



Instituto Politécnico de Castelo Branco
Escola Superior de Tecnologia

MODELAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO-APLICADA A UMA ZONA DE CASTELO BRANCO

Nuno Manuel Querido Maricato

Orientadores:

Maria Teresa Durães Albuquerque

Ana Maria dos Santos Ferreira

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Infraestruturas de Construção Civil, realizada sob a orientação científica da Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, Professora Adjunta da Unidade Técnico-científica de Engenharia Civil e coorientação científica da Mestre Ana Maria dos Santos Ferreira, Professora Adjunta da Unidade Técnico-Científica de Engenharia Civil, da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Dezembro 2015

Composição do júri

Presidente: Professor Coordenador Francisco José Freire Lucas da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Arguente: Professor Doutor António João Carvalho de Albuquerque
Professor Auxiliar da Universidade da Beira Interior

Orientadora: Professora Adjunta Ana Maria dos Santos Ferreira da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Dedicatória

À minha Andrea, metade de mim,
que me espantou os medos e me fez agarrar os sonhos
e ao meu filho Dinis,
harmonia perfeita, na sinfonia que é a vida.

Epígrafe

“Se tens que lidar com a água, consulta primeiro a experiência, depois a razão.”

Leonardo Da Vinci

Agradecimentos

Para a materialização de um sonho, de um projeto, é preciso acreditar que, apesar das dificuldades, tudo vai ser ultrapassado. Nesta caminhada contei com o apoio incondicional de várias pessoas, que me fizeram crer que, dia após dia, aos poucos, tudo seria possível.

Como tal, expresso o meu mais sincero agradecimento:

À minha orientadora e coorientadora respetivamente, Professora Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque e Professora Mestre Ana Maria dos Santos Ferreira, pela partilha de saberes, disponibilidade, amizade e paciência na orientação desta tese.

Aos Serviços Municipalizados de Castelo Branco, na pessoa da Sr.^a Administradora, Dr.^a Maria José Barata Batista, pela atenção que sempre teve para comigo.

Um agradecimento muito especial ao Engenheiro João Carvalho, Chefe de Divisão dos Serviços Técnicos dos Serviços Municipalizados de Castelo Branco, que sempre acreditou e apoiou a elaboração desta dissertação. Vou guardar para todo o sempre os seus valiosos conselhos, assim como a sua presença enquanto pessoa, mostrando que um bom profissional deverá conciliar e equilibrar o Ser e o Saber.

À minha colega e responsável pelo laboratório dos Serviços Municipalizados de Castelo Branco, Eng.^a Ana Carvalho, pela amizade e simpatia no constante apoio nas colheitas de campo e conselhos sobre a qualidade da água.

Aos meus colegas dos Serviços Municipalizados de Castelo Branco, Eng.^o Nuno Lourenço e Eng.^a Zélia Alves que forneceram os dados de cadastro, caudais, pressões e conselhos que muito contribuíram na realização desta tese.

A todos os outros colegas dos Serviços Municipalizados de Castelo Branco, que de alguma forma colaboraram com este trabalho.

À Engenheira Sónia Mexia, das Águas de Lisboa e Vale do Tejo, pela documentação e apoio prestado.

À Doutora Laura Monteiro e Dália Loureiro do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pelos conselhos e apoio que me concederam durante a elaboração da dissertação.

Aos meus pais, por todos os sacrifícios que fizeram para que eu pudesse chegar aqui.

À minha irmã Rosa, por me ter matriculado todos os anos na escola, nunca me deixando desistir.

À minha Querida Tia Adelina, por me fazer seguir sempre em frente, acreditando que a vida podia ser tão boa como o arroz-doce que fazia.

À minha família e amigos, por me terem ajudado a construir-me como pessoa e a ser cada vez melhor.

À minha Andrea de Barros, pelo incentivo, paciência infinita, carinho e amor, por me fazer rir nos piores momentos e me fazer acreditar que era possível, quando eu próprio já duvidava.

Ao meu filho Dinis, pelo riso que transforma todos os dias de chuva em arco-íris.

Palavras-chave: Modelação da qualidade da água, Epanet 2.0, Decaimento de cloro, Tempo de percurso da água, Custos e impacto ambiental.

Resumo

Um bom nível de serviço prestado e uma oferta segura aos consumidores, através de um eficaz controlo de qualidade da água na fonte e na rede de distribuição, é uma das metas mais importantes para uma Entidade Gestora.

Os modelos de simulação de sistemas de distribuição de água são uma excelente ferramenta de apoio à decisão no planeamento, conceção e operação da rede. Além disso, contribuem de forma significativa na melhoria e entendimento sobre alguns parâmetros de qualidade da água, neste caso em estudo, cloro residual e idade da água.

A tese apresentada explora a modelação hidráulica e de qualidade da água de um subsistema de distribuição consolidado que, após análise, avalia o impacto de um cenário operacional alternativo, demonstrando melhorias na qualidade da água. A rede em estudo pertence aos Serviços Municipalizados de Castelo Branco, em Portugal, que forneceu todos os dados. Esta abordagem visa a sensibilização das entidades de gestão, para a otimização dos cursos de água e conseqüente melhoria da qualidade de água fornecida aos consumidores.

Para demonstrar o cenário preconizado utilizou-se o *software* de simulação hidráulica, Epanet 2.0, desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency*.

A construção do modelo baseou-se em dados georreferenciados de infraestruturas disponíveis, bem como em valores sobre a concentração de cloro, obtidos através de várias amostras de água, colhidas em pontos estratégicos na rede de distribuição. Após calibração do modelo hidráulico, foi possível comparar os valores de concentração de cloro obtidos em campo, com os valores do modelo. De seguida, procedeu-se ao uso dos coeficientes de reação kb e kw do *software* Epanet, obtendo-se uma melhor calibração do modelo. Posteriormente foi criada uma simulação do mesmo modelo, com algumas válvulas fechadas, que otimizou os tempos de percurso da água, o que melhorou a quantidade de concentração de cloro. O caminho da água nas condutas de distribuição, de uma rede emalhada ou mista, pode ter os mais variados percursos, dependendo da variabilidade de consumo ou da manobra de válvulas de seccionamento.

Acreditamos que este estudo contribuirá para uma gestão mais eficiente, na questão da otimização do tempo de percurso da água, nas redes de abastecimento, possibilitando melhorias na qualidade do serviço público, no que respeita à segurança da água.

Nesta dissertação propõem-se outras formas de gestão da rede de abastecimento, visando a melhoria da qualidade da água, nas zonas em que se verifiquem problemas de estagnação. Assim, onde exista expansão lenta de consumidores, limite de redes ramificadas e zonas demograficamente baixas, sugerem-se novos procedimentos de atuação, nomeadamente na construção de equipamentos públicos/privados e no uso de consumidores móveis. Desta forma, será possível um aumento do consumo e conseqüente melhoria da qualidade da água fornecida, diminuindo a possibilidade de estagnação e descargas regulamentares. Esta atuação contribuirá para uma descida dos custos às entidades gestoras, assim como para a diminuição do impacto ambiental.

Keywords: Water quality modelling, *Epanet 2.0*, Chlorine decay, Water travel times, Cost and environmental impact.

Abstract

A good service level and a safe supply to consumers, through an effective water quality control in the source and in the distribution network, is one of the most important goals for an urban Water Utility.

Simulation network models of water distribution systems are an excellent decision support tool for planning, design and network operation. In addition, they may contribute remarkably to improve and understand some water quality parameters as, in this case study, residual chlorine and water age.

The thesis here presented explores hydraulic and water quality modelling throughout a consolidated distribution subsystem which, after analysis, assesses the impact of an alternative operational scheme, demonstrating water quality improvements. The network studied belongs to *Serviços Municipalizados de Castelo Branco* water utility, which provided all the information. This approach aims at raising the awareness of management companies for the optimization of water courses and the consequent improvement of the safe water quality which is provided to their customers.

To demonstrate the recommended scenario, we used the hydraulic simulation computing model, *Epanet 2.0*, developed by the United States Environmental Protection Agency.

The construction of the model was based on geo-referenced infrastructural data available, as well as on chlorine concentration data, obtained from several water samples, collected at strategic points of the distribution network. After hydraulic model calibration, it was then possible to compare the chlorine concentration values obtained in the field with model values. Afterwards, we used the kb and kw reaction coefficients of *Epanet* software, in order to achieve a better model calibration. Subsequently, a simulation of the same model was created, with some closed valves, optimizing the water travel times, which enhanced the amount of chlorine concentration. The course of water through a distribution pipe network may have the most varied paths, depending on the variability of demand and on the operational schemes.

We believe that this study will contribute to a more efficient management of the issue of water travel time optimization in the supply networks, enabling improvements in the quality of the public service, with regard to water safety.

In this thesis, we propose other forms of supply network management, aiming at improved water quality in areas with known stagnation problems. Therefore, in areas of slow consumer expansion, branched network limits or demographically lowlands, we suggest new procedures, namely in the construction of public/private equipments and in the use of mobile consumers. This way, it will be possible to increase the consumption and, consequently, to enhance the quality of the supplied water, reducing the possibility of stagnation and regulatory discharges. This action will contribute to a reduction in costs for the management company, as well as to a lower environmental impact.

Índice geral

1. Introdução.....	1
2. A História e caraterização dos recursos hídricos e sua qualidade do concelho de Castelo Branco.....	2
2.1. História de Castelo Branco	2
2.2. A história do abastecimento de água a Castelo Branco	3
2.3. Fontes, poços e chafarizes.....	4
2.4. Captação, transporte e distribuição de água ao domicílio.....	8
2.5. História da Instituição dos Serviços Municipalizados de Castelo Branco.....	11
2.6. Recursos Hídricos do Concelho de Castelo Branco	15
2.7. Caraterização das barragens, poços, furos e minas dos sistemas de abastecimento ao concelho de Castelo Branco.....	17
2.7.1. Barragens.....	17
2.7.2. Poços, furos e minas.....	18
2.8. Entidades gestoras do abastecimento de água ao concelho de Castelo Branco	18
2.9. Qualidade da água bruta.....	19
2.10. Qualidade da água de distribuição do reservatório da Costeira.....	20
3. Estado da arte	22
3.1. Introdução.....	22
3.2. Simulação de modelos computacionais	22
3.3. Qualidade da água: Decaimento do cloro e tempo de percurso num sistema de abastecimento de água	23
3.4. Desinfecção da água com cloro	26
3.5. Postos de recloração com desinfetante cloro.....	26
4. Caso de estudo.....	27
4.1. Breve descrição do sistema de abastecimento de água da cidade de Castelo Branco	27
4.2. Caraterização do subsistema de abastecimento de água da Costeira.....	28
4.3. Enquadramento do caso estudado.....	31
4.4. Caraterização da rede, dos materiais, diâmetros e cotas altimétricas	32
4.5. Construção do modelo da rede existente no <i>software</i> Epanet.....	34
4.5.1. Introdução.....	34
4.5.2. Base de construção do modelo	34
4.5.3. Consumos gerais	35

4.5.4.	Análise dos caudais e pressões obtidos do modelo.....	40
4.5.5.	Velocidades observadas no modelo estudado.....	44
4.5.6.	Calibração do modelo hidráulico no <i>software</i> Epanet.....	45
4.5.7.	O parâmetro de qualidade da água: cloro residual.....	47
4.5.8.	Rastreio da concentração do cloro residual no subsistema de abastecimento de água da Costeira.	47
4.5.9.	Introdução da constante de reação kb no modelo.....	50
4.5.10.	Introdução da constante de reação kw no modelo.....	53
4.5.10.1.	Breve introdução	53
4.5.10.2.	Caraterização do subsistema de abastecimento de água da Costeira em relação à idade, material e velocidade média de escoamento	54
4.5.10.3.	Relação da velocidade média de escoamento com o tipo de material das condutas de abastecimento de água	57
4.5.11.	O parâmetro de qualidade da água: tempo de percurso	59
4.6.	Simulação de um novo cenário do modelo usando o <i>software</i> Epanet.....	60
4.6.1.	Introdução	60
4.6.2.	Modelo proposto.....	61
4.6.3.	Construção de um novo padrão de consumos.....	62
4.6.4.	Verificação do comportamento hidráulico, caudal, velocidade e pressão	63
4.6.5.	Introdução das constantes de reação kb e kw.....	66
4.6.6.	Análise do parâmetro de qualidade da água: tempo de percurso	68
5.	Propostas de alteração dos sistemas de abastecimento tendo como objetivo a otimização do tempo de percurso da água e melhoria da sua qualidade.....	69
6.	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	73
7.	Bibliografia.....	76
8.	Webgrafia	79

Índice de figuras

Figura 1 – Cópia da vista Noroeste de Duarte d’Armas, da Vila de Castelo Branco, Setecentista (O programa Polis em Castelo Branco, álbum histórico, de Silveira A., Azevedo L. e Oliveira P. Q. 2003).	3
Figura 2 – Fontes perto do chafariz do Cansado e aguadeiro (aguarela do séc. XIX, autor anónimo).....	4
Figura 3 – Localização das fontes, poços e chafarizes na cidade de Castelo Branco (mapa retirado do Google maps).....	5
Figura 4 – Chafariz de São Marcos datado do século XVI.....	5
Figura 5 – Chafariz da Graça construído no século XVI e reconstruído em 1830.....	6
Figura 6 – Chafariz da Mina construído em 1825.....	6
Figura 7 – Chafariz do Cansado construído em 1848.....	7
Figura 8 – Chafariz da Granja construído em 1874.....	7
Figura 9 – Chafariz da Granja de baixo construído em 1875.....	8
Figura 10 – Chafariz na Avenida Afonso Paiva construído em 1876.....	8
Figura 11 – Projeto do encanamento da água para o reservatório do engenheiro António Augusto Vaz da Silva 1895 (O programa Polis em Castelo Branco, álbum histórico, Silveira A., Azevedo L. e Oliveira P. Q. 2003).....	9
Figura 12 – Engenheiro António Augusto Vaz da Silva (O programa Polis em Castelo Branco, álbum histórico, Silveira A., Azevedo L. e Oliveira P. Q. 2003).....	9
Figura 13 – Barragem Salles Viana.....	11
Figura 14 – Estação elevatória do Lirião.....	12
Figura 15 – Reservatório da Bela Vista.....	12
Figura 16 – Reservatório de São Gens, arranjos exteriores em 2008 pelo POLIS (reservatório enterrado).....	13
Figura 17 – Reservatório do Castelo.....	13
Figura 18 – Reservatório da Costeira.....	14
Figura 19 – Barragem do Pisco (http://cnpqb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/Pisco.htm).....	14
Figura 20 – Barragem de Santa Águeda (http://portugalfotografiaaerea.blogspot.pt/2014/06/barragem-de-santa-ague-da-barragem-da.html).....	15
Figura 21 – Localidades afetas à bacia do rio Tejo em Portugal (Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo, repositório de mapas).....	16
Figura 22 – Bacias afetas ao concelho de Castelo Branco (Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo, repositório de mapas).....	17
Figura 23 – Rede adutora em “Alta” e aglomerados abastecidos pela “Baixa” no concelho de Castelo Branco (Sistema de Informação Geográfico (SIG) dos SMCB).....	19
Figura 24 – Cruzamento dos resultados das análises efetuadas às amostras de água superficial na Albufeira do Pisco (DIAGNÓSTICO PARA A SUSTENTABILIDADE – CASTELO BRANCO AGENDA XXI, 2006).....	20
Figura 25 – Cruzamento dos resultados das análises efetuadas às amostras de água superficial na Albufeira de Santa Águeda, (DIAGNÓSTICO PARA A SUSTENTABILIDADE – CASTELO BRANCO AGENDA XXI, 2006).....	20
Figura 26 – Foto do interior de uma conduta de distribuição em PVC DN 300 mm retirada de serviço após rotura em julho de 2015, colocada em funcionamento em 1980 na zona industrial de Castelo Branco.....	24

Figura 27 – Gráfico da relação entre velocidade de escoamento e sedimentação (www.lnec.pt/organizacao/dha/nes/trabalho-experimental/LABES, Plano de Investigação Programada do LNEC para 2009-2012, LNEC 2006).....	25
Figura 28 – Área de influência dos grandes reservatórios da cidade de Castelo Branco (mapa retirado do Google maps).....	28
Figura 29 – Subsistema de distribuição de água da Costeira estudado (mapa retirado do Google maps).	30
Figura 30 – Zonas de medição e controlo do subsistema de distribuição de água da Costeira (mapa retirado do Google maps).....	31
Figura 31 – Material das condutas do subsistema estudado.	32
Figura 32 – Diâmetros das condutas do subsistema estudado.....	33
Figura 33 – Gráfico de isolinhas de cotas topográficas do subsistema estudado.....	34
Figura 34 – Consumo base da ZMC Granja Park.....	36
Figura 35 – Padrão de consumo da ZMC Granja Park.....	37
Figura 36 – Metodologia da distribuição de consumos base pelos nós da rede.	37
Figura 37 – Exemplo do consumo base e padrão de consumo do nó n87.....	38
Figura 38 – Padrão de consumo dos clientes da ZMC ZIN.	39
Figura 39 – Padrão de consumo dos clientes da ZMC ZIS.	39
Figura 40 – Modelo hidráulico construído.	40
Figura 41 – Espaço de medição e controlo da ZIS (troço t163) e ZIN (troço t141).....	40
Figura 42 – Caudal da ZMC ZIN no troço t141, ao longo da semana em estudo.	41
Figura 43 – Pressão da ZMC ZIN no nó n131 ao longo da semana em estudo.....	41
Figura 44 – Caudal da ZMC ZIS no troço t163 ao longo da semana em estudo.	42
Figura 45 – Pressão da ZMC ZIS no nó n146 ao longo da semana em estudo.....	42
Figura 46 – Consumo do grande cliente ao longo da semana em estudo.	43
Figura 47 – Sobreposição do caudal de entrada entre a ZMC ZIS (verde) e o grande cliente (vermelho).	43
Figura 48 – Velocidades máximas atingidas no troço t141 e t163 das ZMC ZIN e ZIS respetivamente.	44
Figura 49 – Localização dos equipamentos de registo de caudal e pressão.....	45
Figura 50 – Comparação dos valores de caudal entre o computador e medição de campo.	46
Figura 51 – Comparação dos valores de pressão entre o computador e medição no terreno..	46
Figura 52 – Padrão da concentração de cloro residual à saída do reservatório da Costeira....	47
Figura 53 – 1ª análise em campo da concentração de cloro residual.	48
Figura 54 – Válvula de seccionamento fechada.....	49
Figura 55 – Decaimento no seio líquido kb.....	50
Figura 56 – Gráfico de apoio para determinação do valor de kb.	51
Figura 57 – Localização dos pontos de amostragem de Cl no terreno.....	52
Figura 58 – Comparação entre valores de concentração de cloro residual simulados e medições de campo.	53
Figura 59 – Idade de construção das condutas do subsistema estudado.....	54
Figura 60 – Material das condutas do subsistema estudado.	55
Figura 61 – Velocidade máxima na ZMC ZIS.....	56
Figura 62 – Velocidade máxima na ZMC ZIN.....	56
Figura 63 – Valores de kw introduzidos nos troços de conduta.	58
Figura 64 – Valores de concentração de cloro residual às 168h.....	59
Figura 65 – Tempo de percurso da água às 168 horas.....	60
Figura 66 – Válvulas fechadas no SDA da Costeira.	62
Figura 67 – Novo padrão de consumos da zona industrial.....	63
Figura 68 – Velocidades na hora de maior consumo (35 horas).....	64

Figura 69 – Velocidades no troço t146 de DN 160 mm durante a semana em estudo.	64
Figura 70 – Perda de carga no nó n135 de DN 160 mm durante a semana em estudo.	65
Figura 71 – Variação da perda de carga no nó n76.....	65
Figura 72 – Valores de kw introduzidos no modelo nos troços de conduta.	66
Figura 73 – Valores de concentração de cloro residual às 168 horas.....	67
Figura 74 – Tempo de percurso da água às 168 horas.....	68
Figura 75 – Esquema de várias hipóteses de tempos de percurso de água numa cidade.	70
Figura 76 – Esquema de várias hipóteses de tempos de percurso de água numa cidade.	71
Figura 77 – Esquema da rede de distribuição de água de uma aldeia do concelho de Castelo Branco (imagem retirada do <i>Google maps</i>).....	72
Figura 78 – Exemplo de uma possível situação de incêndio na floresta e da localização do Marco ou boca-de-incêndio de melhor acessibilidade (imagem retirada do <i>Google maps</i>).	73

Índice de tabelas

Tabela 1 – Valores paramétricos observados da análise da água no reservatório Costeira.....	21
Tabela 2 – Excerto de alguns consumos obtidos nos caudalímetros de cada ZMC de 15 em 15 minutos.	35
Tabela 3 – Consumo base das ZMC e grande cliente.	36
Tabela 4 – Exemplo dos clientes afetos ao nó n87 pela metodologia Alegre (1986) e Coelho et al. (2006).	37
Tabela 5 – Relação de velocidades máximas de escoamento nas condutas à entrada da zona industrial.	44
Tabela 6 – Valores de concentração de cloro residual obtidos na semana 7 de 2015.	52
Tabela 7 – Relação entre tipo de material da tubagem, velocidade média de escoamento e kw.	57
Tabela 8 – Relação entre tipo de material da tubagem, velocidade média de escoamento e kw.	67

Lista de abreviaturas

AC	Águas do Centro.
AdP	Águas de Portugal.
CAD	Computer-Aided Design.
CAP	Carvão Ativado em Pó.
Cl	Cloro.
DECO	Associação Portuguesa para a Defesa do Consumidor.
CMCB	Câmara Municipal de Castelo Branco.
DN	Diâmetro Nominal.
DPD	N-Dietil-p-fenilendiamina.
DL	Decreto-Lei.
DR	Decreto Regulamentar.
EG	Entidade Gestora.
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.
ETA	Estação de Tratamento de Água.
FFD	Ferro Fundido Dútil.
INE	Instituto Nacional de Estatística
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
RGSPDADAR	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais.
POLIS	Programa de Requalificação Urbana e Valorização Ambiental de Cidades.
PVC	Policloreto de Vinilo.
RNF	Reservatório de Nível Fixo.
SDA	Subsistema de Distribuição de Água.
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
SMCB	Serviços Municipalizados de Castelo Branco.
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VRP	Válvula Redutora de Pressão.
ZIN	Zona Industrial Norte.
ZIS	Zona Industrial Sul.
ZMC	Zona de Medição e Controlo.

Lista de simbologia

D	Diâmetro interior da conduta.
h	Hora.
kb	Coefficiente de reação no seio do escoamento.
km	Quilómetro.
kw	Coefficiente de reação na parede da tubagem.
l/s	Litro por segundo.
m	Metro.
m ²	Metro quadrado.
m ³	Metro cúbico.
m ³ /h	Metro cúbico por hora.
mg/l	Miligrama por litro.
min	Minuto.
m c.a.	Metro coluna de água.
mm	Milímetro.
m/s	Metro por segundo.
n	nó (ponto de dados do <i>software</i> Epanet).
V	Velocidade média do escoamento.

1. Introdução

“A qualidade nunca se obtém por acaso, ela é sempre o resultado do esforço inteligente”
John Ruskin

A ciência da engenharia hidráulica desempenhou um importante papel no desenvolvimento das civilizações, assim como na melhoria da sua qualidade de vida.

Desde tempos muitos remotos, que existiu sempre uma preocupação em fazer chegar esse bem essencial, que é a água, aos que dele necessitavam. Desta forma, com uma evolução de 5000 anos de técnica e de história chegámos ao ponto que, em Portugal, a qualidade da água fornecida a todos os consumidores é segura.

As redes em exploração de abastecimento de água, no nosso país, já se encontram bastante consolidadas, estando as Entidades Gestoras no ponto de prosseguir para o patamar seguinte, ou seja, o da procura de novas formas de incrementar melhorias do serviço prestado.

Assim, a modelação computacional das redes de abastecimento em Portugal iniciou-se há poucos anos, existindo ainda poucos técnicos nas Entidades Gestoras com formação nesses *softwares*, que por sua vez são insuficientes para a construção de todos os modelos necessários. Esta situação cria um nicho de mercado, para que empresas privadas possam propor os seus serviços na construção destes modelos.

É objetivo desta dissertação a busca de um melhor cenário de abastecimento do subsistema de distribuição de água da Costeira, em que se optimize o tempo de percurso de água e, por conseguinte, se melhore a sua qualidade. Apresentam-se também algumas propostas no melhoramento da gestão do serviço, tendo em vista o aumento de consumo de água em zonas mais estagnadas, limites ramificados da rede ou zonas demograficamente baixas. Além disso, indicam-se ainda algumas propostas de ordenamento do território, tendo em conta a melhoria da qualidade de água a todos os consumidores, da zona em questão. Tudo isto reduzindo perdas de água e consequentes custos às Entidades Gestoras, causando menor impacto ambiental.

Este estudo foi estruturado em seis capítulos, sendo que no primeiro foram descritos os seus objetivos, a sua justificação e estrutura.

No segundo capítulo, encontra-se uma breve resenha histórica sobre a cidade de Castelo Branco e o seu abastecimento de água, bem como a caracterização dos recursos hídricos existentes, que contribuem para o abastecimento do concelho e consequente qualidade da água.

No terceiro capítulo, focou-se o estado da arte na modelação da qualidade da água, apresentando o *software* Epanet e suas funcionalidades em relação ao decaimento do cloro e tempo de percurso da água.

No quarto capítulo, foi descrito o modo de construção de um modelo de um subsistema de distribuição, na zona em estudo, utilizando o *software* Epanet e respetiva calibração.

Posteriormente foi criado e analisado um novo cenário, que demonstrou melhorias na otimização dos tempos de percurso da água, sua qualidade e segurança.

No quinto capítulo, propuseram-se algumas considerações na forma de gestão dos sistemas de abastecimento de água, tendo como objetivos a redução do tempo de percurso da água e consequente melhoria da sua qualidade, aumento de consumo em zonas estagnadas, reutilização, redução de perdas de água e de custos para as Entidades Gestoras, assim como consequentes melhorias em termos ambientais.

No sexto capítulo, procedeu-se à síntese das principais conclusões, apontando algumas direções futuras decorrentes da realização deste estudo.

2. A História e caracterização dos recursos hídricos e sua qualidade do concelho de Castelo Branco

Situada no interior centro de Portugal, na região da Beira Baixa, a cidade de Castelo Branco é sede do terceiro maior distrito, com cerca de 1 438 km² de área e 56 109 habitantes (sensos 2011, Instituto Nacional de Estatística, INE). Faz fronteira a Este e Sul com Espanha. No seu perímetro urbano tem cerca de 34 000 habitantes e está localizada numa vasta região planáltica, entre as bacias dos rios Pônsul e Ocreza, nas coordenadas: Latitude 39,8229; Longitude -7,4928.

2.1. História de Castelo Branco

A fundação do lugar de Castelo Branco não é muito clara e difundem-se versões e lendas acerca da sua origem. Depois da reconquista aos mouros em 1165, por D. Afonso Henriques, este doou à Ordem do Templo esta região da Beira Baixa, para povoamento e defesa dos ataques dos infiéis. O primeiro foral é dado à Vila de Castelo Branco, pelo então Mestre da Ordem do Templo, D. Pedro Alvito, durante a primeira metade do século XIII. Posteriormente, no ano de 1535, D. João III atribui o título de “Vila Notável” a Castelo Branco, começando a notar-se um crescimento populacional na região. A 20 de março de 1771 a vila é elevada a cidade e sede de bispado, através do alvará de D. José e do Marquês do Pombal.

A cidade de Castelo Branco foi considerada em 2006, num estudo elaborado pela Associação Portuguesa para a defesa do consumidor (DECO), a segunda capital de distrito com melhor qualidade de vida, (<http://www.diariodigitalcastelobranco.pt/detalhe.php?id=7017>).



Figura 1 - Cópia da vista Noroeste de Duarte d'Armas, da Vila de Castelo Branco, Setecentista (O programa Polis em Castelo Branco, álbum histórico, de Silveira A., Azevedo L. e Oliveira P. Q. 2003).

2.2. A história do abastecimento de água a Castelo Branco

Até meados do século XX, o abastecimento de água em Castelo Branco sempre foi um problema para os habitantes e dirigentes locais, pois a água dos chafarizes, fontes e poços públicos e privados, não era muitas vezes suficiente nas alturas estivais. As fontes mais antigas de que há notícia são as da Feiteira, Penedo, Torneiro, Chafariz da Graça e de S. Marcos. “...Em sessão de 7 de Abril de 1655 determinou a Câmara Municipal que todo aquele que na fonte da Feiteira ou na do Penedo lançasse pedra ou molhasse palha pagaria dois mil reis da cadeia e qualquer pessoa poderia acoimar com uma testemunha.” “...toda a pessoa de qualquer qualidade que seja que na Fonte do Torneiro lançar gato ou cão ou raposo ou outro qualquer bicho pagará quatro mil reis de cadeia...”, (Castelo Branco na história e na arte, Santos M. T. 1958), aqui se comprovava que já nesta altura havia preocupação com a qualidade da água para o consumo.

No que respeita ao crescimento populacional, existem os seguintes registos:

- Século XVIII → 3 726 habitantes;
- Século XIX → 5 161 habitantes;
- Início do século XX → 8 000 habitantes.

(O programa Polis em Castelo Branco, álbum histórico, de Silveira A., Azevedo L. e Oliveira P. Q. 2003)

2.3. Fontes, poços e chafarizes

Uma das profissões que dava sustento a muitas famílias era a das Fonteiras e dos Aguadeiros, que transportavam durante todo o dia água em cântaros para os nobres da altura (Figura 2).



Figura 2 - Fonteiras perto do chafariz do Cansado e aguadeiro (aguarela do séc. XIX, autor anónimo).

