_02dn	N_ARV_033	2	200	0,15	0,00	CV	3,50	0,08	0,11
T_ARV_054	FCV_ARV_02dn	PSV_ARV_02	2	200	0,15	0,00		3,50	0,08	0,11
T_ARV_055	PSV_ARV_03dn	N_ARV_031	2	200	0,15	0,00	CV	11,20	0,73	0,36
T_ARV_056	FCV_ARV_03dn	PSV_ARV_03	2	200	0,15	0,00		11,20	0,73	0,36
T_ARV_057	N_ARV_018	N_ARV_068	99	700	0,15	0,00		457,41	1,55	1,19
T_ARV_058	N_ARV_009	N_ARV_025	245	700	0,15	0,00		521,56	2,00	1,36
T_ARV_059	N_ARV_022	N_PTB_014	722	250	0,15	0,00		22,15	0,85	0,45
T_ARV_060	N_ARV_023	N_ARV_013	367	250	0,15	0,00		42,00	2,89	0,86
T_ARV_061	N_ARV_013	N_ARV_005	484	200	0,15	0,00		14,70	1,21	0,47
T_ARV_062	N_ARV_017	N_ARV_089	2330	150	0,15	0,00		13,10	4,14	0,74
T_ARV_063	N_ARV_089	TCV_ARV_04	20	90	0,15	0,00		5,90	12,07	0,93
T_ARV_064	FCV_ARV_01dn	PSV_ARV_01	2	800	0,15	0,00		500,00	0,94	1,00
T_ARV_065	N_ARV_018	N_ARV_114	493	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_066	N_ARV_019	N_ARV_023	33	250	0,15	0,00		42,00	2,89	0,86
T_ARV_067	N_ARV_022	N_ARV_046	57	600	0,15	0,00		499,41	4,04	1,77
T_ARV_068	N_ARV_020	N_ARV_104	81	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_ARV_069	N_ARV_020	N_PTL_028	225	200	0,15	0,00		8,20	0,41	0,26
T_ARV_070	N_ARV_028	NC_ARV_06	5	200	0,15	0,00		4,37	0,13	0,14
T_ARV_071	N_ARV_029	NC_ARV_04	5	90	0,15	0,00		6,90	16,29	1,09
T_ARV_072	N_ARV_030	NC_ARV_05	5	150	0,15	0,00		8,50	1,82	0,48
T_ARV_073	N_ARV_033	NC_ARV_02	5	200	0,15	0,00		4,10	0,11	0,13
T_ARV_074	N_ARV_027	NC_ARV_07	5	200	0,15	0,00		12,39	0,87	0,39
T_ARV_075	TCV_ARV_06dn	FCV_ARV_06	2	150	0,15	0,00		3,70	0,39	0,21
T_ARV_076	TCV_ARV_04dn	FCV_ARV_04	2	90	0,15	0,00		5,90	12,07	0,93
T_ARV_077	TCV_ARV_05dn	FCV_ARV_05	2	150	0,15	0,00		7,20	1,33	0,41
T_ARV_078	N_ARV_089	TCV_ARV_05	369	150	0,15	0,00		7,20	1,33	0,41

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_ARV_079	TCV_ARV_02dn	FCV_ARV_02	2	200	0,15	0,00		3,50	0,08	0,11
T_ARV_080	TCV_ARV_07dn	FCV_ARV_07	2	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_082	PSV_ARV_01dn	RNV_ARV_01	5	800	0,15	0,00	CV	500,00	0,94	1,00
T_ARV_083	N_ARV_002	N_ARV_009	1290	700	0,15	0,00		529,29	2,06	1,38
T_ARV_084	N_ARV_024	TCV_ARV_01	318	800	0,15	0,00		500,00	0,94	1,00
T_ARV_085	N_ARV_001	N_ARV_024	76	700	0,15	0,00		500,00	1,85	1,30
T_ARV_087	EE_ARV_01dn	N_ARV_004	4	700	0,15	0,00		500,00	1,85	1,30
T_ARV_090	NC_ARV_08	N_ARV_099	430	700	0,15	0,00		452,57	1,52	1,18
T_ARV_091	N_ARV_004	N_ARV_001	1123	700	0,15	0,00		500,00	1,85	1,30
T_ARV_092	N_ARV_005	TCV_ARV_03	1140	200	0,15	0,00		11,20	0,72	0,36
T_ARV_093	N_ARV_005	TCV_ARV_02	10	200	0,15	0,00		3,50	0,09	0,11
T_ARV_094	TCV_ARV_03dn	FCV_ARV_03	2	200	0,15	0,00		11,20	0,73	0,36
T_ARV_095	N_ARV_031	NC_ARV_03	5	200	0,15	0,00		13,22	0,99	0,42
T_ARV_096	N_ARV_033	RNV_ARV_02	5	200	0,15	0,00		-0,60	0,00	0,02
T_ARV_097	N_ARV_031	RNV_ARV_03	5	200	0,15	0,00		-2,02	0,03	0,06
T_ARV_098	N_ARV_029	RNV_ARV_04	5	90	0,15	0,00		-1,00	0,42	0,16
T_ARV_099	N_ARV_030	RNV_ARV_05	5	150	0,15	0,00		-1,30	0,06	0,07
T_ARV_100	N_ARV_028	RNV_ARV_06	5	150	0,15	0,00		-0,67	0,02	0,04
T_ARV_101	N_ARV_027	RNV_ARV_07	5	200	0,15	0,00		-1,89	0,03	0,06
T_ARV_102	N_ARV_114	N_ARV_115	417	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_103	N_ARV_115	N_ARV_116	194	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_104	N_ARV_116	N_ARV_117	288	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_105	N_ARV_117	N_ARV_118	819	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_106	N_ARV_118	N_ARV_119	382	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_107	N_ARV_119	N_ARV_120	603	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_108	N_ARV_120	N_ARV_011	123	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_109	N_ARV_012	N_ARV_019	168	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_110	N_ARV_013	N_ARV_014	211	250	0,15	0,00		27,30	1,27	0,56
T_ARV_111	N_ARV_014	N_ARV_015	185	250	0,15	0,00		27,30	1,27	0,56
T_ARV_112	N_ARV_015	N_ARV_016	218	250	0,15	0,00		27,30	1,27	0,56
T_ARV_113	N_ARV_016	N_ARV_017	418	250	0,15	0,00		27,30	1,27	0,56
T_ARV_114	N_ARV_017	N_ARV_032	308	250	0,15	0,00		14,20	0,37	0,29
T_ARV_115	N_ARV_032	N_ARV_006	493	250	0,15	0,00		14,20	0,37	0,29
T_ARV_116	N_ARV_011	N_ARV_012	152	350	0,15	0,00		42,00	0,53	0,44
T_ARV_117	RNV_ARV_01	N_ARV_002	5	800	0,15	0,00		529,29	1,05	1,05
T_ARV_118	N_ARV_038	N_ARV_040	243	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_119	N_ARV_040	N_ARV_041	214	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_120	N_ARV_041	N_ARV_042	207	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_121	N_ARV_042	N_ARV_045	74	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_122	N_ARV_043	N_ARV_044	78	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_123	N_ARV_044	N_ARV_082	192	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_124	N_ARV_047	N_ARV_048	83	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_ARV_125	N_ARV_048	TCV_ARV_06	677	150	0,15	0,00		3,70	0,39	0,21
T_ARV_126	N_ARV_048	N_ARV_050	474	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_127	N_ARV_050	N_ARV_051	201	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_128	N_ARV_051	N_ARV_052	40	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_129	N_ARV_054	N_ARV_055	54	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_130	N_ARV_058	N_ARV_054	177	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_131	N_ARV_059	N_ARV_060	333	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_132	N_ARV_060	N_ARV_061	501	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_133	N_ARV_061	N_ARV_062	167	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_134	N_ARV_062	N_ARV_063	164	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_135	N_ARV_063	N_ARV_064	434	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_136	N_ARV_083	N_ARV_065	205	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_137	N_ARV_065	N_ARV_066	302	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_138	N_ARV_066	N_ARV_067	82	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_139	N_ARV_067	N_ARV_069	262	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_140	N_ARV_069	N_ARV_070	85	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_141	N_ARV_070	N_ARV_071	344	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_142	N_ARV_071	N_ARV_072	39	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_143	N_ARV_072	N_ARV_073	177	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_144	N_ARV_073	N_ARV_074	34	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_145	N_ARV_074	N_ARV_075	82	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_146	N_ARV_075	N_ARV_076	321	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_147	N_ARV_076	N_ARV_077	522	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_148	N_ARV_077	N_ARV_078	72	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_149	N_ARV_078	N_ARV_081	289	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_150	N_ARV_080	TCV_ARV_07	237	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_151	N_ARV_081	N_ARV_080	569	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_152	N_ARV_045	N_ARV_043	91	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_153	N_ARV_082	N_ARV_047	211	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_154	N_ARV_052	N_ARV_053	147	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_155	N_ARV_064	N_ARV_058	179	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_156	N_ARV_055	N_ARV_056	79	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_157	N_ARV_056	N_ARV_083	357	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_158	N_ARV_053	N_ARV_059	248	200	0,15	0,00		10,50	0,64	0,33
T_ARV_159	N_ARV_006	N_ARV_036	591	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_160	N_ARV_036	N_ARV_037	165	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_161	N_ARV_037	N_ARV_039	232	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_ARV_162	N_ARV_039	N_ARV_038	88	150	0,15	0,00		14,20	4,83	0,80
T_CMN_001	N_CMN_049	N_CMN_050	166	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_002	N_CMN_048	N_CMN_021	216	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_003	N_CMN_047	N_CMN_048	142	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_004	N_CMN_046	N_CMN_047	211	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_CMN_005	N_CMN_044	N_CMN_046	234	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_006	N_CMN_043	N_CMN_044	147	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_007	N_CMN_042	N_CMN_043	64	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_008	N_CMN_041	N_CMN_042	224	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_009	N_CMN_040	N_CMN_041	403	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_010	N_CMN_039	N_CMN_040	276	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_011	N_CMN_038	TCV_CMN_05	674	100	0,15	0,00		3,20	2,22	0,41
T_CMN_012	N_CMN_037	N_CMN_038	115	100	0,15	0,00		3,20	2,22	0,41
T_CMN_013	N_CMN_036	N_CMN_037	192	100	0,15	0,00		3,20	2,22	0,41
T_CMN_014	N_CMN_035	N_CMN_013	681	250	0,15	0,00		31,50	1,67	0,64
T_CMN_015	N_CMN_033	N_CMN_007	305	300	0,15	0,00		41,10	1,10	0,58
T_CMN_016	N_CMN_031	N_CMN_006	623	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_017	N_CMN_030	N_CMN_031	88	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_018	N_CMN_029	N_CMN_030	170	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_019	N_CMN_028	N_CMN_005	760	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_020	N_CMN_027	N_CMN_028	302	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_021	N_CMN_026	N_CMN_027	430	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_022	N_CMN_025	N_CMN_004	248	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_023	N_CMN_024	N_CMN_025	55	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_024	N_CMN_023	N_CMN_024	96	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_025	N_CMN_022	N_CMN_020	285	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_026	N_CMN_020	N_CMN_023	591	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_027	N_CMN_018	N_CMN_022	204	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_028	N_CMN_017	N_CMN_018	236	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_029	N_CMN_016	N_CMN_062	389	400	0,15	0,00		64,40	0,61	0,51
T_CMN_030	N_CMN_045	N_CMN_015	395	400	0,15	0,00		70,90	0,73	0,56
T_CMN_031	PSV_CMN_06dn	N_CMN_061	2	110	0,15	0,00	CV	1,40	0,30	0,15
T_CMN_032	FCV_CMN_06dn	PSV_CMN_06	2	110	0,15	0,00		1,40	0,30	0,15
T_CMN_033	PSV_CMN_05dn	N_CMN_058	2	100	0,15	0,00	CV	3,20	2,22	0,41
T_CMN_034	FCV_CMN_05dn	PSV_CMN_05	2	100	0,15	0,00		3,20	2,22	0,41
T_CMN_035	PSV_CMN_04dn	N_CMN_060	2	90	0,15	0,00	CV	9,60	30,92	1,51
T_CMN_036	FCV_CMN_04dn	PSV_CMN_04	2	90	0,15	0,00		9,60	30,92	1,51
T_CMN_037	PSV_CMN_03dn	N_CMN_057	2	200	0,15	0,00	CV	5,50	0,20	0,18
T_CMN_038	FCV_CMN_03dn	PSV_CMN_03	2	200	0,15	0,00		5,50	0,20	0,18
T_CMN_039	PSV_CMN_02dn	N_CMN_059	2	250	0,15	0,00	CV	17,80	0,57	0,36
T_CMN_040	FCV_CMN_02dn	PSV_CMN_02	2	250	0,15	0,00		17,80	0,57	0,36
T_CMN_041	PSV_CMN_01dn	N_CMN_056	2	200	0,15	0,00	CV	6,50	0,27	0,21
T_CMN_042	FCV_CMN_01dn	PSV_CMN_01	2	200	0,15	0,00		6,50	0,27	0,21
T_CMN_043	N_CMN_015	N_CMN_016	1022	400	0,15	0,00		64,40	0,61	0,51
T_CMN_044	N_CMN_012	N_CMN_017	38	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_045	N_CMN_014	N_CMN_033	165	300	0,15	0,00		41,10	1,10	0,58
T_CMN_046	N_CMN_019	TCV_CMN_04	375	90	0,15	0,00		9,60	30,92	1,51

