

ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE EDIFÍCIOS ALTOS

SIMÃO PEDRO SAMPAIO DE OLIVEIRA LEITE

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Mário Valente Neves

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais

*Everything we do is never in vain
Within Temptation*

AGRADECIMENTOS

No culminar deste trabalho, desejo exprimir o meu reconhecimento às pessoas ou entidades, que das mais variadas formas contribuíram para que fossem atingidos os objectivos propostos.

Gostaria de agradecer ao Professor Mário Valente Neves, por todo o apoio, acompanhamento, disponibilidade e dedicação desde a definição das linhas orientadoras até a revisão dos conteúdos deste trabalho. Queria agradecer por toda a ajuda, pelos ensinamentos, informação cedida, todos os conselhos, e amizade.

Gostaria de agradecer ao Professor Joaquim Poças Martins pela disponibilidade, ajuda e conselhos no desenvolvimento final do trabalho.

Agradeço à administração e técnicos da empresa NORAQUA, muito em especial à Engenheira Patrícia Nunes e à Engenheira Nazaré, pela disponibilização de meios materiais, bem como pela importante colaboração prestada.

Gostaria de agradecer a todos os amigos e colegas por toda a amizade, por todo o apoio e por me darem forças para seguir em frente ao longo do decorrer da minha formação. Um agradecimento especial ao Simão Portela, grande amigo e colega ao longo do meu percurso académico.

Por último, queria agradecer aos meus pais e irmãos, que sempre me estimularam e me deram forças no decorrer da minha formação, em particular no ensino universitário, muitas das vezes abdicando muito de si, para me proporcionar o tempo, espaço e o apoio moral necessários.

Os agradecimentos nominais têm o inconveniente de não incluírem todos os que colaboram, sob o risco de tornarem este elemento numa longa lista. Se estes agradecimentos omitiram alguém, trata-se apenas um lapso no papel, o autor tem bem presente o apoio e as valiosas contribuições de todos vós.

RESUMO

É muito frequente que a rede pública de distribuição de água não consiga garantir pressão suficiente para determinado edifício. Assim será necessária a utilização de uma solução, geralmente através de uma central hidropneumática de velocidade fixa ou variável, para permitir o abastecimento da água em todo o edifício com uma pressão suficiente em todas as utilizações de água.

Começou-se por estudar os diferentes tipos de tubagens utilizados para a construção da rede de distribuição de água, analisando-se as características de cada um, bem como as suas vantagens e inconvenientes.

Um dos objectivos era estudar o abastecimento de água num edifício alto, desenvolvendo uma metodologia de cálculo para permitir a utilização do software EPANET, pois este programa permite a realização de várias simulações, como estudo de pressões, a qualidade da água, tempo que a água permanece nos tubos, etc. Antes de se proceder ao estudo no EPANET é necessário determinar os caudais a que a rede irá estar sujeita e os diâmetros das tubagens. Foi necessário desenvolver uma metodologia própria para simular a continuidade dos caudais nos nós, condição indispensável para a utilização do programa.

Foi também realizado um estudo de centrais hidropneumáticas de velocidade fixa e velocidade variável, em parte apoiado num programa de cálculo automático desenvolvido na disciplina de Sistemas de Abastecimento de Água – Oliveira e Neves (2007).

Estudou-se a rede de distribuição de água para o piso mais elevado, primeiro em termos clássicos considerando como caso de estudo um edifício de 12 pisos na cidade do Porto.

Fizeram-se depois simulações relativamente à perda de cloro no sistema predial, concluindo-se que em certos casos poderá atingir 55%.

O programa foi também aproveitado para se analisar a sensibilidade às perdas de carga, tendo-se incluído as perdas de carga localizadas e diferentes coeficientes de rugosidade dos tubos.

Finalmente faz-se uma análise económica dos custos de bombagem.

PALAVRAS-CHAVE: Edifício alto, Central hidropneumática, Tubos, Água, EPANET.

ABSTRACT

Often, the public water supply system cannot assure the pressure necessary for certain buildings. Therefore, a special solution is needed which often involves the use of a pressurisation system, using either constant or variable speed pumps.

Firstly a deep study about pipes for water distribution is presented.

One of the objectives was the study of the water supply in a tall building, by developing a design methodology for the utilisation of EPANET, a very popular program for public water supply systems, which, more over permits to simulate pressures, water quality, age of water, etc.

Before using EPANET, it is necessary to evaluate the flow rates and the size of the pipes. It is also necessary to develop a special methodology to simulate the continuity of flow rates in the nodes, which is indispensable for the use of the program.

A study on the pressurization systems was also included, partly based in a computer code developed by Oliveira and Neves (2007).

Initially a classical study was performed, using as a case study a 12 stage building in Porto.

Some simulations about the chlorine reduction were performed, with the conclusion that it may reach 55%.

The program was also used to analyse the sensitivity to the head losses, considering the local head losses and different pipes roughness.

Finally an economic analysis of the pumping costs was performed.