Fontes, poços e chafarizes identificados até ao século XX:

- Fonte da Feiteira, anterior ao século XVI;
- Fonte do Penedo, anterior ao século XVI;
- Fonte da Torneiro, anterior ao século XVI;
- Fonte da Páqueixada (sem referencia datal);
- Fonte do Tostão (sem referencia datal);
- Fonte da Nova (sem referencia datal);
- Fonte das Águas Férreas, ano de construção 1828;
- Poço das Covas (sem referencia datal);
- Poço da Praça Velha (sem referencia datal);
- Poço da Misericórdia Velha (sem referencia datal);
- Poço do Concelho (sem referencia datal);
- Poços da Devesa, ano de construção em 1844;
- Poço de Santiago (sem referencia datal);
- Chafariz de São Marcos construído no século de XVI (Figura 4);
- Chafariz da Graça, construído no século XVI e reconstruído em 1830 (Figura 5);
- Chafariz São Tiago, construído no século XVI;
- Chafariz da Mina, construído em 1825 (Figura 6);
- Chafariz do Cansado, construído em 1848 (Figura 7);
- Chafariz da Granja, construído em 1874 (Figura 8);
- Chafariz da Granja de Baixo, construído em 1875 (Figura 9);
- Chafariz na Avenida Afonso Paiva (Figura 10).

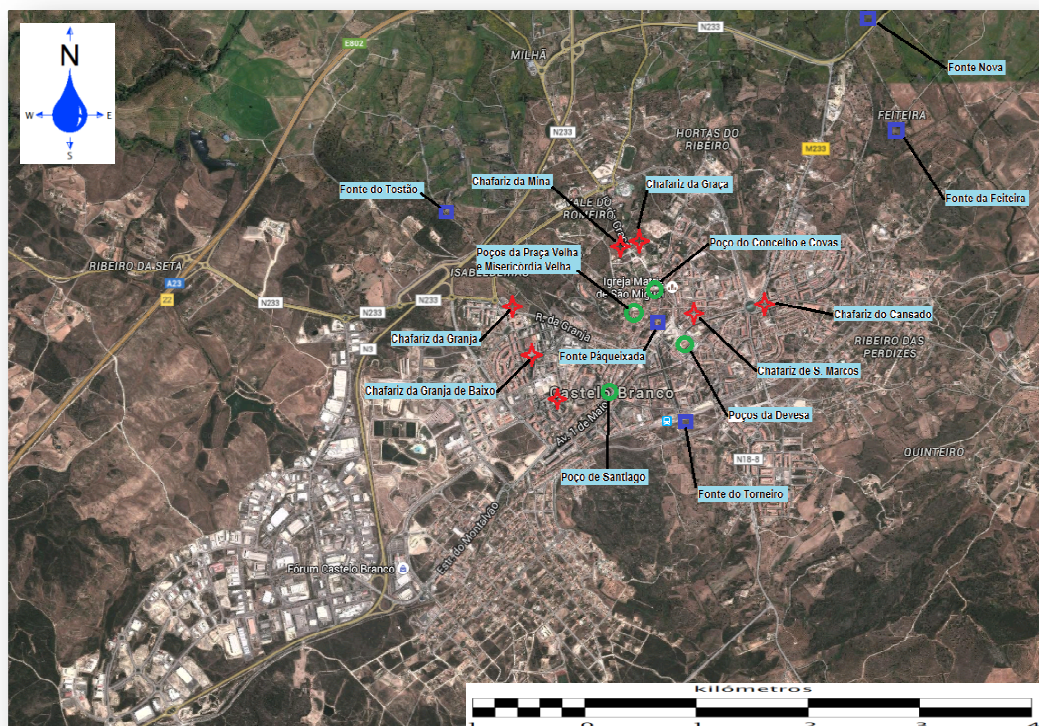


Figura 3 - Localização das fontes, poços e chafarizes na cidade de Castelo Branco (mapa retirado do Google maps).



Figura 4 - Chafariz de São Marcos datado do século XVI.



Figura 5 - Chafariz da Graça construído no século XVI e reconstruído em 1830.



Figura 6 - Chafariz da Mina construído em 1825.



Figura 7 - Chafariz do Cansado construído em 1848.



Figura 8 - Chafariz da Granja construído em 1874.



Figura 9 - Chafariz da Granja de baixo construído em 1875.



Figura 10 - Chafariz na Avenida Afonso Paiva construído em 1876.

2.4. Captação, transporte e distribuição de água ao domicílio

A primeira tentativa de captação, transporte e distribuição de água ao domicílio, ocorreu em sessão de Câmara Municipal de Castelo Branco (CMCB) a 19 de março de 1887, pelo presidente da altura, o major aposentado Manuel João Baptista, onde a responsabilidade de

pesquisa e medição era do engenheiro Vaz da Silva (Figura 12) e de Tomás Malheiros, sendo a responsabilidade da qualidade da água do Dr. Hermano Castro e Silva.

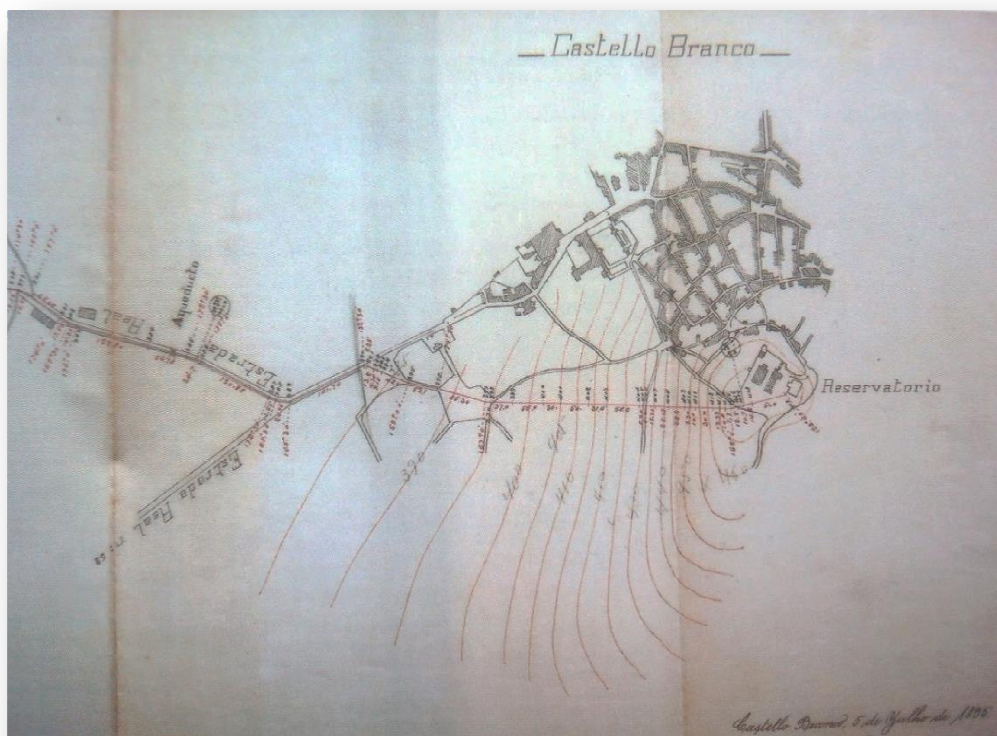


Figura 11 - Projeto do encanamento da água para o reservatório do engenheiro António Augusto Vaz da Silva 1895 (O programa Polis em Castelo Branco, álbum histórico, Silveira A., Azevedo L. e Oliveira P. Q. 2003).



Figura 12 - Engenheiro António Augusto Vaz da Silva (O programa Polis em Castelo Branco, álbum histórico, Silveira A., Azevedo L. e Oliveira P. Q. 2003).

É importante transcrever aqui um pouco sobre a memória descritiva feita na altura pelo engenheiro Vaz da Silva:

“...Distribuição das águas na cidade: O reservatório de distribuição compor-se-há de dois compartimentos idênticos com a capacidade de 450,00m³ cada um, e será projetado à cota de 462,00m, aproximadamente acima do nível do mar...para calcular o volume necessário na cidade tomar-se-há em consideração: 1^o - a rega das ruas e praças pública; 2^o - o consumo nos estabelecimentos públicos, especialmente quartel de cavallaria e hospital; 3^o - o volume d'água a dispender com o consumo de cada habitante, e dos animaes e viaturas recenseados = Para fazer este cálculo supor-se-há: 1^o - que a população da cidade é de 9.000 habitantes, que é de 1.000 o número de cavallos, 60 o numero de viaturas de 2 rodas e 30 o de quatro rodas = 2^o - que a superfície de ruas e praças a regar é de 40.000m² e adoptar-se-hão as seguintes bases: por dia e habitante 25 litros por dia – por dia e cavallo 75 litros – por dia e viatura de 2 rodas 40 litros – por dia e viatura de 4 rodas 70 litros – por dia e por m² de ruas e praças públicas 2 litros...” (Castelo Branco 1830-1930, um século na vida da cidade, Volume I, Martins M. A. M.).

Como se nota no texto acima, as capitações idealizadas na altura para o consumo habitacional e de animais eram muito baixas, provavelmente apenas para beber e cozinhar, não se pensava em banhos, perdas ou outros usos com água potável, mas a higiene e limpeza de ruas e praças já era importante. Também de notar a existência de um grande consumidor, o Quartel de Cavalaria e hospital como cliente prioritário.

A 4 de janeiro de 1892, a CMCB adquiriu as nascentes das Corticeiras e Eirinhas, existentes na freguesia de Lourical do Campo, debitando cerca de 500 m³/dia, de acordo com a medição feita pelo engenheiro Vaz da Silva, seguindo-se a aprovação do programa das captações de água e da sua condução e distribuição pela cidade.

No entanto, existiam diversos fatores que dificultavam a construção desta obra pela CMCB, entre estes os interesses da população mais abastada da cidade, que continuava a vender água das suas nascentes. Assim, a juntar ao fraco poder económico municipal, era muito difícil iniciar a construção de uma obra de captação, transporte e distribuição de água ao domicílio, sem apoios externos de Lisboa.

Nos censos de 1911, a cidade albicastrense já contabilizava cerca de 9 000 habitantes e o fornecimento de água continuava em escassez, face ao crescimento populacional e urbanístico.

Mais uma vez, como forma de controlo da quantidade e qualidade da água a abastecer, a CMCB impôs algumas regras, desta maneira, a água só podia ser retirada a algumas horas do dia, sendo proibida a introdução nos poços municipais de qualquer tipo de vasilhame.

Perante o contínuo aumento demográfico, só em 1932 chega finalmente a notícia de aprovação, em Conselho de Ministros, dos meios financeiros para ser levado a cabo a tão necessária obra de abastecimento de água a Castelo Branco. Esta iniciou-se em 1933, com centenas de trabalhadores a assentarem uma conduta desde o Casal da Serra, até à cidade.

A 27 de dezembro de 1933 começou a entrar água nos reservatórios da encosta do castelo, água essa que vinha das nascentes adquiridas em 1892, na freguesia do Lourical do Campo, e das novas nascentes, incluindo as da Ocreza, por as primeiras já serem insuficientes.

Em 1934, a CMCB inicia a construção da primeira Barragem (Figura 13), Salles Viana, atingindo-se o fim nas constantes demoras, ao projeto de abastecimento público de água.

Deu-se assim início a uma nova era de crescimento e desenvolvimento dos serviços públicos, no concelho de Castelo Branco, o que permitiu um conseqüente progresso a nível da indústria e melhoramento da qualidade de vida, a todos os habitantes.



Figura 13 - Barragem Salles Viana.

2.5. História da Instituição dos Serviços Municipalizados de Castelo Branco

A 20 de Dezembro de 1944 são instituídos os Serviços Municipalizados de Água de Castelo Branco, tendo em vista a exploração, sob forma industrial do serviço público de captação, condução e distribuição de água potável. Na altura o custo de 1 m³ era de 6\$30, sensivelmente 0,063 €.

Durante as décadas seguintes os Serviços Municipalizados de Água estenderam condutas por todo o concelho. Construíram a primeira Estação Elevatória no Lirião em 1963 (Figura 14), que elevava água para o reservatório da Bela Vista (Figura 15) e esta, por sua vez, elevava água para o reservatório de S. Gens (Figura 16) e reservatório Castelo (Figura 17) e, graviticamente, para o reservatório da Costeira (Figura 18). Hoje a Estação Elevatória no Lirião foi desativada, desempenhando a estação elevatória dos Carvalhos a mesma função, tendo sido inaugurada em 1991.



Figura 14 - Estação elevatória do Lirião.



Figura 15 - Reservatório da Bela Vista.



Figura 16 - Reservatório de São Gens, arranjos exteriores em 2008 pelo POLIS (reservatório enterrado).



Figura 17 - Reservatório do Castelo.



Figura 18 - Reservatório da Costeira.

Poucos anos depois, devido ao crescimento habitacional e industrial da cidade, voltou a existir o problema de escassez de água, havendo por isso novas regras no abastecimento à população. Desta forma, os albicastrenses apenas podiam consumir água a certas horas do dia e sempre com muitas restrições. Como consequência, tornou-se imperioso o aumento das reservas de água, tal facto obrigou à construção da Barragem do Pisco (Figura 19) e Estação de Tratamento de Água, ficando a fornecer água à Estação Elevatória do Lirião no dia 26 de outubro de 1968, garantindo o seu armazenamento para os anos seguintes.



Figura 19 - Barragem do Pisco (http://cnpqb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/Pisco.htm).

Com a ampliação da rede de abastecimento às aldeias do concelho e o aumento gradual da população, constatou-se que as reservas de água, das Barragens Salles Viana e Pisco, não iriam ser suficientes, dado que dependiam em grande parte da variação da pluviosidade anual, sendo necessário equacionar-se um projeto mais abrangente.

No dia 11 de outubro de 1989, foi introduzida nas condutas a água tratada na Estação de Tratamento integrada do complexo da Barragem de Santa Águeda, nome adquirido da capela de Santa Águeda, ainda existente no local (Figura 20). Desta forma, o concelho de Castelo Branco ficou munido de uma albufeira, que salvaguardou o abastecimento de água para o concelho e concelhos limítrofes por muitos anos.



Figura 20 - Barragem de Santa Águeda (<http://portugalfotografiaaerea.blogspot.pt/2014/06/barragem-de-santa-agueda-barragem-da.html>).

2.6. Recursos Hídricos do Concelho de Castelo Branco

O concelho de Castelo Branco faz parte da bacia hidrográfica do rio Tejo e é drenado por várias sub-bacias, sendo as mais importantes a do rio Pônsul e a do rio Ocreza que drenam, respetivamente, cerca de 20% e 60% da área do concelho. A restante área é drenada pela sub-bacia do ribeiro do Aravil e bacia do Tejo superior (Figura 21 e Figura 22).

O rio Pônsul nasce na Serra do Ramiro a uma altitude de 650 m em Penamacor, tem um comprimento de cerca de 80 km até desaguar no rio Tejo, e é o único curso de água com caudal permanente, embora bastante reduzido nos meses de verão.

O rio Ocreza nasce na Serra da Gardunha a uma altitude da ordem de 1160 m, tem um comprimento de cerca de 80 km até desaguar no rio Tejo, e um caudal não permanente. No rio Ocreza situa-se o maior armazenamento hidráulico do concelho, a Barragem de Santa Águeda, tal como já foi referido anteriormente, nos seus afluentes, ribeira da Ribeirinha, a Barragem do Pisco e no grande vale do rio Ocreza a Barragem Salles Viana.

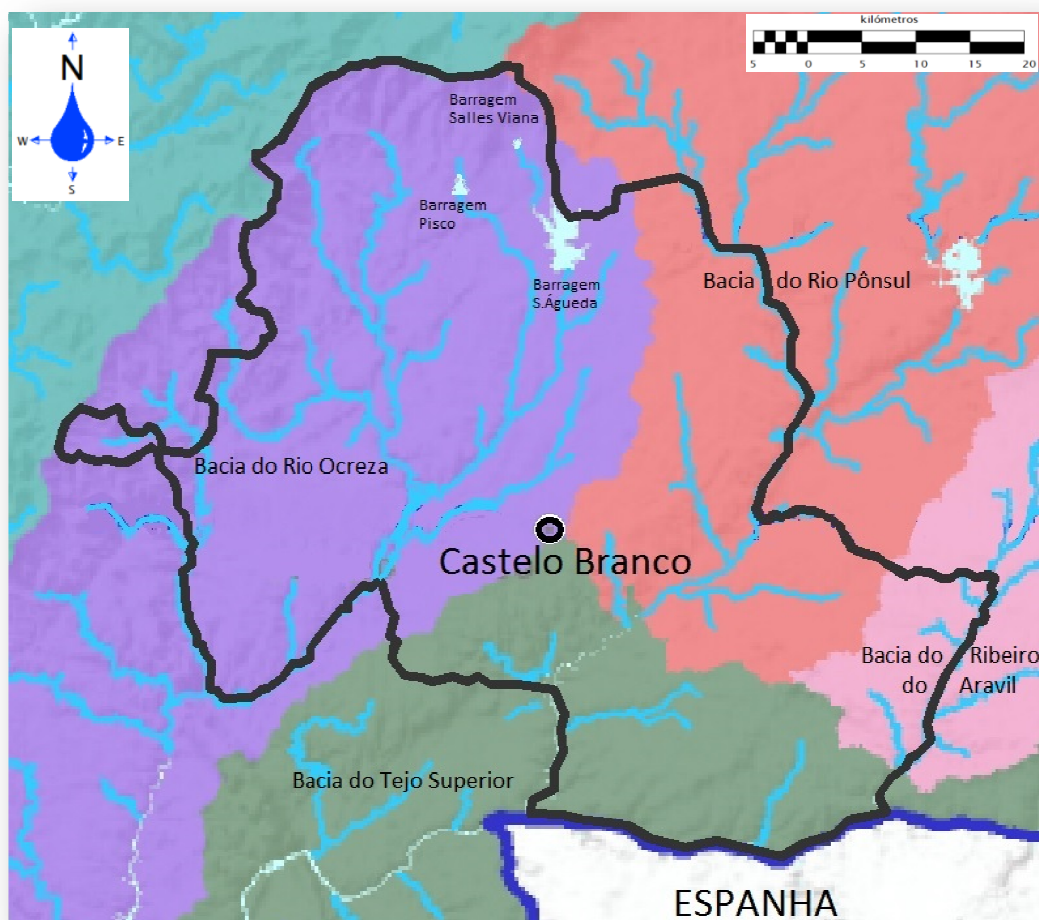


Figura 22 - Bacias afetadas ao concelho de Castelo Branco (Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo, repositório de mapas).

2.7. Caracterização das barragens, poços, furos e minas dos sistemas de abastecimento ao concelho de Castelo Branco

2.7.1. Barragens

A Barragem Salles Viana encontra-se à cota 800 m com uma capacidade de cerca de 170.000 m³, construída em alvenaria de pedra, localizada no rio Ocreza, junto ao lugar de Casal da Serra, concelho de Castelo Branco.

A água captada é tratada com filtros de areia, seguindo-se uma etapa de desinfecção com hipoclorito de sódio e correção de pH, com recurso a leitos de brita calcária.

A Barragem do Pisco está localizada sobre a ribeira de S. Vicente, no lugar de S. Vicente da Beira, concelho de Castelo Branco, é uma barragem de aterro com capacidade útil de 1 040 000 m³ e o nível de pleno armazenamento é de 498,7 m.

A água é captada e tratada na Estação de Tratamento de Água (ETA) do Pisco cujo processo de tratamento consiste na pré-oxidação com dióxido de cloro, remineralização

(CO₂/hidróxido de cálcio), adsorção de carvão ativado em pó (CAP), coagulação/floculação, decantação, filtração em filtros de areia, correção de pH (leite de cal) e finalmente desinfecção com hipoclorito de sódio. Esta ETA tem uma capacidade de tratamento de 250 m³/h.

A Barragem de Santa Águeda, localizada no rio Ocreza entre os lugares de Póvoa-Rio-de-Moinhos e Lardosa do concelho de Castelo Branco, é uma barragem de aterro com uma capacidade útil de 32 700 000 m³ e o nível de pleno armazenamento está à cota de 385 m.

A água captada e tratada no complexo de Santa Águeda consiste num arejamento em cascata, remineralização (CO₂/hidróxido de cálcio), adsorção de CAP, coagulação/floculação, decantação, filtração em filtros de areia e correção de pH com água de cal e finalmente uma desinfecção com cloro líquido. Esta ETA tem uma capacidade de tratamento de 2.200 m³/h.

2.7.2. Poços, furos e minas

Existem alguns pequenos aglomerados, no concelho de Castelo Branco, que são abastecidos por poços, furos ou minas. Estes pequenos sistemas têm uma capacidade de abastecimento de água limitada e o seu processo de tratamento consiste na cloragem com hipoclorito de sódio e remineralização com brita calcária, antes de ser distribuída à população local. De referir que, a jusante dos poços, furos ou minas existe sempre um reservatório para controlo da quantidade e qualidade da água, que por sua vez a distribui através de uma rede de condutas à população local.

2.8. Entidades gestoras do abastecimento de água ao concelho de Castelo Branco

Atualmente o sistema de abastecimento de água do concelho está dividido em duas partes (Figura 23):

- Sistema de abastecimento de água em “Alta”

Entidade Gestora: Águas de Lisboa e Vale do Tejo, Grupo Águas de Portugal (AdP).

Função: Gestão da produção e adução que englobam as componentes de captação, tratamento, transporte, operação/manutenção e controlo da qualidade da água fornecida aos clientes em “Baixa”.

- Sistema de abastecimento de água em “Baixa”

Entidade Gestora: Serviços Municipalizados de Castelo Branco (SMCB).

Função: Gestão da faturação e distribuição, operação/manutenção e controlo da qualidade de água fornecida ao consumidor final.

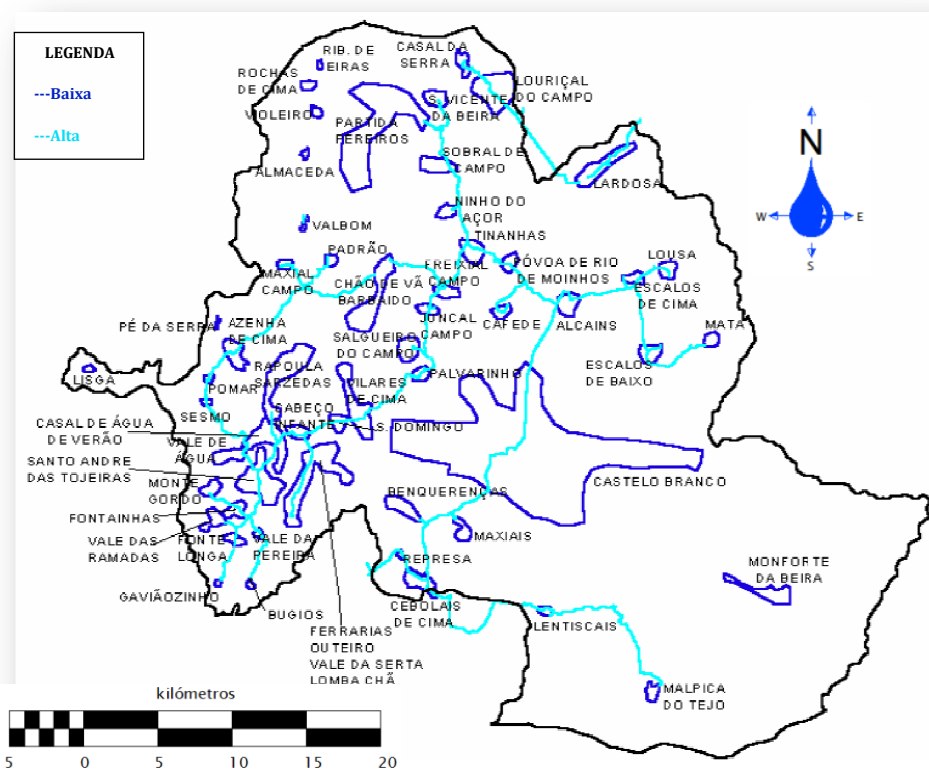


Figura 23 - Rede adutora em “Alta” e aglomerados abastecidos pela “Baixa” no concelho de Castelo Branco (Sistema de Informação Geográfico (SIG) dos SMCB).

2.9. Qualidade da água bruta

Em relação à qualidade da água bruta, apenas se conseguiu obter informações sobre as águas das barragens do Pisco (Figura 24) e Santa Águeda (Figura 25).

Ambas as albufeiras apresentam excesso de nutrientes, o que se traduz em alguma eutrofização, no entanto, verifica-se que a qualidade da água captada cumpre o estipulado no Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto para uma água da classe A2 (tratamento físico, químico e desinfeção), e não são encontradas substâncias químicas contaminantes, nomeadamente pesticidas e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares.

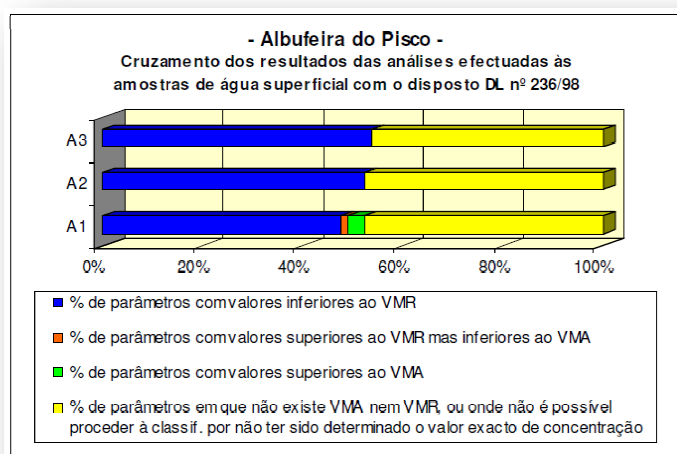


Figura 24 - Cruzamento dos resultados das análises efetuadas às amostras de água superficial na Albufeira do Pisco (DIAGNÓSTICO PARA A SUSTENTABILIDADE - CASTELO BRANCO AGENDA XXI, 2006).

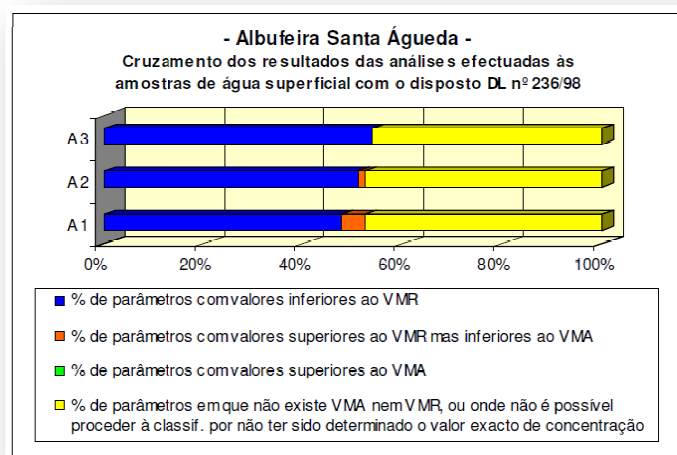


Figura 25 - Cruzamento dos resultados das análises efetuadas às amostras de água superficial na Albufeira de Santa Águeda, (DIAGNÓSTICO PARA A SUSTENTABILIDADE - CASTELO BRANCO AGENDA XXI, 2006).

2.10. Qualidade da água de distribuição do reservatório da Costeira

No sentido de assegurar a qualidade da água distribuída, aos consumidores abastecidos pelo reservatório da Costeira, a EG em “Alta” realiza (de acordo com um programa de controlo de qualidade de água, aprovado pela entidade competente ERSAR e segundo o Decreto-Lei 306/2007, de 27 de Agosto) todas as análises obrigatórias e informa a EG em “Baixa” dos valores observados.

No quadro seguinte apresentam-se os valores paramétricos, observados no 1º trimestre de 2014, da água à saída do reservatório da Costeira ¹.

Tabela 1 - Valores paramétricos observados da análise da água no reservatório Costeira

Parâmetro (unidades)	Valor Paramétrico	Valor obtido da análise	N.º de análises superiores ao Valor Paramétrico	% Cumprimento do Valor Paramétrico	N.º de análises realizadas
Desinfetante residual (mg/L)	---	1,1	---	---	1
Bactérias Coliformes (N/100mL)	0	0	0	100	1
Escherichia Coli (N/100ml)	0	0	0	100	1
Amónio (mg NH ₄ /L)	0,50	<0,050	0	100	1
N.º Colónias 22°C (N/mL)	s/alteração	Não Definido	---	---	1
N.º Colónias 36°C (N/mL)	s/alteração	Não Definido	---	---	1
Condutividade (µS/cm, a 20°C)	2500	169	0	100	1
Cor (mg PtCo/L)	20	<5	0	100	1
pH (E. Sorensen)	6,5 - 9	7,9	0	100	1
Manganês (µg Mn/L)	50	11	0	100	1
Nitrato (mg NO ₃ /L)	50	<1,0	0	100	1
Oxidabilidade (mg O ₂ /L)	5,0	3,0	0	100	1
Cheiro, a 25°C (Fator diluição)	3	<1	0	100	1
Sabor, a 25°C (Fator de diluição)	3	<1	0	100	1
Turvação (UNT)	4	<0,3	0	100	1
Alumínio (µ Al/L)	200	41	0	100	1
Clostrídium Perfringens (N/100mL)	0	0	0	100	1

Como se observa da Tabela 1, os valores obtidos da análise cumprem os valores regulamentares do Decreto-Lei 306/2007, de 27 de Agosto.

¹ Dados fornecidos pelos SMCB

Como já se tem vindo a verificar, a qualidade da água deteriora-se com o tempo, podendo em última instância ultrapassar os valores paramétricos admissíveis. No entanto, se pudermos diminuir o seu tempo de percurso até ao consumidor final, estaremos sempre a aproximar-nos dos valores paramétricos idênticos aos da saída dos reservatórios, obtendo assim um melhor serviço de qualidade e cumprindo os requisitos legais.