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_CMN_047	N_CMN_019	N_CMN_009	537	250	0,15	0,00		31,50	1,67	0,64
T_CMN_048	N_CMN_021	N_CMN_049	303	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_049	N_CMN_056	NC_CMN_01	5	200	0,15	0,00		7,61	0,35	0,24
T_CMN_050	N_CMN_057	NC_CMN_03	5	200	0,15	0,00		6,44	0,26	0,21
T_CMN_051	N_CMN_058	NC_CMN_05	5	100	0,15	0,00		3,78	3,03	0,48
T_CMN_052	N_CMN_059	NC_CMN_02	5	250	0,15	0,00		20,83	0,76	0,42
T_CMN_053	N_CMN_060	NC_CMN_04	5	90	0,15	0,00		11,23	41,88	1,77
T_CMN_054	N_CMN_061	NC_CMN_06	5	110	0,15	0,00		1,65	0,41	0,17
T_CMN_055	TCV_CMN_01dn	FCV_CMN_01	2	200	0,15	0,00		6,50	0,27	0,21
T_CMN_056	TCV_CMN_02dn	FCV_CMN_02	2	250	0,15	0,00		17,80	0,56	0,36
T_CMN_057	N_CMN_062	TCV_CMN_02	2098	250	0,15	0,00		17,80	0,57	0,36
T_CMN_058	TCV_CMN_04dn	FCV_CMN_04	2	90	0,15	0,00		9,60	30,91	1,51
T_CMN_059	TCV_CMN_05dn	FCV_CMN_05	2	100	0,15	0,00		3,20	2,22	0,41
T_CMN_060	TCV_CMN_06dn	FCV_CMN_06	2	110	0,15	0,00		1,40	0,30	0,15
T_CMN_061	N_CMN_021	TCV_CMN_06	1790	110	0,15	0,00		1,40	0,30	0,15
T_CMN_062	N_CMN_015	TCV_CMN_01	803	200	0,15	0,00		6,50	0,26	0,21
T_CMN_063	N_CMN_014	TCV_CMN_03	188	200	0,15	0,00		5,50	0,19	0,18
T_CMN_064	N_CMN_013	N_CMN_036	70	100	0,15	0,00		3,20	2,22	0,41
T_CMN_065	TCV_CMN_03dn	FCV_CMN_03	2	200	0,15	0,00		5,50	0,20	0,18
T_CMN_066	N_CMN_056	RNV_CMN_01	5	200	0,15	0,00		-1,11	0,01	0,04
T_CMN_067	N_CMN_059	RNV_CMN_02	5	250	0,15	0,00		-3,03	0,02	0,06
T_CMN_068	N_CMN_057	RNV_CMN_03	5	200	0,15	0,00		-0,94	0,01	0,03
T_CMN_069	N_CMN_058	RNV_CMN_05	5	100	0,15	0,00		-0,58	0,10	0,07
T_CMN_070	N_CMN_060	RNV_CMN_04	5	90	0,15	0,00		-1,63	1,02	0,26
T_CMN_071	N_CMN_061	RNV_CMN_06	5	110	0,15	0,00		-0,25	0,01	0,03
T_CMN_072	N_CMN_032	N_CMN_014	876	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_073	N_CMN_011	N_CMN_052	405	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_074	N_CMN_013	N_CMN_010	597	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_075	N_CMN_010	N_CMN_039	114	250	0,15	0,00		28,30	1,36	0,58
T_CMN_076	N_CMN_009	N_CMN_035	455	250	0,15	0,00		31,50	1,67	0,64
T_CMN_077	N_CMN_034	N_CMN_008	942	300	0,15	0,00		41,10	1,10	0,58
T_CMN_078	N_CMN_008	N_CMN_019	211	300	0,15	0,00		41,10	1,10	0,58
T_CMN_079	N_CMN_007	N_CMN_034	211	300	0,15	0,00		41,10	1,10	0,58
T_CMN_080	N_CMN_006	N_CMN_032	609	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_081	N_CMN_005	N_CMN_029	504	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_082	N_CMN_004	N_CMN_026	870	350	0,15	0,00		46,60	0,65	0,48
T_CMN_083	N_CMN_003	N_CMN_012	587	400	0,15	0,00		46,60	0,33	0,37
T_CMN_084	N_CMN_002	NC_CMN_07	294	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_085	N_CMN_001	N_CMN_002	36	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_086	N_CMN_055	N_CMN_001	415	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_087	N_CMN_054	N_CMN_055	364	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_088	N_CMN_053	N_CMN_054	739	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_CMN_089	N_CMN_052	N_CMN_053	501	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_090	N_CMN_051	N_CMN_011	153	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_091	N_CMN_050	N_CMN_051	261	250	0,15	0,00		26,90	1,24	0,55
T_CMN_092	N_CMN_062	N_CMN_003	456	400	0,15	0,00		46,60	0,33	0,37
T_PTB_001	N_PTB_015	N_PTB_003	871	250	0,15	0,00		22,15	0,85	0,45
T_PTB_002	N_PTB_014	N_PTB_016	558	250	0,15	0,00		22,15	0,85	0,45
T_PTB_003	N_PTB_013	N_PTB_002	518	125	0,15	0,00		7,73	3,77	0,63
T_PTB_004	N_PTB_012	N_PTB_011	252	60	0,15	0,00		0,80	2,17	0,28
T_PTB_005	N_PTB_011	N_PTB_010	356	60	0,15	0,00		0,80	2,17	0,28
T_PTB_006	N_PTB_010	N_PTB_009	147	60	0,15	0,00		0,80	2,17	0,28
T_PTB_007	N_PTB_009	TCV_PTB_02	1168	60	0,15	0,00		0,80	2,17	0,28
T_PTB_008	N_PTB_008	N_PTB_004	431	100	0,15	0,00		6,93	9,48	0,88
T_PTB_009	N_PTB_007	N_PTB_008	67	100	0,15	0,00		6,93	9,48	0,88
T_PTB_010	N_PTB_006	N_PTB_007	337	100	0,15	0,00		6,93	9,48	0,88
T_PTB_011	N_PTB_005	N_PTB_006	243	100	0,15	0,00		6,93	9,48	0,88
T_PTB_012	N_PTB_004	N_PTB_021	1234	100	0,15	0,00		6,93	9,48	0,88
T_PTB_013	PSV_PTB_03dn	N_PTB_022	2	110	0,15	0,00	CV	7,70	7,24	0,81
T_PTB_014	PSV_PTB_02dn	N_PTB_020	2	60	0,15	0,00	CV	0,80	2,17	0,28
T_PTB_015	N_PTB_003	N_PTB_017	297	200	0,15	0,00		14,45	1,17	0,46
T_PTB_016	N_PTB_003	TCV_PTB_03	132	110	0,15	0,00		7,70	7,24	0,81
T_PTB_017	N_PTB_020	NC_PTB_02	5	60	0,15	0,00		0,94	2,95	0,33
T_PTB_018	N_PTB_021	NC_PTB_01	5	100	0,15	0,00		4,48	4,19	0,57
T_PTB_019	N_PTB_022	NC_PTB_03	5	110	0,15	0,00		9,01	9,75	0,95
T_PTB_020	TCV_PTB_03dn	FCV_PTB_03	2	110	0,15	0,00		7,70	7,24	0,81
T_PTB_021	N_PTB_002	EE_PTB_02	697	100	0,15	0,00		6,93	9,48	0,88
T_PTB_022	EE_PTB_02dn	N_PTB_005	446	100	0,15	0,00		6,93	9,48	0,88
T_PTB_023	N_PTB_002	N_PTB_012	203	60	0,15	0,00		0,80	2,17	0,28
T_PTB_024	TCV_PTB_02dn	FCV_PTB_02	2	60	0,15	0,00		0,80	2,17	0,28
T_PTB_025	FCV_PTB_03dn	PSV_PTB_03	2	110	0,15	0,00		7,70	7,24	0,81
T_PTB_026	FCV_PTB_02dn	PSV_PTB_02	2	60	0,15	0,00		0,80	2,17	0,28
T_PTB_027	N_PTB_020	RNV_PTB_02	5	60	0,15	0,00		-0,14	0,07	0,05
T_PTB_028	N_PTB_022	RNV_PTB_03	5	110	0,15	0,00		-1,31	0,25	0,14
T_PTB_029	N_PTB_021	RNV_PTB_01	5	100	0,15	0,00		2,45	1,24	0,31
T_PTB_030	N_PTB_016	N_PTB_015	107	250	0,15	0,00		22,15	0,85	0,45
T_PTB_031	N_PTB_017	N_PTB_018	116	200	0,15	0,00		14,45	1,17	0,46
T_PTB_032	N_PTB_018	N_PTB_019	335	200	0,15	0,00		14,45	1,17	0,46
T_PTB_033	N_PTB_019	NC_PTB_05	325	200	0,15	0,00		14,45	1,17	0,46
T_PTB_034	NC_PTB_05	N_PTB_001	673	200	0,15	0,00		7,61	0,35	0,24
T_PTB_035	N_PTB_001	NC_PTB_04	130	200	0,15	0,00		7,61	0,35	0,24
T_PTL_001	N_PTL_072	N_PTL_013	137	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_002	N_PTL_073	N_PTL_037	264	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_003	N_PTL_070	N_PTL_072	582	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_PTL_004	N_PTL_069	N_PTL_070	191	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_005	N_PTL_013	N_PTL_011	64	600	0,15	0,00		444,37	3,22	1,57
T_PTL_006	N_PTL_011	N_PTL_073	604	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_007	PSV_PTL_08dn	N_PTL_091	2	150	0,15	0,00	CV	4,10	0,47	0,23
T_PTL_008	FCV_PTL_08dn	PSV_PTL_08	2	150	0,15	0,00		4,10	0,47	0,23
T_PTL_009	PSV_PTL_07dn	N_PTL_090	2	400	0,15	0,00	CV	45,20	0,32	0,36
T_PTL_010	FCV_PTL_07dn	PSV_PTL_07	2	400	0,15	0,00		45,20	0,31	0,36
T_PTL_011	PSV_PTL_06dn	N_PTL_089	2	160	0,15	0,00	CV	6,10	0,71	0,30
T_PTL_012	FCV_PTL_06dn	PSV_PTL_06	2	160	0,15	0,00		6,10	0,71	0,30
T_PTL_013	PSV_PTL_05dn	N_PTL_088	2	160	0,15	0,00	CV	11,00	2,14	0,55
T_PTL_014	FCV_PTL_05dn	PSV_PTL_05	2	160	0,15	0,00		11,00	2,14	0,55
T_PTL_015	PSV_PTL_04dn	N_PTL_087	2	250	0,15	0,00	CV	17,80	0,57	0,36
T_PTL_016	FCV_PTL_04dn	PSV_PTL_04	2	250	0,15	0,00		17,80	0,57	0,36
T_PTL_017	PSV_PTL_03dn	N_PTL_086	2	110	0,15	0,00	CV	2,70	1,01	0,28
T_PTL_018	FCV_PTL_03dn	PSV_PTL_03	2	110	0,15	0,00		2,70	1,01	0,28
T_PTL_019	PSV_PTL_02dn	N_PTL_084	2	80	0,15	0,00	CV	4,50	13,10	0,90
T_PTL_020	FCV_PTL_02dn	PSV_PTL_02	2	80	0,15	0,00		4,50	13,10	0,90
T_PTL_021	PSV_PTL_01dn	N_PTL_085	2	80	0,15	0,00	CV	1,00	0,78	0,20
T_PTL_022	FCV_PTL_01dn	PSV_PTL_01	2	80	0,15	0,00		1,00	0,78	0,20
T_PTL_023	N_PTL_015	N_PTL_009	799	700	0,15	0,00		415,25	1,29	1,08
T_PTL_024	N_PTL_026	N_PTL_061	1027	400	0,15	0,00		45,20	0,31	0,36
T_PTL_025	N_PTL_009	N_PTL_010	434	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_026	N_PTL_078	N_PTL_035	374	700	0,15	0,00		415,25	1,29	1,08
T_PTL_027	N_PTL_039	TCV_PTL_06	1601	160	0,15	0,00		6,10	0,71	0,30
T_PTL_028	N_PTL_039	TCV_PTL_05	24	160	0,15	0,00		11,00	2,14	0,55
T_PTL_029	N_PTL_009	N_PTL_040	578	700	0,15	0,00		398,15	1,19	1,04
T_PTL_030	N_PTL_077	TCV_PTL_03	1804	100	0,15	0,00		2,70	1,62	0,34
T_PTL_031	N_PTL_084	NC_PTL_02	5	80	0,15	0,00		5,31	18,00	1,06
T_PTL_032	N_PTL_085	NC_PTL_01	5	80	0,15	0,00		1,18	1,06	0,24
T_PTL_033	N_PTL_086	NC_PTL_03	5	110	0,15	0,00		3,19	1,37	0,34
T_PTL_034	N_PTL_087	NC_PTL_04	5	250	0,15	0,00		21,00	0,77	0,43
T_PTL_035	N_PTL_088	NC_PTL_05	5	160	0,15	0,00		12,87	2,88	0,64
T_PTL_036	N_PTL_089	NC_PTL_06	5	160	0,15	0,00		7,14	0,95	0,36
T_PTL_037	N_PTL_090	NC_PTL_07	5	400	0,15	0,00		52,88	0,42	0,42
T_PTL_038	N_PTL_091	NC_PTL_08	5	150	0,15	0,00		4,84	0,64	0,27
T_PTL_039	TCV_PTL_01dn	FCV_PTL_01	2	80	0,15	0,00		1,00	0,78	0,20
T_PTL_040	TCV_PTL_02dn	FCV_PTL_02	2	80	0,15	0,00		4,50	13,11	0,90
T_PTL_041	TCV_PTL_03dn	FCV_PTL_03	2	110	0,15	0,00		2,70	1,01	0,28
T_PTL_042	TCV_PTL_05dn	FCV_PTL_05	2	160	0,15	0,00		11,00	2,14	0,55
T_PTL_043	TCV_PTL_06dn	FCV_PTL_06	2	160	0,15	0,00		6,10	0,71	0,30
T_PTL_044	TCV_PTL_04dn	FCV_PTL_04	2	250	0,15	0,00		17,80	0,57	0,36
T_PTL_045	TCV_PTL_07dn	FCV_PTL_07	2	400	0,15	0,00		45,20	0,32	0,36