3. Estado da arte

3.1. Introdução

Neste capítulo realizou-se uma revisão bibliográfica dos principais temas publicados, sobre a modelação da qualidade da água em sistemas de abastecimento, usando como ferramenta de apoio o *software* Epanet.

Os modelos de simulação de qualidade da água, em sistemas de distribuição, permitem simular as mais variadas alternativas, em diversos parâmetros da qualidade da água, até que seja encontrada a solução que melhor se ajusta à realidade (calibração), e por conseguinte, possibilitam aos técnicos uma leitura do estado da qualidade da água na rede, que de outra forma se tornaria muito difícil. Para se efetuar a calibração do modelo são necessárias várias etapas, como a recolha de amostras de água nas condutas da rede, realização de análises laboratoriais, introdução dos valores no modelo utilizado e posteriormente, efetuar a comparação dos resultados simulados com os valores medidos. O modelo encontra-se calibrado quando os valores, simulados e reais, se aproximam tanto quanto possível, numa correlação próxima de 100%.

3.2. Simulação de modelos computacionais

A simulação em modelos matemáticos, de sistemas de abastecimento de água, constitui a mais recente tecnologia utilizada para efetuar a análise hidráulica e da qualidade da água, em sistemas de abastecimento. Hoje em dia, os modelos computacionais estabelecem um complemento muito próximo da realidade, quando bem calibrados. Num panorama cada vez mais consolidado das redes existentes, a modelação tornou-se numa ferramenta essencial no projeto e operação dos sistemas de abastecimento de água (Coelho et al., 2006).

Atualmente pode-se afirmar que existem quatro tipos de modelos (Muranho et al., 2012):

- Modelos de apoio às atividades de projeto;
- Modelos de apoio na gestão/exploração da rede;
- Modelos de treino para futuros engenheiros;
- Modelos de apoio a atividades científicas.

Um modelo computacional pressupõe uma simulação ou um cenário de um sistema real e, a partir deste modelo, a análise do comportamento e/ou avaliação das possibilidades estratégicas para sua operação (Pegden et al., 1995). Permite também prever o comportamento de um sistema, face a alterações de operação de órgãos de manobra, alteração de consumos ou modificação do sentido de escoamento, sem ser necessário

perturbar o sistema real em funcionamento. As Entidades Gestoras podem ainda, em fase de projeto, através da modelação computacional de um sistema, detetar problemas de ampliação da futura rede com a já existente e, desta forma, evitar a alteração dessa rede e prevenir problemas futuros. Com esta poderosa ferramenta os modelos permitem analisar os caudais, velocidades, pressões, decaimentos, concentrações, tempos de percurso, entre muitas outras grandezas. Em suma, a simulação disponibiliza informações valiosas, que auxiliam os técnicos e todos os intervenientes no processo, na tomada de decisões que, por conseguinte, irão melhorar a qualidade da água ao consumidor.

Uma das capacidades do *software* Epanet é a modelação da qualidade da água, onde o utilizador pode verificar o tempo de permanência da água no sistema, assim como a concentração de determinadas substâncias, como por exemplo o cloro. A modelação da concentração de cloro residual pode ser estudada e calibrada em redes existentes, ou planeada para futuras redes a ampliar.

A atual importância dada aos requisitos da qualidade da água, através de regulamentações mais restritas, os crescentes custos de tratamento e manutenção, a crescente exigência dos consumidores e agentes sociais, leva a que a modelação da qualidade da água tenha atualmente um papel central no planeamento, projeto e controlo operacional de sistemas de distribuição.

3.3. Qualidade da água: Decaimento do cloro e tempo de percurso num sistema de abastecimento de água

Como já foi referido anteriormente, a qualidade da água se deteriora com o tempo, ao longo das condutas de abastecimento, devido ao desenvolvimento de microrganismos, junto às paredes das tubagens e no seio da água. Esta qualidade também é alterada devido à deterioração dos componentes e na operação/ manutenção dos sistemas, ao longo dos anos. Por essa razão, desde há muito que a Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Estado Português têm vindo a legislar regulamentações, cada vez mais restritas, relativamente à qualidade da água, nos sistemas de abastecimento.

A idade da água em qualquer ponto da rede, através de um programa de simulação, é um parâmetro que ajuda a perceber o tempo de segurança da qualidade da água. Através dos valores de decaimento do cloro, verifica-se o limite do tempo de segurança da qualidade da água, ou seja, com a modelação de um sistema de abastecimento calibrado, consegue-se saber numa rede, até onde é que uma partícula de água consegue chegar com concentração de cloro residual, dentro dos valores recomendáveis, 0,2 mg/l a 0,6 mg/l, Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de agosto. Ao longo do percurso da água nas tubagens, vão-se desenvolvendo reações físico-químicas e bioquímicas que provocam o decaimento da concentração de cloro residual existente na água. Essas reações ocorrem junto das paredes internas das tubagens e seio da própria água. Dependendo do tipo de escoamento, pressão, velocidade, tipo de material e idade das tubagens, temperatura, biofilme, sedimentos e outras partículas, presentes no interior do sistema, as reações que ocorrem com o cloro da água aumentam (Série Guias Técnicos 4, Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água, Coelho S. T., Loureiro D., e Alegre H., Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos-ERSAR).

Segundo a equipa do Laboratório Nacional Engenharia Civil (LNEC), (Qualidade e segurança da água nos sistemas de adução e distribuição, Menaia et al, 2012), o biofilme que se desenvolve nos sistemas de adução e distribuição (Figura 26):

- Pode ser contínuo ou esparso e variar com a idade e o material das condutas, independentemente da presença do cloro;
- A taxa e intensidade do seu crescimento dependem do teor e composição de carbono orgânico assimilável;
- Controla a qualidade microbiológica da água e consome cloro.

O biofilme pode albergar os seguintes agentes patogénicos:

- *Pseudomonas aeruginosa* (Norton e LeChevallier, 2000);
- *Streptococcus* spp. (Walter, 2000);
- *Legionella pneumophila* (Walker, 1995);
- *Helicobacter* spp. (buswell et al., 1998);
- *Staphylococcus aureus* (Anwar et al., 1992);
- *Candida* spp. (Walter, 2000);
- *Mycobacterium* spp. (Vaerewijck et al., 2005);
- etc.



Figura 26 - Foto do interior de uma conduta de distribuição em PVC DN 300 mm retirada de serviço após rotura em julho de 2015, colocada em funcionamento em 1980 na zona industrial de Castelo Branco.

Segundo a mesma equipa do LNEC, a água dos sistemas de abastecimento contém sedimentos em suspensão que, quando a velocidade de escoamento o propicia, se acumulam nas condutas. Aquando da sua re-suspensão pode resultar no aparecimento de “água amarela” ou “castanha”. A sua riqueza em ferro dá a tal cor aos sedimentos de “amarelo” ou “castanho” que são muitas vezes identificados como produtos de corrosão das condutas, embora estes também possam ocorrer em condutas metálicas sendo igualmente ricos em compostos orgânicos. Os sedimentos podem adsorver e acumular microcontaminantes (e.g.,

Arsénio). Verificou-se ainda, nesta mesma investigação, que os sedimentos ocorrem nos sistemas de adução e distribuição independentemente do material das condutas (Figura 27).

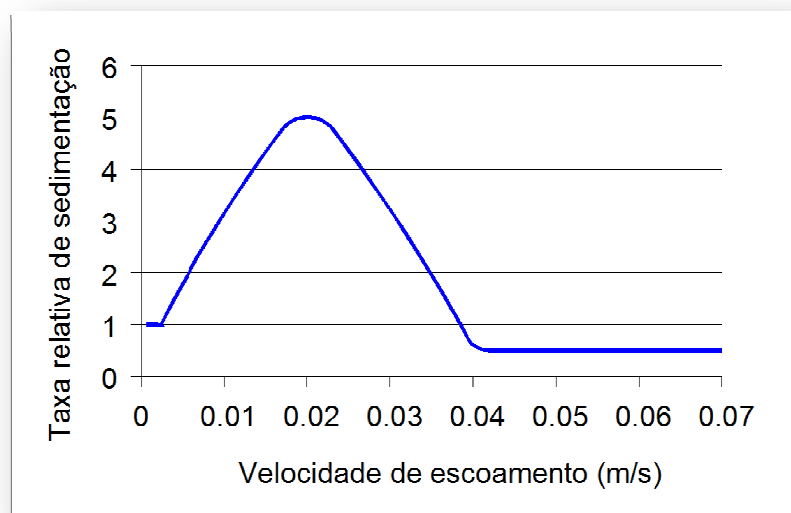


Figura 27 - Gráfico da relação entre velocidade de escoamento e sedimentação (www.lnec.pt/organizacao/dha/nes/trabalho-experimental/LABES, Plano de Investigação Programada do LNEC para 2009-2012, LNEC 2006).

O sobredimensionamento dos sistemas de abastecimento, para cumprimento do art.º23 Diâmetros Mínimos de Incêndio do Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), o funcionamento de redes com poucos consumidores, sejam pontas ramificadas ou emalhadas, implicam velocidades muito baixas do escoamento da água, esta situação aumenta bastante o tempo de permanência da água no interior condutas, aumentando o tempo de percurso desde os reservatórios até ao consumidor final, contribuindo para a deterioração da qualidade da água (Clark et al., 1995).

Também no crescimento das cidades, em novas zonas habitacionais a abastecer, é difícil atingir bons resultados nos tempos de percurso da água e, por conseguinte, na sua qualidade, nomeadamente no ano de arranque dos sistemas de distribuição de água, pois a velocidade da água nas condutas é bastante reduzida.

Um outro problema que está a surgir às EG é a desertificação das aldeias, devido à migração da população e pequenos estabelecimentos comerciais e indústrias, para as cidades, e emigração da população para o estrangeiro, dado que o consumo da água existente na rede é bastante reduzido. Esta situação implica aumento dos tempos de percurso da água e portanto, a redução da sua qualidade dentro dos sistemas de abastecimento das aldeias.

Todas estas situações acima referidas obrigam as EG a estarem mais atentas em relação à qualidade da água fornecida e, quando a qualidade desta não atinge os valores recomendados no Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de agosto, devem realizar-se descargas controladas na rede, alínea b) do art.º 21 e ponto 1 do art.º47 do RGSPDADAR. Esta situação pode tornar-se incomportável devido aos custos despendidos nestas operações, assim como aos impactos ambientais em termos de desperdício de água.

3.4. Desinfecção da água com cloro

Já há algum tempo, que o principal foco de proteção da água potável distribuída passou a ser a obtenção de padrões de qualidade no seu ponto de consumo, garantindo assim uma maior segurança na potabilidade (Clark et al., 1995). Daí que a supervisão da ERSAR tem estado atenta à qualidade do serviço prestado por todas as EG de Portugal, que assim passaram a ter um papel fundamental.

Os organismos patogénicos, existentes na água de distribuição, devem ser destruídos recorrendo a um desinfetante. Os produtos de desinfecção são, geralmente, introduzidos após a fase final do processo de produção de água, nas ETA. O desinfetante deve ser escolhido de forma a permitir manter um residual em todo o sistema de abastecimento, ao longo do tempo. A quantidade de residual deve ser a suficiente para inativar os eventuais microrganismos existentes e inibir o crescimento outros elementos, que não tenham sido eliminados completamente, ou que tenham sido introduzidos na rede através de contaminação externa (Tashauoei et al., 2010).

O desinfetante mais usado em Portugal em sistemas de abastecimento é o cloro, tem um baixo custo e destrói grande maioria dos organismos, removendo gostos e odores desagradáveis (Zierolf et al., 1996;1998). No entanto, a concentração de cloro residual na água deve ser tão baixa quanto possível, de forma a prevenir o aparecimento de odor e sabor a lixívia, minimizando a formação de subprodutos tóxicos da desinfecção.

Uma forma de se prever, identificar, conhecer e otimizar a concentração de cloro nos sistemas de abastecimento de água pode ser através da utilização de modelos computacionais calibrados, como por exemplo o *software* Epanet, dado que possibilitam a análise de problemas relacionados com a falta ou excesso de cloro, permitindo que a EG atue no sistema com eventuais alternativas de operação, descargas pontuais, ou introdução de estações de recloração.

3.5. Postos de recloração com desinfetante cloro

A recloração é um processo de tratamento, através de equipamento próprio, que injeta doses controladas de desinfetante na água de distribuição pública, aumentando a concentração de desinfetante a partir do ponto onde se introduz na rede. Grande parte destes sistemas são colocados em galerias técnicas nos reservatórios, ou diretamente nas condutas em locais estratégicos. Estes locais estratégicos, chamados de postos de recloração, são ligados diretamente à rede e devem ser previamente estudados, através de modelos, para que não haja sobredosagens de desinfetante, a jusante destes pontos, ou alterações do sentido do escoamento da água, devido a fatores operacionais, que possam comprometer a EG e seus clientes.

A ERSAR recomenda a instalação de postos de recloração ao longo da rede de distribuição, para evitar a contaminação microbiológica em zonas de cloro residual muito baixo ou nulo (ponto 4.7 extensão da rede da Recomendação nº05/2007 sobre a Desinfecção da água destinada ao consumo humano).

O *software* Epanet permite obter informação da concentração de cloro e simular a recloração, em qualquer nó do sistema. Assim, as equipas de laboratório da EG podem analisar o modelo e decidir qual o ponto da rede indicado à colocação destes postos de recloração. A sua colocação em condutas da rede, além de dispendiosa, é de difícil execução, devido à grande dimensão da sua estrutura, o que se torna pouco viável em termos de ocupação subterrânea (arruamentos públicos). Existe também uma série de equipamentos, de custos avultados, que são necessários para que haja uma correta monitorização e doseamento de cloro. Para todo este procedimento, torna-se necessário um medidor de caudal, uma ou duas bombas injetoras de cloro, um reservatório de hipoclorito, sensores de injeção de cloro, um equipamento de telegestão, automatismos, corrente elétrica ou baterias. Também é recomendado pela ERSAR que os postos de recloração sejam diariamente verificados pelas equipas operacionais. Em suma, o uso de todos os equipamentos, a sua manutenção e operacionalidade encarecem consideravelmente o processo, trazendo grandes encargos às EG.

4. Caso de estudo

4.1. Breve descrição do sistema de abastecimento de água da cidade de Castelo Branco

A cidade de Castelo Branco é abastecida graviticamente por quatro reservatórios² (Figura 28):

- Reservatório apoiado da Bela Vista (cota:432 m, capacidade 13.400 m³);
- Reservatório enterrado de S. Gens (cota:453 m, capacidade 1.100 m³);
- Reservatório apoiado do Castelo (cota:473 m, capacidade 175 m³);
- Reservatório apoiado da Costeira (cota 428 m, capacidade 5.800 m³).

O reservatório da Bela Vista abastece uma média de 14 350 clientes e tem uma extensão de condutas de cerca de 137 km, o que dá sensivelmente 105 clientes/km. Este é o reservatório da cidade de maior abrangência a clientes.

O reservatório de S. Gens abastece uma média de 5 250 clientes e tem uma extensão de condutas de cerca de 27 km, o que dá sensivelmente 195 clientes/km. Este reservatório da cidade abastece grande parte dos clientes mais próximos das muralhas do castelo e prédios altos da cidade.

O reservatório do Castelo abastece uma média de 490 clientes e tem uma extensão de condutas de cerca de 5,2 km, o que dá sensivelmente 94 clientes/km. Este reservatório da cidade serve de abastecimento aos clientes que habitam junto das muralhas do castelo, na parte mais alta da cidade.

O reservatório da Costeira abastece uma média de 5 900 clientes e tem uma extensão de condutas de abastecimento de água de cerca de 116 km, o que dá sensivelmente 50 clientes/km. Este reservatório abastece parte da zona sudoeste da cidade, zona industrial e duas aldeias próximas.

² Dados fornecidos pelos SMCB

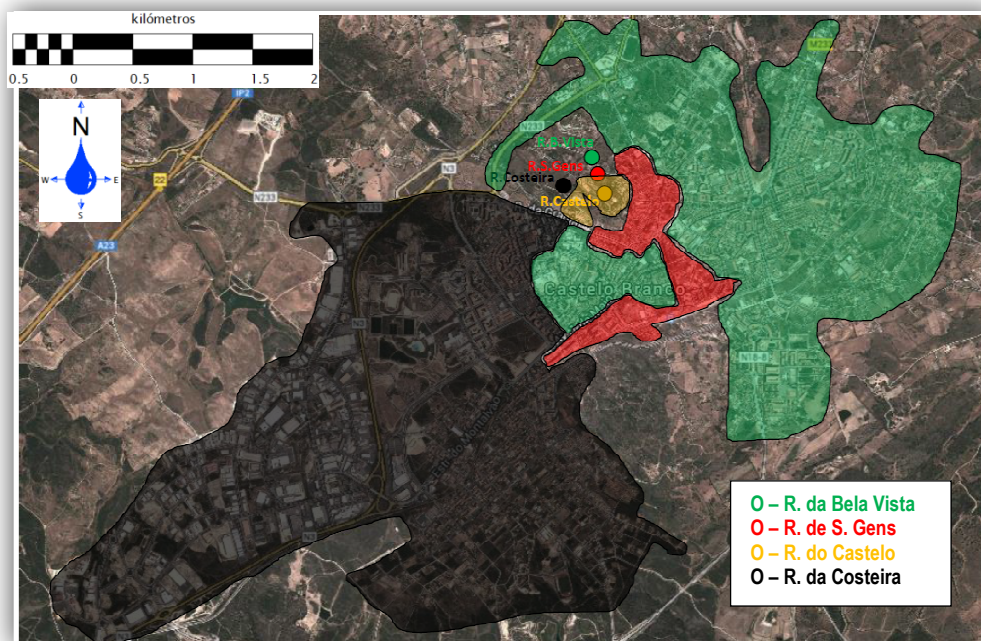


Figura 28 - Área de influência dos grandes reservatórios da cidade de Castelo Branco (mapa retirado do Google maps).

4.2. Caracterização do subsistema de abastecimento de água da Costeira

O subsistema de abastecimento estudado foi o do reservatório da Costeira, que se encontra localizado na parte sudoeste da muralha do castelo. É constituído por duas células de 2 500 m³ de armazenamento, a cota da soleira é de 428 m acima da linha do mar, 107 km de condutas em Policloreto de vinil (PVC) (93%) e 9 km de condutas em Ferro Fundido Dúctil (FFD) (7%) e abastece graviticamente as seguintes Zonas de Medição e Controlo (ZMC)³ (Figura 29 e Figura 30):

- ZMC Entrecaminhos

Tipo de consumidores:

- 75% Habitação;
- 5% Comércio;
- 5% Equipamentos públicos;
- 15% Zonas verdes.

- ZMC Granja

Tipo de consumidores:

- 90% Habitação;
- 5% Comércio;

³ Dados fornecidos pelos SMCB

5% Zonas verdes.

- ZMC Granja Park

Tipo de consumidores:

65% Habitação;

20% Zonas verdes;

15% Equipamentos públicos.

- ZMC Quinta da Pipa

Tipo de consumidores:

100% Habitação.

- ZMC do Valongo

Tipo de consumidores:

100% Habitação.

- ZMC da Cardoso (aldeia)

Tipo de consumidores:

100% Habitação.

- ZMC da Taberna Seca (aldeia)

Tipo de consumidores:

100% Habitação.

- ZMC da Zona Industrial Sul (ZIS)

Tipo de consumidores:

90% Indústria e comércio;

10% Zonas verdes.

- ZMC da Zona Industrial Norte (ZIN)

Tipo de consumidores:

90% Indústria e comércio;

10% Zonas verdes.



Figura 29 - Subsistema de distribuição de água da Costeira estudado (mapa retirado do Google maps).

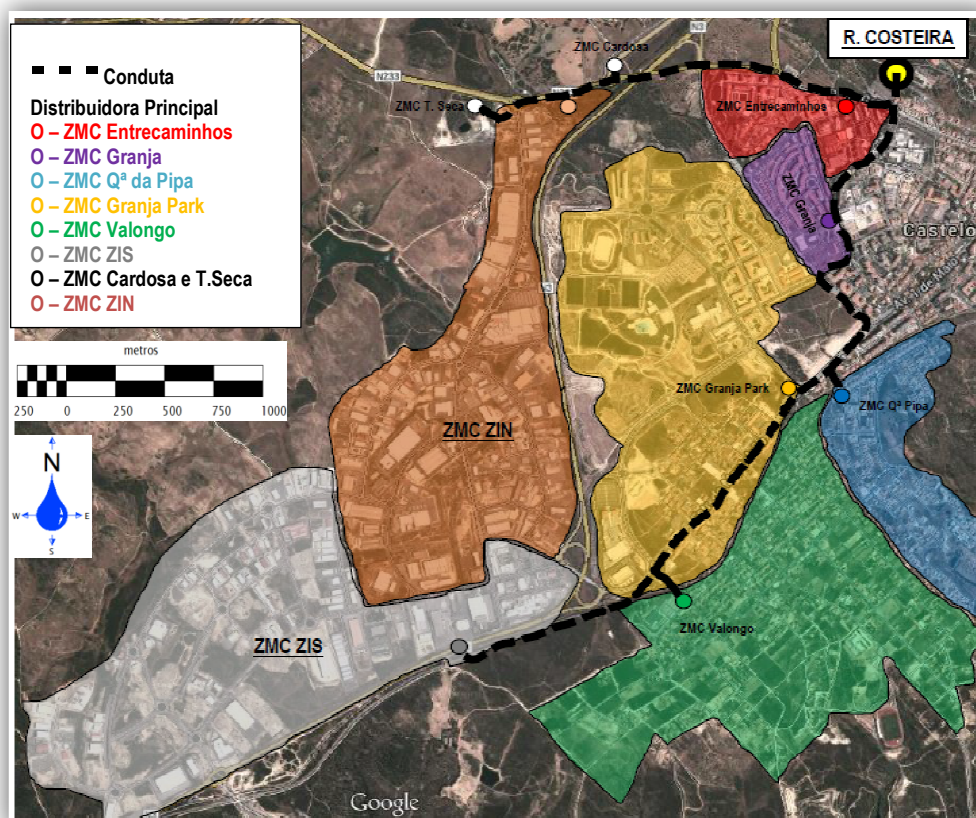


Figura 30 - Zonas de medição e controlo do subsistema de distribuição de água da Costeira (mapa retirado do Google maps).

4.3. Enquadramento do caso estudado

Atualmente as Entidades Gestoras estão muito direcionadas na melhoria da gestão de perdas de água, através da setorização e monitorização dos seus sistemas de distribuição. Para este fim, utilizam caudalímetros e registos de pressão, dispositivos redutores de pressão e campanhas de deteção de fugas. No entanto essa gestão de perdas, deve ser planeada e executada em simultâneo com metodologias que melhorem a qualidade da água fornecida.

Pretende-se com este estudo, utilizando o *software* Epanet, demonstrar melhorias de qualidade da água na rede de abastecimento existente, diminuindo o decaimento de cloro e tempos de percurso da água nas condutas, sem qualquer custo de material para as entidades gestoras, apenas alterando o percurso de abastecimento de água nas condutas, usando algumas válvulas de seccionamento existentes.

Optou-se por estudar mais em pormenor a zona industrial da Cidade de Castelo Branco, por ser a zona mais distante da entrada de água do subsistema da Costeira, que é constituída por duas ZMC: Zona Industrial Sul (ZIS) e Zona Industrial Norte (ZIN). Também se incluíram neste estudo as condutas distribuidoras principais e os consumos das outras ZMC do subsistema de abastecimento da Costeira.

Nos subcapítulos que se seguem descrevem-se, pormenorizadamente, todos os processos na construção do modelo e sua calibração.

4.4. Caracterização da rede, dos materiais, diâmetros e cotas altimétricas

A rede de distribuição de água do subsistema da Costeira é composta por um conjunto de tubagens subterrâneas, que asseguram a distribuição de água graviticamente a todos os consumidores, através de um traçado classificado como rede mista, isto é, uma parte é constituída por traçado emalhado e outra por ramificado.

Como se verifica na Figura 31, os materiais das tubagens instaladas são o PVC e FFD. À direita da Figura 31 estão localizadas as condutas distribuidoras principais e ligações a outras ZMC, e a zona sombreada é a zona industrial da cidade de Castelo Branco onde estão as condutas de distribuição das ZMC ZIN e ZMC ZIS.

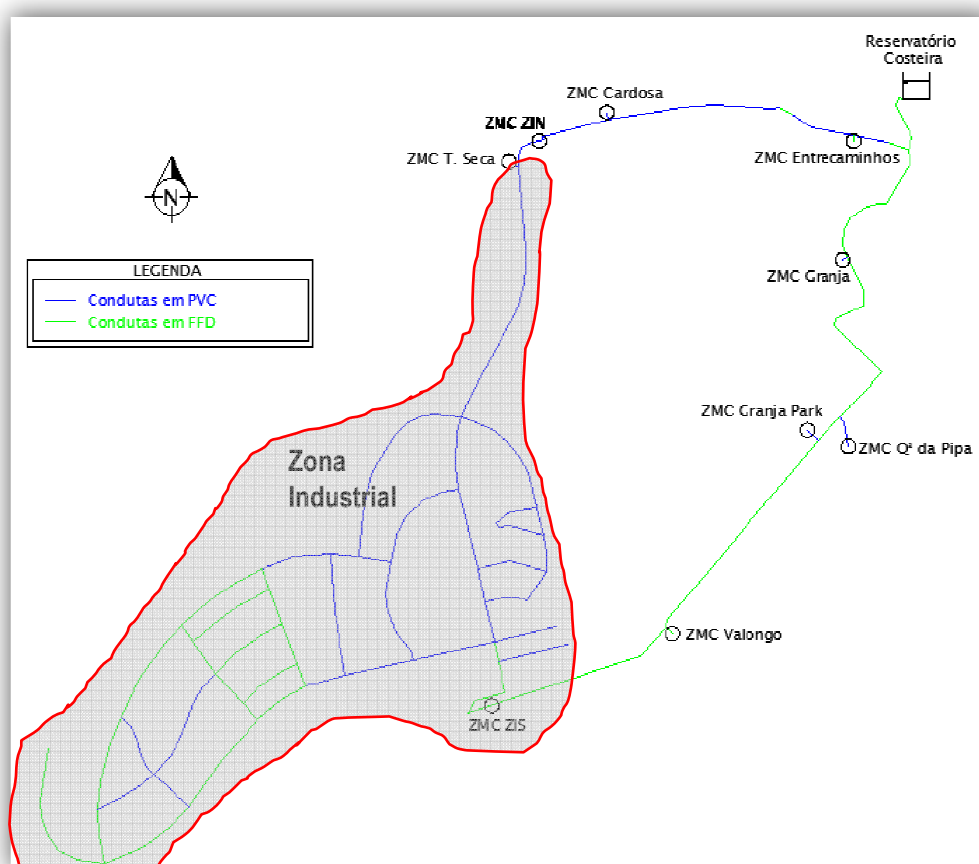


Figura 31 - Material das condutas do subsistema estudado.

Os diâmetros instalados estão compreendidos entre 90 a 250 mm, na rede de distribuição e 250 a 600 mm em condutas distribuidoras principais. É de referir o grande diâmetro da conduta distribuidora principal em FFD a traçado azul-escuro e verde Figura 32, que antigamente também servia para abastecer as freguesias a sul do concelho de Castelo Branco, mas que atualmente deixou de ser necessário⁴.

⁴ Dados fornecidos pelos SMCB

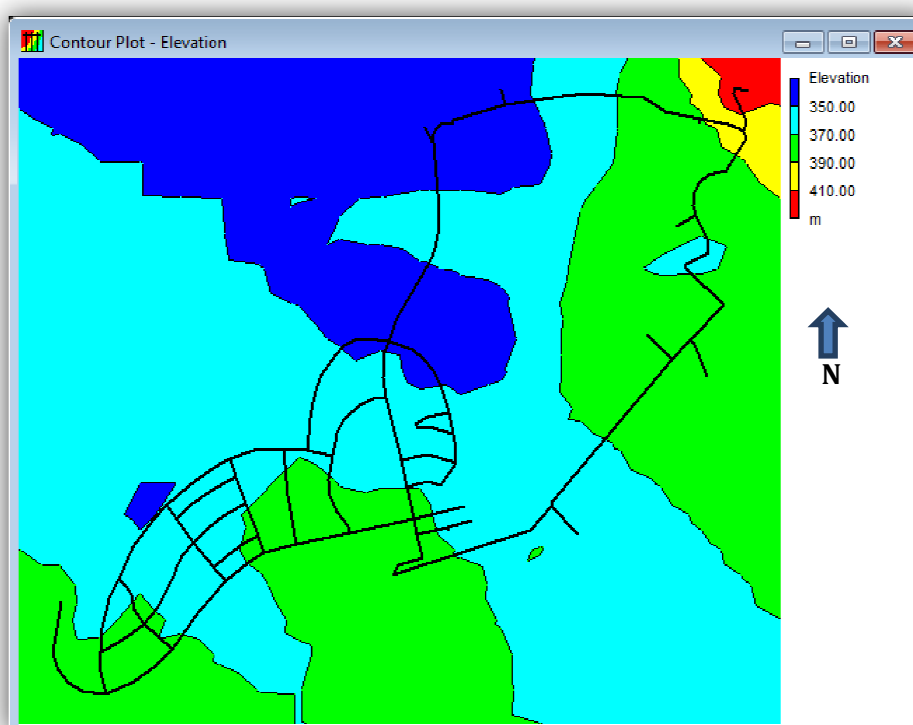


Figura 33 - Gráfico de isolinhas de cotas topográficas do subsistema estudado.

4.5. Construção do modelo da rede existente no *software* Epanet

4.5.1. Introdução

A construção do modelo da rede existente, do subsistema de abastecimento de água da Costeira, foi concebida através do *software* Epanet 2.0. O Epanet 2.0 é um *software* de programação de modelação e análise de redes de abastecimento, atualmente bastante usado pelas comunidades científicas e entidades gestoras. Este *software* está apto a desenvolver comportamentos hidráulicos e de qualidade da água, em simulações de tempo alargado. O *software* Epanet 2.0 tem uma interface intuitiva e empírica e está totalmente disponível, via web, de forma gratuita no site: <http://www2.epa.gov/water-research/epanet>.

4.5.2. Base de construção do modelo

Os Serviços Municipalizados de Castelo Branco têm um cadastro da rede de abastecimento de água, construído no *software* Sistemas de Informação Geográfica de infraestruturas (*infraSIG*), este programa é uma solução desenvolvida pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) que se destina especificamente à edição e gestão do cadastro de infraestruturas. Este *software* permite à EG a introdução, edição e manutenção da informação de cadastro, de uma forma fácil e expedita. Incorpora ainda funções de planeamento e de projeto dos sistemas, com a facilidade de exportação da informação para ambientes de modelação hidráulica de redes.

Atualmente os SMCB apenas têm alguns dados das características da rede, para o uso na modelação hidráulica, tais como, o comprimento, altimetria, órgãos de manobra, material e diâmetros das condutas, faltando os ramais de abastecimento de cada cliente e seus consumos, estes últimos geridos pelo setor de faturação da EG.

Aproveitando os dados possíveis, exportou-se do *infraSIG* a rede existente para a extensão **INP* do Epanet, tendo de seguida sido introduzidos manualmente no Epanet os consumos e padrões para cada nó, obtidos no setor de faturação de clientes e telemetria dos SMCB.

De referir que neste estudo optou-se por usar um tempo de modelação de uma semana, início às 00:00 horas de segunda-feira e término às 23:45 horas de domingo, num total de 168 horas, para obter uma amostra mais significativa da modelação dos parâmetros de qualidade de água: cloro residual e tempo de percurso.

4.5.3. Consumos gerais

Como referido no ponto 4.3, optou-se apenas por estudar mais pormenorizadamente os consumos de cada cliente na rede de distribuição de água, da zona industrial da cidade de Castelo Branco, ZMC ZIN e ZMC ZIS, e os consumos totais de entrada de cada ZMC ao longo das condutas distribuidoras principais desde o reservatório da Costeira. Para isso usaram-se os consumos totalizadores, adquiridos dos caudalímetros a montante de cada ZMC (Tabela 2 e Tabela 3), e os consumos de cada cliente da ZMC ZIN e ZMC ZIS, obtidos do sistema de faturação de clientes dos SMCB. Ainda em relação aos consumos, por se saber que existe um grande consumidor na zona industrial, este foi introduzido à parte, com os valores de consumo e padrão obtido no seu contador, que tem medição registada informaticamente de 15 em 15 minutos (Tabela 2).

Tabela 2 - Excerto de alguns consumos obtidos nos caudalímetros de cada ZMC de 15 em 15 minutos.

Day	Time	ne linha	Flow cum/hr																													
			ZMCGranjaP ark		%		ZMCValongo		%		ZMCOpipa		%		ZMCEntrecaminhos		%		ZNCCardosa		%		ZMCTseca		%		Gcliente		%		ZMCGranj	
			m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s	m3/h	l/s		
Segunda-feira	10-3-14 0:00	1	6.80	1.889	0.62	7.60	2.111	0.67	2.32	0.644	0.56	6.80	1.889	0.71	1.92	0.533	1.06	0.08	0.022	0.06	2.08	0.578	0.16	9.20	2.5							
	10-3-14 0:15	2	5.60	1.556	0.51	6.00	1.667	0.53	2.04	0.567	0.49	6.40	1.778	0.67	1.92	0.533	1.06	0.16	0.044	0.13	7.12	1.978	0.55	7.60	2.1							
	10-3-14 0:30	3	6.80	1.889	0.62	5.60	1.556	0.49	2.72	0.756	0.65	4.00	1.111	0.42	1.96	0.544	1.09	0.12	0.033	0.09	2.92	0.811	0.23	8.00	2.2							
	10-3-14 0:45	4	4.40	1.222	0.40	5.20	1.444	0.46	1.72	0.478	0.41	4.40	1.222	0.46	2.16	0.600	1.20	0.24	0.067	0.19	1.92	0.533	0.15	6.40	1.7							
	10-3-14 1:00	5	6.00	1.667	0.54	4.40	1.222	0.39	1.36	0.378	0.33	5.20	1.444	0.55	2.16	0.600	1.20	0.56	0.156	0.44	2.76	0.767	0.21	7.60	2.1							
	10-3-14 1:15	6	5.20	1.444	0.47	4.40	1.222	0.39	1.20	0.333	0.29	4.00	1.111	0.42	1.92	0.533	1.06	0.32	0.089	0.25	4.12	1.144	0.32	6.80	1.8							
	10-3-14 1:30	7	4.40	1.222	0.40	4.00	1.111	0.35	1.04	0.289	0.25	3.20	0.889	0.34	1.80	0.500	1.00	0.16	0.044	0.13	3.48	0.967	0.27	5.20	1.4							
	10-3-14 1:45	8	3.20	0.889	0.29	4.00	1.111	0.35	1.48	0.411	0.36	2.80	0.778	0.29	1.88	0.522	1.04	0.20	0.056	0.16	12.00	3.333	0.93	5.20	1.4							
	10-3-14 2:00	9	3.60	1.000	0.33	3.60	1.000	0.32	2.08	0.578	0.50	2.40	0.667	0.25	1.84	0.511	1.02	0.08	0.022	0.06	17.32	4.811	1.34	4.40	1.2							
	10-3-14 2:15	10	3.60	1.000	0.33	3.60	1.000	0.32	1.12	0.311	0.27	2.00	0.556	0.21	2.12	0.589	1.17	0.12	0.033	0.09	11.48	3.189	0.89	4.00	1.1							
	10-3-14 2:30	11	2.40	0.667	0.22	3.60	1.000	0.32	1.52	0.422	0.36	2.00	0.556	0.21	2.00	0.556	1.11	0.12	0.033	0.09	20.76	5.767	1.60	4.40	1.2							
	10-3-14 2:45	12	2.40	0.667	0.22	3.60	1.000	0.32	1.84	0.511	0.44	2.00	0.556	0.21	2.12	0.589	1.17	0.12	0.033	0.09	12.92	3.589	1.00	2.80	0.7							
	10-3-14 3:00	13	1.20	0.333	0.11	3.20	0.889	0.28	1.00	0.278	0.24	2.80	0.778	0.29	1.96	0.544	1.09	0.16	0.044	0.13	11.76	3.267	0.91	3.60	1.0							
	10-3-14 3:15	14	0.80	0.222	0.07	3.20	0.889	0.28	0.72	0.200	0.17	1.60	0.444	0.17	2.00	0.556	1.11	0.08	0.022	0.06	21.80	6.056	1.68	3.60	1.0							
	10-3-14 3:30	15	1.20	0.333	0.11	3.20	0.889	0.28	0.84	0.233	0.20	1.20	0.333	0.13	1.96	0.544	1.09	0.04	0.011	0.03	20.60	5.722	1.59	3.60	1.0							
	10-3-14 3:45	16	2.00	0.556	0.18	3.20	0.889	0.28	0.76	0.211	0.18	1.60	0.444	0.17	1.96	0.544	1.09	0.16	0.044	0.13	22.52	6.256	1.74	3.60	1.0							
	10-3-14 4:00	17	2.00	0.556	0.18	3.20	0.889	0.28	1.36	0.378	0.33	1.20	0.333	0.13	2.24	0.622	1.24	0.20	0.056	0.16	23.64	6.567	1.82	3.60	1.0							
	10-3-14 4:15	18	2.80	0.778	0.25	3.60	1.000	0.32	0.64	0.178	0.15	1.60	0.444	0.17	1.92	0.533	1.06	0.16	0.044	0.13	24.08	6.689	1.86	3.20	0.8							
	10-3-14 4:30	19	2.00	0.556	0.18	3.20	0.889	0.28	0.76	0.211	0.18	1.20	0.333	0.13	2.12	0.589	1.17	0.04	0.011	0.03	20.64	5.733	1.59	4.00	1.1							
	10-3-14 4:45	20	3.60	1.000	0.33	3.20	0.889	0.28	0.84	0.233	0.20	0.80	0.222	0.08	2.00	0.556	1.11	0.12	0.033	0.09	20.68	5.744	1.60	3.60	1.0							
	10-3-14 5:00	21	3.60	1.000	0.33	3.20	0.889	0.28	0.76	0.211	0.18	1.60	0.444	0.17	1.92	0.533	1.06	0.12	0.033	0.09	20.40	5.667	1.57	4.00	1.1							
	10-3-14 5:15	22	2.00	0.556	0.18	4.00	1.111	0.35	1.76	0.489	0.42	1.20	0.333	0.13	2.28	0.633	1.26	0.16	0.044	0.13	20.84	5.789	1.61	4.00	1.1							
	10-3-14 5:30	23	2.40	0.667	0.22	4.80	1.333	0.42	2.00	0.556	0.48	2.00	0.556	0.21	2.08	0.578	1.15	0.20	0.056	0.16	31.36	8.711	2.42	4.00	1.1							
	10-3-14 5:45	24	1.20	0.333	0.11	4.00	1.111	0.35	1.60	0.444	0.38	3.20	0.889	0.34	2.56	0.711	1.43	0.12	0.033	0.09	24.28	6.767	1.88	4.00	1.1							

Tabela 3 - Consumo base das ZMC e grande cliente.

Nome de ZMC	Consumo base [l/s]
ZMC Entrecaminhos	2.995
ZMC Granja	3.936
ZMC Granja Park	5.065
ZMC Qª da Pipa	3.199
ZMC Valongo	2.570
ZMC Cardosa	0.369
ZMC T Seca	0.386
ZMC ZIN	12.747
ZMC ZIS	5.764
Grande Cliente	3.684

Com os consumos de cada ZMC, introduziu-se no modelo os dados relativos ao consumo médio base (Figura 34), e padrão de consumo (Figura 35), no nó a montante de cada ZMC.

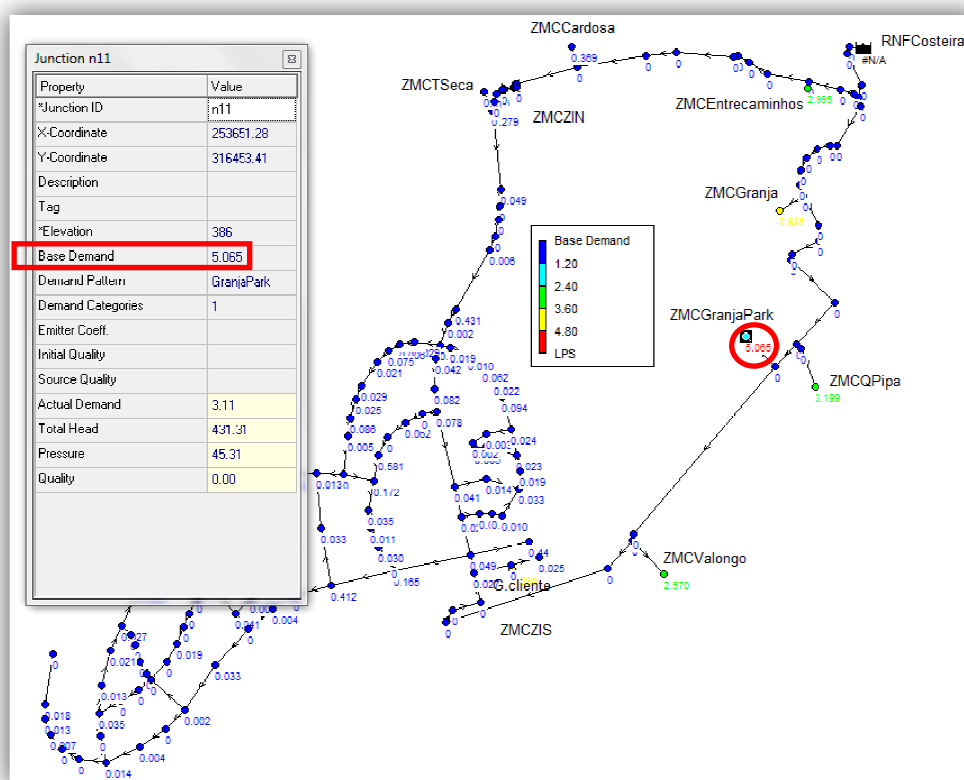


Figura 34 - Consumo base da ZMC Granja Park.

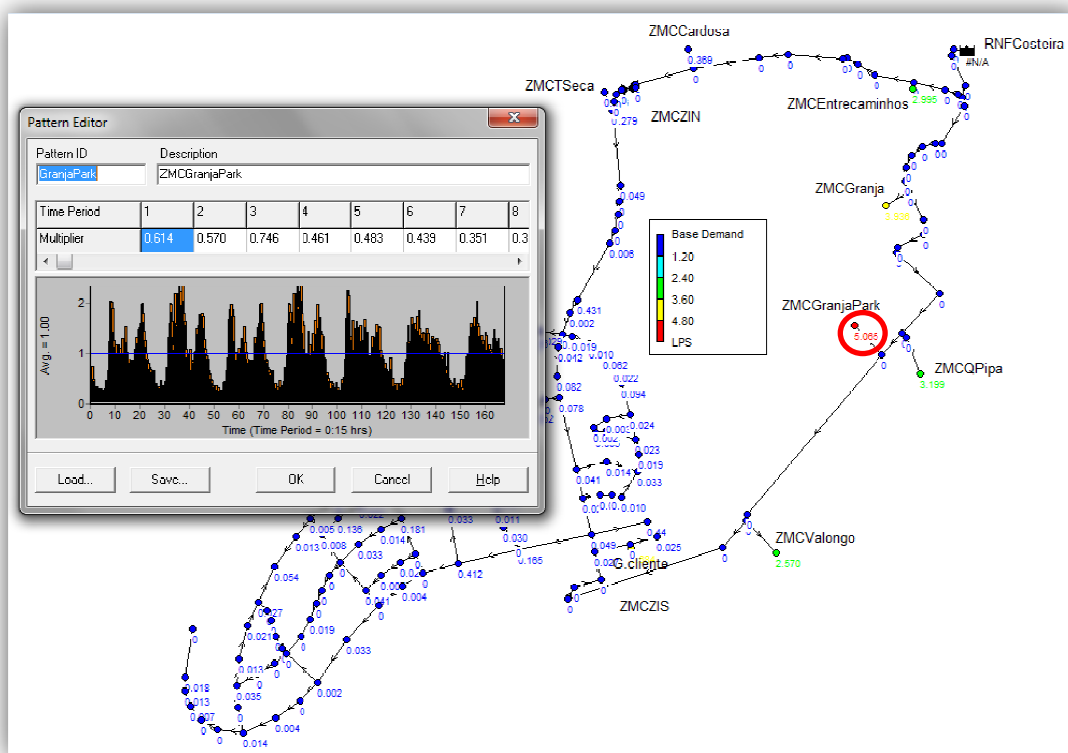


Figura 35 - Padrão de consumo da ZMC Granja Park.

Já em relação às ZMC da zona industrial, para a colocação dos consumos base nos nós da rede de distribuição, foi necessário o apuramento dos volumes de água faturados aos clientes, pelos diferentes ramais. Com os valores de consumo fornecidos pelo setor de faturação da EG, distribuíram-se pelos nós de acordo com a metodologia de Alegre (1986) e Coelho et al. (2006) (Figura 36)(Tabela 4).

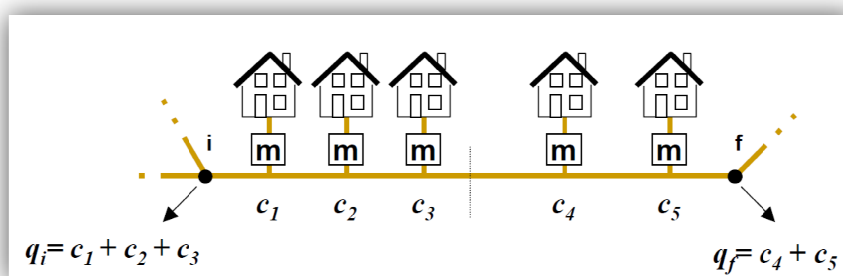


Figura 36 - Metodologia da distribuição de consumos base pelos nós da rede.

Tabela 4 - Exemplo dos clientes afetos ao nó n87 pela metodologia Alegre (1986) e Coelho et al. (2006).

Nome	Consumo l/s	Nó afetado	Valor total consumido no nó l/s
J.V.CAR-COMERCIO VEICULOS,LDA.	0,002	n87	0,078
C.M.C.B. Pavilhão Hormigo	0,054	n87	

Com os consumos base distribuídos geograficamente pelos nós da rede de distribuição da zona industrial, por exemplo nó n87 (Figura 37), carregou-se o seu padrão de consumo de acordo com a sua localização, ZMC ZIN (Figura 38) ou ZMC ZIS (Figura 39).

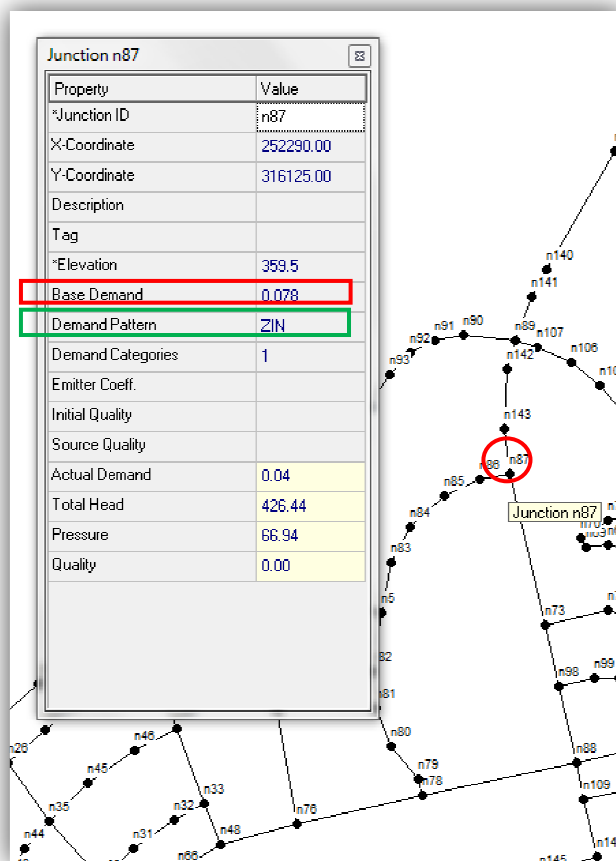


Figura 37 - Exemplo do consumo base e padrão de consumo do nó n87.

O padrão de consumo é constituído por valores adimensionais que, multiplicados pelos consumos-base de cada nó introduzido, traduzem a simulação em período alargado, obtido pelo medidor a montante da ZMC em estudo, também designado por simulação dinâmica.

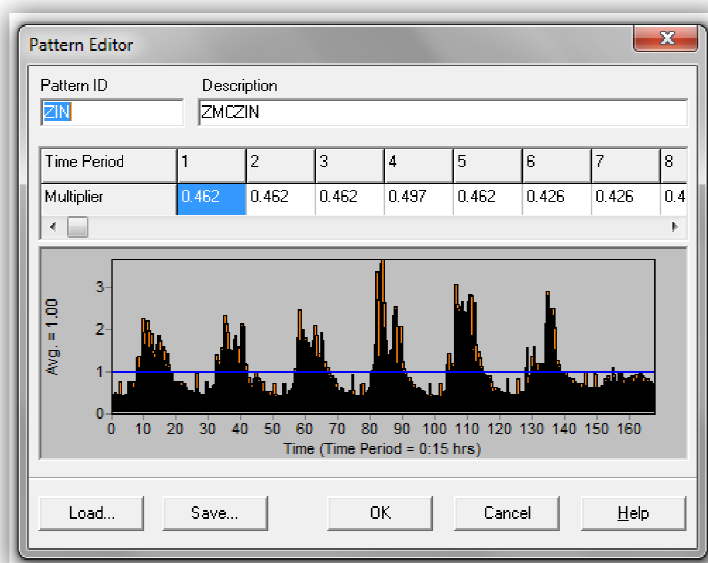


Figura 38 - Padrão de consumo dos clientes da ZMC ZIN.

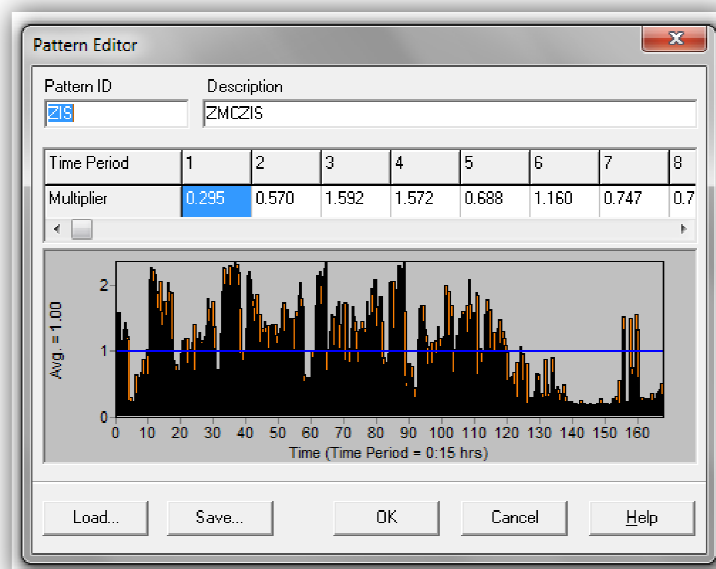


Figura 39 - Padrão de consumo dos clientes da ZMC ZIS.

Depois de correr o programa, com todos os dados introduzidos, o modelo hidráulico ficou construído (Figura 40).

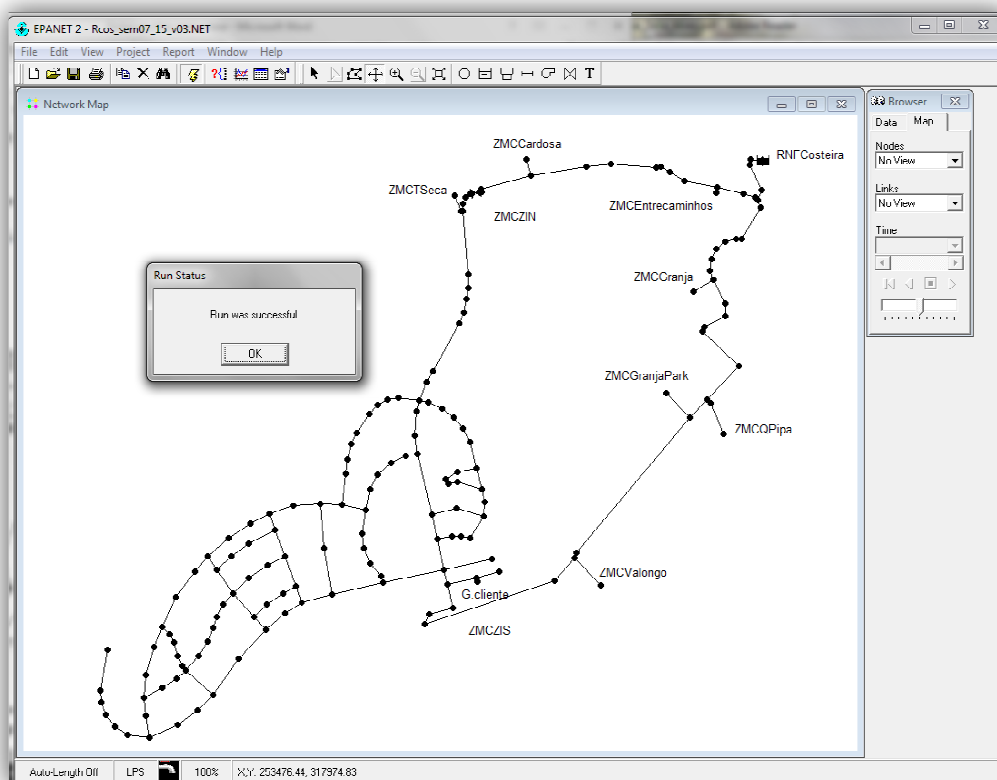


Figura 40 - Modelo hidráulico construído.

4.5.4. Análise dos caudais e pressões obtidos do modelo

Para verificarmos o comportamento hidráulico da zona industrial, analisou-se o seu caudal e pressão ao longo de uma semana. Estes valores foram retirados de caudalímetros e registos de pressão, localizados à entrada da zona industrial, como mostra a Figura 41.



Figura 41 - Espaço de medição e controlo da ZIS (troço t163) e ZIN (troço t141).

Como se observa na ZMC ZIN o consumo diário tem valores altos durante o dia, advindos do período laboral diurno de uma zona industrial, e valores baixos durante a noite, devido à interrupção laboral noturna (Figura 42).

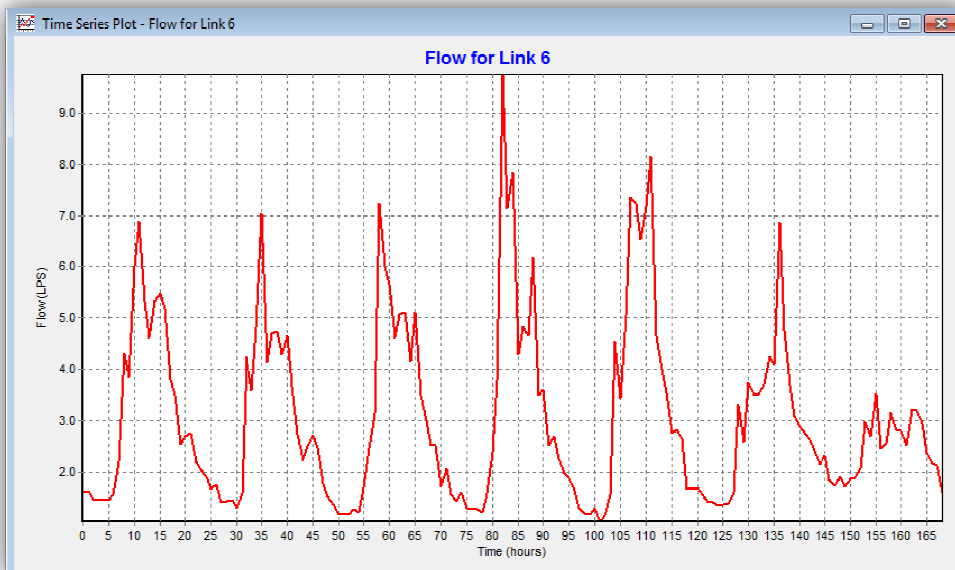


Figura 42 - Caudal da ZMC ZIN no troço t141, ao longo da semana em estudo.

Em relação à pressão, esta tem uma variação máxima de cerca de 0,5 metros coluna de água (m c.a.) entre as 08:00 e 13:00 horas do terceiro dia, hora da semana em que se verifica o maior valor de caudal, cerca de 10 l/s. É de referir que a variação de caudal e pressão ao sexto e sétimo dia, sábado e domingo, é menor dado que a maior parte do tecido fabril não funciona nesse período da semana. Outro dado que se observa é o valor alto de pressão observado à entrada da ZMC ZIN, quase 40 m c.a. acima do regulamentado pela alínea c) do n.º1 do art.º 21 do RGSPDADAR (Figura 43).

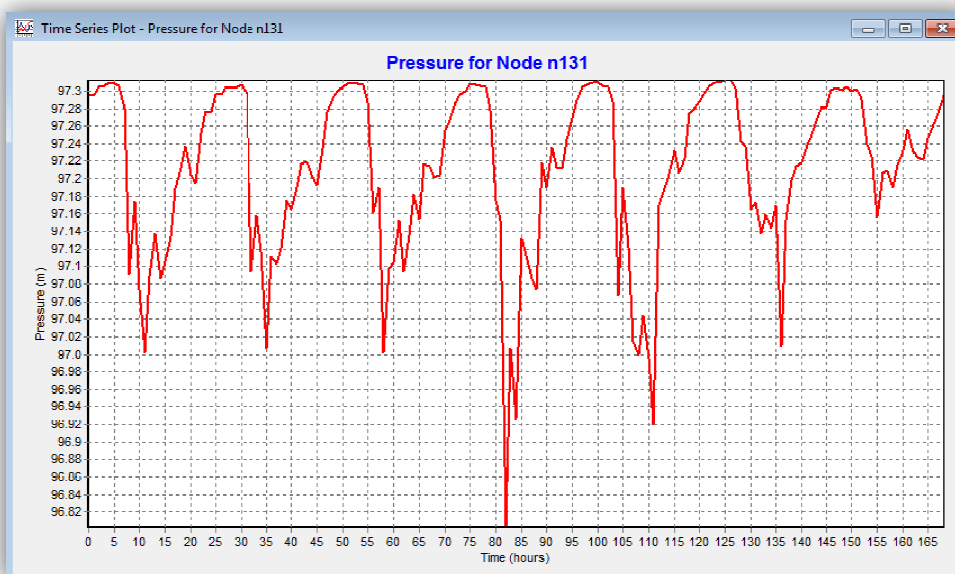


Figura 43 - Pressão da ZMC ZIN no nó n131 ao longo da semana em estudo.

Como se observa na ZMC ZIS, o padrão de consumo não tem uma diferenciação entre o período diurno e noturno, o que significa que, independentemente da hora, existe consumo consoante as necessidades do tecido fabril (Figura 44). Verificou-se que esta situação se deve apenas ao consumo do grande cliente existente na ZMC ZIS, que influencia todo o padrão de consumo da mesma, aspeto que será focado mais adiante.