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_PTL_046	TCV_PTL_08dn	FCV_PTL_08	2	150	0,15	0,00		4,10	0,47	0,23
T_PTL_047	N_PTL_076	N_PTL_003	599	125	0,15	0,00		5,50	2,00	0,45
T_PTL_048	N_PTL_079	TCV_PTL_04	51	250	0,15	0,00		17,80	0,57	0,36
T_PTL_049	N_PTL_080	N_PTL_015	455	700	0,15	0,00		415,25	1,29	1,08
T_PTL_050	N_PTL_075	N_PTL_004	166	125	0,15	0,00		5,50	2,00	0,45
T_PTL_051	N_PTL_074	N_PTL_067	203	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_052	N_PTL_081	N_PTL_002	19	100	0,15	0,00		2,70	1,62	0,34
T_PTL_053	N_PTL_081	N_PTL_076	172	125	0,15	0,00		5,50	2,00	0,45
T_PTL_054	N_PTL_083	TCV_PTL_02	524	80	0,15	0,00		4,50	13,10	0,90
T_PTL_055	N_PTL_078	N_PTL_082	968	250	0,15	0,00		17,80	0,57	0,36
T_PTL_056	N_PTL_082	N_PTL_079	626	250	0,15	0,00		17,80	0,57	0,36
T_PTL_057	N_PTL_071	N_PTL_039	345	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_058	N_PTL_026	N_PTL_044	505	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_059	N_PTL_067	N_PTL_071	182	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_060	N_PTL_083	N_PTL_005	46	80	0,15	0,00		1,00	0,79	0,20
T_PTL_061	N_PTL_063	N_PTL_074	339	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_062	N_PTL_031	N_PTL_063	281	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_063	N_PTL_085	RNV_PTL_01	5	80	0,15	0,00		-0,18	0,03	0,04
T_PTL_064	N_PTL_084	RNV_PTL_02	5	80	0,15	0,00		-0,81	0,54	0,16
T_PTL_065	N_PTL_086	RNV_PTL_03	5	110	0,15	0,00		-0,49	0,05	0,05
T_PTL_066	N_PTL_087	RNV_PTL_04	5	250	0,15	0,00		-3,20	0,02	0,07
T_PTL_067	N_PTL_088	RNV_PTL_05	5	160	0,15	0,00		-1,87	0,08	0,09
T_PTL_068	N_PTL_089	RNV_PTL_06	5	160	0,15	0,00		-1,04	0,03	0,05
T_PTL_069	N_PTL_090	RNV_PTL_07	5	400	0,15	0,00		-7,68	0,01	0,06
T_PTL_070	N_PTL_068	N_PTL_031	133	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_071	N_PTL_012	N_PTL_068	176	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_072	N_PTL_091	RNV_PTL_08	5	150	0,15	0,00		-0,74	0,02	0,04
T_PTL_073	N_PTL_010	N_PTL_012	356	200	0,15	0,00		17,10	1,61	0,54
T_PTL_074	N_PTL_008	TCV_PTL_01	296	80	0,15	0,00		1,00	0,79	0,20
T_PTL_075	N_PTL_007	N_PTL_008	55	80	0,15	0,00		1,00	0,79	0,20
T_PTL_076	N_PTL_006	N_PTL_007	787	80	0,15	0,00		1,00	0,79	0,20
T_PTL_077	N_PTL_005	N_PTL_006	645	80	0,15	0,00		1,00	0,79	0,20
T_PTL_078	N_PTL_004	N_PTL_083	102	125	0,15	0,00		5,50	2,00	0,45
T_PTL_079	N_PTL_003	N_PTL_075	152	125	0,15	0,00		5,50	2,00	0,45
T_PTL_080	N_PTL_040	N_PTL_041	58	700	0,15	0,00		398,15	1,19	1,04
T_PTL_081	N_PTL_041	N_PTL_042	618	700	0,15	0,00		398,15	1,19	1,04
T_PTL_082	N_PTL_042	N_PTL_043	221	700	0,15	0,00		398,15	1,19	1,04
T_PTL_083	N_PTL_002	N_PTL_077	894	100	0,15	0,00		2,70	1,62	0,34
T_PTL_084	N_PTL_043	N_PTL_062	135	700	0,15	0,00		398,15	1,19	1,04
T_PTL_085	N_PTL_044	N_PTL_045	777	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_086	N_PTL_045	N_PTL_046	497	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_087	N_PTL_046	N_PTL_047	264	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_PTL_088	N_PTL_047	N_PTL_048	630	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_089	N_PTL_048	N_PTL_049	168	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_090	N_PTL_049	N_PTL_050	142	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_091	N_PTL_050	N_PTL_051	91	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_092	N_PTL_051	N_PTL_052	329	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_093	N_PTL_053	N_PTL_052	509	700	0,15	0,00		-352,95	0,94	0,92
T_PTL_094	N_PTL_001	N_PTL_081	764	200	0,15	0,00		8,20	0,41	0,26
T_PTL_095	N_PTL_054	N_PTL_053	471	700	0,15	0,00		-352,95	0,94	0,92
T_PTL_096	N_PTL_054	N_PTL_055	201	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_097	N_PTL_055	N_PTL_056	183	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_098	N_PTL_056	N_PTL_057	716	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_099	N_PTL_057	N_PTL_058	181	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_100	N_PTL_058	N_PTL_059	206	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_101	N_PTL_060	N_VCT_045	619	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_102	N_PTL_059	N_PTL_060	169	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_PTL_103	N_PTL_038	N_PTL_001	145	200	0,15	0,00		8,20	0,41	0,26
T_PTL_104	N_PTL_028	N_PTL_038	803	200	0,15	0,00		8,20	0,41	0,26
T_PTL_105	N_PTL_062	N_PTL_026	149	700	0,15	0,00		398,15	1,19	1,04
T_PTL_106	NC_PTL_09	N_PTL_025	254	700	0,15	0,00		433,05	1,40	1,13
T_PTL_107	N_PTL_064	N_PTL_066	176	150	0,15	0,00		4,10	0,47	0,23
T_PTL_108	N_PTL_065	TCV_PTL_08	663	150	0,15	0,00		4,10	0,47	0,23
T_PTL_109	N_PTL_061	TCV_PTL_07	534	400	0,15	0,00		45,20	0,31	0,36
T_PTL_110	N_PTL_066	N_PTL_065	529	150	0,15	0,00		4,10	0,47	0,23
T_PTL_111	N_PTL_020	N_PTL_021	1076	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_112	N_PTL_022	N_PTL_023	598	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_113	N_PTL_030	N_PTL_032	1170	700	0,15	0,00		433,05	1,40	1,13
T_PTL_114	N_PTL_036	N_PTL_080	365	700	0,15	0,00		415,25	1,29	1,08
T_PTL_115	N_PTL_035	N_PTL_036	958	700	0,15	0,00		415,25	1,29	1,08
T_PTL_116	N_PTL_034	N_PTL_078	230	700	0,15	0,00		433,05	1,40	1,13
T_PTL_117	N_PTL_033	N_PTL_034	193	700	0,15	0,00		433,05	1,40	1,13
T_PTL_118	N_PTL_032	N_PTL_033	63	700	0,15	0,00		433,05	1,40	1,13
T_PTL_119	N_PTL_029	N_PTL_030	97	700	0,15	0,00		433,05	1,40	1,13
T_PTL_120	N_PTL_027	N_PTL_029	346	700	0,15	0,00		433,05	1,40	1,13
T_PTL_121	N_PTL_025	N_PTL_024	86	600	0,15	0,00		433,05	3,06	1,53
T_PTL_122	N_PTL_024	N_PTL_027	57	700	0,15	0,00		433,05	1,40	1,13
T_PTL_123	N_PTL_023	NC_PTL_09	854	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_124	N_PTL_021	N_PTL_022	396	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_125	N_PTL_019	N_PTL_020	156	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_126	N_PTL_018	N_PTL_019	609	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_127	N_PTL_017	N_PTL_018	93	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_128	N_PTL_016	N_PTL_017	127	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_PTL_129	N_PTL_014	N_PTL_016	199	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_PTL_130	N_PTL_037	N_PTL_014	424	700	0,15	0,00		444,37	1,47	1,16
T_VCT_001	N_VCT_108	N_VCT_090	48	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_002	N_VCT_107	N_VCT_108	199	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_003	N_VCT_106	N_VCT_105	92	600	0,15	0,00		113,30	0,23	0,40
T_VCT_004	N_VCT_105	N_VCT_062	182	600	0,15	0,00		113,30	0,23	0,40
T_VCT_005	N_VCT_104	TCV_VCT_12	39	200	0,15	0,00		13,80	1,07	0,44
T_VCT_006	N_VCT_103	N_VCT_102	113	600	0,15	0,00		99,50	0,18	0,35
T_VCT_007	N_VCT_102	N_VCT_101	389	600	0,15	0,00		99,50	0,18	0,35
T_VCT_008	N_VCT_101	N_VCT_100	74	600	0,15	0,00		99,50	0,18	0,35
T_VCT_009	N_VCT_099	N_VCT_001	647	600	0,15	0,00		99,50	0,18	0,35
T_VCT_010	N_VCT_118	N_CMN_045	307	400	0,15	0,00		70,90	0,73	0,56
T_VCT_011	N_VCT_117	N_VCT_118	581	400	0,15	0,00		70,90	0,73	0,56
T_VCT_012	N_VCT_098	N_VCT_106	175	600	0,15	0,00		113,30	0,23	0,40
T_VCT_013	N_VCT_113	N_VCT_117	553	400	0,15	0,00		70,90	0,73	0,56
T_VCT_014	N_VCT_042	N_VCT_113	123	400	0,15	0,00		70,90	0,73	0,56
T_VCT_015	N_VCT_041	N_VCT_087	315	500	0,15	0,00		77,90	0,29	0,40
T_VCT_016	N_VCT_040	N_VCT_041	194	500	0,15	0,00		77,90	0,29	0,40
T_VCT_017	N_VCT_039	N_VCT_040	1524	500	0,15	0,00		77,90	0,29	0,40
T_VCT_018	N_VCT_038	N_VCT_039	179	500	0,15	0,00		77,90	0,29	0,40
T_VCT_019	N_VCT_037	N_VCT_070	140	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_020	N_VCT_036	N_VCT_037	1152	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_021	N_VCT_035	N_VCT_036	271	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_022	N_VCT_034	N_VCT_035	854	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_023	N_VCT_097	TCV_VCT_11	648	300	0,15	0,00		52,00	1,73	0,74
T_VCT_024	N_VCT_033	N_VCT_034	206	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_025	N_VCT_032	N_VCT_033	1079	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_026	N_VCT_031	N_VCT_032	244	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_027	N_VCT_021	N_VCT_031	424	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_028	N_VCT_010	N_VCT_112	97	500	0,15	0,00		99,50	0,46	0,51
T_VCT_029	N_VCT_009	N_VCT_010	228	500	0,15	0,00		99,50	0,46	0,51
T_VCT_030	N_VCT_008	N_VCT_009	725	500	0,15	0,00		99,50	0,46	0,51
T_VCT_031	N_VCT_007	N_VCT_008	145	500	0,15	0,00		99,50	0,46	0,51
T_VCT_032	N_VCT_006	N_VCT_007	175	500	0,15	0,00		99,50	0,46	0,51
T_VCT_033	N_VCT_005	N_VCT_006	474	500	0,15	0,00		99,50	0,46	0,51
T_VCT_034	N_VCT_096	N_VCT_114	257	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_035	N_VCT_004	N_VCT_005	304	500	0,15	0,00		99,50	0,46	0,51
T_VCT_036	N_VCT_095	N_VCT_096	893	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_037	PSV_VCT_15dn	N_VCT_028	2	160	0,15	0,00	CV	7,00	0,92	0,35
T_VCT_038	FCV_VCT_15dn	PSV_VCT_15	2	160	0,15	0,00		7,00	0,92	0,35
T_VCT_039	PSV_VCT_14dn	N_VCT_029	2	160	0,15	0,00	CV	6,50	0,80	0,32
T_VCT_040	FCV_VCT_14dn	PSV_VCT_14	2	160	0,15	0,00		6,50	0,80	0,32
T_VCT_041	PSV_VCT_13dn	N_VCT_027	2	200	0,15	0,00	CV	15,10	1,27	0,48

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_VCT_042	N_VCT_094	N_VCT_081	500	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_043	FCV_VCT_13dn	PSV_VCT_13	2	200	0,15	0,00		15,10	1,27	0,48
T_VCT_044	PSV_VCT_12dn	N_VCT_026	2	200	0,15	0,00	CV	13,80	1,07	0,44
T_VCT_045	FCV_VCT_12dn	PSV_VCT_12	2	200	0,15	0,00		13,80	1,07	0,44
T_VCT_046	PSV_VCT_11dn	N_VCT_025	2	300	0,15	0,00	CV	52,00	1,73	0,74
T_VCT_047	FCV_VCT_11dn	PSV_VCT_11	2	300	0,15	0,00		52,00	1,73	0,74
T_VCT_048	PSV_VCT_08dn	N_VCT_018	2	400	0,15	0,00	CV	58,80	0,52	0,47
T_VCT_049	FCV_VCT_08dn	PSV_VCT_08	2	400	0,15	0,00		58,80	0,51	0,47
T_VCT_050	PSV_VCT_07dn	N_VCT_030	2	160	0,15	0,00	CV	8,20	1,23	0,41
T_VCT_051	FCV_VCT_07dn	PSV_VCT_07	2	160	0,15	0,00		8,20	1,23	0,41
T_VCT_052	PSV_VCT_06dn	N_VCT_024	2	300	0,15	0,00	CV	22,00	0,34	0,31
T_VCT_053	N_VCT_093	N_VCT_094	428	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_054	FCV_VCT_06dn	PSV_VCT_06	2	300	0,15	0,00		22,00	0,34	0,31
T_VCT_055	PSV_VCT_05dn	N_VCT_023	2	300	0,15	0,00	CV	4,00	0,01	0,06
T_VCT_056	FCV_VCT_05dn	PSV_VCT_05	2	300	0,15	0,00		4,00	0,02	0,06
T_VCT_057	PSV_VCT_04dn	N_VCT_022	2	100	0,15	0,00	CV	3,60	2,77	0,46
T_VCT_058	FCV_VCT_04dn	PSV_VCT_04	2	100	0,15	0,00		3,60	2,77	0,46
T_VCT_059	PSV_VCT_03dn	N_VCT_020	2	90	0,15	0,00	CV	2,50	2,38	0,39
T_VCT_060	FCV_VCT_03dn	PSV_VCT_03	2	90	0,15	0,00		2,50	2,37	0,39
T_VCT_061	PSV_VCT_02dn	N_VCT_019	2	100	0,15	0,00	CV	1,40	0,48	0,18
T_VCT_062	FCV_VCT_02dn	PSV_VCT_02	2	100	0,15	0,00		1,40	0,48	0,18
T_VCT_063	PSV_VCT_01dn	N_VCT_015	2	125	0,15	0,00	CV	5,60	2,07	0,46
T_VCT_064	N_VCT_092	N_VCT_093	319	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_065	FCV_VCT_01dn	PSV_VCT_01	2	125	0,15	0,00		5,60	2,07	0,46
T_VCT_066	N_VCT_091	N_VCT_092	252	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_067	N_VCT_090	N_VCT_091	314	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_068	N_VCT_089	N_VCT_111	444	200	0,15	0,00		21,00	2,38	0,67
T_VCT_069	NC_VCT_16	N_VCT_074	819	200	0,15	0,00		9,70	0,55	0,31
T_VCT_070	N_VCT_011	TCV_VCT_01	354	125	0,15	0,00		5,60	2,07	0,46
T_VCT_071	N_VCT_011	N_VCT_069	379	150	0,15	0,00		4,10	0,47	0,23
T_VCT_072	N_VCT_088	N_VCT_075	450	200	0,15	0,00		21,00	2,38	0,67
T_VCT_073	N_VCT_086	N_VCT_088	514	200	0,15	0,00		21,00	2,38	0,67
T_VCT_074	N_VCT_119	N_VCT_003	1781	200	0,15	0,00		3,90	0,10	0,12
T_VCT_075	N_VCT_052	TCV_VCT_04	2275	100	0,15	0,00		3,60	2,77	0,46
T_VCT_076	N_VCT_070	TCV_VCT_14	999	160	0,15	0,00		6,50	0,80	0,32
T_VCT_077	N_VCT_112	TCV_VCT_13	1232	200	0,15	0,00		15,10	1,27	0,48
T_VCT_078	N_VCT_087	TCV_VCT_15	1153	160	0,15	0,00		7,00	0,92	0,35
T_VCT_079	N_VCT_114	N_VCT_097	121	350	0,15	0,00		52,00	0,80	0,54
T_VCT_080	N_VCT_085	N_VCT_086	709	200	0,15	0,00		21,00	2,38	0,67
T_VCT_081	N_VCT_044	N_VCT_048	202	700	0,15	0,00		306,31	0,72	0,80
T_VCT_082	N_VCT_052	N_VCT_051	628	700	0,15	0,00		302,71	0,70	0,79
T_VCT_083	N_VCT_114	N_VCT_098	342	600	0,15	0,00		113,30	0,23	0,40

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_VCT_084	N_VCT_062	N_VCT_103	163	600	0,15	0,00		99,50	0,18	0,35
T_VCT_085	N_VCT_112	N_VCT_021	146	500	0,15	0,00		84,40	0,33	0,43
T_VCT_086	N_VCT_070	N_VCT_038	548	500	0,15	0,00		77,90	0,29	0,40
T_VCT_087	N_VCT_087	N_VCT_042	643	400	0,15	0,00		70,90	0,73	0,56
T_VCT_088	N_VCT_084	N_VCT_110	175	200	0,15	0,00		44,40	10,04	1,41
T_VCT_089	N_VCT_083	N_VCT_084	286	200	0,15	0,00		44,40	10,04	1,41
T_VCT_090	N_VCT_082	N_VCT_083	370	200	0,15	0,00		44,40	10,04	1,41
T_VCT_091	N_VCT_015	NC_VCT_01	5	125	0,15	0,00		6,61	2,83	0,54
T_VCT_092	N_VCT_018	NC_VCT_08	5	400	0,15	0,00		68,80	0,69	0,55
T_VCT_093	N_VCT_019	NC_VCT_02	5	100	0,15	0,00		1,65	0,65	0,21
T_VCT_094	N_VCT_020	NC_VCT_03	5	90	0,15	0,00		2,95	3,23	0,46
T_VCT_095	N_VCT_022	NC_VCT_04	5	100	0,15	0,00		4,25	3,78	0,54
T_VCT_096	N_VCT_023	NC_VCT_05	5	300	0,15	0,00		4,72	0,02	0,07
T_VCT_097	N_VCT_024	NC_VCT_06	5	300	0,15	0,00		25,96	0,46	0,37
T_VCT_098	N_VCT_025	NC_VCT_11	5	300	0,15	0,00		60,84	2,33	0,86
T_VCT_099	N_VCT_026	NC_VCT_12	5	200	0,15	0,00		16,15	1,44	0,51
T_VCT_100	N_VCT_027	NC_VCT_13	5	200	0,15	0,00		17,67	1,70	0,56
T_VCT_101	N_VCT_081	N_VCT_080	173	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_102	N_VCT_028	NC_VCT_15	5	160	0,15	0,00		8,19	1,22	0,41
T_VCT_103	N_VCT_029	NC_VCT_14	5	160	0,15	0,00		7,61	1,06	0,38
T_VCT_104	N_VCT_080	N_VCT_079	160	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_105	N_VCT_079	N_VCT_078	212	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_106	TCV_VCT_01dn	FCV_VCT_01	2	125	0,15	0,00		5,60	2,07	0,46
T_VCT_107	TCV_VCT_03dn	FCV_VCT_03	2	90	0,15	0,00		2,50	2,37	0,39
T_VCT_108	TCV_VCT_04dn	FCV_VCT_04	2	100	0,15	0,00		3,60	2,77	0,46
T_VCT_109	TCV_VCT_11dn	FCV_VCT_11	2	250	0,15	0,00		52,00	4,36	1,06
T_VCT_110	TCV_VCT_12dn	FCV_VCT_12	2	200	0,15	0,00		13,80	1,07	0,44
T_VCT_111	N_VCT_062	N_VCT_104	214	200	0,15	0,00		13,80	1,07	0,44
T_VCT_112	TCV_VCT_08dn	FCV_VCT_08	2	400	0,15	0,00		58,80	0,52	0,47
T_VCT_113	N_VCT_078	N_VCT_095	183	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_114	TCV_VCT_13dn	FCV_VCT_13	2	200	0,15	0,00		15,10	1,27	0,48
T_VCT_115	TCV_VCT_14dn	FCV_VCT_14	2	160	0,15	0,00		6,50	0,80	0,32
T_VCT_116	TCV_VCT_15dn	FCV_VCT_15	2	160	0,15	0,00		7,00	0,92	0,35
T_VCT_117	TCV_VCT_02dn	FCV_VCT_02	2	100	0,15	0,00		1,40	0,48	0,18
T_VCT_118	TCV_VCT_05dn	FCV_VCT_05	2	300	0,15	0,00		4,00	0,02	0,06
T_VCT_119	TCV_VCT_06dn	FCV_VCT_06	2	300	0,15	0,00		22,00	0,34	0,31
T_VCT_120	N_VCT_002	TCV_VCT_05	36	300	0,15	0,00		4,00	0,02	0,06
T_VCT_121	N_VCT_012	N_VCT_065	694	350	0,15	0,00		42,74	0,55	0,44
T_VCT_122	N_VCT_013	N_VCT_107	248	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_123	N_VCT_043	N_VCT_044	612	700	0,15	0,00		306,31	0,72	0,80
T_VCT_124	N_VCT_014	N_VCT_057	730	700	0,15	0,00		268,51	0,56	0,70
T_VCT_125	N_VCT_116	N_VCT_014	740	700	0,15	0,00		276,71	0,59	0,72