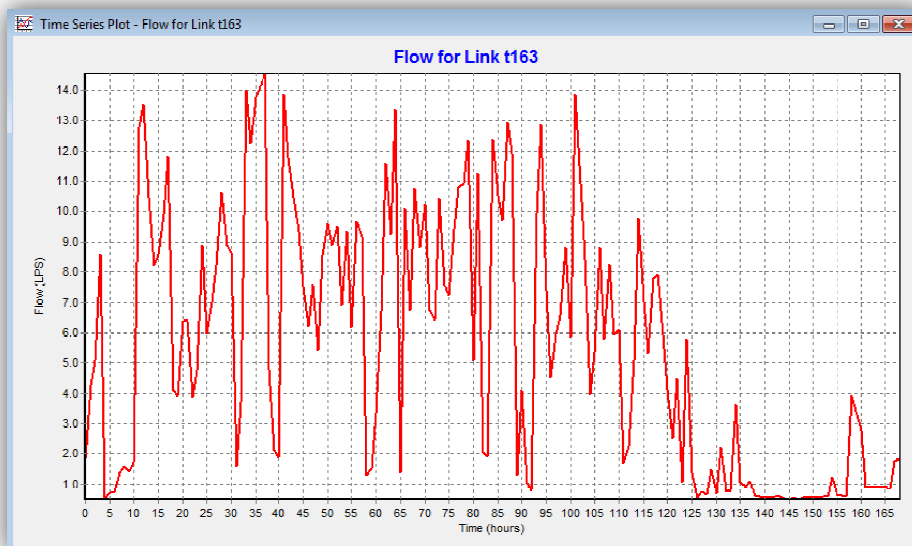


Figura 44 - Caudal da ZMC ZIS no troço t163 ao longo da semana em estudo.

Em relação à pressão, observa-se que esta tem pouca variação, tendo atingido no máximo o valor de 0,2 m c.a. entre as 11:00 e 16:00 horas do segundo dia, hora da maior passagem de caudal 14,5 l/s. Também se observa que os valores, presentes na Figura 45, têm uma oscilação de pressões inferiores a 30 m c.a., cumprindo assim a alínea c) do n.º1 do art.º1 do RGSPDADAR.

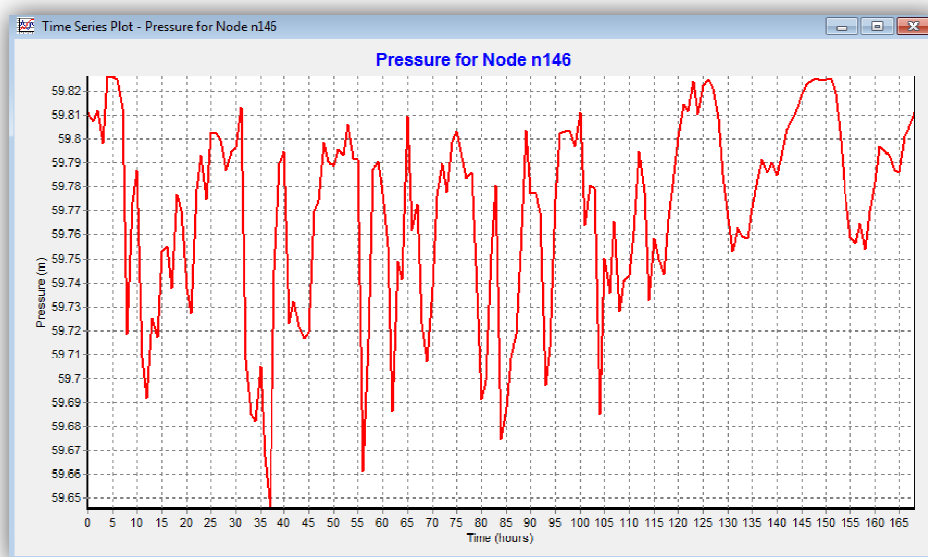


Figura 45 - Pressão da ZMC ZIS no nó n146 ao longo da semana em estudo.

Em relação ao grande cliente existente na área abrangida pela ZMC ZIS, já referido anteriormente, foi memorizada a sua medição de caudal, com um registo de 15 em 15 minutos, no seu contador com um equipamento de telemetria, onde se verificou no período em estudo, o consumo representado na Figura 46, e que comparando com o caudal de entrada da ZMC ZIS (Figura 47), se verifica que este grande cliente é o responsável pelo padrão de caudal diário da ZMC ZIS.

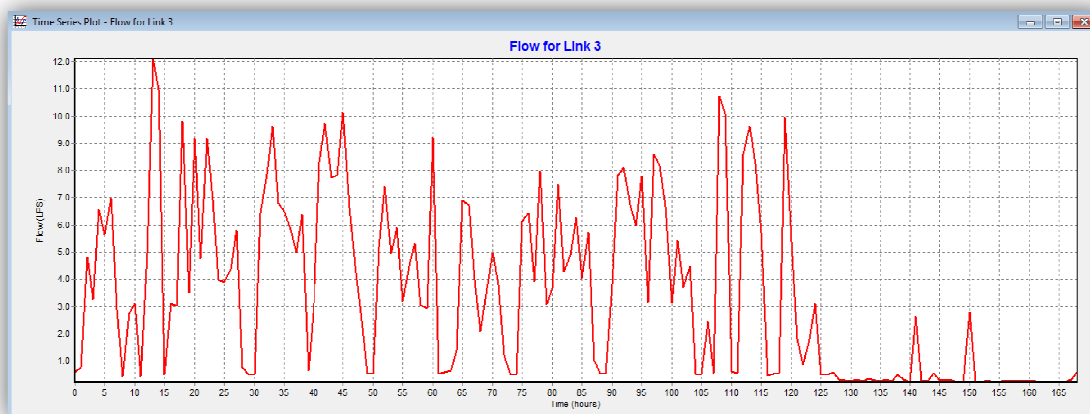


Figura 46 - Consumo do grande cliente ao longo da semana em estudo.

Como se observa através da sobreposição de caudais da Figura 47, o padrão de caudal da ZMC ZIS é influenciado em grande escala pelo consumo do grande cliente e o seu padrão de caudal não tem um modelo definido, esta situação deve-se ao grande consumidor ter uma atividade laboral tanto diurna, como noturna, consumindo água de acordo com as suas necessidades.

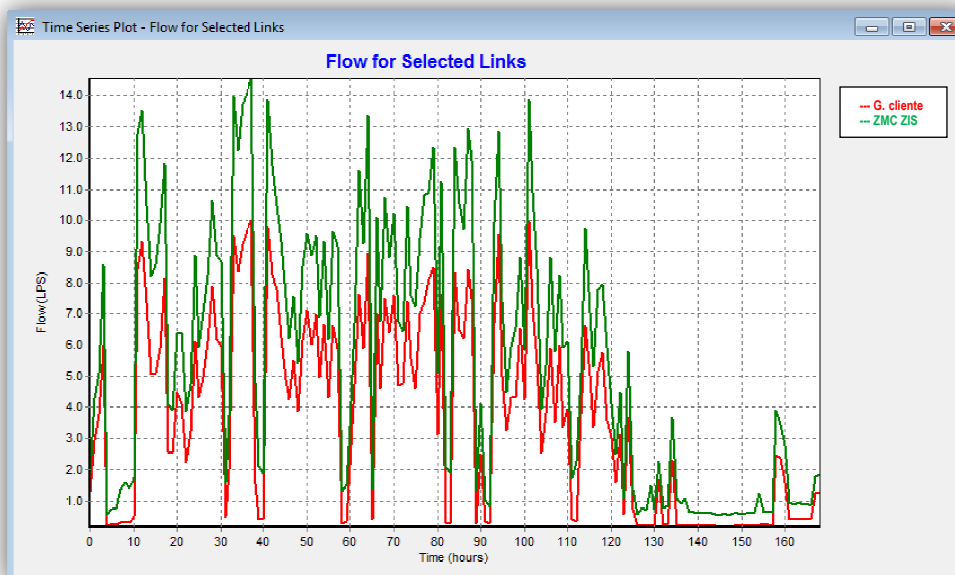


Figura 47 - Sobreposição do caudal de entrada entre a ZMC ZIS (verde) e o grande cliente (vermelho).

De referir que, na zona industrial, durante a semana em estudo, se verificou uma redução de cerca de 85% de consumo aos sábados e domingos, devido ao período de descanso das empresas.

4.5.5. Velocidades observadas no modelo estudado

Quanto à velocidade da água no modelo estudado, na zona industrial, observou-se que as velocidades máximas de escoamento têm valores baixos, em relação ao seu diâmetro (Tabela 5 e Figura 48). O que significa que as condutas estão provavelmente sobredimensionadas, devido ao cumprimento do regulamento no que respeita à verificação da situação de incêndio, art.º 18 do RGSPDADAR.

Tabela 5 - Relação de velocidades máximas de escoamento nas condutas à entrada da zona industrial.

Localização	Troço do Epanet	DN interior da conduta (mm)	Hora em que é observada a velocidade máxima (h)	Velocidade máxima observada (m/s)	Velocidade máxima da conduta pelo regulamento (m/s)
Entrada da ZMC ZIN	t141	144,6	82	0,59	0,93
Entrada da ZMC ZIS	t143	200	33	0,45	1,06

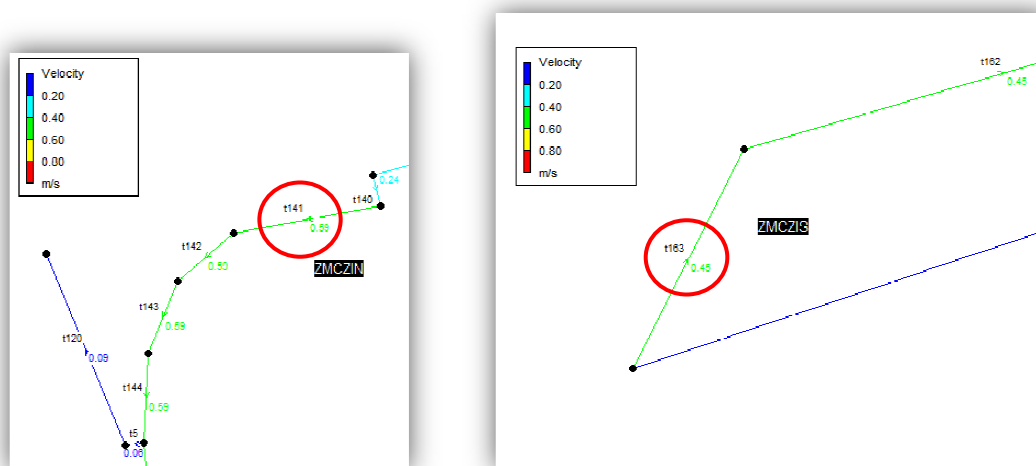


Figura 48 - Velocidades máximas atingidas no troço t141 e t163 das ZMC ZIN e ZIS respetivamente.

4.5.6. Calibração do modelo hidráulico no *software* Epanet

Concluída a construção do modelo hidráulico no *software* Epanet, avançou-se para a sua calibração, ao nível dos parâmetros caudal e pressão. A Figura 49 identifica o tipo e localização dos equipamentos utilizados, para apoio na calibração do modelo em estudo.

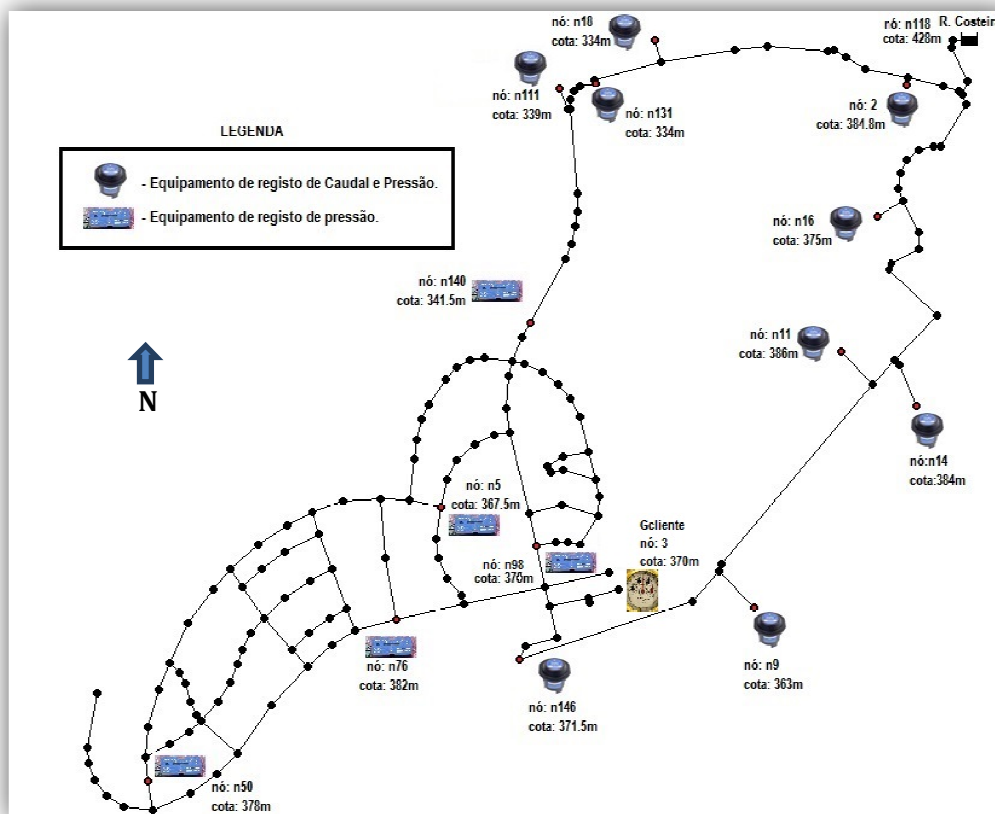


Figura 49 - Localização dos equipamentos de registo de caudal e pressão.

Procedeu-se à elaboração de um ficheiro de texto, com os valores de caudal e pressão que se obtiveram respetivamente dos caudalímetros e registos de pressão. Os equipamentos colocados em campo realizaram uma leitura, em intervalos temporais de 15 minutos, fornecendo dados que, posteriormente, foram introduzidos no modelo. Após este procedimento, está-se em condições de comparar os resultados simulados com os obtidos através das medições de campo (Figura 50 e Figura 51).

Relativamente ao caudal e após a comparação dos valores obtidos através do *software* e medições em campo, verificou-se uma correlação de 100% (Figura 50).



Figura 50 - Comparação dos valores de caudal entre o computador e medição de campo.

Para realizar a calibração do modelo foram utilizados catorze pontos da rede com registos de pressão, ao longo de uma semana no SDA da Costeira.

A comparação de valores obtidos para a pressão entre o *software* e valores reais de campo resultou numa correlação de 100%, verificando-se excelente calibração do modelo (Figura 51).

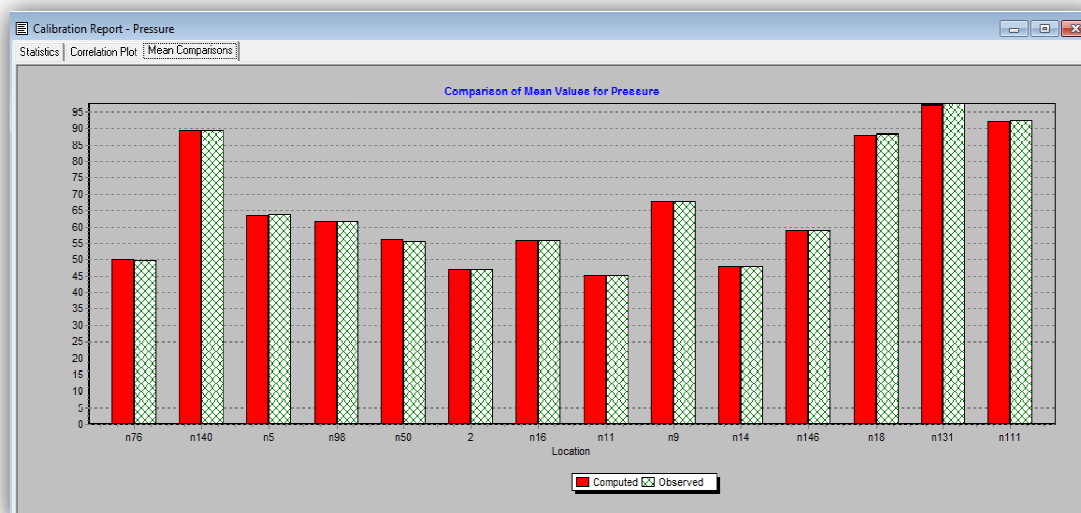


Figura 51 - Comparação dos valores de pressão entre o computador e medição no terreno.

Pelo resultado obtido do modelo construído no *software* Epanet, pode-se afirmar que o mesmo se encontra calibrado hidraulicamente em relação aos parâmetros de caudal e pressão e, assim sendo, está-se em condições de avançar para a construção e calibração do modelo, da qualidade da água, usando valores de cloro residual observados no terreno e em laboratório.

4.5.7. O parâmetro de qualidade da água: cloro residual

Como referido no ponto 3.3, o cloro residual reage com diversas espécies inorgânicas e orgânicas presentes no seio da água, na interface da água com as paredes das tubagens e dos reservatórios. Esta reação provoca um decaimento da sua concentração no espaço e ao longo do tempo. Este fenómeno foi estudado utilizando duas componentes: uma para o decaimento no seio da água (k_b) e outra para o decaimento na parede da tubagem (k_w), ao longo das condutas do subsistema de abastecimento de água da Costeira.

Uma das primeiras situações a aferir foi o padrão de concentração de cloro residual na água, à saída do reservatório da Costeira, onde se verificou alguma oscilação diária, como demonstra a Figura 52. Esta variação diária da concentração de cloro (padrão), à saída do reservatório, irá influenciar naturalmente os valores diários recolhidos nos pontos de amostragem, este facto é muito importante para se poder interpretar a oscilação e desfasamento dos valores do cloro, em todo o sistema.

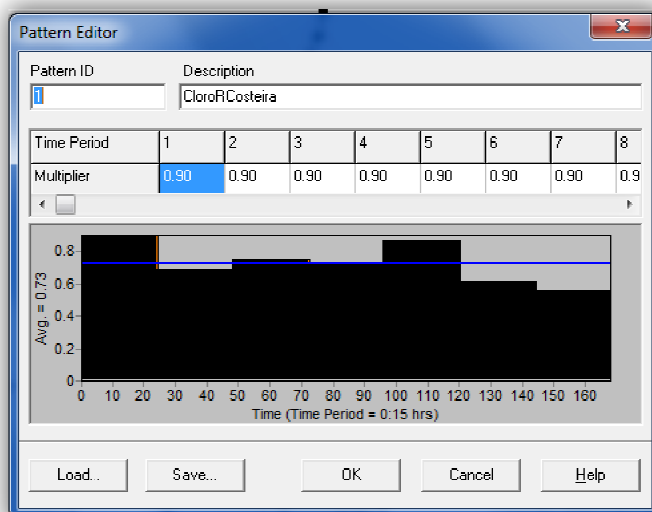


Figura 52 - Padrão da concentração de cloro residual à saída do reservatório da Costeira.

4.5.8. Rastreio da concentração do cloro residual no subsistema de abastecimento de água da Costeira.

No primeiro rastreio da concentração de cloro residual, que se realizou em campo no subsistema de abastecimento de água, verificou-se que existia um ponto com um valor anormalmente baixo (Figura 53).

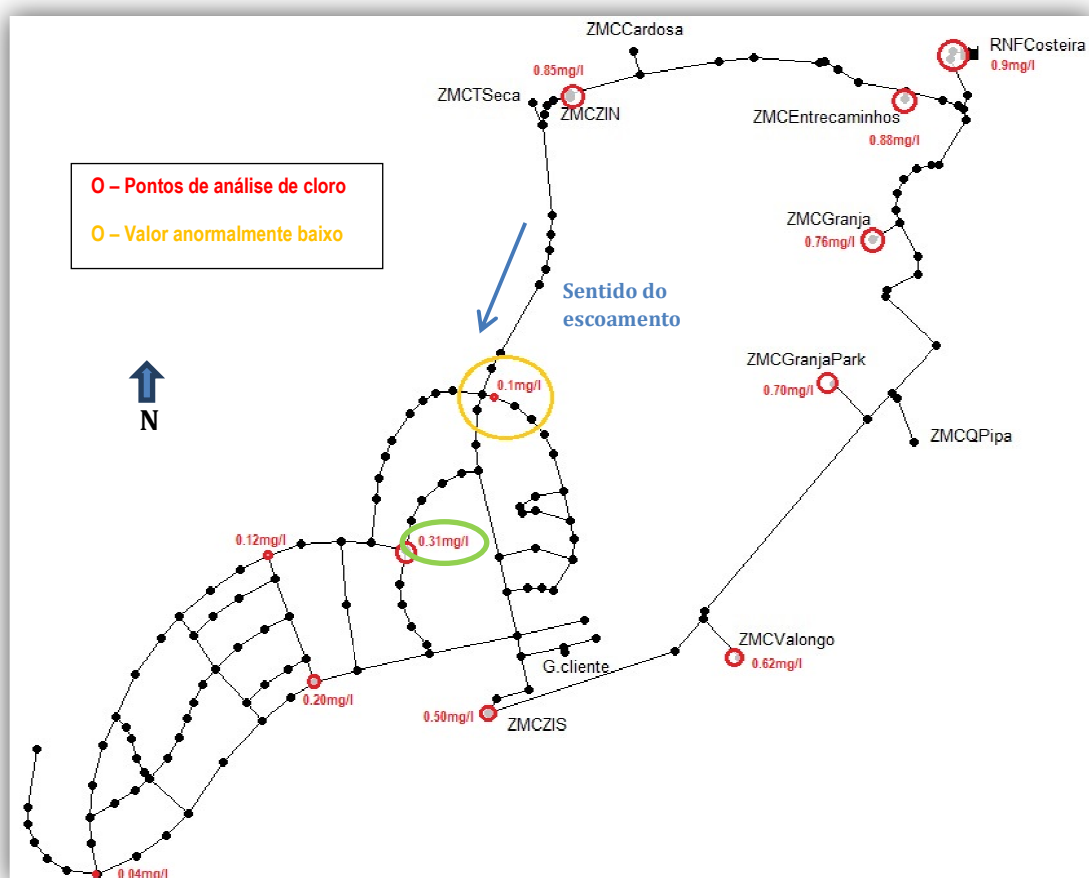


Figura 53 - 1ª análise em campo da concentração de cloro residual.

A concentração de cloro na zona assinalada a amarelo da Figura 53, apresentava um valor “estranho” por ser anormalmente baixo (0,1 mg/l), ou seja, mostrava uma concentração inferior à zona a jusante do sentido de escoamento com o valor de 0,31 mg/l (zona assinalada a verde na Figura 53). Após inspeção no terreno, verificou-se que esta situação se devia à existência de uma válvula de seccionamento fechada, por esquecimento dos funcionários da EG (Figura 54).

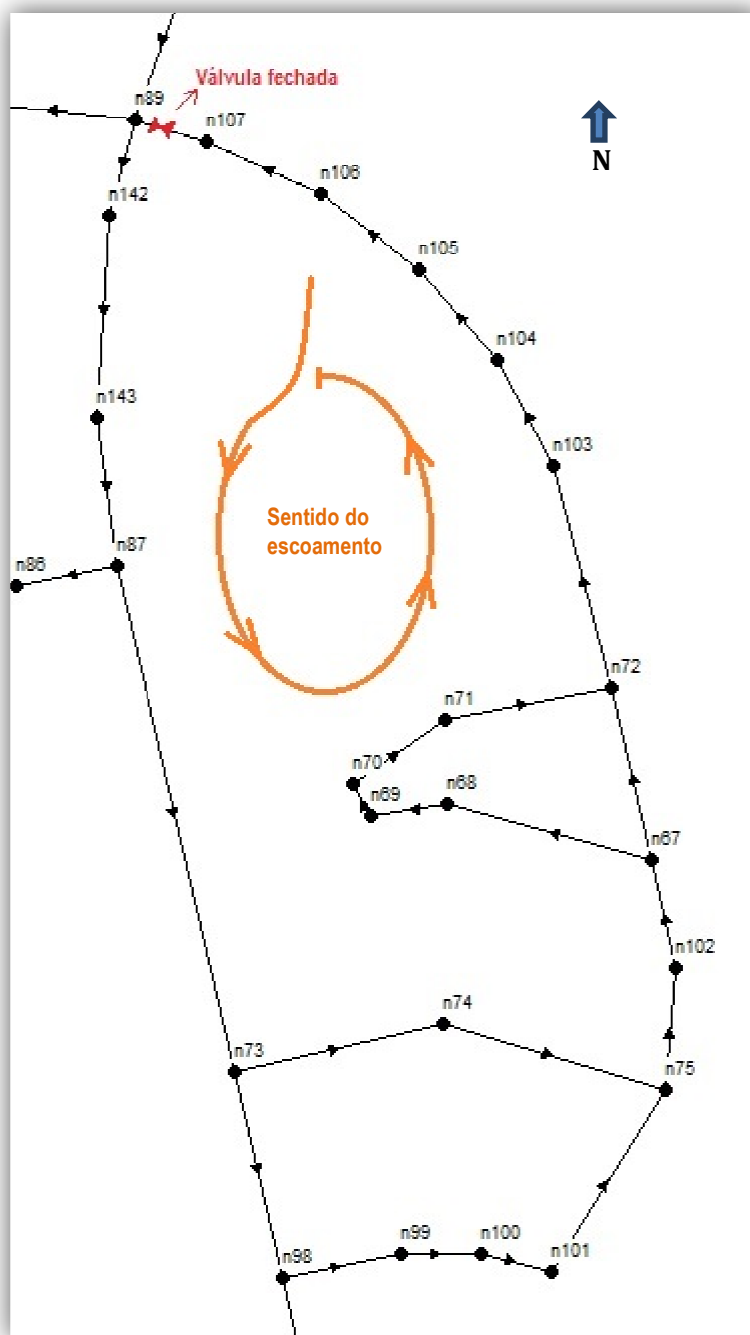


Figura 54 - Válvula de seccionamento fechada.

Esta é uma situação que pode acidentalmente ocorrer na operação e manutenção diária de uma EG, na utilização das válvulas de seccionamento. As solicitações diárias e o enorme fluxo de trabalho das várias equipas operacionais podem ocasionar, por vezes, o esquecimento de válvulas fechadas, o que dá origem à criação de zonas ramificadas, em detrimento da rede emalhada e conseqüente diminuição do cloro existente, nas pontas da rede. Depois de se ter aberto a válvula na totalidade, voltou-se a analisar a concentração de cloro residual no nó n107, passando este a ter um valor de 0,65 mg/l, visto como normal. Assim, o confronto dos dados obtidos através de simulação com os valores recolhidos no terreno permite detetar situações anómalas.

Desta forma, através do cruzamento de dados, advindos da análise das colheitas realizadas no campo, com um *software* de modelação, há um incremento na melhoria da gestão e verificação dos eventuais esquecimentos de válvulas fechadas, pelas equipas de operação e manutenção. Esta ação, por parte da EG, deveria ser sempre realizada aquando de situações de operação e manutenção, na rede de abastecimento de água.

4.5.9. Introdução da constante de reação kb no modelo

Para a introdução da constante kb no modelo, foram recolhidas amostras de água para a determinação da constante, junto ao nó n118, localizado na conduta distribuidora principal de saída do Reservatório da Costeira.

Explica-se de seguida a sequência do método utilizado, para determinação do kb:

- 1º. Colheram-se várias amostras de água, da conduta de saída do reservatório da Costeira, para recipientes previamente tratados;
- 2º. Ainda no mesmo local, determinou-se o valor de cloro (Cl) pelo método do N-Dietil-p-fenilendiamina (DPD) e mediu-se a temperatura da água;
- 3º. Transportaram-se em mala térmica, todas as colheitas realizadas, para laboratório acreditado (<http://www.aquimisa.pt/>);
- 4º. Já em laboratório, incubaram-se todos os frascos à temperatura idêntica à da água do Subsistema de Distribuição de Água (SDA) da Costeira;
- 5º. Durante 7 dias, duas vezes por dia, retiraram-se 2 frascos da incubadora e determinou-se o valor de cloro;
- 6º. Com os resultados obtidos verificou-se que o modelo cinético, que melhor descreveu a evolução temporal do cloro, é de ordem 1;

(Procedimento de acordo com Vieira et al., 2005; Vieira e Coelho, 2000; Hass e Karra, 1984).

Os resultados obtidos foram os que se apresentam nas Figura 55 e Figura 56.

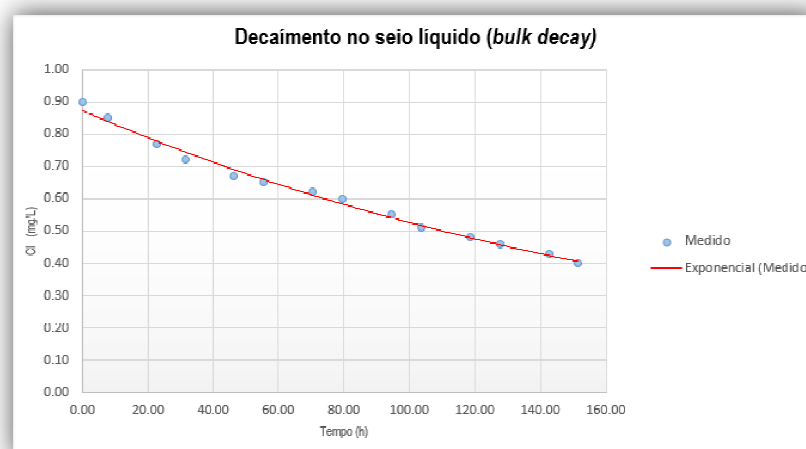


Figura 55 - Decaimento no seio líquido kb.

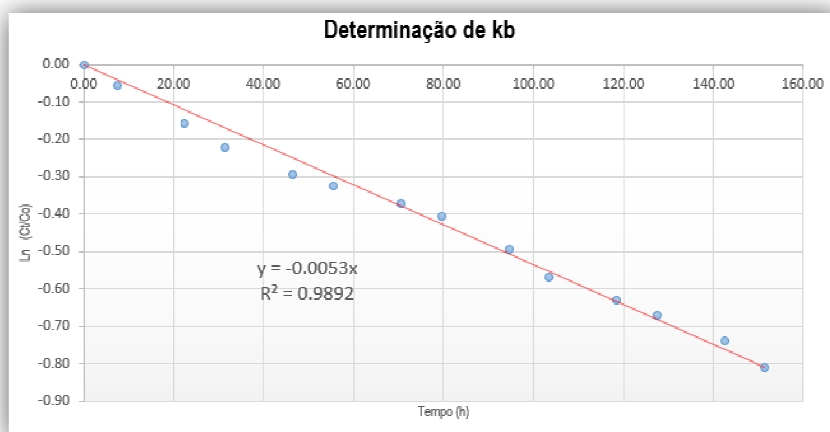


Figura 56 - Gráfico de apoio para determinação do valor de kb.

Neste gráfico de dispersão descreve-se a diminuição da concentração de cloro em mg/l, ao longo de sete dias seguidos em laboratório acreditado.

Tendo sido obtido o valor da constante de decaimento no seio do escoamento (kb) de:

$$y = -0,0053x$$

$$y = -0,0053h^{-1} \times 24h$$

$$y = -0,1272dia^{-1}$$

Com este resultado já podemos introduzir no *software* Epanet o valor do coeficiente de reação da água, no seio da tubagem de kb=-0,1272.

Na mesma semana de registo de caudais e pressões, foram realizadas medições da concentração de cloro residual em campo, em pontos estratégicos, conforme Figura 57.

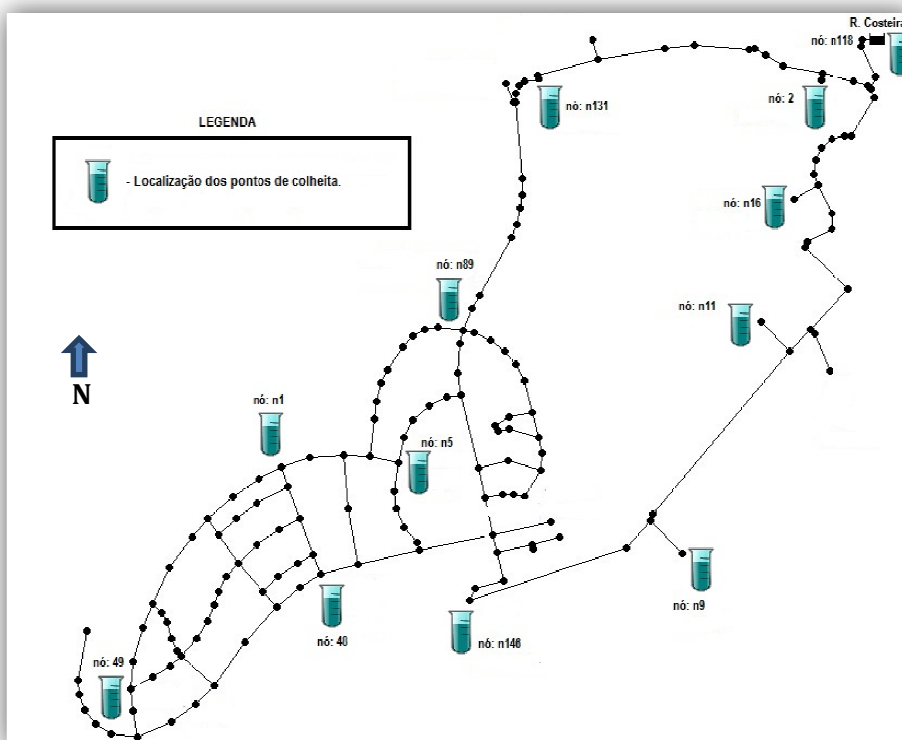


Figura 57 - Localização dos pontos de amostragem de Cl no terreno.

Esta distribuição geográfica dos pontos de colheita, ao longo do subsistema de abastecimento de água da Costeira, foi escolhida com o intuito de verificar o decaimento de cloro ao longo das condutas, em pontos mais ou menos equidistantes entre si. Também é de referir que os pontos onde foram realizadas as colheitas, estão ligados diretamente às condutas.

Os valores obtidos foram os indicados na tabela seguinte.

Tabela 6 - Valores de concentração de cloro residual obtidos na semana 7 de 2015.

BOLETIM DE REGISTOS DE AMOSTRAGEM														
N.º EP/NET	dia1		dia2		dia3		dia4		dia5		dia6		dia7	
	Hora	Cloro Livre (Cl2) [mg/L]	Hora	Cloro Livre (Cl2) [mg/L]	Hora	Cloro Livre (Cl2) [mg/L]	Hora	Cloro Livre (Cl2) [mg/L]	Hora	Cloro Livre (Cl2) [mg/L]	Hora	Cloro Livre (Cl2) [mg/L]	Hora	Cloro Livre (Cl2) [mg/L]
n118	10:00	0,90	38:15:00	0,70	62:15:00	0,75	86:25:00	0,72	110:25:00	0,87	129:15:00	0,61	154:00:00	0,56
2	12:00	0,88	38:25:00	0,67	62:20:00	0,72	86:30:00	0,70	110:30:00	0,85	129:25:00	0,60	154:10:00	0,55
n131	12:10	0,85	38:35:00	0,63	62:30:00	0,72	86:40:00	0,68	110:35:00	0,83	129:35:00	0,57	154:20:00	0,53
n16	11:50	0,76	40:40:00	0,67	64:10:00	0,64	87:10:00	0,73	111:10:00	0,71	130:55:00	0,70	155:45:00	0,66
n11	11:40	0,70	40:30:00	0,65	64:05:00	0,63	87:00:00	0,70	111:00:00	0,59	130:45:00	0,67	155:35:00	0,62
n9	11:25	0,62	40:15:00	0,60	63:50:00	0,59	86:50:00	0,67	110:55:00	0,55	130:30:00	0,64	155:30:00	0,56
n146	11:15	0,50	40:10:00	0,53	63:40:00	0,46	86:45:00	0,50	110:45:00	0,50	130:35:00	0,43	154:35:00	0,35
n89	11:00	0,65	38:50:00	0,53	62:45:00	0,65	87:30:00	0,60	111:20:00	0,70	129:45:00	0,48	154:30:00	0,35
n5	10:55	0,31	39:20:00	0,48	63:10:00	0,43	87:20:00	0,39	111:25:00	0,49	129:50:00	0,30	154:45:00	0,32
n1	10:30	0,12	39:35:00	0,29	63:15:00	0,26	87:45:00	0,31	111:30:00	0,26	130:00:00	0,20	155:00:00	0,13
n48	10:35	0,20	39:40:00	0,41	63:20:00	0,40	87:40:00	0,42	111:35:00	0,41	130:15:00	0,35	155:10:00	0,26
n49	10:40	0,04	40:00:00	0,00	63:25:00	0,00	87:55:00	0,00	111:40:00	0,00	130:05:00	0,02	155:15:00	0,00

Analisando-se a Figura 58, comparando-se os resultados simulados com os valores obtidos em campo, constata-se que os resultados são muito idênticos nos pontos de colheita mais próximos do reservatório, e existem valores com alguma diferença nos pontos de colheita, mais afastados do reservatório. O valor da correlação obtido foi de 91,2%.

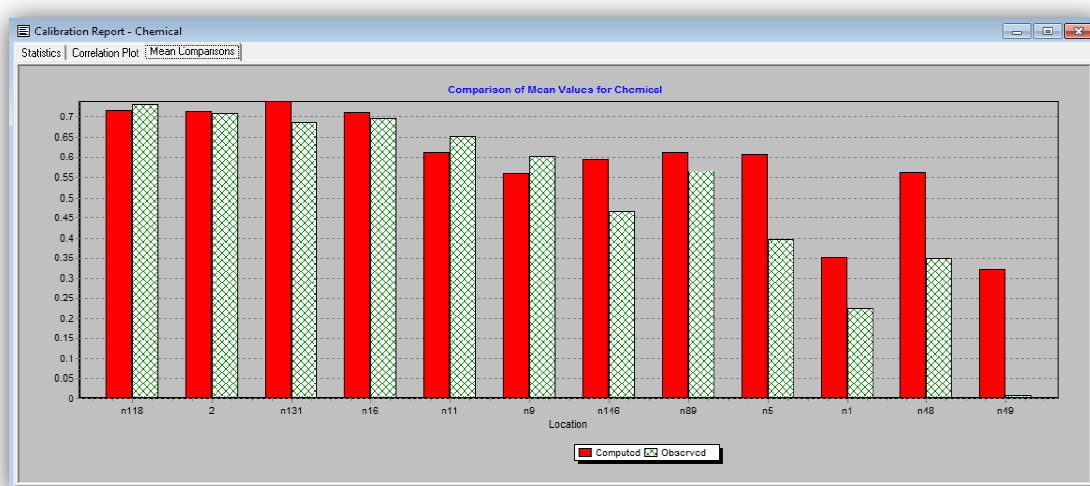


Figura 58 - Comparação entre valores de concentração de cloro residual simulados e medições de campo.

4.5.10. Introdução da constante de reação k_w no modelo

4.5.10.1. Breve introdução

Para uma determinação precisa do parâmetro do decaimento k_w , devido às reações que ocorrem na interface entre água e as paredes das tubagens, seria necessário uma análise exaustiva em laboratório, de várias amostras de tubagens retiradas da rede, dos diferentes materiais em estudo. No entanto esta situação não se tornou viável, dado que implicava grandes custos materiais e meios humanos.

Independentemente do material das condutas, existem alguns processos que ocorrem nos SDA (referido no ponto 3.3):

- Formação de (sub)produtos (trihalometanos, ácidos halocéticos, centenas de outros subprodutos tóxicos) resultantes da reação do cloro com a matéria orgânica natural;
- Carbono orgânico assimilável que sustenta o desenvolvimento de biofilme;
- Deposição/acumulação/re-suspensão de sedimentos nas condutas de adução/distribuição de água.

As baixas velocidades de escoamento da água também ajudam à deposição e acumulação de sedimentos nas tubagens. Ou seja, de uma forma geral, o biofilme e sedimentação presente nas paredes das tubagens também consomem o cloro presente na água. No *software* Epanet a forma de simular este consumo de cloro pode ser realizado através da introdução de valores de k_w , em cada conduta (troço) ou na totalidade do subsistema (já referido no ponto 3.3).

4.5.10.2. Caracterização do subsistema de abastecimento de água da Costeira em relação à idade, material e velocidade média de escoamento

Segundo vários autores, a criação de sedimentação e biofilme nas paredes das tubagens cresce com a idade, Gauthier et al. 1999, Gauthier et al. 2001, Zacheus et al. 2001, Carriere et al. 2005, Lehtola et al. 2006 e Vreeburg 2007.

A primeira zona industrial de Castelo Branco foi criada há cerca de 35 anos atrás (condutas assinaladas a verde na Figura 59). Aqui desenvolveram-se muito rapidamente uma série de fábricas, preenchendo quase todos os lotes disponíveis. Com o desenvolvimento desta zona houve necessidade de substituir as condutas antigas por novas, com diâmetros superiores (condutas assinaladas a azul, amarelo e vermelho na Figura 59). Posteriormente, houve também a necessidade de ampliar a zona industrial (condutas assinaladas a roxo na Figura 59), este alargamento foi construído há cerca de 13 anos. Esta última zona de expansão da zona industrial tem tido um ritmo de crescimento um pouco lento, tendo uma ocupação atual de cerca de 30%, havendo por isso ainda pouco consumo em relação à dimensão das condutas, mas a distribuição espacial das empresas em laboração obriga a que todo o subsistema de distribuição esteja a funcionar.

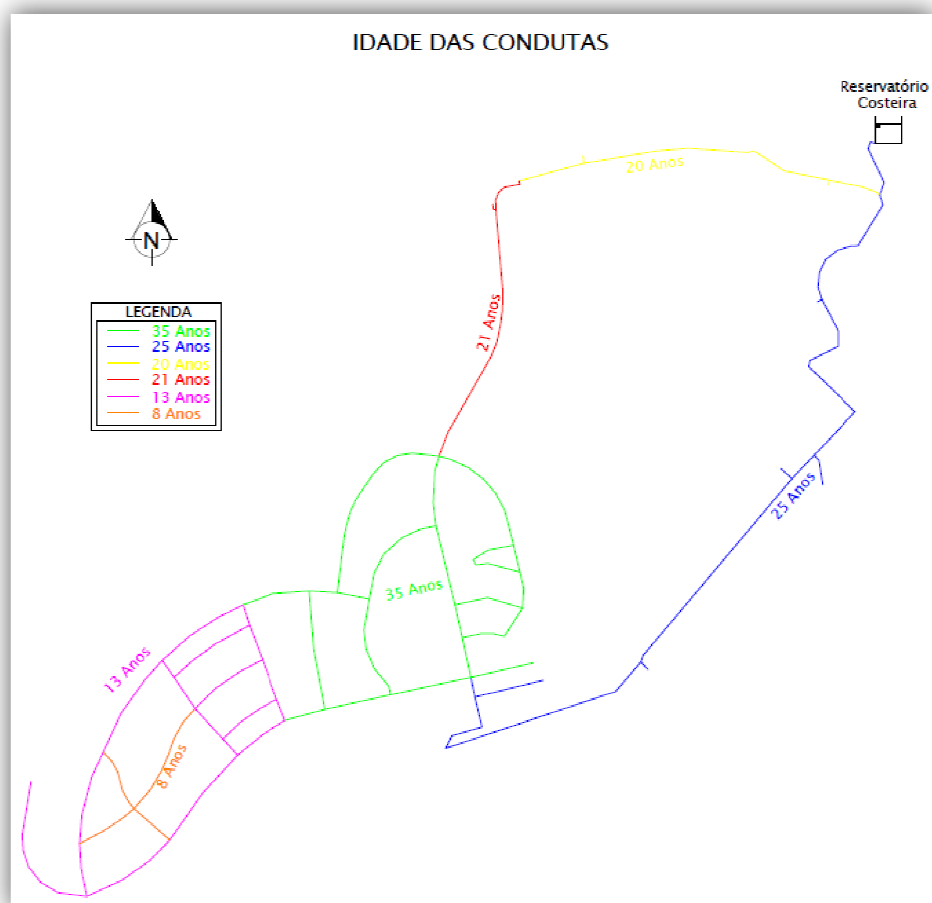


Figura 59 - Idade de construção das condutas do subsistema estudado.

Olhando agora para o tipo de material utilizado nas condutas (Figura 60), observa-se que as condutas de cor azul são em PVC e as condutas de cor verde são em FFD.

Segundo Vreeburg et al. 2008, a ocorrência de biofilme nas condutas em PVC é menor do que em FFD. A rugosidade das tubagens metálicas aumenta com a idade devido a fenómenos de incrustação e de tuberculização de produtos corrosivos, nas paredes das tubagens.

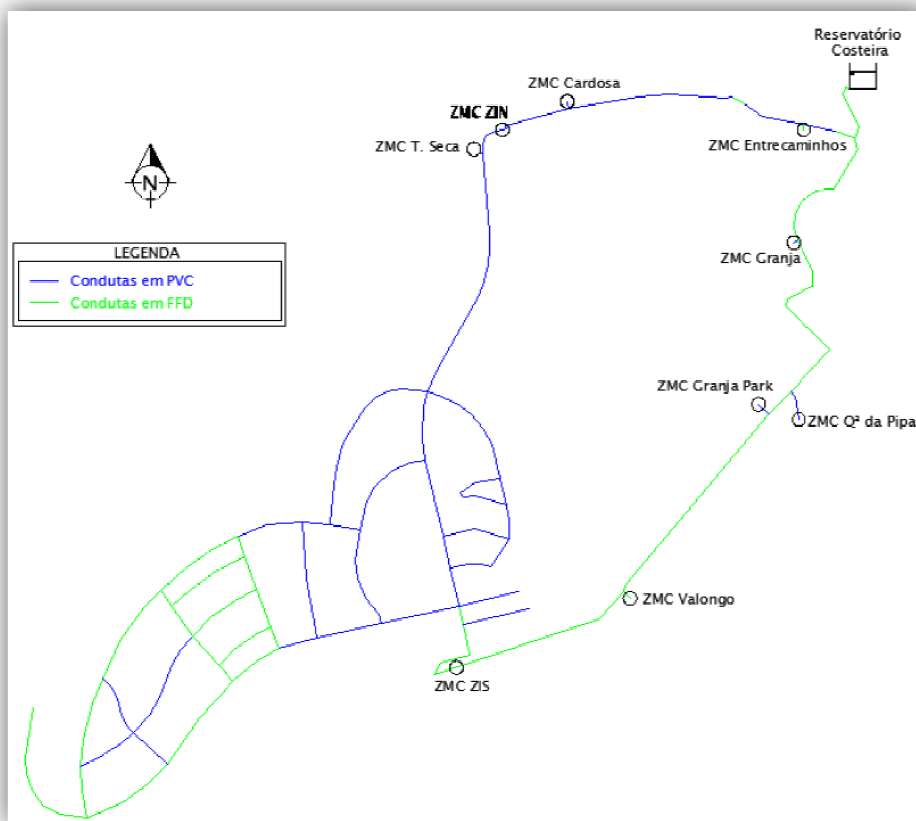


Figura 60 - Material das condutas do subsistema estudado.

Segundo Vreeburg e Boxall 2007, o sobredimensionamento da rede de abastecimento de água, para que haja uma garantia de caudais mínimos de combate a incêndios, resulta em velocidades baixas, que propiciam a acumulação de sedimentos ao longo da rede.

A velocidade máxima atingida na ZMC ZIS ocorre por volta das 11:00 horas da manhã, do segundo dia, e pelos valores observados, pode-se afirmar que, na hora de maior consumo, as velocidades existentes ainda são muito baixas em relação ao seu diâmetro (Figura 61).

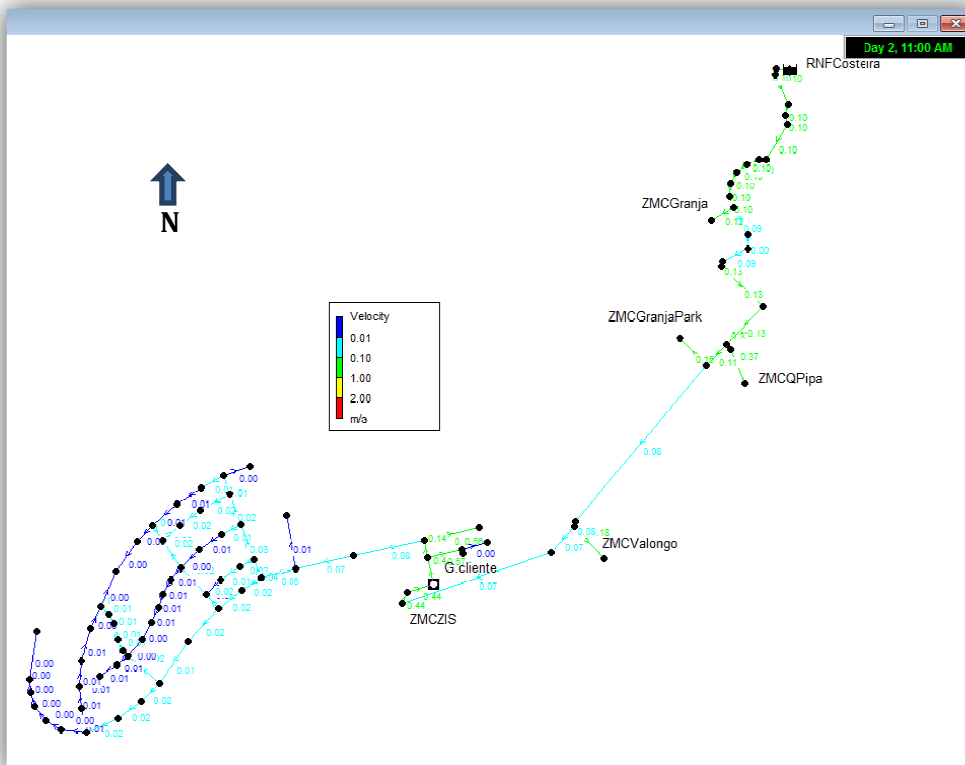


Figura 61 - Velocidade máxima na ZMC ZIS.

Já em relação às velocidades máximas na ZMC ZIN, que ocorrem por volta do 4º dia, pelas 10:00 horas da manhã, e os valores observados já são mais satisfatórios, embora nas pontas da rede se observem ainda velocidades baixas (Figura 62).

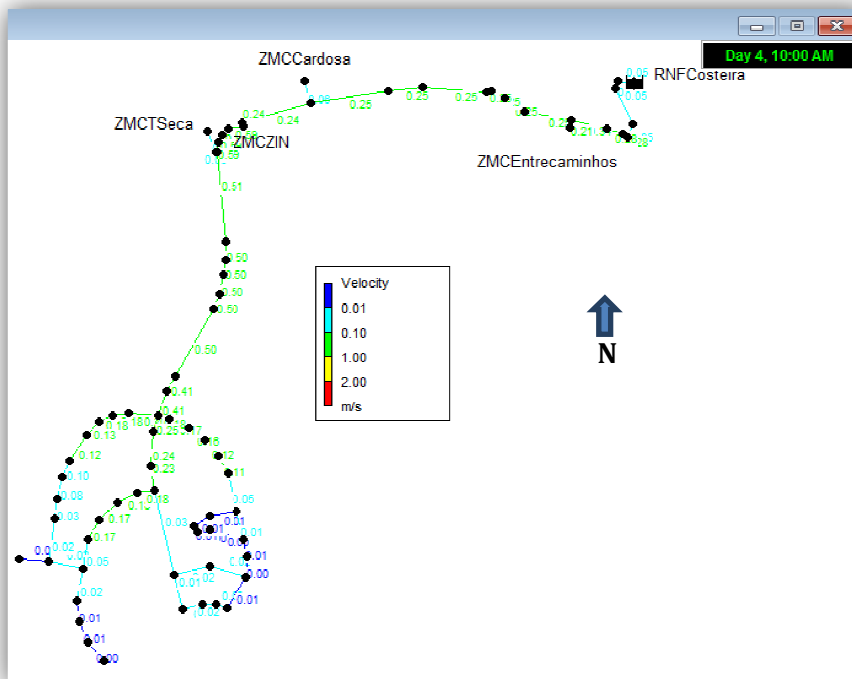


Figura 62 - Velocidade máxima na ZMC ZIN.

O biofilme e sedimentos criados ao longo do tempo nas condutas, os materiais que as constituem e a sua idade de funcionamento, a juntar à velocidade de escoamento da água nas mesmas, são fatores determinantes para uma aproximação correta ao introduzir valores de kw, no modelo estudado. No entanto, neste estudo só se analisaram as condicionantes relativas ao tipo de material das condutas e à velocidade de escoamento da água no subsistema, por serem as mais relevantes, para determinar o valor de kw.

4.5.10.3. Relação da velocidade média de escoamento com o tipo de material das condutas de abastecimento de água

Neste estudo optou-se por relacionar a velocidade média de escoamento de cada tubagem com o seu tipo de material, para encontrar um valor para kw. Com a ajuda do *software* Epanet obteve-se a velocidade de escoamento de cada troço em cada hora da semana em estudo, depois calculou-se a velocidade média de escoamento à parte e, consoante o tipo de material da conduta, foram-se introduzindo valores a kw no modelo por tentativas, até se obter a melhor correlação possível, que aproximasse valores de cloro residual do modelo, com valores de cloro residual recolhidos no campo, resultando na Tabela 7.

Tabela 7 - Relação entre tipo de material da tubagem, velocidade média de escoamento e kw.

Material PVC		Material FFD	
Velocidade média	kw	Velocidade média	kw
0.00	-0.1	0.00	-1.00
0.01	-0.09	0.01	-0.90
0.02	-0.08	0.02	-0.60
0.03	-0.07	0.03	-0.30
0.04	-0.06	0.04	0.00
0.05	-0.05	0.05	0.00
0.06	-0.04	0.06	0.00
0.07	-0.03	0.07	0.00
0.08	-0.02	0.08	0.00
0.09	-0.01	0.09	0.00
0.1	0.00	0.1	0.00

Com a introdução dos valores de kw da Tabela 7, em cada troço de tubagem, de acordo com o material das condutas e a velocidade média do escoamento (Figura 63), obteve-se através da simulação no modelo uma correlação de 98,4% , valor superior ao obtido sem a introdução de kw no modelo, que era de 91,2%.

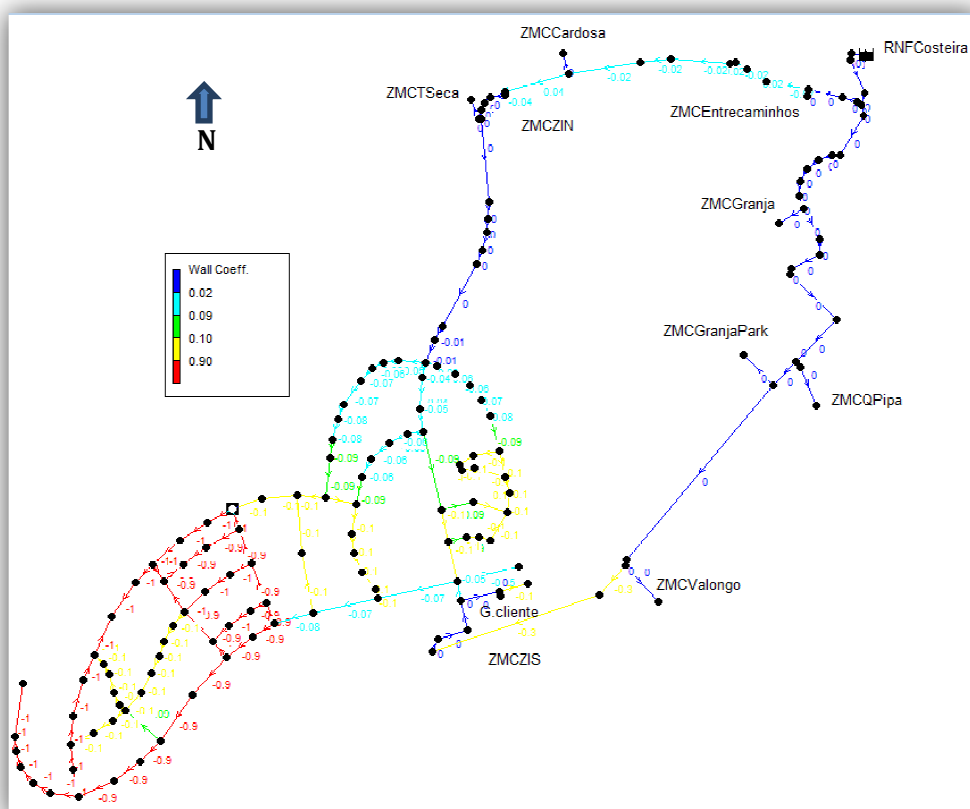


Figura 63 - Valores de kw introduzidos nos troços de conduta.

De acordo com os resultados obtidos nas simulações e da comparação destes com os valores obtidos, através das medições realizadas no terreno, podemos concluir que o modelo construído se encontra bem calibrado, tanto do ponto de vista hidráulico, assim como na qualidade da água.

Na Figura 64 apresenta-se a concentração de cloro residual às 24:00 horas do 7º dia, hora de menor consumo, onde se verifica uma oscilação entre 0,0 mg/l a 0,6 mg/l em quase todo o subsistema de abastecimento da Costeira. Como se pode verificar, a área de expansão da zona industrial (a azul escuro) tem valores abaixo do recomendado de 0,2 mg/l, a área ao centro já tem valores aceitáveis entre 0,2 e 0,5 mg/l, e a zona de condutas distribuidoras principais têm valores entre 0,5 e 0,6 mg/l, cumprindo com os valores recomendáveis pelo Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto.

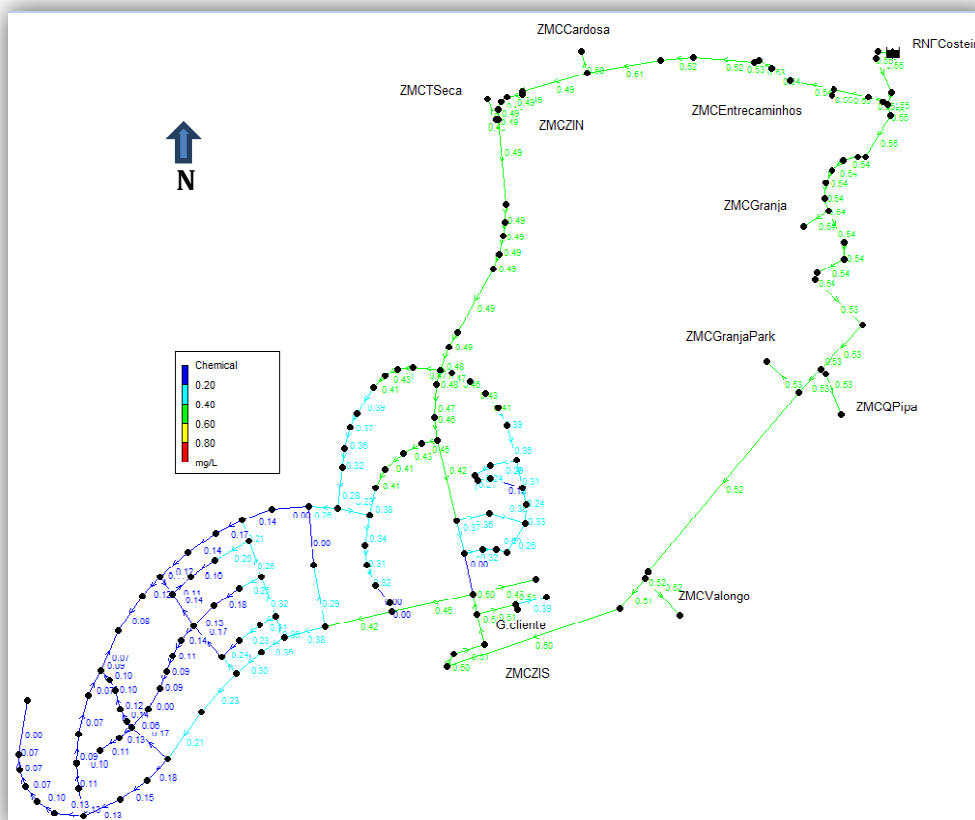


Figura 64 - Valores de concentração de cloro residual às 168h.