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_VCT_126	N_VCT_014	TCV_VCT_07	1287	160	0,15	0,00		8,20	1,23	0,41
T_VCT_127	N_VCT_115	N_VCT_061	173	400	0,15	0,00		103,20	1,50	0,82
T_VCT_128	TCV_VCT_07dn	FCV_VCT_07	2	160	0,15	0,00		8,20	1,23	0,41
T_VCT_129	N_VCT_030	NC_VCT_07	5	160	0,15	0,00		9,68	1,68	0,48
T_VCT_130	N_VCT_043	N_VCT_012	1052	350	0,15	0,00		42,74	0,55	0,44
T_VCT_131	N_VCT_001	N_VCT_004	951	500	0,15	0,00		99,50	0,46	0,51
T_VCT_132	N_VCT_116	N_VCT_002	1757	300	0,15	0,00		26,00	0,47	0,37
T_VCT_133	N_VCT_002	TCV_VCT_06	1315	300	0,15	0,00		22,00	0,34	0,31
T_VCT_134	N_VCT_003	TCV_VCT_03	465	90	0,15	0,00		2,50	2,37	0,39
T_VCT_135	N_VCT_003	TCV_VCT_02	35	100	0,15	0,00		1,40	0,48	0,18
T_VCT_136	N_VCT_015	RNV_VCT_01	5	125	0,15	0,00		-1,01	0,09	0,08
T_VCT_137	N_VCT_020	RNV_VCT_03	5	90	0,15	0,00		-0,45	0,11	0,07
T_VCT_138	N_VCT_019	RNV_VCT_02	5	100	0,15	0,00		-0,25	0,02	0,03
T_VCT_139	N_VCT_022	RNV_VCT_04	5	100	0,15	0,00		-0,65	0,12	0,08
T_VCT_140	N_VCT_023	RNV_VCT_05	5	300	0,15	0,00		-0,72	0,00	0,01
T_VCT_141	N_VCT_024	RNV_VCT_06	5	300	0,15	0,00		-3,96	0,02	0,06
T_VCT_142	N_VCT_030	RNV_VCT_07	5	160	0,15	0,00		-1,48	0,05	0,07
T_VCT_143	N_VCT_018	RNV_VCT_08	5	400	0,15	0,00		-10,00	0,02	0,08
T_VCT_144	N_VCT_025	RNV_VCT_11	5	300	0,15	0,00		-8,84	0,06	0,13
T_VCT_145	N_VCT_026	RNV_VCT_12	5	200	0,15	0,00		-2,35	0,04	0,08
T_VCT_146	N_VCT_027	RNV_VCT_13	5	200	0,15	0,00		-2,57	0,05	0,08
T_VCT_147	N_VCT_029	RNV_VCT_14	5	160	0,15	0,00		-1,11	0,03	0,06
T_VCT_148	N_VCT_028	RNV_VCT_15	5	160	0,15	0,00		-1,19	0,03	0,06
T_VCT_149	PRV_VCT_01dn	N_VCT_013	2063	600	0,15	0,00		165,30	0,48	0,59
T_VCT_150	N_VCT_115	PRV_VCT_01	663	700	0,15	0,00		165,30	0,22	0,43
T_VCT_151	N_VCT_046	N_VCT_047	121	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_VCT_152	N_VCT_048	N_VCT_049	389	700	0,15	0,00		306,31	0,72	0,80
T_VCT_153	N_VCT_049	N_VCT_050	876	700	0,15	0,00		306,31	0,72	0,80
T_VCT_154	N_VCT_050	N_VCT_052	1041	700	0,15	0,00		306,31	0,72	0,80
T_VCT_155	N_VCT_051	N_VCT_053	56	700	0,15	0,00		302,71	0,70	0,79
T_VCT_156	N_VCT_053	N_VCT_054	571	700	0,15	0,00		302,71	0,70	0,79
T_VCT_157	N_VCT_054	N_VCT_055	343	700	0,15	0,00		302,71	0,70	0,79
T_VCT_158	N_VCT_055	N_VCT_056	69	700	0,15	0,00		302,71	0,70	0,79
T_VCT_159	N_VCT_056	N_VCT_116	283	700	0,15	0,00		302,71	0,70	0,79
T_VCT_160	N_VCT_057	N_VCT_058	76	700	0,15	0,00		268,51	0,56	0,70
T_VCT_161	N_VCT_058	N_VCT_073	1012	700	0,15	0,00		268,51	0,56	0,70
T_VCT_162	N_VCT_059	N_VCT_060	354	700	0,15	0,00		268,51	0,56	0,70
T_VCT_163	N_VCT_060	N_VCT_115	277	700	0,15	0,00		268,51	0,56	0,70
T_VCT_164	N_VCT_061	N_VCT_063	571	400	0,15	0,00		103,20	1,50	0,82
T_VCT_165	N_VCT_063	N_VCT_064	1087	400	0,15	0,00		103,20	1,50	0,82
T_VCT_166	N_VCT_064	N_VCT_077	1560	400	0,15	0,00		103,20	1,50	0,82
T_VCT_167	N_VCT_065	NC_VCT_16	585	350	0,15	0,00		42,74	0,55	0,44

Dc_Id	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	Minorloss	Status	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
T_VCT_168	N_VCT_066	N_VCT_067	217	200	0,15	0,00		9,70	0,55	0,31
T_VCT_169	N_VCT_067	N_VCT_068	227	200	0,15	0,00		9,70	0,55	0,31
T_VCT_170	N_VCT_068	N_VCT_011	75	200	0,15	0,00		9,70	0,55	0,31
T_VCT_171	N_VCT_069	N_VCT_071	436	150	0,15	0,00		4,10	0,47	0,23
T_VCT_172	N_VCT_071	N_PTL_064	175	150	0,15	0,00		4,10	0,47	0,23
T_VCT_173	N_VCT_045	N_VCT_072	222	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_VCT_174	N_VCT_047	N_VCT_119	77	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_VCT_175	N_VCT_072	N_VCT_046	808	700	0,15	0,00		352,95	0,94	0,92
T_VCT_176	N_VCT_073	N_VCT_059	941	700	0,15	0,00		268,51	0,56	0,70
T_VCT_177	N_VCT_074	N_VCT_066	473	200	0,15	0,00		9,70	0,55	0,31
T_VCT_178	N_VCT_100	N_VCT_099	140	600	0,15	0,00		99,50	0,18	0,35
T_VCT_179	N_VCT_076	N_VCT_085	1764	200	0,15	0,00		21,00	2,38	0,67
T_VCT_180	N_VCT_077	N_VCT_109	51	200	0,15	0,00		44,40	10,04	1,41
T_VCT_181	N_VCT_075	N_VCT_089	850	200	0,15	0,00		21,00	2,38	0,67
T_VCT_182	N_VCT_077	TCV_VCT_08	10	400	0,15	0,00		58,80	0,51	0,47
T_VCT_183	PSV_VCT_09dn	N_VCT_017	2	200	0,15	0,00	CV	23,40	2,92	0,75
T_VCT_184	FCV_VCT_09dn	PSV_VCT_09	2	200	0,15	0,00		23,40	2,92	0,75
T_VCT_185	N_VCT_017	NC_VCT_09	5	200	0,15	0,00		18,72	1,90	0,60
T_VCT_186	TCV_VCT_09dn	FCV_VCT_09	2	200	0,15	0,00		23,40	2,92	0,75
T_VCT_187	N_VCT_017	RNV_VCT_09	5	200	0,15	0,00		4,68	0,15	0,15
T_VCT_188	N_VCT_076	TCV_VCT_09	113	200	0,15	0,00		23,40	2,92	0,75
T_VCT_189	PSV_VCT_10dn	N_VCT_016	2	200	0,15	0,00	CV	21,00	2,37	0,67
T_VCT_190	FCV_VCT_10dn	PSV_VCT_10	2	200	0,15	0,00		21,00	2,38	0,67
T_VCT_191	N_VCT_016	NC_VCT_10	5	200	0,15	0,00		18,72	1,90	0,60
T_VCT_192	TCV_VCT_10dn	FCV_VCT_10	2	200	0,15	0,00		21,00	2,37	0,67
T_VCT_193	N_VCT_016	RNV_VCT_10	5	200	0,15	0,00		2,28	0,04	0,07
T_VCT_194	N_VCT_111	TCV_VCT_10	743	200	0,15	0,00		21,00	2,38	0,67
T_VCT_195	N_VCT_110	N_VCT_076	57	200	0,15	0,00		44,40	10,04	1,41
T_VCT_196	N_VCT_109	N_VCT_082	865	200	0,15	0,00		44,40	10,04	1,41
T_VCT_197	N_VCT_119	N_VCT_043	73	700	0,15	0,00		349,05	0,92	0,91

Tabela B.22 – Propriedade do reservatório de nível fixo e resultados da modelação no instante t:355 (88:30h)

Dc_Id	Head	Pattern	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
RNF_TOUVEDO	45,0		0,00	45,00	-500,00

Tabela B.23 – Propriedades dos reservatórios de nível variável e resultados da modelação no instante t:355 (88:30h)

Dc_Id	Designacao	Elevation	Initiallev	Minimumlev	Maximumlev	Diameter	Volume	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
RNV_ARV_01	RP1	201,5	5,5	1,5	5,5	61,54	15000	5,35	206,85	-29,29
RNV_ARV_02	RES. FAQUELO	75,0	4,0	1,5	4,0	15,96	800	3,16	78,16	-0,60
RNV_ARV_03	RES. S. PAIO - ZA	154,0	4,0	1,5	4,0	13,82	600	3,28	157,28	-2,02
RNV_ARV_04	RES. C. SOEIRO	76,0	4,0	1,5	4,0	15,96	800	3,01	79,01	-1,00
RNV_ARV_05	RES. SILVARES	126,0	3,2	1,5	3,2	19,95	1000	2,50	128,50	-1,30
RNV_ARV_06	RES. COUTO	153,0	3,2	1,5	3,2	14,10	500	2,50	155,50	-0,67
RNV_ARV_07	RES. ABOIM	129,0	3,2	1,5	3,2	14,10	500	2,65	131,65	-1,89
RNV_CMN_01	RES. ANCORA	119,0	3,2	1,5	3,2	10,93	300	2,29	121,29	-1,11
RNV_CMN_02	RES. V. P. ANCORA	70,0	3,2	1,5	3,2	19,95	1000	2,25	72,25	-3,03
RNV_CMN_03	RES. CRISTELO	100,0	3,2	1,5	3,2	12,62	400	2,24	102,24	-0,94
RNV_CMN_04	RES. CAMINHA	60,0	4,0	1,5	4,0	19,54	1200	2,98	62,98	-1,63
RNV_CMN_05	RES. VENADE	79,0	3,0	1,5	3,0	10,90	280	2,37	81,37	-0,58
RNV_CMN_06	RES. ARGELA	80,0	3,0	1,5	3,0	9,21	200	2,34	82,34	-0,25
RNV_PTB_01	RES. VILA CHA	314,0	3,2	1,5	3,2	12,62	400	2,00	316,00	2,45
RNV_PTB_02	RES. TOUVEDO	156,0	3,0	1,5	3,0	9,21	200	2,38	158,38	-0,14
RNV_PTB_03	RES. R1	83,0	3,0	1,5	3,0	23,03	1250	2,31	85,31	-1,31
RNV_PTL_01	RES. BRICAL	155,0	3,2	1,5	3,2	8,92	200	2,52	157,52	-0,18
RNV_PTL_02	RES. FIGUEIRAS	114,0	3,0	1,5	3,0	14,57	500	2,34	116,34	-0,81
RNV_PTL_03	RES. GEMIEIRA	155,0	3,2	1,5	3,2	12,62	400	2,50	157,50	-0,49
RNV_PTL_04	RES. STO. OVIDEO	130,0	4,0	1,5	4,0	21,85	1500	3,17	133,17	-3,20
RNV_PTL_05	RES. ARCA	65,0	4,0	1,5	4,0	19,95	1250	2,95	67,95	-1,87
RNV_PTL_06	RES. GOLF	129,0	4,0	1,5	4,0	13,82	600	2,89	131,89	-1,04
RNV_PTL_07	RES. CORRELHA	133,0	4,0	1,5	4,0	39,89	5000	2,94	135,94	-7,68
RNV_PTL_08	RES. S. P. ARCOS	105,0	4,0	1,5	4,0	28,21	2500	3,18	108,18	-0,74
RNV_VCT_01	RES. LANHESES	70,0	3,0	1,5	3,0	6,51	100	2,03	72,03	-1,01
RNV_VCT_02	RES. STA. MARIA	65,0	3,0	1,5	3,0	10,30	250	2,35	67,35	-0,25
RNV_VCT_03	RES. STA. MARIA (ZA)	100,0	3,0	1,5	3,0	13,03	400	2,35	102,35	-0,45
RNV_VCT_04	RES. DEAO	76,0	3,2	1,5	3,2	12,62	400	2,50	78,50	-0,65
RNV_VCT_05	RES. SUBPORTELA	62,0	3,2	1,5	3,2	14,10	500	2,50	64,50	-0,72
RNV_VCT_06	RES. PENEGUDO	108,0	3,0	1,5	3,0	14,57	500	2,03	110,03	-3,96
RNV_VCT_07	RES. VILA FRANCA	65,0	3,0	1,5	3,0	11,28	300	2,55	67,55	-1,48
RNV_VCT_08	RES. FARO DE ANHA	109,0	4,0	1,5	4,0	39,89	5000	2,84	111,84	-10,00
RNV_VCT_09	RES. MONTE DA OLA	70,0	4,0	1,5	4,0	17,84	1000	3,29	73,29	4,68
RNV_VCT_10	RES. NEIVA MONTE	102,0	4,0	1,5	4,0	21,85	1500	3,36	105,36	2,28
RNV_VCT_11	RES. ESP. MENDES II	92,0	4,0	1,5	4,0	25,23	2000	2,91	94,91	-8,84
RNV_VCT_12	RES. URSULINAS	53,0	4,0	1,5	4,0	28,21	2500	3,11	56,11	-2,35
RNV_VCT_13	RES. PEGO	98,0	4,0	1,5	4,0	15,45	750	2,85	100,85	-2,57
RNV_VCT_14	RES. PACO	92,0	4,0	1,5	4,0	17,84	1000	3,06	95,06	-1,11
RNV_VCT_15	RES. PEDREIRA	90,0	4,0	1,5	4,0	17,84	1000	3,03	93,03	-1,19