4.5.11. O parâmetro de qualidade da água: tempo de percurso

O *software* Epanet permite, numa das suas variáveis de simulação, obter informações essenciais sobre a qualidade da água de um sistema através do seu tempo de percurso, denominado também como idade da água (Série Guias Técnicos 4 – Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água, Coelho S. T. et al., LNEC ERSAR, pag 192). É de referir que, para que o tempo de percurso da água possa funcionar de forma correta no programa, é necessário que o modelo esteja calibrado hidráulicamente.

No modelo em estudo (Figura 65) verifica-se que o tempo de percurso da água na rede, depois de 168 horas (7 dias decorridos), oscila em média entre as 5 e 25 horas até a água ser consumida pelas ZMC, nas condutas distribuidoras principais. Já em relação às condutas de distribuição de água na zona industrial, pode-se afirmar que a zona mais a norte mantém os mesmos valores acima referidos. Por sua vez, a sul da zona industrial, junto ao grande cliente, a idade da água na rede aproxima-se das 60 horas até ser consumida, nomeadamente no 6º e 7º (sábado e domingo), dias de menor laboração. A área mais afetada da zona industrial acaba por ser a zona assinalada a vermelho, que constitui a sua área de expansão, zona esta ainda muito desertificada em termos de implantação empresarial e respetivos consumos, tendo valores de tempo de percurso entre 72 a 168 horas, constituindo este último, o valor máximo no período estudado.

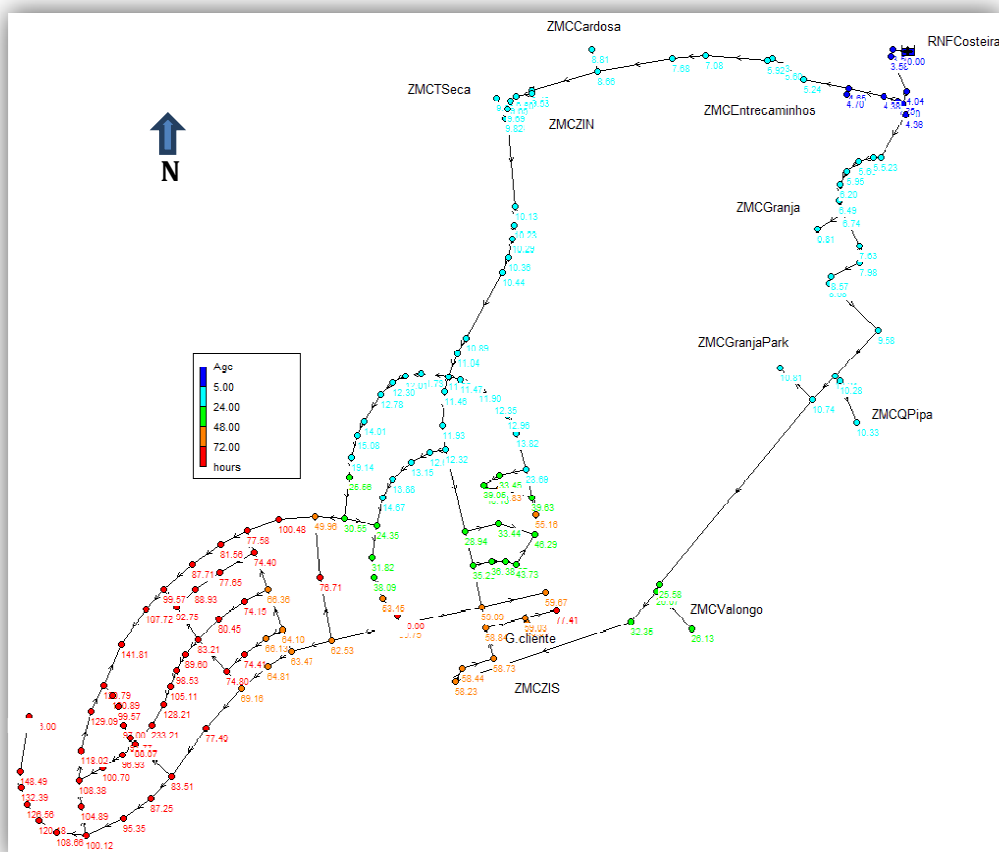


Figura 65 - Tempo de percurso da água às 168 horas.

Por conseguinte, constatou-se que o tempo de percurso auxilia na perceção das zonas de menor movimento ou estagnação da água, assim como nas zonas onde será eventualmente menos significativa a colheita de amostras para o controlo da água.

4.6. Simulação de um novo cenário do modelo usando o *software* Epanet

4.6.1. Introdução

Este estudo tem como objetivo encontrar outras formas possíveis na gestão da água potável, cumprindo com a recomendação da legislação portuguesa Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto para a concentração do cloro residual livre de valores entre 0,2 a 0,6mg/l, usando o *software* Epanet e mantendo as condições de caudal, velocidade e pressão do RGSPDADAR, D.R. n.º23/95, de 23 de Agosto.

Como se verificou na área de expansão da zona industrial de Castelo Branco, limite do subsistema de abastecimento de água da Costeira, a pouca implantação empresarial ainda consome pouca água. Consequentemente, a velocidade da água nas condutas é reduzida, observando-se valores baixos de concentração de cloro residual, recolhidos no local.

A forma mais usual de aumentar as concentrações de cloro residual, presente na distribuição de água, são as descargas pontuais em órgãos da rede, cumprindo desta forma com a alínea b) do nº1 do art.º 21 do RGSPDADAR para velocidades inferiores a 0,3 m/s. No entanto este método, além do impacto ambiental e conseqüente desperdício, pode eventualmente provocar turvação na água de distribuição. Este procedimento é também dispendioso para a EG e apenas aumenta os valores de concentração de cloro residual por pouco tempo, voltando em poucos dias para valores abaixo do recomendável.

Uma outra forma para aumentar os valores de concentração de cloro residual, já referida anteriormente, é a introdução de uma ou várias rechloragens em pontos estratégicos nas condutas de abastecimento. No entanto, e mais uma vez, este também é um método algo dispendioso que obriga a uma constante manutenção, embora tenha resultados mais positivos e duráveis, que a realização das descargas pontuais.

A fraca implantação empresarial na zona industrial, motivada pelo crescimento diminuto da economia local, faz com que o problema do uso total da infraestrutura de rede de abastecimento de água continue a existir, assistindo só os clientes existentes. Assim, devido à existência de poucos clientes, a qualidade da água é menor, dado que o tempo de residência nas condutas é maior. Uma forma de diminuir este tempo de residência, nesta área, será a alteração do trajeto da água, usando apenas o fecho de algumas válvulas de seccionamento, enquanto se aguarda pelo crescimento na implantação de mais empresas. Este método, além de não trazer qualquer custo para a EG, apenas usa órgãos já existentes na rede, não alterando o cumprimento das condições hidráulicas de caudal, velocidade e pressão aos clientes.

Estas válvulas de seccionamento já são usadas nas mais diversas situações de gestão da rede, ou seja, na reparação de roturas, descargas pontuais, manutenção de outros órgãos da rede e também na sua própria manutenção. De lembrar que este tipo de válvulas, mais usuais no sistema de distribuição, devem estar na posição totalmente aberta ou fechada.

4.6.2. Modelo proposto

Neste estudo pretende-se apresentar uma alternativa de abordagem de gestão das redes de abastecimento de água, onde ao fechar algumas válvulas existentes, se altera o circuito do escoamento da água, aumentando-se o caudal e respetiva velocidade, o que por conseguinte diminui o tempo de percurso da água e o decaimento de cloro, melhorando qualidade da água.

Para isso, optou-se por anular a ZMC ZIS ficando todo o abastecimento a ser realizado pela conduta distribuidora principal mais a norte, passando toda a zona industrial a ser abastecida pela agora chamada ZMC ZIN-ZIS, aumentando assim a velocidade de escoamento da água e conseqüente diminuição do seu tempo de percurso. Com o fecho das válvulas identificadas a verde na Figura 66, o escoamento da água para abastecer o grande cliente passa a percorrer toda a zona à esquerda da Figura 66, área de expansão da zona industrial.

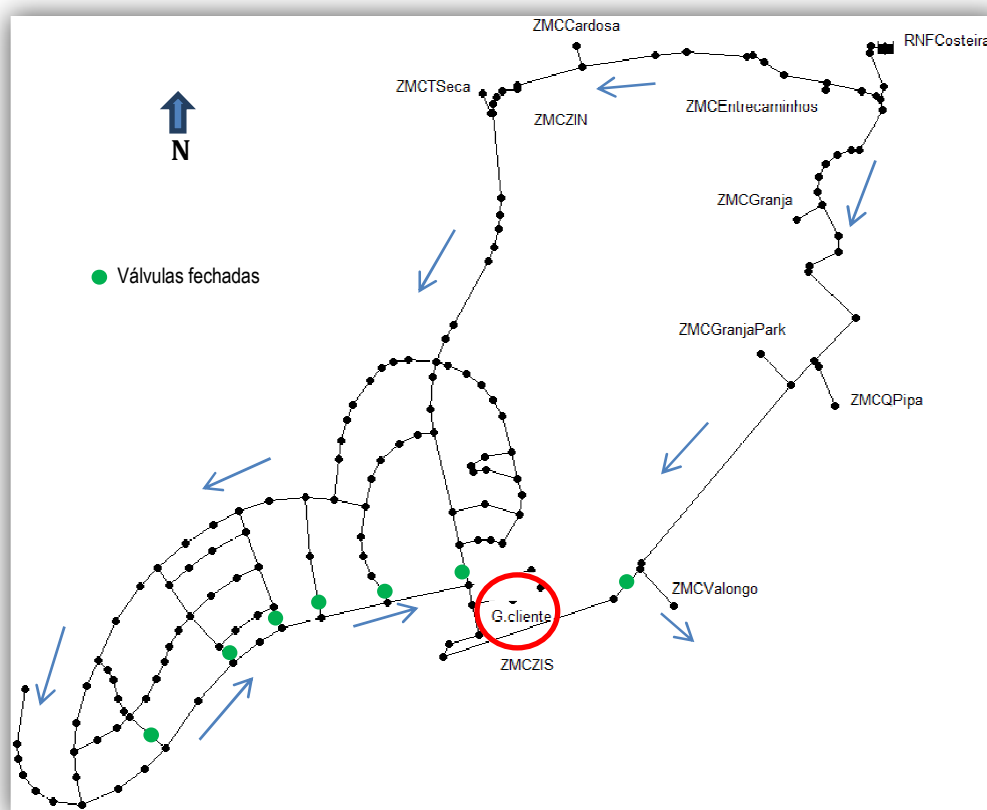


Figura 66 - Válvulas fechadas no SDA da Costeira.

4.6.3. Construção de um novo padrão de consumos

Para uma correta simulação do novo cenário, abastecido apenas pela conduta distribuidora principal a norte, foi necessário modificar o padrão de consumo de todos os clientes da zona industrial, pois no novo cenário todos são afetados dos consumos da ex-ZMC ZIS.

Deste modo elaborou-se um novo padrão de consumo através da junção do padrão ZMC ZIN e ZMC ZIS, que passaremos a designar de ZMC ZIN-ZIS (Figura 67). Este novo padrão passou a afetar o consumo de cada nó da zona industrial no modelo.

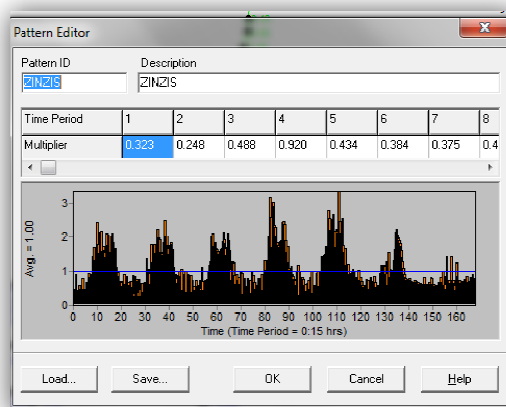


Figura 67 - Novo padrão de consumos da zona industrial.

4.6.4. Verificação do comportamento hidráulico, caudal, velocidade e pressão

Depois de construir o modelo hidráulico, analisou-se o caudal e velocidade da água nas horas de maior consumo.

Como se esperava, ao termos anulado a entrada de água na zona industrial, pela conduta principal a sul, aumentou-se o caudal e velocidade de água em praticamente todo o subsistema de abastecimento a norte, nomeadamente na conduta principal e conduta distribuidora da nova ZMC ZIN-ZIS.

De entre todas as condutas de abastecimento de água do modelo, apenas no troço assinalado com o número 1 na Figura 68, a velocidade de escoamento ultrapassa a velocidade máxima regulamentar, alínea a) do n.º1 do art.º21 do RGSPDADAR da conduta em PVC de Diâmetro Nominal (DN) 160 mm, em 3 ocasiões assinaladas (Figura 68 e Figura 69). A velocidade máxima regulamentar para uma conduta em PVC DN160 mm é de 0,93 m/s.

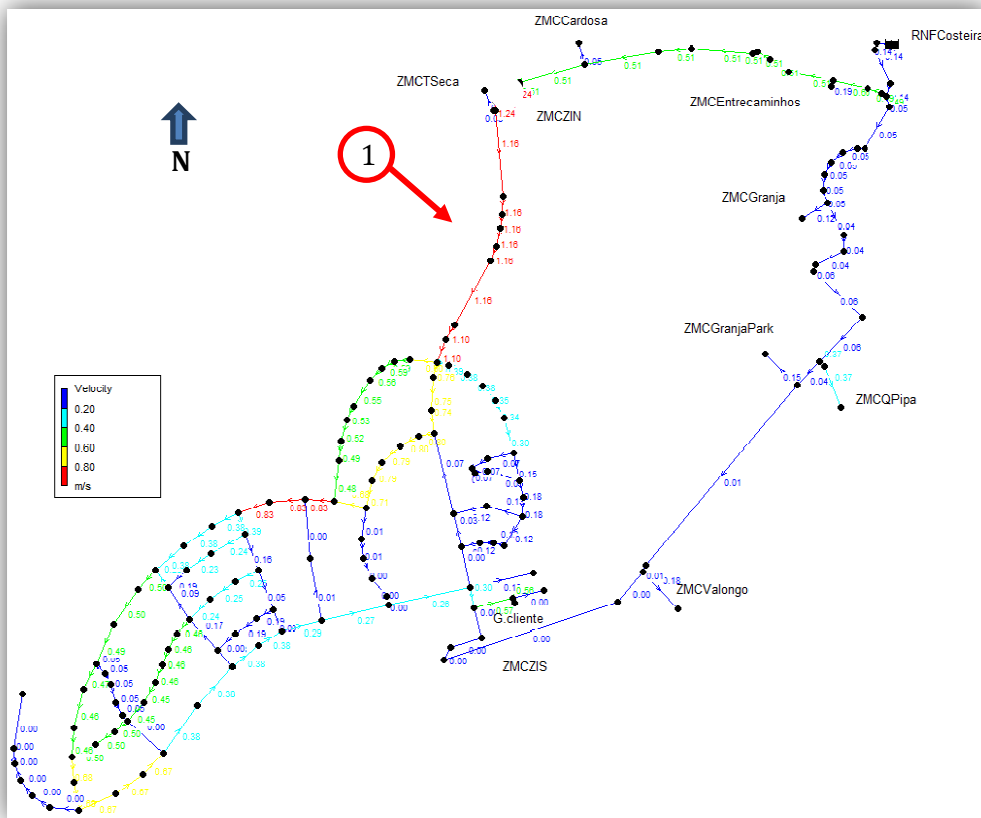


Figura 68- Velocidades na hora de maior consumo (35 horas).

Observando a Figura 69 e Figura 70, a velocidade e a perda de carga, respetivamente nos troços t141 a t151 do modelo, segundo a alínea a) do nº1 do artº 21 do RGSPDADAR diz, passo a citar “A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no horizonte de projeto não deve exceder o valor calculado pela expressão matemática: $V=0,127 D^{0,4}$ ”, mas cumpre-se a alínea b) do mesmo número e artigo do regulamento, em que se aceita a variação de pressão de 30 m c.a.. Uma vez que esta situação apenas ocorre em 3 ocasiões pontuais da semana em estudo, acredita-se que esta situação é ultrapassável, sem quaisquer problemas para o subsistema de distribuição de água, clientes e EG.

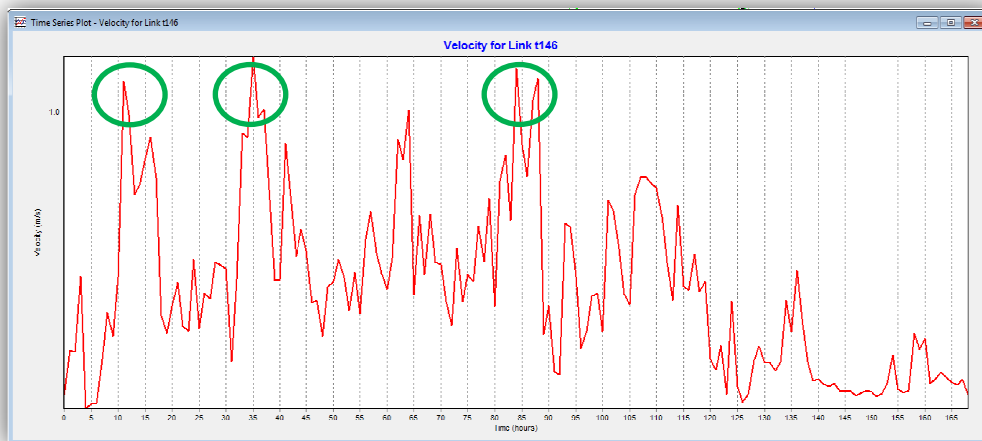


Figura 69 - Velocidades no troço t146 de DN 160 mm durante a semana em estudo.

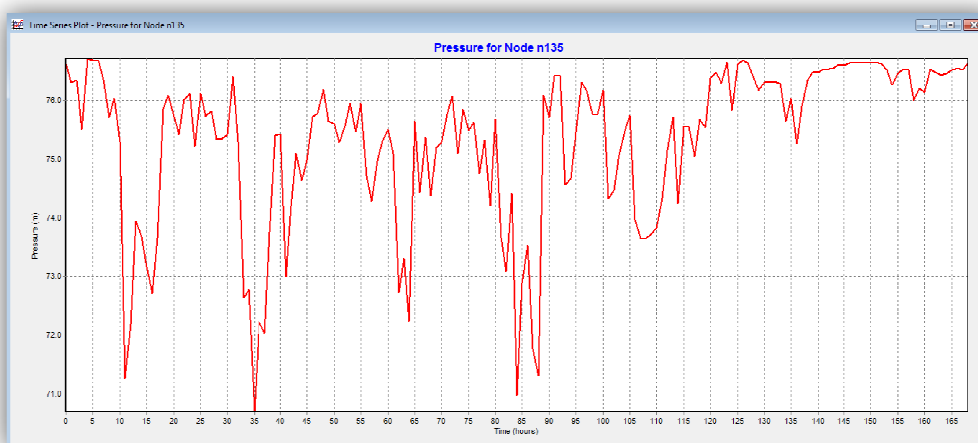


Figura 70 - Perda de carga no nó n135 de DN 160 mm durante a semana em estudo.

Tendo sido verificada a situação de velocidade e perda de carga, no troço assinalado atrás, falta confirmar o que sucede ao ponto mais alto de distribuição de água na zona industrial, que se situa no nó n76.

Como se observa na Figura 71, a flutuação de pressões no nó n76 atinge uma diferença máxima de 22 m c.a., obtendo-se assim um valor abaixo do máximo regulamentar, segundo a alínea b) do n.º1 do art.º21 do RGSPDADAR que é de 30 m c.a..

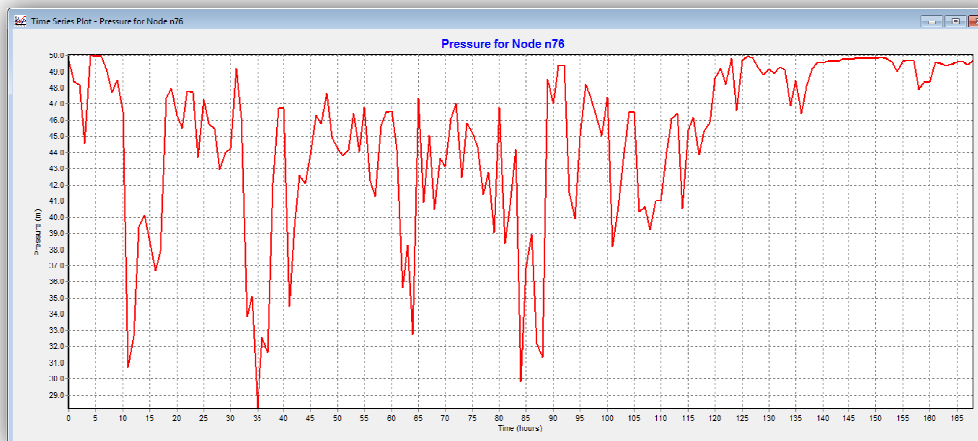


Figura 71 - Variação da perda de carga no nó n76.

É de relembrar que se propõe este modelo de acordo com as condições atuais de padrão de consumo da ZMC ZIN-ZIS, da semana em estudo. No caso de uma alteração mais radical do padrão de consumo de um ou vários clientes, este pode ser incorporado no modelo, pois o programa permite a alteração de dados.

Tabela 8 - Relação entre tipo de material da tubagem, velocidade média de escoamento e kw.

Material PVC		Material FFD	
Velocidade média	kw	Velocidade média	kw
0.00	-0.1	0.00	-1.00
0.01	-0.09	0.01	-0.90
0.02	-0.08	0.02	-0.60
0.03	-0.07	0.03	-0.30
0.04	-0.06	0.04	0.00
0.05	-0.05	0.05	0.00
0.06	-0.04	0.06	0.00
0.07	-0.03	0.07	0.00
0.08	-0.02	0.08	0.00
0.09	-0.01	0.09	0.00
0.1	0.00	0.1	0.00

O resultado da Figura 73 é o que se obtém da simulação do *software* Epanet às 168 horas (7 dias decorridos), com a introdução das novas variáveis em jogo. Como se constata, a oscilação de concentração de cloro residual é bem mais homogénea, com uma melhoria bem significativa, tendo apenas alguns pontos com valores abaixo do recomendável por Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto.

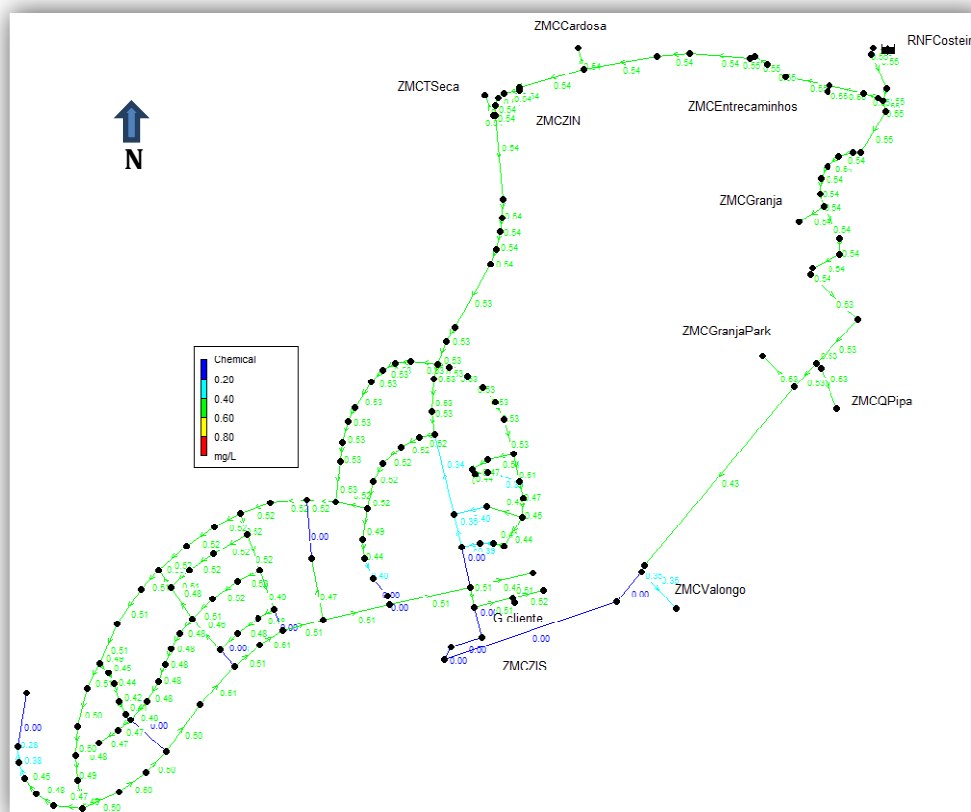


Figura 73 - Valores de concentração de cloro residual às 168 horas.

4.6.6. Análise do parâmetro de qualidade da água: tempo de percurso

Em relação ao tempo de percurso, o que se verifica são melhorias significativas. A idade da água nas condutas distribuidoras principais oscilam em média entre 5 a 30 horas até ser consumida pelas ZMC. Já em relação às condutas de distribuição de água na zona industrial, pode-se afirmar que a zona mais a norte a idade da água na rede varia entre as 8 e 24 horas até ser consumida pelos clientes finais, e na zona a sul, junto ao grande cliente, a idade da água na rede reduz das 60 horas (Figura 65) para as 35 horas (Figura 74) até ser consumida pelos clientes, 6º e 7º (sábado e domingo), dias de menor laboração.

A área de expansão da zona industrial, à esquerda da Figura 74, fica na sua maioria com valores de idade da água entre as 10 e 30 horas, apenas com exceção no limite da rede, que atinge as 168 horas.

Fica assim comprovado que é possível melhorar a qualidade da água, nas redes de distribuição, através da alteração do sentido do escoamento, usando como ferramenta de planeamento um *software* de modelação hidráulica, assim como o fecho ou abertura de válvulas de seccionamento.

A situação demonstrada neste estudo pode facilmente passar despercebida a qualquer entidade gestora, no que respeita às fases de todo o processo de planeamento, projeto, construção ou expansão. Comprova-se que é essencial, para a qualidade da água, todo o processo laboratorial que leva à constatação da deteção dos níveis de cloro residual inferiores ao desejável, ou de valores demasiado altos para parâmetros microbiológicos.

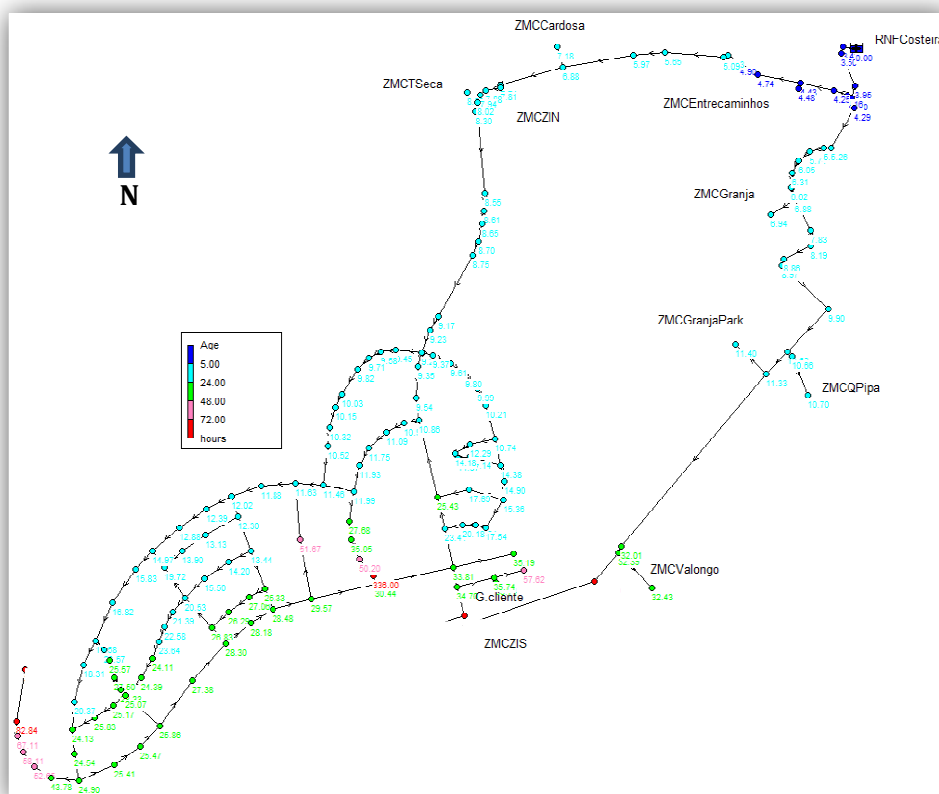


Figura 74 - Tempo de percurso da água às 168 horas.