Tabela B.24 – Propriedades dos nós e resultados da modelação no instante t:355 (88:30h)

Dc_Id	Elevation	Demand	Pattern	Emittercoefficient	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
N_ARV_001	214,0	0,00		0,00	3,52	217,52	0,00
N_ARV_002	201,5	0,00		0,00	5,34	206,84	0,00
N_ARV_004	45,0	0,00		0,00	174,60	219,60	0,00
N_ARV_005	75,0	0,00		0,00	112,76	187,76	0,00
N_ARV_006	67,0	0,00		0,00	119,74	186,74	0,00
N_ARV_007	66,8	0,00		0,00	135,17	201,97	0,00
N_ARV_008	76,0	0,00		0,00	125,30	201,30	0,00
N_ARV_009	130,0	0,00		0,00	74,18	204,18	0,00
N_ARV_010	37,0	0,00		0,00	162,82	199,82	0,00
N_ARV_011	44,0	0,00		0,00	145,67	189,67	0,00
N_ARV_012	35,9	0,00		0,00	153,69	189,59	0,00
N_ARV_013	63,0	0,00		0,00	125,35	188,35	0,00
N_ARV_014	58,2	0,00		0,00	129,88	188,08	0,00
N_ARV_015	64,0	0,00		0,00	123,84	187,84	0,00
N_ARV_016	57,0	0,00		0,00	130,57	187,57	0,00
N_ARV_017	67,0	0,00		0,00	120,04	187,04	0,00
N_ARV_018	38,0	0,00		0,00	153,43	191,43	0,00
N_ARV_019	43,0	0,00		0,00	146,50	189,50	0,00
N_ARV_020	17,6	0,00		0,00	158,63	176,23	0,00
N_ARV_021	32,9	0,00		0,00	166,58	199,48	0,00
N_ARV_022	53,5	0,00		0,00	140,87	194,37	0,00
N_ARV_023	45,0	0,00		0,00	144,41	189,41	0,00
N_ARV_024	208,5	0,00		0,00	8,88	217,38	0,00
N_ARV_025	92,1	0,00		0,00	111,59	203,69	0,00
N_ARV_026	99,7	0,00		0,00	103,58	203,28	0,00
N_ARV_027	129,0	0,00		0,00	2,65	131,65	0,00
N_ARV_028	153,0	0,00		0,00	2,50	155,50	0,00
N_ARV_029	76,0	0,00		0,00	3,01	79,01	0,00
N_ARV_030	126,0	0,00		0,00	2,50	128,50	0,00
N_ARV_031	154,0	0,00		0,00	3,28	157,28	0,00
N_ARV_032	79,0	0,00		0,00	107,92	186,92	0,00
N_ARV_033	75,0	0,00		0,00	3,16	78,16	0,00
N_ARV_034	25,0	0,00		0,00	173,45	198,45	0,00
N_ARV_035	42,1	0,00		0,00	153,50	195,60	0,00
N_ARV_036	54,0	0,00		0,00	129,89	183,89	0,00
N_ARV_037	56,0	0,00		0,00	127,09	183,09	0,00
N_ARV_038	73,0	0,00		0,00	108,54	181,54	0,00
N_ARV_039	62,0	0,00		0,00	119,97	181,97	0,00
N_ARV_040	88,6	0,00		0,00	91,77	180,37	0,00
N_ARV_041	86,9	0,00		0,00	92,44	179,34	0,00
N_ARV_042	94,6	0,00		0,00	83,74	178,34	0,00
N_ARV_043	95,8	0,00		0,00	81,74	177,54	0,00
N_ARV_044	93,0	0,00		0,00	84,17	177,17	0,00
N_ARV_045	93,9	0,00		0,00	84,08	177,98	0,00
N_ARV_046	53,0	0,00		0,00	141,14	194,14	0,00
N_ARV_047	94,0	0,00		0,00	81,22	175,22	0,00
N_ARV_048	93,6	0,00		0,00	81,22	174,82	0,00
N_ARV_050	99,9	0,00		0,00	74,61	174,51	0,00
N_ARV_051	93,1	0,00		0,00	81,29	174,39	0,00
N_ARV_052	93,7	0,00		0,00	80,66	174,36	0,00
N_ARV_053	92,1	0,00		0,00	82,17	174,27	0,00
N_ARV_054	68,8	0,00		0,00	104,05	172,85	0,00
N_ARV_055	75,1	0,00		0,00	97,72	172,82	0,00
N_ARV_056	76,3	0,00		0,00	96,47	172,77	0,00
N_ARV_057	63,0	0,00		0,00	130,43	193,43	0,00
N_ARV_058	49,3	0,00		0,00	123,67	172,97	0,00
N_ARV_059	97,6	0,00		0,00	76,51	174,11	0,00
N_ARV_060	106,7	0,00		0,00	67,19	173,89	0,00
N_ARV_061	86,4	0,00		0,00	87,17	173,57	0,00
N_ARV_062	75,6	0,00		0,00	97,86	173,46	0,00
N_ARV_063	69,6	0,00		0,00	103,76	173,36	0,00
N_ARV_064	40,0	0,00		0,00	133,08	173,08	0,00
N_ARV_065	67,7	0,00		0,00	104,71	172,41	0,00
N_ARV_066	64,4	0,00		0,00	107,81	172,21	0,00
N_ARV_067	64,1	0,00		0,00	108,06	172,16	0,00
N_ARV_068	33,8	0,00		0,00	157,48	191,28	0,00

Dc_Id	Elevation	Demand	Pattern	Emittercoefficient	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
N_ARV_069	69,5	0,00		0,00	102,49	171,99	0,00
N_ARV_070	70,7	0,00		0,00	101,24	171,94	0,00
N_ARV_071	55,0	0,00		0,00	116,72	171,72	0,00
N_ARV_072	55,0	0,00		0,00	116,69	171,69	0,00
N_ARV_073	58,2	0,00		0,00	113,38	171,58	0,00
N_ARV_074	57,7	0,00		0,00	113,86	171,56	0,00
N_ARV_075	56,9	0,00		0,00	114,60	171,50	0,00
N_ARV_076	58,9	0,00		0,00	112,40	171,30	0,00
N_ARV_077	51,9	0,00		0,00	119,06	170,96	0,00
N_ARV_078	53,4	0,00		0,00	117,52	170,92	0,00
N_ARV_079	19,0	0,00		0,00	171,22	190,22	0,00
N_ARV_080	110,0	0,00		0,00	60,36	170,36	0,00
N_ARV_081	61,0	0,00		0,00	109,73	170,73	0,00
N_ARV_082	90,0	0,00		0,00	86,24	176,24	0,00
N_ARV_083	66,3	0,00		0,00	106,24	172,54	0,00
N_ARV_084	18,0	0,00		0,00	172,12	190,12	0,00
N_ARV_085	28,0	0,00		0,00	162,00	190,00	0,00
N_ARV_086	24,0	0,00		0,00	165,83	189,83	0,00
N_ARV_087	24,7	0,00		0,00	165,09	189,79	0,00
N_ARV_088	76,0	0,00		0,00	112,53	188,53	0,00
N_ARV_089	60,0	0,00		0,00	117,40	177,40	0,00
N_ARV_090	59,0	0,00		0,00	129,01	188,01	0,00
N_ARV_091	83,5	0,00		0,00	104,22	187,72	0,00
N_ARV_092	148,0	0,00		0,00	37,94	185,94	0,00
N_ARV_093	124,9	0,00		0,00	60,17	185,07	0,00
N_ARV_094	63,0	0,00		0,00	119,60	182,60	0,00
N_ARV_095	63,2	0,00		0,00	119,36	182,56	0,00
N_ARV_096	67,0	0,00		0,00	115,08	182,08	0,00
N_ARV_097	43,8	0,00		0,00	137,09	180,89	0,00
N_ARV_098	41,3	0,00		0,00	139,55	180,85	0,00
N_ARV_099	48,7	0,00		0,00	130,49	179,19	0,00
N_ARV_100	48,0	0,00		0,00	131,08	179,08	0,00
N_ARV_101	57,0	0,00		0,00	121,49	178,50	0,00
N_ARV_102	31,9	0,00		0,00	145,69	177,59	0,00
N_ARV_103	40,2	0,00		0,00	137,05	177,25	0,00
N_ARV_104	16,2	0,00		0,00	159,91	176,11	0,00
N_ARV_105	20,0	0,00		0,00	155,85	175,85	0,00
N_ARV_106	17,9	0,00		0,00	157,14	175,04	0,00
N_ARV_107	40,0	0,00		0,00	159,68	199,68	0,00
N_ARV_108	42,0	0,00		0,00	157,07	199,07	0,00
N_ARV_109	77,0	0,00		0,00	119,67	196,67	0,00
N_ARV_110	72,0	0,00		0,00	122,80	194,80	0,00
N_ARV_111	70,0	0,00		0,00	123,95	193,95	0,00
N_ARV_112	73,0	0,00		0,00	119,71	192,71	0,00
N_ARV_113	30,0	0,00		0,00	160,96	190,96	0,00
N_ARV_114	26,0	0,00		0,00	165,17	191,17	0,00
N_ARV_115	31,0	0,00		0,00	159,95	190,95	0,00
N_ARV_116	29,0	0,00		0,00	161,85	190,85	0,00
N_ARV_117	26,9	0,00		0,00	163,79	190,69	0,00
N_ARV_118	38,0	0,00		0,00	152,26	190,26	0,00
N_ARV_119	34,0	0,00		0,00	156,06	190,06	0,00
N_ARV_120	32,0	0,00		0,00	157,74	189,74	0,00
N_CMN_001	3,5	0,00		0,00	111,31	114,81	0,00
N_CMN_002	-0,3	0,00		0,00	115,07	114,77	0,00
N_CMN_003	1,3	0,00		0,00	130,68	131,98	0,00
N_CMN_004	5,2	0,00		0,00	125,46	130,66	0,00
N_CMN_005	5,3	0,00		0,00	123,79	129,13	0,00
N_CMN_006	4,9	0,00		0,00	123,34	128,24	0,00
N_CMN_007	74,0	0,00		0,00	52,76	126,76	0,00
N_CMN_008	69,0	0,00		0,00	56,49	125,49	0,00
N_CMN_009	55,5	0,00		0,00	68,86	124,36	0,00
N_CMN_010	5,3	0,00		0,00	116,35	121,65	0,00
N_CMN_011	2,7	0,00		0,00	115,10	117,80	0,00
N_CMN_012	4,0	0,00		0,00	127,79	131,79	0,00
N_CMN_013	31,0	0,00		0,00	91,47	122,47	0,00
N_CMN_014	78,8	0,00		0,00	48,48	127,28	0,00
N_CMN_015	37,0	0,00		0,00	96,00	133,00	0,00

Dc_Id	Elevation	Demand	Pattern	Emittercoefficient	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
N_CMN_016	6,5	0,00		0,00	125,87	132,37	0,00
N_CMN_017	4,5	0,00		0,00	127,26	131,76	0,00
N_CMN_018	3,2	0,00		0,00	128,41	131,61	0,00
N_CMN_019	83,0	0,00		0,00	42,26	125,26	0,00
N_CMN_020	4,3	0,00		0,00	127,00	131,30	0,00
N_CMN_021	1,3	0,00		0,00	117,59	118,89	0,00
N_CMN_022	5,7	0,00		0,00	125,78	131,48	0,00
N_CMN_023	7,3	0,00		0,00	123,61	130,91	0,00
N_CMN_024	6,6	0,00		0,00	124,25	130,85	0,00
N_CMN_025	8,3	0,00		0,00	122,52	130,82	0,00
N_CMN_026	16,6	0,00		0,00	113,50	130,10	0,00
N_CMN_027	12,0	0,00		0,00	117,82	129,82	0,00
N_CMN_028	15,5	0,00		0,00	114,12	129,62	0,00
N_CMN_029	17,4	0,00		0,00	111,41	128,81	0,00
N_CMN_030	14,7	0,00		0,00	114,00	128,70	0,00
N_CMN_031	16,4	0,00		0,00	112,24	128,64	0,00
N_CMN_032	13,0	0,00		0,00	114,84	127,84	0,00
N_CMN_033	85,8	0,00		0,00	41,30	127,10	0,00
N_CMN_034	90,0	0,00		0,00	36,53	126,53	0,00
N_CMN_035	70,0	0,00		0,00	53,60	123,60	0,00
N_CMN_036	28,9	0,00		0,00	93,41	122,31	0,00
N_CMN_037	38,5	0,00		0,00	83,38	121,88	0,00
N_CMN_038	30,0	0,00		0,00	91,63	121,63	0,00
N_CMN_039	9,0	0,00		0,00	112,50	121,50	0,00
N_CMN_040	4,0	0,00		0,00	117,12	121,12	0,00
N_CMN_041	10,0	0,00		0,00	110,58	120,58	0,00
N_CMN_042	2,8	0,00		0,00	117,47	120,27	0,00
N_CMN_043	4,0	0,00		0,00	116,19	120,19	0,00
N_CMN_044	2,5	0,00		0,00	117,49	119,99	0,00
N_CMN_045	40,0	0,00		0,00	93,28	133,28	0,00
N_CMN_046	5,5	0,00		0,00	114,17	119,67	0,00
N_CMN_047	2,6	0,00		0,00	116,78	119,38	0,00
N_CMN_048	4,4	0,00		0,00	114,79	119,19	0,00
N_CMN_049	6,2	0,00		0,00	112,32	118,52	0,00
N_CMN_050	2,3	0,00		0,00	116,01	118,31	0,00
N_CMN_051	5,5	0,00		0,00	112,49	117,99	0,00
N_CMN_052	11,0	0,00		0,00	106,30	117,30	0,00
N_CMN_053	3,7	0,00		0,00	112,98	116,68	0,00
N_CMN_054	18,0	0,00		0,00	97,77	115,77	0,00
N_CMN_055	1,4	0,00		0,00	113,92	115,32	0,00
N_CMN_056	119,0	0,00		0,00	2,29	121,29	0,00
N_CMN_057	100,0	0,00		0,00	2,24	102,24	0,00
N_CMN_058	79,0	0,00		0,00	2,37	81,37	0,00
N_CMN_059	70,0	0,00		0,00	2,25	72,25	0,00
N_CMN_060	60,0	0,00		0,00	2,97	62,97	0,00
N_CMN_061	80,0	0,00		0,00	2,34	82,34	0,00
N_CMN_062	4,5	0,00		0,00	127,63	132,13	0,00
N_PTB_001	23,0	0,00		0,00	167,95	190,95	0,00
N_PTB_002	66,0	0,00		0,00	131,80	197,80	0,00
N_PTB_003	67,0	0,00		0,00	125,44	192,44	0,00
N_PTB_004	223,0	0,00		0,00	104,71	327,71	0,00
N_PTB_005	168,0	0,00		0,00	169,94	337,94	0,00
N_PTB_006	164,0	0,00		0,00	171,63	335,63	0,00
N_PTB_007	184,2	0,00		0,00	148,24	332,44	0,00
N_PTB_008	184,0	0,00		0,00	147,80	331,80	0,00
N_PTB_009	79,0	0,00		0,00	116,72	195,72	0,00
N_PTB_010	58,0	0,00		0,00	138,04	196,04	0,00
N_PTB_011	64,0	0,00		0,00	132,81	196,81	0,00
N_PTB_012	62,0	0,00		0,00	135,36	197,36	0,00
N_PTB_013	54,0	0,00		0,00	145,75	199,75	0,00
N_PTB_014	39,0	0,00		0,00	154,75	193,75	0,00
N_PTB_015	36,0	0,00		0,00	157,19	193,19	0,00
N_PTB_016	34,2	0,00		0,00	159,08	193,28	0,00
N_PTB_017	64,0	0,00		0,00	128,10	192,10	0,00
N_PTB_018	64,5	0,00		0,00	127,46	191,96	0,00
N_PTB_019	41,5	0,00		0,00	150,07	191,57	0,00
N_PTB_020	156,0	0,00		0,00	2,38	158,38	0,00