5. Propostas de alteração dos sistemas de abastecimento tendo como objetivo a otimização do tempo de percurso da água e melhoria da sua qualidade

São vários os grandes consumidores de água das redes de distribuição pública, tais como:

- Escolas;
- Fábricas;
- Hospitais;
- Rega de espaços verdes;
- Prisões;
- Bombeiros;
- Estádios de futebol;
- Centros comerciais;
- Hipermercados;
- Veículos “consumidores móveis de água”
- Limpeza de ruas;
- Lavagem de caixotes do lixo;
- Limpeza de coletores;
- Outros.

O crescimento da população num lugar, cidade ou aldeia, depende das condições de habitabilidade e empregabilidade, normalmente criam-se infraestruturas para que haja conforto e qualidade em ambas as partes. Por exemplo, a decisão da construção de um equipamento escolar numa cidade, habitualmente tem em conta fatores económicos e espaciais de acessibilidade e não é colocada, como apoio à decisão, a variável de melhoria da qualidade de água ao seu redor.

Como se verifica na Figura 75, a decisão de implantação de um grande consumidor (Ex: escola), como a hipótese A em detrimento da hipótese B, diminui o tempo de percurso da água, a todos os clientes a montante deste, melhorando-lhes a qualidade deste bem.

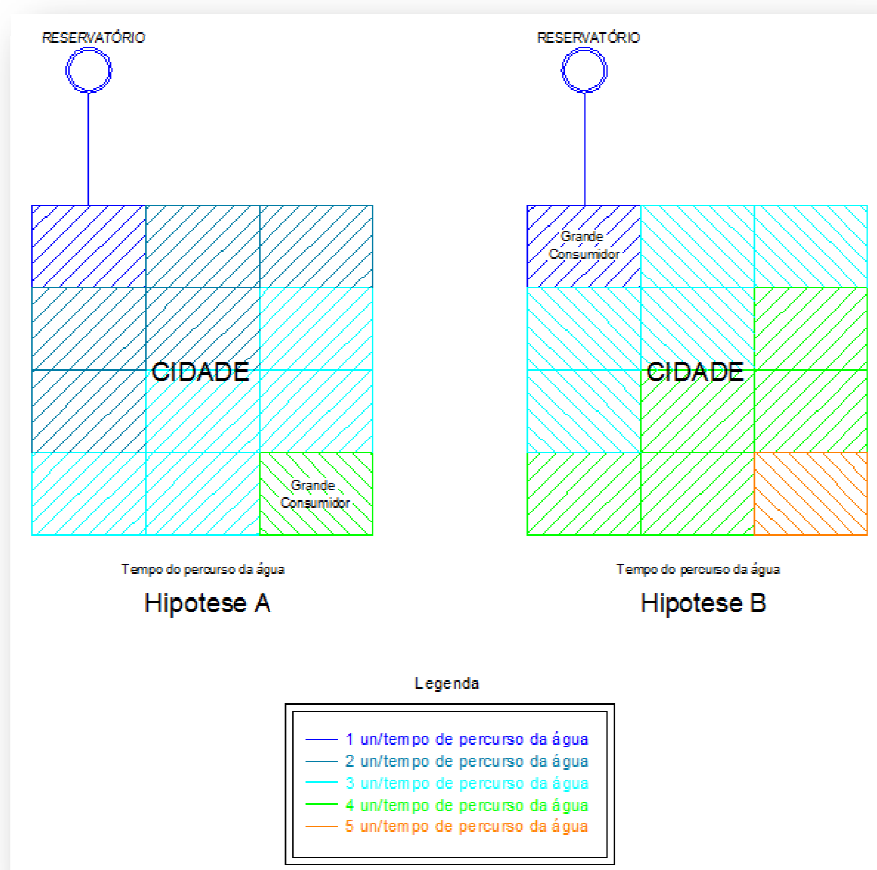


Figura 75 - Esquema de várias hipóteses de tempos de percurso de água numa cidade.

Nas situações em que a zona urbana e infraestruturas já estão consolidadas, podemos otimizar os tempos de percurso e conseqüente melhoria da qualidade de água, aos clientes a montante do grande consumidor, através do uso de válvulas de seccionamento, hipótese B da Figura 76.

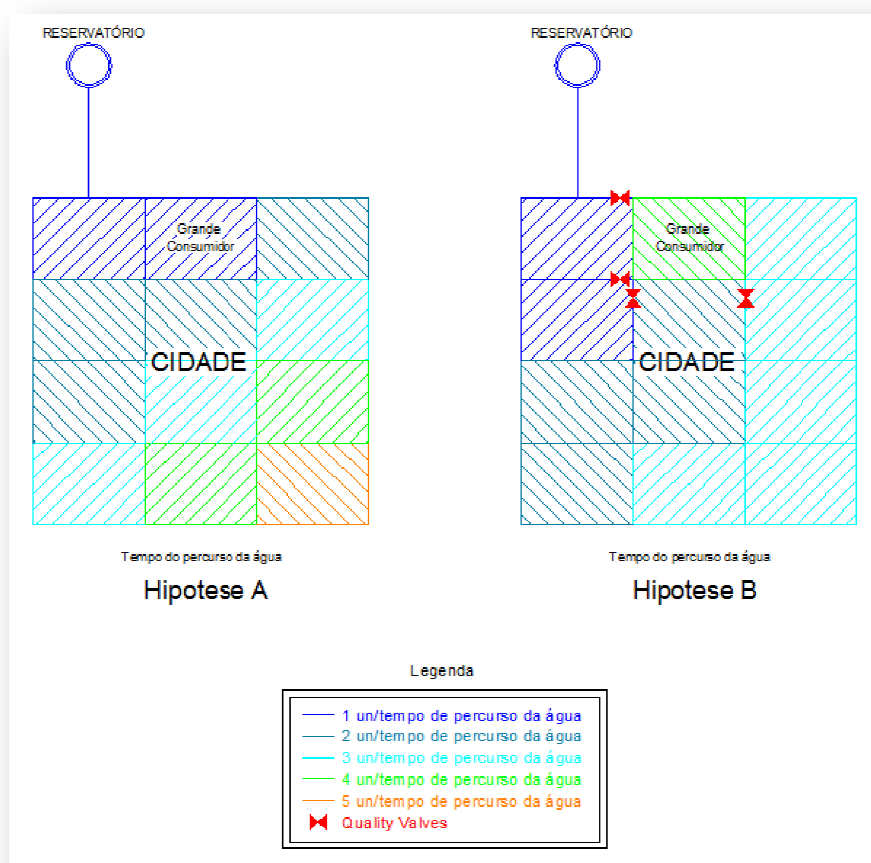


Figura 76 - Esquema de várias hipóteses de tempos de percurso de água numa cidade.

A baixa densidade populacional das aldeias, motivada pela migração da população para a cidade e o abandono da agricultura, irá agravar a qualidade da água ao consumidor no futuro. Em suma, mesmo com poucos consumidores a rede terá de estar a funcionar, levando a que o tempo de residência da água seja maior, o que consequentemente influencia a sua qualidade. Este constituirá um grande desafio para os técnicos das EG, de forma a encontrarem alternativas de melhoria dos padrões de qualidade e cumprimento da regulamentação portuguesa.

Seguidamente propõem-se alguns procedimentos, de maneira a minimizar o problema da qualidade da água, que só terão bons resultados quando realizados de uma forma concertada e controlada, por todos os intervenientes. Desta forma constatamos que o trabalho diário dos equipamentos de limpeza urbana (consumidores móveis: camiões de lavagem de contentores; camiões de lavagem de ruas; camiões de limpeza e desobstrução de coletores) necessitam de água para proceder à limpeza. No entanto, estes equipamentos abastecem-se, normalmente, nos edifícios sede a que pertencem, assim sendo, em vez destes equipamentos se abastecerem na central, poderiam fazer esse abastecimento em locais da rede sujeitos ao problema de estagnação de águas, realizando desta forma uma descarga na rede reutilizável e permitindo uma poupança de recursos.

A Figura 77 representa uma pequena aldeia do concelho de Castelo Branco, abastecida por um reservatório e uma rede subterrânea, até ao ramal de cada cliente. Esta aldeia situa-se ao centro da Figura 77, tendo algumas habitações mais dispersas nos pontos indicados a

vermelho. Os troços da rede, que abastecem as habitações mais dispersas, são os que têm um tempo de percurso mais longo, devido ao pouco consumo. Assim sendo, poderia dar-se indicações aos funcionários dos consumidores móveis (camiões de lavagem de contentores; camiões de lavagem de ruas; camiões de limpeza e desobstrução de coletores) que, em caso de necessidade de água, devem dar preferência de enchimento da viatura às bocas de rega, marcos ou bocas-de-incêndio assinaladas a vermelho, e desta forma, indiretamente estariam a contribuir para a melhoria da qualidade da água, nestes troços de condutas.

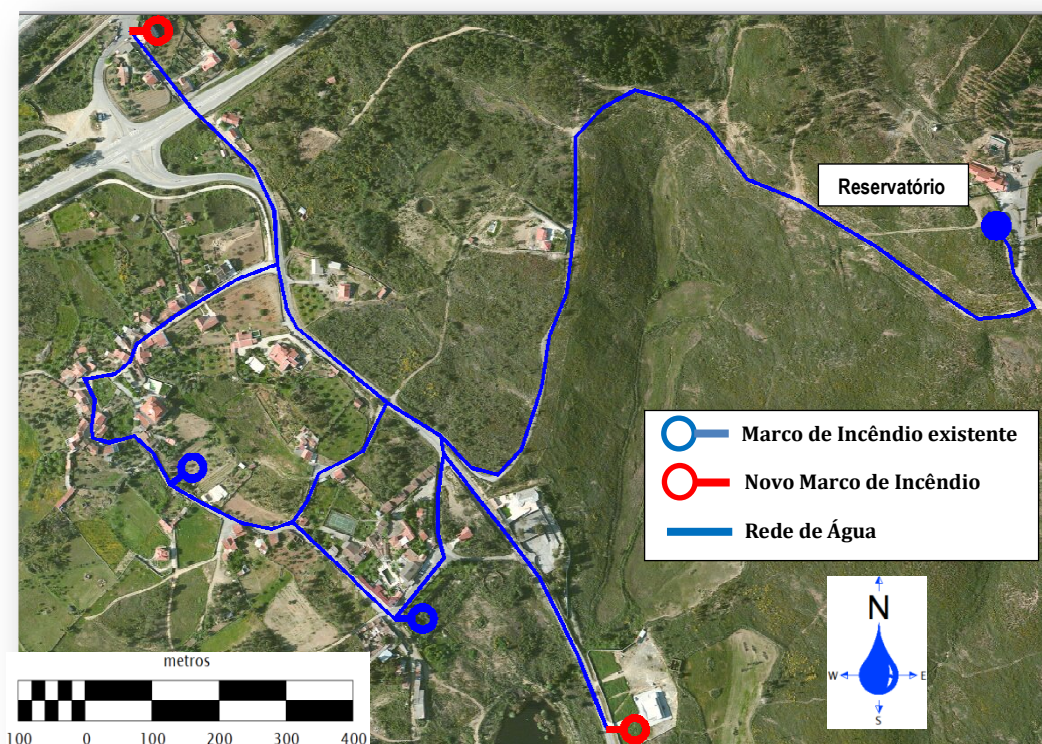


Figura 77 - Esquema da rede de distribuição de água de uma aldeia do concelho de Castelo Branco (imagem retirada do *Google maps*).

Outro procedimento para a melhoria no tempo de percurso da água, nas condutas de abastecimento público, é a colocação estratégica de marcos de incêndio, em pontos da rede onde existam problemas de residência de água, agindo sempre a EG em parceria com os bombeiros. Normalmente o quartel de Bombeiros está localizado nas cidades, tendo as suas viaturas providas de água, para a eventualidade de deflagrar um incêndio. Também é do conhecimento geral que em caso de incêndio na floresta poderão ser necessários grandes volumes de água para a sua extinção, o que significa que o volume de água de cada viatura é gasto rapidamente, tendo estes que se reabastecer no ponto mais próximo do local do incêndio. Propõe-se assim situar os marcos ou bocas-de-incêndio nos limites de algumas redes, para além de servirem as tradicionais descargas pontuais dos operacionais de laboratório, serem também utilizadas pelos corpos de bombeiros.

Na Figura 78, que descreve a periferia de uma aldeia do concelho de Castelo Branco, observa-se uma grande área de florestação nas imediações, sujeita a perigo de incêndio. Havendo uma concertação entre a EG de distribuição de água e o corpo de bombeiros, na indicação através de mapas de localização de marcos ou bocas-de-incêndio mais acessíveis,

permitiria um incremento na celeridade de atuação dos bombeiros e, ao mesmo tempo, uma renovação da água dentro das condutas, otimizando o seu tempo de percurso e consequente melhoria da sua qualidade ao consumidor.



Figura 78 - Exemplo de uma possível situação de incêndio na floresta e da localização do Marco ou boca-de-incêndio de melhor acessibilidade (imagem retirada do Google maps).

6. Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

Este estudo permitiu obter uma visão mais abrangente do que se pode melhorar na gestão das redes de abastecimento, no que respeita à qualidade da água. No panorama atual das redes de abastecimento público, segundo a ERSAR, Portugal já possui uma cobertura de 95%, na distribuição de água às populações, estando assim as infraestruturas de rede praticamente consolidadas (parâmetros hidráulicos de caudal, velocidade e pressão). Nesta medida as EG devem então direcionar-se para outro patamar, ou seja, o aperfeiçoamento na melhoria da qualidade da água, fornecida ao consumidor. Este estudo propõe que as Entidades Gestoras coloquem um maior peso nos seus objetivos de análise em dois grandes parâmetros de qualidade da água, ou seja a concentração de cloro residual e o tempo de percurso da água, utilizando estratégias de custo diminuto e de baixo impacto ambiental.

Através dos estudos efetuados no decorrer desta dissertação, observou-se que a concentração de cloro residual diminui gradualmente ao longo da rede de distribuição, à medida que este reage com os compostos presentes no seio da água, assim como na interface das paredes da tubagem.

Como já provado pela comunidade científica mundial, as características das tubagens (tipo de material, rugosidade e idade de exploração), o comportamento do fluxo de água (velocidade, regime hidráulico e período de residência), bem como a deposição de sedimentos e desenvolvimento de biofilme, favorecem o consumo de desinfetante da água, podendo em últimas instâncias, à falta deste, não assegurar a qualidade da água fornecida.

Os modelos de qualidade da água, realizados através do *software* Epanet, são uma importante ferramenta de apoio na deteção de irregularidades, que possam vir a surgir das análises feitas em campo, pelos laboratórios. Desta forma, torna-se possível encontrar problemas de operação/manutenção, que possam ocorrer sem que haja registo, podendo os setores de laboratório das EG alertar aquando das suas colheitas de serviço, através da comparação de dados do modelo reproduzido, com o resultado das análises de campo.

A simulação ajuda a interpretar outra possibilidade no caminho da distribuição de água, aumentando consideravelmente a sua qualidade, no entanto, alerta-se para o fato da existência de condutas isoladas na rede, que devem ser manobradas com alguma cadência, de forma evitar a estagnação.

A construção de um modelo e respetiva calibração de um sistema de abastecimento de água, no *software* Epanet, é sem dúvida um processo complexo e exigente, no entanto, o seu campo de aplicação é muito variado, tornando-se uma ferramenta indispensável aos serviços de água, no apoio da gestão de pressões, velocidades e caudais regulamentares, anomalias, fugas, ampliações e alterações de rede, novos consumos e novos clientes, entre outros.

Desta forma, são vários os benefícios que se obtêm da construção de modelos com o *software* Epanet, sendo que uma melhor interpretação do comportamento hidráulico da rede e da qualidade da água, permite simular os mais variados cenários de análise e melhores percursos a seguir.

Os modelos constituem um cenário quase real da rede de abastecimento de água, que possibilitará melhorias no processo de gestão da EG, permitindo uma visão integrada e pluridisciplinar que contempla a operação e manutenção no terreno, aspetos hidráulicos e de qualidade de água, recursos humanos, fatores ambientais e sociais, sempre em articulação com aspetos económicos-financeiros.

A simulação de cenários, através de um *software* de modelação da qualidade da água, pode igualmente ajudar na gestão urbanística e levar a um planeamento urbano mais concertante. Desta forma, promove-se a melhoria da qualidade de vida e um desenvolvimento urbano mais equilibrado. Um exemplo seria a decisão de implantação de um novo equipamento urbanístico de grande consumo (Equipamentos Desportivos, Escolas, Centros Comerciais, entre outros).

Da análise do modelo hidráulico construído sugerem-se algumas considerações de melhoria:

- Colocação de uma Válvula Redutora de Pressão (VRP) na entrada de abastecimento da zona industrial norte;
- Alteração das redes ramificadas, existentes na zona industrial, para redes emalhadas.

No primeiro ponto a necessidade da colocação da VRP deve-se à existência de pressões muito elevadas, não cumprindo a alínea c) do n.º1 do art.º21 do RGSPDADAR, o que traz vários inconvenientes aos clientes, no que respeita à durabilidade dos seus sistemas internos e de consumo de água. As pressões altas também diminuem a durabilidade da rede principal e dos seus órgãos de manobra, aumentando as perdas de água no sistema.

Na segunda sugestão de melhoria, ou seja, a alteração das redes ramificadas para redes emalhadas, leva a que se evite a estagnação e consequente degradação da água, passando a existir circulação e consequente melhoria da sua qualidade.

Com este modelo georreferenciado a Entidade Gestora pode introduzir as restantes ZMC (Entrecaminhos, Granja, Granja Park, Quinta da Pipa, Valongo, Cardosa e Taberna Seca) e tirar partido do modelo construído, nos mais variados cenários hidráulicos e de qualidade da água, como por exemplo no nascimento de novos loteamentos urbanos, ou equipamentos públicos, permitindo atingir um nível mais elevado de serviço prestado, dado que fornece as informações de toda a rede de abastecimento público.

Em trabalhos futuros, seria interessante e do interesse público, a construção de novos modelos de rede de abastecimento usando o *software* Epanet, assim, introduzindo parâmetros de qualidade de água e simulação de novos cenários, dar-se-ia um salto na promoção da melhoria dos tempos de percurso da água.

As Entidades Gestoras, numa tentativa de melhoria da circulação da água, podem orientar de uma outra forma os limites ramificados da rede, que por vezes estão sujeitos ao problema de estagnação de águas. Assim, podem levar a que os consumidores móveis se abasteçam preferencialmente nestas zonas, melhorando consequentemente a qualidade da água fornecida aos consumidores fixos. Por exemplo, numa zona de limite da rede ramificada, pode autorizar-se a um consumidor móvel o abastecimento nesse local, diminuindo a possibilidade de estagnação de água e a sua descarga regulamentar, procedimento comum nos SMCB. Esta atuação contribui também para uma descida dos custos à entidade gestora, dado que se reaproveita a água, assim como melhoria no impacto ambiental, na medida que se evita o desperdício nas descargas da rede pública.

Podemos também propor que se inicie uma reutilização da água desperdiçada nas descargas, devido a limpeza de condutas, e a proveniente das condutas devido a roturas. Esta reutilização de água poderá ter vários fins, como o uso próprio pela EG, ou eventualmente um novo tratamento e desinfeção, para novamente ser colocada no sistema de distribuição, através da sua descarga num reservatório.

Assim, por tudo o que foi acima mencionado, a busca da melhoria na qualidade da água é um desafio contínuo para as Entidades Gestoras, que procuram cada dia que passa atingir um patamar superior e de excelência no serviço prestado ao consumidor, não só no produto que fornecem, mas também, e sempre, com a preocupação dos custos envolvidos e defesa do meio ambiente.

7. Bibliografia

Alegre, H. (1986). Modelos de Simulação de Sistemas de Distribuição de Água – Métodos de Avaliação e Distribuição de Consumos na Rede. Informação Técnica e Científica de Hidráulica (ITH 25), LNEC, Lisboa.

Alves, Z. C. A. G. (2012). Modelação Hidráulica de Um Sistema de Distribuição de Água – Aplicação a Uma Zona de Castelo Branco. Dissertação para a obtenção do grau Mestre em Engenharia Civil, Escola Superior de Tecnologia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco.

APA, I.P./ARH do Tejo (Agosto de 2012). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo, Repositório de Mapas.

Canoso, A. (2000). Eurico de Salles Viana, O homem e a obra, Serviços Municipalizados de Castelo Branco.

Carriere, A., Gauthier, V., Desjardins, R. e Barbeau, B., (2005). Evaluation of loose deposits in distribution systems through unidirectional flushing. Journal American Water Works Association 97(9), 82-92.

Clark, R.M., Rossman, L.A., Wymer, L.J. (1995) Modeling Distribution System Water Quality: Regulatory Implications. Journal of Water Resources Planning and Management – November/December 1995.

Coelho, S.T., Loureiro, D., Alegre, H. (2006). Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água, Série Guias Técnicos n.º 4, Edições ERSAR, Lisboa.
ISBN: 972-99354-8-3

Cupeto, C., Alberto, D., Quinta-Nova, L. C., Jacinto, P., Figueiredo, M. J., Rodrigues, M.A., Silva, S., Maldonado, F., Gomes, O., Marco, C. (2005). Castelo Branco Agenda XXI. Diagnóstico para a Sustentabilidade, IPCB, <http://hdl.handle.net/10400.11/821>.

Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto (1998). Normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

Decreto-Lei n.º306/07 de 27 de Agosto (2007). Regime da qualidade da água destinada ao consumo humano.

Decreto-Lei n.º 194/09 de 20 de Agosto (2009). Regime jurídico dos serviços municipais e intermunicipais de abastecimento público de água para consumo humano, de saneamento de águas residuais e urbanas e gestão de resíduos urbanos.

Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto (1995). Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.

Gauthier, V., Geàrard, B., Portal, J.M., Block, J.C. e Gatel, D., (1999). Organic matter as loose deposits in a drinking water distribution system. Water Research 33, 1014-1026.

Gauthier, V., Portal, J.M., Yvon, J., Rosin, C., Block, J.C., Lahoussine, V., Benabdallah, S., Cavard, J., Gatel, D. e Fass, S., (2001). Characterization of suspended particles and deposits in drinking water reservoirs. Water science & technology: water supply 1(4), 89-94.

Hass, C. N., Karra S. B. (1984). Kinetics of wastewater chlorine demand exertion, J. Water Pollut. 1984.

Lehtola, M.J., Laxander, M., Miettinen, I.T., Hirvonen, A., Vartiainen, T. e Martikainen, P.J., (2006). The effects of changing water flow velocity on the formation of biofilms and water quality in pilot distribution system consisting of copper or polyethylene pipes. Water Research 40(11), 2151-2160.

Martins, A. M. M.. Castelo Branco, Um século na vida da cidade 1830-1930, Volume I.
ISBN: 972-9139-09-1

Menaia, J., Mesquita, E., Monteiro, L., Poças, A., Napier, V., Maria, R. F., Rosa, M. J. (2012). Qualidade e Segurança da Água nos Sistemas de Adução e Distribuição. Jornadas LNEC, Engenharia para a sociedade, investigação e inovação, cidades e desenvolvimento – LNEC, Lisboa, 18 a 20 de Junho 2012.

Muranho, J. M. F. (2012). Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água. Geração de Modelos, Dimensionamento e Avaliação de Desempenho. Tese submetida para obtenção do grau de Doutor em Engenharia do Ambiente. Universidade de Coimbra, Coimbra.

Pegden, C. D., Shannon, R. E., Sadowski, R. P. (1995). Introdução à simulação usando *SIMAN*. 2. ed. New York: McGraw-Hill.

Poças, A., Vreeburg, J., Rebola, N., Cordeiro, B., Rodrigues, S., Benoliel, M., Menaia, J., (2008). Deposição de Sedimentos nas Redes de Distribuição de Água para o Consumo Humano: O Problema e as Soluções.

Powell, J. C., Hallam, N. B., West, J. R., Forster, C. F., Simms, J. (2000) Factors which control bulk chlorine decay rates. *Water Resour.*

Quintela, A. C., 6ª edição (1998). Hidráulica. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
ISBN: 972-31-0775-9

Regulamento dos Serviços de Abastecimento Público de Água e de Saneamento de Águas Residuais do Município de Castelo Branco, (2011).

Recomendação IRAR n.º 05/2007. Desinfeção da Água Destinada ao Consumo Humano.

Rodrigo, C., Lopes, J. L., Saúde, M., Mendes, R., Casimiro, R., (2007). Controlo Operacional em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, IRAR.
ISBN: 978-989-95392-2-8

Rossman, L. (2000). Manual do utilizador do Epanet 2.0., Tradução e adaptação de Loureiro D. e Coelho, S.T. (2004), Série Guias Técnicos n.º5, Edições IRAR, Lisboa.
ISBN: 972-99354-0-8

Santos, M. T. (1958). Castelo Branco na História e na Arte, (pag.174 a 185).
Biblioteca Municipal de Castelo Branco
Registo: RE.16884

Silveiro, A., Azevedo, L., d'Oliveira, P. Q. (2003). O Programa POLIS em Castelo Branco, Album Histórico, (pag.37 a 79).
ISBN: 972-9071-23-3

Tashauoei, H. Z., Khiadani, M. H., Karakani, F. (2010). Determining Chlorine Decay Constants in Isfahan Water Transportation Pipeline, 2010, IEEE.

Vieira, J. M. P. (2005). Implementação das recomendações da OMS referentes à qualidade da água para o consumo Humano, 2005.

Vreeburg, J. (2007). Discolouration in drinking water systems: a particular approach. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Delft University of Technology, Delft, Países Baixos.

Vreeburg, J., Schippers, D., Verberk, J. e van Dijk, J.C., (2008). Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system. *Water Research* 42, 4233- 4242.

Vreeburg, J. e Boxall, J.B., (2007). Discolouration in potable water distribution systems: A review. *Water Research* 41(3), 519-529.

Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W. M., Beckwith, S., Koelle, E. (2003). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*, Bentley Institute Press, 2003.

World Health Organization, 2011. *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 4th ed. Geneva.

Zacheus, O.M., Lehtola, M.J., Korhonen, L.K. e Martikainen, P.J., (2001). Soft deposits, the key site for microbial growth in drinking water distribution networks. *Water Research* 35, 1757-1765.

Zierolf, M. L., Polycarpou, M. M., Uber, J. G. (1996). A Control-Oriented Approach to Water Quality Modeling of Drinking Water Distribution Systems, *Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Control Applications*, Dearborn, MI - September 15-18, 1996, IEEE.

Zierolf, M. L., Polycarpou, M. M., Uber, J. G. (1998). Development and Autocalibration of an Input-Output Model of Chlorine Transport in Drinking Water Distribution Systems, *IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY*, VOL. 6, NO. 4, JULY 1998, IEEE.

8. Webgrafia

Águas do Centro, disponível em <http://www.aguasdocentro.pt/>, consultado em 10 de Junho de 2015.

A terceira dimensão – fotografia aérea da Barragem de Santa Águeda (Marateca), disponível em <http://1.bp.blogspot.com/-fygPVaWM000/U5LQsxlV-tI/AAAAAAAAAatQ/SMnFpjY1Cbw/s1600/Barragem+de+Santa+%C3%81gueda.JPG>, consultado em 10 de Junho de 2015.

Aquimisa – Soluções em segurança alimentar, disponível em <http://www.aquimisa.pt/>, consultado em 10 de junho de 2015.

Câmara Municipal de Castelo Branco – Chafariz de S. Marcos, disponível em <http://www.cm-castelobranco.pt/index.php?link=chafarizmarcos>, consultado em 10 de Junho de 2015.

Câmara Municipal de Castelo Branco – Historia de Castelo Branco, disponível em <http://www.cm-castelobranco.pt/index.php?link=historiadois>, consultado em 2 de Julho de 2015.

Comissão Nacional das Grandes Barragens – Foto aérea da Barragem do Pisco, disponível em http://cnpqb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/images/Pisco.jpg, consultado em 10 de Junho de 2015.

Diário Digital Castelo Branco – Arquivo, disponível em <http://www.diariodigitalcastelobranco.pt/detalhe.php?id=7017>, consultado em 2 de Julho de 2015.

Entidade Reguladora de Saneamento Água e Resíduos – Grandes números do setor, disponível em <http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?GenericContentId=0&SubFolderPath=%5cRoot%5cContentents%5cSítio%5cEntidades+do+sector%5cServicos%5cGrandesNumeros&Section=Entidades+do+sector&FolderPath=%5cRoot%5cContentents%5cSítio%5cEntidades+do+sector%5cServicos>, consultado em 22 de Junho de 2015.

Guia da cidade – Historia de Castelo Branco, disponível em <http://www.guiadacidade.pt/pt/poi-castelo-branco-15446>, consultado em 2 de Julho de 2015.

Plano de Investigação Programada do LNEC para 2009-2012, LNEC 2006, disponível em www.lnec.pt/organizacao/dha/nes/trabalho-experimental/LABES, consultado em 15 de Abril de 2013.

Serviços Municipalizados de Castelo Branco – Os primórdios do abastecimento de água a Castelo Branco, disponível em <http://www.sm-castelobranco.pt/os-smcb/historia.aspx>, consultado em 10 de Junho de 2015.

Software Epanet – Software de modelação hidráulica e qualidade de água de distribuição, disponível em <http://www2.epa.gov/water-research/epanet>, consultado em 15 de Abril de 2013.

Wikipédia, a enciclopédia livre – Rio Ocreza, disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Ocreza, consultado em 10 de Junho de 2015.

Wikipédia, a enciclopédia livre – Barragem do Pisco, disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Barragem_do_Pisco, consultado em 10 de Junho de 2015.

Wikipédia, a enciclopédia livre – Barragem da Marateca, disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Barragem_da_Marateca, consultado em 10 de Junho de 2015.

Wikipédia, a enciclopédia livre – Castelo Branco, disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Castelo_Branco, consultado em 2 de Julho de 2015.