Dc_Id	Elevation	Demand	Pattern	Emittercoefficient	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
N_PTB_021	314,0	0,00		0,00	2,01	316,01	0,00
N_PTB_022	83,0	0,00		0,00	2,30	85,30	0,00
N_PTL_001	55,0	0,00		0,00	120,75	175,75	0,00
N_PTL_002	78,2	0,00		0,00	97,21	175,41	0,00
N_PTL_003	74,0	0,00		0,00	99,90	173,90	0,00
N_PTL_004	67,5	0,00		0,00	105,76	173,26	0,00
N_PTL_005	75,0	0,00		0,00	98,02	173,02	0,00
N_PTL_006	34,0	0,00		0,00	138,51	172,51	0,00
N_PTL_007	80,0	0,00		0,00	91,89	171,89	0,00
N_PTL_008	76,0	0,00		0,00	95,85	171,85	0,00
N_PTL_009	27,3	0,00		0,00	130,40	157,70	0,00
N_PTL_010	41,7	0,00		0,00	115,30	157,00	0,00
N_PTL_011	40,0	0,00		0,00	133,06	173,06	0,00
N_PTL_012	38,5	0,00		0,00	117,93	156,43	0,00
N_PTL_013	40,0	0,00		0,00	133,26	173,26	0,00
N_PTL_014	62,3	0,00		0,00	108,86	171,16	0,00
N_PTL_015	5,6	0,00		0,00	153,13	158,73	0,00
N_PTL_016	58,0	0,00		0,00	112,87	170,87	0,00
N_PTL_017	62,3	0,00		0,00	108,38	170,68	0,00
N_PTL_018	60,0	0,00		0,00	110,54	170,54	0,00
N_PTL_019	73,6	0,00		0,00	96,05	169,65	0,00
N_PTL_020	72,5	0,00		0,00	96,92	169,42	0,00
N_PTL_021	109,7	0,00		0,00	58,14	167,84	0,00
N_PTL_022	127,6	0,00		0,00	39,66	167,26	0,00
N_PTL_023	103,4	0,00		0,00	62,98	166,38	0,00
N_PTL_024	45,9	0,00		0,00	118,61	164,51	0,00
N_PTL_025	45,5	0,00		0,00	119,27	164,77	0,00
N_PTL_026	30,0	0,00		0,00	125,61	155,61	0,00
N_PTL_027	54,0	0,00		0,00	110,43	164,43	0,00
N_PTL_028	5,0	0,00		0,00	171,14	176,14	0,00
N_PTL_029	46,3	0,00		0,00	117,70	163,95	0,00
N_PTL_030	49,5	0,00		0,00	114,31	163,81	0,00
N_PTL_031	42,2	0,00		0,00	113,73	155,93	0,00
N_PTL_032	9,7	0,00		0,00	152,48	162,18	0,00
N_PTL_033	11,4	0,00		0,00	150,69	162,09	0,00
N_PTL_034	9,2	0,00		0,00	152,62	161,82	0,00
N_PTL_035	9,7	0,00		0,00	151,32	161,02	0,00
N_PTL_036	20,3	0,00		0,00	139,48	159,78	0,00
N_PTL_037	58,8	0,00		0,00	112,98	171,78	0,00
N_PTL_038	51,0	0,00		0,00	124,81	175,81	0,00
N_PTL_039	64,5	0,00		0,00	89,27	153,77	0,00
N_PTL_040	12,4	0,00		0,00	144,61	157,01	0,00
N_PTL_041	12,5	0,00		0,00	144,44	156,94	0,00
N_PTL_042	33,7	0,00		0,00	122,51	156,21	0,00
N_PTL_043	31,2	0,00		0,00	124,75	155,95	0,00
N_PTL_044	23,1	0,00		0,00	132,04	155,14	0,00
N_PTL_045	39,5	0,00		0,00	114,91	154,41	0,00
N_PTL_046	27,0	0,00		0,00	126,94	153,94	0,00
N_PTL_047	28,6	0,00		0,00	125,09	153,69	0,00
N_PTL_048	15,4	0,00		0,00	137,70	153,10	0,00
N_PTL_049	17,4	0,00		0,00	135,54	152,94	0,00
N_PTL_050	15,5	0,00		0,00	137,31	152,81	0,00
N_PTL_051	14,7	0,00		0,00	138,02	152,72	0,00
N_PTL_052	27,0	0,00		0,00	125,41	152,41	0,00
N_PTL_053	23,0	0,00		0,00	128,93	151,93	0,00
N_PTL_054	33,7	0,00		0,00	117,79	151,49	0,00
N_PTL_055	31,4	0,00		0,00	119,90	151,30	0,00
N_PTL_056	32,3	0,00		0,00	118,83	151,13	0,00
N_PTL_057	14,2	0,00		0,00	136,25	150,45	0,00
N_PTL_058	16,9	0,00		0,00	133,38	150,28	0,00
N_PTL_059	14,4	0,00		0,00	135,69	150,09	0,00
N_PTL_060	16,4	0,00		0,00	133,53	149,93	0,00
N_PTL_061	87,0	0,00		0,00	68,29	155,29	0,00
N_PTL_062	34,0	0,00		0,00	121,79	155,79	0,00
N_PTL_063	36,2	0,00		0,00	119,28	155,48	0,00
N_PTL_064	12,0	0,00		0,00	133,38	145,38	0,00
N_PTL_065	42,0	0,00		0,00	103,05	145,05	0,00

Dc_Id	Elevation	Demand	Pattern	Emittercoefficient	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
N_PTL_066	12,0	0,00		0,00	133,30	145,30	0,00
N_PTL_067	44,2	0,00		0,00	110,41	154,61	0,00
N_PTL_068	40,4	0,00		0,00	115,75	156,15	0,00
N_PTL_069	30,0	0,00		0,00	144,60	174,60	0,00
N_PTL_070	26,0	0,00		0,00	148,32	174,32	0,00
N_PTL_071	42,7	0,00		0,00	111,62	154,32	0,00
N_PTL_072	49,0	0,00		0,00	124,46	173,46	0,00
N_PTL_073	60,8	0,00		0,00	111,37	172,17	0,00
N_PTL_074	43,1	0,00		0,00	111,84	154,94	0,00
N_PTL_075	77,0	0,00		0,00	96,59	173,59	0,00
N_PTL_076	82,0	0,00		0,00	93,10	175,10	0,00
N_PTL_077	66,0	0,00		0,00	107,97	173,97	0,00
N_PTL_078	13,8	0,00		0,00	147,70	161,50	0,00
N_PTL_079	121,0	0,00		0,00	39,60	160,60	0,00
N_PTL_080	6,5	0,00		0,00	152,81	159,31	0,00
N_PTL_081	78,0	0,00		0,00	97,44	175,44	0,00
N_PTL_082	45,0	0,00		0,00	115,95	160,95	0,00
N_PTL_083	74,5	0,00		0,00	98,56	173,06	0,00
N_PTL_084	114,0	0,00		0,00	2,34	116,34	0,00
N_PTL_085	155,0	0,00		0,00	2,52	157,52	0,00
N_PTL_086	155,0	0,00		0,00	2,50	157,50	0,00
N_PTL_087	130,0	0,00		0,00	3,17	133,17	0,00
N_PTL_088	65,0	0,00		0,00	2,95	67,95	0,00
N_PTL_089	129,0	0,00		0,00	2,89	131,89	0,00
N_PTL_090	133,0	0,00		0,00	2,94	135,94	0,00
N_PTL_091	105,0	0,00		0,00	3,18	108,18	0,00
N_VCT_001	2,2	0,00		0,00	136,40	138,60	0,00
N_VCT_002	58,0	0,00		0,00	85,71	143,71	0,00
N_VCT_003	60,0	0,00		0,00	88,01	148,01	0,00
N_VCT_004	11,2	0,00		0,00	126,97	138,17	0,00
N_VCT_005	10,0	0,00		0,00	128,03	138,03	0,00
N_VCT_006	13,9	0,00		0,00	123,92	137,82	0,00
N_VCT_007	11,5	0,00		0,00	126,24	137,74	0,00
N_VCT_008	13,2	0,00		0,00	124,47	137,67	0,00
N_VCT_009	8,4	0,00		0,00	128,94	137,34	0,00
N_VCT_010	10,0	0,00		0,00	127,24	137,24	0,00
N_VCT_011	59,0	0,00		0,00	86,84	145,84	0,00
N_VCT_012	0,0	0,00		0,00	147,55	147,55	0,00
N_VCT_013	1,5	0,00		0,00	139,57	141,07	0,00
N_VCT_014	15,8	0,00		0,00	128,29	144,09	0,00
N_VCT_015	70,0	0,00		0,00	2,03	72,03	0,00
N_VCT_016	102,0	0,00		0,00	3,36	105,36	0,00
N_VCT_017	70,0	0,00		0,00	3,29	73,29	0,00
N_VCT_018	109,0	0,00		0,00	2,84	111,84	0,00
N_VCT_019	65,0	0,00		0,00	2,35	67,35	0,00
N_VCT_020	100,0	0,00		0,00	2,35	102,35	0,00
N_VCT_021	6,2	0,00		0,00	130,95	137,15	0,00
N_VCT_022	76,0	0,00		0,00	2,50	78,50	0,00
N_VCT_023	62,0	0,00		0,00	2,50	64,50	0,00
N_VCT_024	108,0	0,00		0,00	2,03	110,03	0,00
N_VCT_025	92,0	0,00		0,00	2,91	94,91	0,00
N_VCT_026	53,0	0,00		0,00	3,11	56,11	0,00
N_VCT_027	98,0	0,00		0,00	2,85	100,85	0,00
N_VCT_028	90,0	0,00		0,00	3,03	93,03	0,00
N_VCT_029	92,0	0,00		0,00	3,06	95,06	0,00
N_VCT_030	65,0	0,00		0,00	2,55	67,55	0,00
N_VCT_031	9,0	0,00		0,00	128,00	137,00	0,00
N_VCT_032	7,3	0,00		0,00	129,62	136,92	0,00
N_VCT_033	13,6	0,00		0,00	122,96	136,56	0,00
N_VCT_034	13,0	0,00		0,00	123,50	136,50	0,00
N_VCT_035	21,9	0,00		0,00	114,31	136,21	0,00
N_VCT_036	20,0	0,00		0,00	116,12	136,12	0,00
N_VCT_037	43,0	0,00		0,00	92,74	135,74	0,00
N_VCT_038	28,2	0,00		0,00	107,33	135,53	0,00
N_VCT_039	29,4	0,00		0,00	106,08	135,48	0,00
N_VCT_040	16,9	0,00		0,00	118,15	135,05	0,00
N_VCT_041	14,1	0,00		0,00	120,89	134,99	0,00

Dc_Id	Elevation	Demand	Pattern	Emittercoefficient	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
N_VCT_042	41,6	0,00		0,00	92,83	134,43	0,00
N_VCT_043	10,5	0,00		0,00	137,63	148,13	0,00
N_VCT_044	12,0	0,00		0,00	135,69	147,69	0,00
N_VCT_045	6,8	0,00		0,00	142,55	149,35	0,00
N_VCT_046	5,0	0,00		0,00	143,38	148,38	0,00
N_VCT_047	6,6	0,00		0,00	141,67	148,27	0,00
N_VCT_048	9,2	0,00		0,00	138,34	147,54	0,00
N_VCT_049	9,1	0,00		0,00	138,16	147,26	0,00
N_VCT_050	3,7	0,00		0,00	142,94	146,64	0,00
N_VCT_051	6,3	0,00		0,00	139,15	145,45	0,00
N_VCT_052	22,0	0,00		0,00	123,89	145,89	0,00
N_VCT_053	8,0	0,00		0,00	137,41	145,41	0,00
N_VCT_054	2,9	0,00		0,00	142,11	145,01	0,00
N_VCT_055	3,6	0,00		0,00	141,17	144,77	0,00
N_VCT_056	4,6	0,00		0,00	140,12	144,72	0,00
N_VCT_057	4,3	0,00		0,00	139,38	143,68	0,00
N_VCT_058	4,8	0,00		0,00	138,84	143,64	0,00
N_VCT_059	9,8	0,00		0,00	132,75	142,55	0,00
N_VCT_060	9,9	0,00		0,00	132,46	142,36	0,00
N_VCT_061	9,9	0,00		0,00	132,04	141,94	0,00
N_VCT_062	42,6	0,00		0,00	96,28	138,88	0,00
N_VCT_063	27,8	0,00		0,00	113,29	141,09	0,00
N_VCT_064	17,3	0,00		0,00	122,16	139,46	0,00
N_VCT_065	3,5	0,00		0,00	143,67	147,17	0,00
N_VCT_066	60,0	0,00		0,00	86,13	146,13	0,00
N_VCT_067	56,0	0,00		0,00	90,01	146,01	0,00
N_VCT_068	61,0	0,00		0,00	84,89	145,89	0,00
N_VCT_069	47,0	0,00		0,00	98,67	145,67	0,00
N_VCT_070	42,0	0,00		0,00	93,69	135,69	0,00
N_VCT_071	20,0	0,00		0,00	125,46	145,46	0,00
N_VCT_072	12,0	0,00		0,00	137,14	149,14	0,00
N_VCT_073	14,5	0,00		0,00	128,58	143,08	0,00
N_VCT_074	33,0	0,00		0,00	113,39	146,39	0,00
N_VCT_075	39,4	0,00		0,00	71,45	110,85	0,00
N_VCT_076	63,6	0,00		0,00	55,41	119,01	0,00
N_VCT_077	109,0	0,00		0,00	28,12	137,12	0,00
N_VCT_078	0,9	0,00		0,00	138,81	139,71	0,00
N_VCT_079	-0,3	0,00		0,00	140,11	139,81	0,00
N_VCT_080	0,8	0,00		0,00	139,08	139,88	0,00
N_VCT_081	-0,1	0,00		0,00	140,07	139,97	0,00
N_VCT_082	53,7	0,00		0,00	74,22	127,92	0,00
N_VCT_083	65,9	0,00		0,00	58,31	124,21	0,00
N_VCT_084	59,9	0,00		0,00	61,44	121,34	0,00
N_VCT_085	21,2	0,00		0,00	93,62	114,82	0,00
N_VCT_086	35,1	0,00		0,00	78,04	113,14	0,00
N_VCT_087	22,0	0,00		0,00	112,90	134,90	0,00
N_VCT_088	42,7	0,00		0,00	69,22	111,92	0,00
N_VCT_089	68,3	0,00		0,00	40,53	108,83	0,00
N_VCT_090	2,7	0,00		0,00	138,13	140,83	0,00
N_VCT_091	2,6	0,00		0,00	138,08	140,68	0,00
N_VCT_092	0,4	0,00		0,00	140,16	140,56	0,00
N_VCT_093	0,4	0,00		0,00	140,01	140,41	0,00
N_VCT_094	0,3	0,00		0,00	139,91	140,21	0,00
N_VCT_095	0,6	0,00		0,00	139,02	139,62	0,00
N_VCT_096	22,3	0,00		0,00	116,89	139,19	0,00
N_VCT_097	57,7	0,00		0,00	81,27	138,97	0,00
N_VCT_098	36,2	0,00		0,00	102,79	138,99	0,00
N_VCT_099	9,5	0,00		0,00	129,22	138,72	0,00
N_VCT_100	16,4	0,00		0,00	122,35	138,75	0,00
N_VCT_101	13,1	0,00		0,00	125,66	138,76	0,00
N_VCT_102	41,2	0,00		0,00	97,63	138,83	0,00
N_VCT_103	40,1	0,00		0,00	98,75	138,85	0,00
N_VCT_104	51,9	0,00		0,00	86,75	138,65	0,00
N_VCT_105	52,2	0,00		0,00	86,73	138,93	0,00
N_VCT_106	47,7	0,00		0,00	91,25	138,95	0,00
N_VCT_107	4,9	0,00		0,00	136,05	140,95	0,00
N_VCT_108	2,5	0,00		0,00	138,36	140,86	0,00

Dc_Id	Elevation	Demand	Pattern	Emittercoefficient	Result_Pressure	Result_Head	Result_Demand
N_VCT_109	103,4	0,00		0,00	33,20	136,60	0,00
N_VCT_110	65,5	0,00		0,00	54,08	119,58	0,00
N_VCT_111	53,8	0,00		0,00	53,97	107,77	0,00
N_VCT_112	9,5	0,00		0,00	127,69	137,19	0,00
N_VCT_113	40,3	0,00		0,00	94,04	134,34	0,00
N_VCT_114	52,0	0,00		0,00	87,07	139,07	0,00
N_VCT_115	10,7	0,00		0,00	131,50	142,20	0,00
N_VCT_116	9,6	0,00		0,00	134,93	144,53	0,00
N_VCT_117	46,3	0,00		0,00	87,63	133,93	0,00
N_VCT_118	36,9	0,00		0,00	96,61	133,51	0,00
N_VCT_119	8,0	0,00		0,00	140,19	148,19	0,00
NC_ARV_02	75,0	3,50	PC2	0,00	3,16	78,16	4,10
NC_ARV_03	154,0	11,20	PC1	0,00	3,28	157,28	13,22
NC_ARV_04	76,0	5,90	PC2	0,00	2,93	78,93	6,90
NC_ARV_05	126,0	7,20	PC1	0,00	2,49	128,49	8,50
NC_ARV_06	153,0	3,70	PC1	0,00	2,50	155,50	4,37
NC_ARV_07	129,0	10,50	PC1	0,00	2,65	131,65	12,39
NC_ARV_08	60,0	4,10	PC1	0,00	119,85	179,85	4,84
NC_CMN_01	119,0	6,50	PC2	0,00	2,29	121,29	7,61
NC_CMN_02	70,0	17,80	PC2	0,00	2,24	72,24	20,83
NC_CMN_03	100,0	5,50	PC2	0,00	2,23	102,23	6,44
NC_CMN_04	60,0	9,60	PC2	0,00	2,76	62,76	11,23
NC_CMN_05	79,0	3,20	PC1	0,00	2,36	81,36	3,78
NC_CMN_06	80,0	1,40	PC1	0,00	2,34	82,34	1,65
NC_CMN_07	20,0	22,80	PC1	0,00	94,40	114,40	26,90
NC_PTB_01	314,0	3,80	PC1	0,00	1,99	315,99	4,48
NC_PTB_02	156,0	0,80	PC1	0,00	2,37	158,37	0,94
NC_PTB_03	83,0	7,70	PC2	0,00	2,26	85,26	9,01
NC_PTB_04	24,0	6,50	PC2	0,00	166,91	190,91	7,61
NC_PTB_05	55,0	5,80	PC1	0,00	136,19	191,19	6,84
NC_PTL_01	155,0	1,00	PC1	0,00	2,51	157,51	1,18
NC_PTL_02	114,0	4,50	PC1	0,00	2,25	116,25	5,31
NC_PTL_03	155,0	2,70	PC1	0,00	2,49	157,49	3,19
NC_PTL_04	130,0	17,80	PC1	0,00	3,17	133,17	21,00
NC_PTL_05	65,0	11,00	PC2	0,00	2,93	67,93	12,87
NC_PTL_06	129,0	6,10	PC2	0,00	2,88	131,88	7,14
NC_PTL_07	133,0	45,20	PC2	0,00	2,93	135,93	52,88
NC_PTL_08	105,0	4,10	PC1	0,00	3,18	108,18	4,84
NC_PTL_09	62,3	9,60	PC1	0,00	102,83	165,13	11,33
NC_VCT_01	70,0	5,60	PC1	0,00	2,01	72,01	6,61
NC_VCT_02	65,0	1,40	PC1	0,00	2,35	67,35	1,65
NC_VCT_03	100,0	2,50	PC1	0,00	2,33	102,33	2,95
NC_VCT_04	76,0	3,60	PC1	0,00	2,48	78,48	4,25
NC_VCT_05	62,0	4,00	PC1	0,00	2,50	64,50	4,72
NC_VCT_06	108,0	22,00	PC1	0,00	2,03	110,03	25,96
NC_VCT_07	65,0	8,20	PC1	0,00	2,54	67,54	9,68
NC_VCT_08	109,0	58,80	PC2	0,00	2,83	111,83	68,80
NC_VCT_09	70,0	16,00	PC2	0,00	3,28	73,28	18,72
NC_VCT_10	102,0	16,00	PC2	0,00	3,35	105,35	18,72
NC_VCT_11	92,0	52,00	PC2	0,00	2,90	94,90	60,84
NC_VCT_12	53,0	13,80	PC2	0,00	3,10	56,10	16,15
NC_VCT_13	98,0	15,10	PC2	0,00	2,84	100,84	17,67
NC_VCT_14	92,0	6,50	PC2	0,00	3,05	95,05	7,61
NC_VCT_15	90,0	7,00	PC2	0,00	3,02	93,02	8,19
NC_VCT_16	9,0	28,00	PC1	0,00	137,85	146,85	33,04

Tabela B.25 – Propriedades das válvulas e resultados da modelação no instante t:355 (88:30h)

Dc_Id	Diameter	Elevation	Type	Setting	Minorloss	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
FCV_ARV_01	800	206,0	FCV	500,00	0,00	500,00	10,03	1,00
FCV_ARV_02	200	75,0	FCV	3,50	0,00	3,50	108,76	0,11
FCV_ARV_03	200	154,0	FCV	11,20	0,00	11,20	28,93	0,36
FCV_ARV_04	90	76,0	FCV	5,90	0,00	5,90	97,11	0,93
FCV_ARV_05	150	126,0	FCV	7,20	0,00	7,20	47,90	0,41
FCV_ARV_06	150	153,0	FCV	3,70	0,00	3,70	18,56	0,21
FCV_ARV_07	200	129,0	FCV	10,50	0,00	10,50	38,21	0,33
FCV_CMN_01	200	119,0	FCV	6,50	0,00	6,50	10,78	0,21
FCV_CMN_02	250	70,0	FCV	17,80	0,00	17,80	57,74	0,36
FCV_CMN_03	200	100,0	FCV	5,50	0,00	5,50	24,24	0,18
FCV_CMN_04	90	60,0	FCV	9,60	0,00	9,60	49,54	1,51
FCV_CMN_05	100	79,0	FCV	3,20	0,00	3,20	38,12	0,41
FCV_CMN_06	110	80,0	FCV	1,40	0,00	1,40	35,35	0,15
FCV_PTB_02	60	156,0	FCV	0,80	0,00	0,80	34,18	0,28
FCV_PTB_03	110	83,0	FCV	7,70	0,00	7,70	105,46	0,81
FCV_PTL_01	90	155,0	FCV	1,00	0,00	1,00	13,62	0,16
FCV_PTL_02	80	114,0	FCV	4,50	0,00	4,50	49,14	0,90
FCV_PTL_03	110	155,0	FCV	2,70	0,00	2,70	13,04	0,28
FCV_PTL_04	250	130,0	FCV	17,80	0,00	17,80	26,57	0,36
FCV_PTL_05	160	65,0	FCV	11,00	0,00	11,00	84,71	0,55
FCV_PTL_06	160	129,0	FCV	6,10	0,00	6,10	19,63	0,30
FCV_PTL_07	400	133,0	FCV	45,20	0,00	45,20	18,12	0,36
FCV_PTL_08	150	105,0	FCV	4,10	0,00	4,10	35,74	0,23
FCV_VCT_01	125	70,0	FCV	5,60	0,00	5,60	72,10	0,46
FCV_VCT_02	100	65,0	FCV	1,40	0,00	1,40	79,99	0,18
FCV_VCT_03	90	100,0	FCV	2,50	0,00	2,50	43,89	0,39
FCV_VCT_04	100	76,0	FCV	3,60	0,00	3,60	60,58	0,46
FCV_VCT_05	300	62,0	FCV	4,00	0,00	4,00	78,71	0,06
FCV_VCT_06	300	108,0	FCV	22,00	0,00	22,00	32,26	0,31
FCV_VCT_07	150	65,0	FCV	8,20	0,00	8,20	74,50	0,46
FCV_VCT_08	400	109,0	FCV	58,80	0,00	58,80	24,11	0,47
FCV_VCT_09	200	70,0	FCV	23,40	0,00	23,40	44,67	0,75
FCV_VCT_10	200	102,0	FCV	24,20	0,00	21,00	0,00	0,67
FCV_VCT_11	300	92,0	FCV	52,00	0,00	52,00	41,84	0,74
FCV_VCT_12	200	53,0	FCV	13,80	0,00	13,80	82,50	0,44
FCV_VCT_13	200	98,0	FCV	15,10	0,00	15,10	33,63	0,48
FCV_VCT_14	160	92,0	FCV	6,50	0,00	6,50	38,89	0,32
FCV_VCT_15	160	90,0	FCV	7,00	0,00	7,00	39,84	0,35
PRV_VCT_01	500	1,0	PRV	160,00	0,00	165,30	0,00	0,84
PSV_ARV_01	800	206,0	PSV	1,00	0,00	500,00	0,15	1,00
PSV_ARV_02	200	75,0	PSV	4,00	0,00	3,50	0,84	0,11
PSV_ARV_03	200	154,0	PSV	4,00	0,00	11,20	0,72	0,36
PSV_ARV_04	90	76,0	PSV	4,00	0,00	5,90	0,97	0,93
PSV_ARV_05	150	126,0	PSV	3,00	0,00	7,20	0,50	0,41
PSV_ARV_06	150	153,0	PSV	3,00	0,00	3,70	0,50	0,21
PSV_ARV_07	200	129,0	PSV	3,00	0,00	10,50	0,35	0,33
PSV_CMN_01	200	119,0	PSV	3,00	0,00	6,50	0,71	0,21
PSV_CMN_02	250	70,0	PSV	3,20	0,00	17,80	0,95	0,36
PSV_CMN_03	200	100,0	PSV	3,00	0,00	5,50	0,77	0,18
PSV_CMN_04	90	60,0	PSV	4,00	0,00	9,60	0,97	1,51
PSV_CMN_05	100	79,0	PSV	3,00	0,00	3,20	0,62	0,41
PSV_CMN_06	110	80,0	PSV	3,00	0,00	1,40	0,66	0,15
PSV_PTB_02	60	156,0	PSV	3,00	0,00	0,80	0,61	0,28
PSV_PTB_03	110	83,0	PSV	3,00	0,00	7,70	0,68	0,81
PSV_PTL_01	90	155,0	PSV	3,00	0,00	1,00	0,48	0,16
PSV_PTL_02	80	114,0	PSV	3,00	0,00	4,50	0,63	0,90
PSV_PTL_03	110	155,0	PSV	3,00	0,00	2,70	0,50	0,28
PSV_PTL_04	250	130,0	PSV	4,00	0,00	17,80	0,83	0,36
PSV_PTL_05	160	65,0	PSV	4,00	0,00	11,00	1,05	0,55
PSV_PTL_06	160	129,0	PSV	4,00	0,00	6,10	1,11	0,30
PSV_PTL_07	400	133,0	PSV	4,00	0,00	45,20	1,06	0,36
PSV_PTL_08	150	105,0	PSV	4,00	0,00	4,10	0,82	0,23
PSV_VCT_01	125	70,0	PSV	3,00	0,00	5,60	0,97	0,46

Dc_Id	Diameter	Elevation	Type	Setting	Minorloss	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
PSV_VCT_02	100	65,0	PSV	3,00	0,00	1,40	0,65	0,18
PSV_VCT_03	90	100,0	PSV	3,00	0,00	2,50	0,65	0,39
PSV_VCT_04	100	76,0	PSV	3,00	0,00	3,60	0,49	0,46
PSV_VCT_05	300	62,0	PSV	3,00	0,00	4,00	0,51	0,06
PSV_VCT_06	300	108,0	PSV	3,00	0,00	22,00	0,97	0,31
PSV_VCT_07	150	65,0	PSV	3,00	0,00	8,20	0,45	0,46
PSV_VCT_08	400	109,0	PSV	4,00	0,00	58,80	1,16	0,47
PSV_VCT_09	200	70,0	PSV	4,00	0,00	23,40	0,70	0,75
PSV_VCT_10	200	102,0	PSV	4,00	0,00	21,00	0,64	0,67
PSV_VCT_11	300	92,0	PSV	4,00	0,00	52,00	1,09	0,74
PSV_VCT_12	200	53,0	PSV	0,00	0,00	13,80	0,00	0,44
PSV_VCT_13	200	98,0	PSV	4,00	0,00	15,10	1,15	0,48
PSV_VCT_14	160	92,0	PSV	4,00	0,00	6,50	0,94	0,32
PSV_VCT_15	160	90,0	PSV	4,00	0,00	7,00	0,97	0,35
TCV_ARV_01	800	206,0	TCV	1,00	0,00	500,00	0,05	1,00
TCV_ARV_02	200	75,0	TCV	1,00	0,00	3,50	0,00	0,11
TCV_ARV_03	200	154,0	TCV	1,00	0,00	11,20	0,00	0,36
TCV_ARV_04	90	76,0	TCV	1,00	0,00	5,90	0,00	0,93
TCV_ARV_05	150	126,0	TCV	1,00	0,00	7,20	0,00	0,41
TCV_ARV_06	150	153,0	TCV	1,00	0,00	3,70	0,00	0,21
TCV_ARV_07	200	129,0	TCV	1,00	0,00	10,50	0,00	0,33
TCV_CMN_01	200	119,0	TCV	1,00	0,00	6,50	0,00	0,21
TCV_CMN_02	250	70,0	TCV	1,00	0,00	17,80	0,00	0,36
TCV_CMN_03	200	100,0	TCV	1,00	0,00	5,50	0,00	0,18
TCV_CMN_04	90	60,0	TCV	1,00	0,00	9,60	0,00	1,51
TCV_CMN_05	100	79,0	TCV	1,00	0,00	3,20	0,00	0,41
TCV_CMN_06	110	80,0	TCV	1,00	0,00	1,40	0,00	0,15
TCV_PTB_02	60	156,0	TCV	1,00	0,00	0,80	0,00	0,28
TCV_PTB_03	110	83,0	TCV	1,00	0,00	7,70	0,00	0,81
TCV_PTL_01	90	155,0	TCV	1,00	0,00	1,00	0,00	0,16
TCV_PTL_02	80	114,0	TCV	1,00	0,00	4,50	0,00	0,90
TCV_PTL_03	110	155,0	TCV	1,00	0,00	2,70	0,00	0,28
TCV_PTL_04	250	130,0	TCV	1,00	0,00	17,80	0,00	0,36
TCV_PTL_05	160	65,0	TCV	1,00	0,00	11,00	0,00	0,55
TCV_PTL_06	160	129,0	TCV	1,00	0,00	6,10	0,00	0,30
TCV_PTL_07	400	133,0	TCV	1,00	0,00	45,20	0,00	0,36
TCV_PTL_08	150	105,0	TCV	1,00	0,00	4,10	0,00	0,23
TCV_VCT_01	125	70,0	TCV	1,00	0,00	5,60	0,00	0,46
TCV_VCT_02	100	65,0	TCV	1,00	0,00	1,40	0,00	0,18
TCV_VCT_03	90	100,0	TCV	1,00	0,00	2,50	0,00	0,39
TCV_VCT_04	100	76,0	TCV	1,00	0,00	3,60	0,00	0,46
TCV_VCT_05	300	62,0	TCV	1,00	0,00	4,00	0,00	0,06
TCV_VCT_06	300	108,0	TCV	1,00	0,00	22,00	0,00	0,31
TCV_VCT_07	150	65,0	TCV	1,00	0,00	8,20	0,00	0,46
TCV_VCT_08	400	109,0	TCV	1,00	0,00	58,80	0,00	0,47
TCV_VCT_09	200	70,0	TCV	1,00	0,00	23,40	0,00	0,75
TCV_VCT_10	200	102,0	TCV	1,00	0,00	21,00	0,00	0,67
TCV_VCT_11	300	92,0	TCV	1,00	0,00	52,00	0,00	0,74
TCV_VCT_12	200	53,0	TCV	1,00	0,00	13,80	0,00	0,44
TCV_VCT_13	200	98,0	TCV	1,00	0,00	15,10	0,00	0,48
TCV_VCT_14	160	92,0	TCV	1,00	0,00	6,50	0,00	0,32
TCV_VCT_15	160	90,0	TCV	1,00	0,00	7,00	0,00	0,35

Tabela B.26 – Propriedades das estações elevatórias e resultados da modelação no instante t:355 (88:30h)

Dc_Id	Designacao	Elevation	Properties	Result_Flow	Result_Head	Result_Velocity
EE_ARV_01	EE CAPTACAO TOUVEDO	43,0	HEAD CCB_ARV_500	500,00	-174,61	0,00
EE_PTB_02	EE VILA CHA	135,0	HEAD CCB_PTB	6,93	-150,98	0,00

ANEXO C – DADOS DO MODELO – EPANET TABLES

Tabela C.27 – Curvas características das bombas

Dc_Id	Dc_X	Dc_Y
CCB_PTB	0,0	180,0
CCB_PTB	8,3	137,0
CCB_PTB	11,1	100,0
CCB_ARV_500	0,0	254,7
CCB_ARV_500	83,2	245,9
CCB_ARV_500	166,2	236,0
CCB_ARV_500	249,4	224,0
CCB_ARV_500	332,6	210,0
CCB_ARV_500	415,6	195,0
CCB_ARV_500	498,8	175,0
CCB_ARV_500	582,0	148,0
CCB_ARV_500	665,0	114,0

Tabela C.28 – Padrões de consumo adimensionais, PC1 e PC2

Dc_Id	Hora	Multiplier	Dc_Id	Hora	Multiplier
PC1	0:00	1,020	PC2	0:00	0,680
PC1	0:15	0,990	PC2	0:15	0,670
PC1	0:30	0,960	PC2	0:30	0,640
PC1	0:45	0,940	PC2	0:45	0,650
PC1	1:00	0,930	PC2	1:00	0,600
PC1	1:15	0,910	PC2	1:15	0,620
PC1	1:30	0,890	PC2	1:30	0,590
PC1	1:45	0,880	PC2	1:45	0,590
PC1	2:00	0,860	PC2	2:00	0,570
PC1	2:15	0,850	PC2	2:15	0,580
PC1	2:30	0,840	PC2	2:30	0,610
PC1	2:45	0,820	PC2	2:45	0,550
PC1	3:00	0,810	PC2	3:00	0,540
PC1	3:15	0,800	PC2	3:15	0,600
PC1	3:30	0,790	PC2	3:30	0,580
PC1	3:45	0,790	PC2	3:45	0,600
PC1	4:00	0,780	PC2	4:00	0,560
PC1	4:15	0,780	PC2	4:15	0,620
PC1	4:30	0,780	PC2	4:30	0,570
PC1	4:45	0,780	PC2	4:45	0,520
PC1	5:00	0,780	PC2	5:00	0,540
PC1	5:15	0,780	PC2	5:15	0,600
PC1	5:30	0,780	PC2	5:30	0,570
PC1	5:45	0,780	PC2	5:45	0,620
PC1	6:00	0,780	PC2	6:00	0,650
PC1	6:15	0,780	PC2	6:15	0,680
PC1	6:30	0,780	PC2	6:30	0,710
PC1	6:45	0,790	PC2	6:45	0,800
PC1	7:00	0,810	PC2	7:00	0,880
PC1	7:15	0,820	PC2	7:15	0,960
PC1	7:30	0,840	PC2	7:30	1,000
PC1	7:45	0,860	PC2	7:45	0,960
PC1	8:00	0,880	PC2	8:00	1,150
PC1	8:15	0,900	PC2	8:15	1,160
PC1	8:30	0,930	PC2	8:30	1,190
PC1	8:45	0,940	PC2	8:45	1,190
PC1	9:00	0,950	PC2	9:00	1,120
PC1	9:15	0,970	PC2	9:15	1,150
PC1	9:30	0,980	PC2	9:30	1,330
PC1	9:45	0,990	PC2	9:45	1,350
PC1	10:00	1,000	PC2	10:00	1,310
PC1	10:15	1,000	PC2	10:15	1,320
PC1	10:30	1,020	PC2	10:30	1,350
PC1	10:45	1,020	PC2	10:45	1,300
PC1	11:00	1,020	PC2	11:00	1,360
PC1	11:15	1,020	PC2	11:15	1,260
PC1	11:30	1,020	PC2	11:30	1,270
PC1	11:45	1,030	PC2	11:45	1,340

Dc_Id	Hora	Multiplier	Dc_Id	Hora	Multiplier
PC1	12:00	1,050	PC2	12:00	1,330
PC1	12:15	1,070	PC2	12:15	1,260
PC1	12:30	1,090	PC2	12:30	1,260
PC1	12:45	1,110	PC2	12:45	1,280
PC1	13:00	1,120	PC2	13:00	1,350
PC1	13:15	1,130	PC2	13:15	1,240
PC1	13:30	1,140	PC2	13:30	1,190
PC1	13:45	1,150	PC2	13:45	1,220
PC1	14:00	1,150	PC2	14:00	1,200
PC1	14:15	1,160	PC2	14:15	1,240
PC1	14:30	1,170	PC2	14:30	1,350
PC1	14:45	1,170	PC2	14:45	1,250
PC1	15:00	1,180	PC2	15:00	1,200
PC1	15:15	1,180	PC2	15:15	1,240
PC1	15:30	1,190	PC2	15:30	1,310
PC1	15:45	1,190	PC2	15:45	1,230
PC1	16:00	1,180	PC2	16:00	1,170
PC1	16:15	1,180	PC2	16:15	1,200
PC1	16:30	1,180	PC2	16:30	1,170
PC1	16:45	1,170	PC2	16:45	1,270
PC1	17:00	1,170	PC2	17:00	1,210
PC1	17:15	1,160	PC2	17:15	1,190
PC1	17:30	1,150	PC2	17:30	1,130
PC1	17:45	1,140	PC2	17:45	1,150
PC1	18:00	1,120	PC2	18:00	1,170
PC1	18:15	1,110	PC2	18:15	1,120
PC1	18:30	1,090	PC2	18:30	1,200
PC1	18:45	1,080	PC2	18:45	1,180
PC1	19:00	1,090	PC2	19:00	1,180
PC1	19:15	1,090	PC2	19:15	1,150
PC1	19:30	1,090	PC2	19:30	1,160
PC1	19:45	1,090	PC2	19:45	1,140
PC1	20:00	1,090	PC2	20:00	1,200
PC1	20:15	1,090	PC2	20:15	1,190
PC1	20:30	1,090	PC2	20:30	1,280
PC1	20:45	1,090	PC2	20:45	1,230
PC1	21:00	1,090	PC2	21:00	1,110
PC1	21:15	1,100	PC2	21:15	1,080
PC1	21:30	1,140	PC2	21:30	1,010
PC1	21:45	1,130	PC2	21:45	1,060
PC1	22:00	1,100	PC2	22:00	0,960
PC1	22:15	1,080	PC2	22:15	0,990
PC1	22:30	1,060	PC2	22:30	0,850
PC1	22:45	1,050	PC2	22:45	0,910
PC1	23:00	1,060	PC2	23:00	0,850
PC1	23:15	1,060	PC2	23:15	0,790
PC1	23:30	1,060	PC2	23:30	0,770
PC1	23:45	1,050	PC2	23:45	0,720

Tabela C.29 – Opções da simulação

Units	Headloss	Quality	Viscosity	Diffusivity	Specific Gravity	Trials	Accuracy	Unbalanced	Pattern	Demand Multiplier	Emitter Exponent	Tolerance
LPS	D-W	CLORO mg/L	1.0	-	1.0	500	0.001	CONTINUE	NONE	1.0	0.5	0.01

Tabela C.30 – Tempos da simulação

Duration	Hydraulic Timestep	Quality Timestep	Rule Timestep	Pattern Timestep	Pattern Start	Report Timestep	Report Start	Start Clocktime	Statistic
5 DAY	15 MINUTES	5 MINUTES	5 MINUTES	15 MINUTES	0	15 MINUTES	0	0:00	NONE

Tabela C.31 – Relatório da simulação

Status	Summary	Messages	Energy	Nodes	Links	Elevation	Demand	Head	Pressure	Quality	Flow	Velocity	Headloss	Linkstatus
NO	YES	YES	NO	NONE	NONE	NO	NO	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

Tabela C.32 – Controlos operacionais

Controls
Link TCV_ARV_02 open if node RNV_ARV_02 below 3.2
Link TCV_ARV_02 closed if node RNV_ARV_02 above 4
Link TCV_ARV_03 open if node RNV_ARV_03 below 3.2
Link TCV_ARV_03 closed if node RNV_ARV_03 above 4
Link TCV_ARV_04 open if node RNV_ARV_04 below 3.2
Link TCV_ARV_04 closed if node RNV_ARV_04 above 4
Link TCV_ARV_05 open if node RNV_ARV_05 below 2.56
Link TCV_ARV_05 closed if node RNV_ARV_05 above 3.2
Link TCV_ARV_06 open if node RNV_ARV_06 below 2.56
Link TCV_ARV_06 closed if node RNV_ARV_06 above 3.2
Link TCV_ARV_07 open if node RNV_ARV_07 below 2.56
Link TCV_ARV_07 closed if node RNV_ARV_07 above 3.2
Link TCV_PTB_02 open if node RNV_PTB_02 below 2.4
Link TCV_PTB_02 closed if node RNV_PTB_02 above 3
Link TCV_PTB_03 open if node RNV_PTB_03 below 2.4
Link TCV_PTB_03 closed if node RNV_PTB_03 above 3
Link TCV_PTL_01 open if node RNV_PTL_01 below 2.56
Link TCV_PTL_01 closed if node RNV_PTL_01 above 3.2
Link TCV_PTL_02 open if node RNV_PTL_02 below 2.4
Link TCV_PTL_02 closed if node RNV_PTL_02 above 3
Link TCV_PTL_03 open if node RNV_PTL_03 below 2.56
Link TCV_PTL_03 closed if node RNV_PTL_03 above 3.2
Link TCV_PTL_04 open if node RNV_PTL_04 below 3.2
Link TCV_PTL_04 closed if node RNV_PTL_04 above 4
Link TCV_PTL_05 open if node RNV_PTL_05 below 3.2
Link TCV_PTL_05 closed if node RNV_PTL_05 above 4
Link TCV_PTL_06 open if node RNV_PTL_06 below 3.2
Link TCV_PTL_06 closed if node RNV_PTL_06 above 4
Link TCV_PTL_07 open if node RNV_PTL_07 below 3.2
Link TCV_PTL_07 closed if node RNV_PTL_07 above 4
Link TCV_PTL_08 open if node RNV_PTL_08 below 3.2
Link TCV_PTL_08 closed if node RNV_PTL_08 above 4
Link TCV_VCT_01 open if node RNV_VCT_01 below 2.4
Link TCV_VCT_01 closed if node RNV_VCT_01 above 3
Link TCV_VCT_02 open if node RNV_VCT_02 below 2.4
Link TCV_VCT_02 closed if node RNV_VCT_02 above 3
Link TCV_VCT_03 open if node RNV_VCT_03 below 2.4
Link TCV_VCT_03 closed if node RNV_VCT_03 above 3
Link TCV_VCT_04 open if node RNV_VCT_04 below 2.56
Link TCV_VCT_04 closed if node RNV_VCT_04 above 3.2
Link TCV_VCT_05 open if node RNV_VCT_05 below 2.56
Link TCV_VCT_05 closed if node RNV_VCT_05 above 3.2
Link TCV_VCT_06 open if node RNV_VCT_06 below 2.4
Link TCV_VCT_06 closed if node RNV_VCT_06 above 3
Link TCV_VCT_07 open if node RNV_VCT_07 below 2.4
Link TCV_VCT_07 closed if node RNV_VCT_07 above 3
Link TCV_VCT_08 open if node RNV_VCT_08 below 3.2
Link TCV_VCT_08 closed if node RNV_VCT_08 above 4
Link TCV_VCT_09 open if node RNV_VCT_09 below 3.2
Link TCV_VCT_09 closed if node RNV_VCT_09 above 4
Link TCV_VCT_10 open if node RNV_VCT_10 below 3.2
Link TCV_VCT_10 closed if node RNV_VCT_10 above 4
Link TCV_VCT_11 open if node RNV_VCT_11 below 3.2
Link TCV_VCT_11 closed if node RNV_VCT_11 above 4
Link TCV_VCT_12 open if node RNV_VCT_12 below 3.2
Link TCV_VCT_12 closed if node RNV_VCT_12 above 4
Link TCV_VCT_13 open if node RNV_VCT_13 below 3.2
Link TCV_VCT_13 closed if node RNV_VCT_13 above 4
Link TCV_VCT_14 open if node RNV_VCT_14 below 3.2
Link TCV_VCT_14 closed if node RNV_VCT_14 above 4
Link TCV_VCT_15 open if node RNV_VCT_15 below 3.2
Link TCV_VCT_15 closed if node RNV_VCT_15 above 4
Link TCV_CMN_01 open if node RNV_CMN_01 below 2.56
Link TCV_CMN_01 closed if node RNV_CMN_01 above 3.2
Link TCV_CMN_02 open if node RNV_CMN_02 below 2.56

Controls
Link TCV_CMN_02 closed if node RNV_CMN_02 above 3.2
Link TCV_CMN_03 open if node RNV_CMN_03 below 2.56
Link TCV_CMN_03 closed if node RNV_CMN_03 above 3.2
Link TCV_CMN_04 open if node RNV_CMN_04 below 3.2
Link TCV_CMN_04 closed if node RNV_CMN_04 above 4
Link TCV_CMN_05 open if node RNV_CMN_05 below 2.4
Link TCV_CMN_05 closed if node RNV_CMN_05 above 3
Link TCV_CMN_06 open if node RNV_CMN_06 below 2.4
Link TCV_CMN_06 closed if node RNV_CMN_06 above 3
Link EE_PTB_02 open if node RNV_PTB_01 below 2
Link EE_PTB_02 closed if node RNV_PTB_01 above 3.20