KEYWORDS: Tall building, Pressurization system, Pipes, Water, EPANET.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS 1

2. MATERIAIS DAS TUBAGENS – DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E DOS TIPOS DE INSTALAÇÕES EM REDES PREDIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA..... 5

2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. TIPOS DE INSTALAÇÕES	5
2.3. MATERIAIS UTILIZADOS	7
2.4. TUBO MULTI-CAMADA	8
2.4.1. VANTAGENS:	9
2.4.2. DESVANTAGENS:	10
2.5. TUBO EM POLIETILENO RETICULADO DE ALTA DENSIDADE (PE-X)	11
2.5.1. VANTAGENS:	12
2.5.2. DESVANTAGENS:	14
2.6. TUBO EM POLIPROPILENO COPOLIMERO RANDOM (PP-R)	15
2.6.1. VANTAGENS:	16
2.6.2. DESVANTAGENS:	18
2.7. TUBO EM POLI CLORETO DE VINIL (PVC)	19
2.7.1. VANTAGENS:	19
2.7.2. DESVANTAGENS:	21
2.8. TUBO EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)	22
2.8.1. VANTAGENS:	23
2.8.2. DESVANTAGENS:	24
2.9. TUBO EM AÇO GALVANIZADO	25
2.9.1. VANTAGENS:	26
2.9.2. DESVANTAGENS:	27
2.10. TUBO EM AÇO INOXIDÁVEL	29

2.10.1. VANTAGENS:.....	29
2.10.2. DESVANTAGENS:.....	31
2.11. TUBO EM COBRE	32
2.11.1. VANTAGENS:.....	32
2.11.2. DESVANTAGENS:.....	34
2.12. CONCLUSÃO.....	35

3. CENTRAIS HIDROPNEUMÁTICAS 37

3.1. CENTRAIS HIDROPNEUMÁTICAS COM BOMBAS DE VELOCIDADE FIXA	37
3.1.1. DIMENSIONAMENTO.....	38
3.1.1.1. Determinação do volume útil.....	38
3.1.1.2. Determinação do volume total.....	41
3.2. CENTRAIS HIDROPNEUMÁTICAS COM BOMBAS DE VELOCIDADE VARIÁVEL	42

4. CÁLCULO HIDRÁULICO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA EPANET 45

4.1. BASES PARA O CÁLCULO HIDRÁULICO	45
4.2. METODOLOGIA PROPOSTA PARA A UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA EPANET	48
4.2.1. PROGRAMA EPANET	48
4.2.1.1. Capacidades de Modelação Hidráulica.....	49
4.2.1.2. Capacidades de Modelação da Qualidade da Água.....	50
4.2.2. METODOLOGIA PROPOSTA NESTE TRABALHO.....	51
4.3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	53
4.4. PERDAS DE CARGA	53
4.4.1. PERDAS DE CARGA CONTÍNUAS	53
4.4.2. PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS	55

5. CASO DE ESTUDO 1 – DIMENSIONAMENTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UM EDIFÍCIO DE 12 PISOS COM O PROGRAMA EPANET 57

5.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA	57
5.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO	59
5.2.1. ESTUDO DE UM DOS PISOS	62

5.2.2. ESTUDO DA COLUNA MONTANTE	71
5.3. CENTRAL HIDROPNEUMÁTICA.....	72

6. QUALIDADE DA ÁGUA NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO PREDIAIS..... 77

6.1. LEGISLAÇÃO	77
6.2. REACÇÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA	79
6.2.1. REACÇÕES NO SEIO DO ESCOAMENTO.....	79
6.2.2. REACÇÕES NA PAREDE	80

7. CASO DE ESTUDO 2 – EXPLORAÇÃO DE POTENCIALIDADES DO EPANET, TOMANDO COMO EXEMPLO UM EDIFÍCIO DE 12 ANDARES: CLORO E CUSTOS DE BOMBAGEM..... 83

7.1. INTRODUÇÃO.....	83
7.2. ANÁLISE DOS TEORES DE CLORO.....	83
7.2.1. O EFEITO DO ARMAZENAMENTO	83
7.2.2. PERDA DE CLORO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	84
7.3. ANÁLISE DAS PERDAS DE CARGA.....	86
7.4. CUSTOS DE BOMBAGEM.....	87

8. SINTESES E CONCLUSÕES..... 89

BIBLIOGRAFIA.....	91
-------------------	----

ANEXOS E PEÇAS DESENHADAS	A.1
A.1. Caudais fictícios na rede de distribuição de um dos pisos:.....	A.1
A.2. Caudais fictícios coluna montante:	A.5
A.3. Plantas e alçados:	A.6

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Central hidropneumática de velocidade fixa [33]	2
Fig. 1.2 – Central hidropneumática de velocidade variável [34]	2
Fig. 2.1 – Instalação com tubos embutidos na parede e sobre tecto falso [4].....	6
Fig. 2.2 – Instalação com tubos embutidos na parede, ou à vista [4].....	6
Fig. 2.3 – Instalação embutida no pavimento [4]	7
Fig. 2.4 – Representação esquemática de um tubo multi-camada [5].....	8
Fig. 2.5 – Estrutura molecular do Polietileno reticulado de alta densidade (ligação das varias cadeias de moléculas) [8]	11
Fig. 2.6 – Tubo em Pe-x revestido com manga de protecção	12
Fig. 2.7 – Compensação das dilatações [7]	15
Fig. 2.8 – Tubos e acessórios em PP-R [10]	16
Fig. 2.9 – Tubo em Poli cloreto de vinil [13]	19
Fig. 2.10 – Tubos em Polietileno de alta densidade [15]	23
Fig. 2.11 – Tubo em aço galvanizado [17]	26
Fig. 2.12 – Tubos em aço inoxidável [21]	29
Fig. 2.13 – Tubos em cobre [19]	33
Fig. 3.1 – Central hidropneumática de velocidade fixa [33]	37
Fig. 3.2 – Esquema de central hidropneumática em edifícios altos.....	38
Fig. 3.3 – Esquema RAC [28].....	38
Fig. 3.4 – Curva característica da bomba [28]	39
Fig. 3.6 – Central hidropneumática de velocidade variável [34]	42
Fig. 3.7 – Modo de funcionamento de um conjunto de bombas com velocidade variável [35]	43
Fig. 3.8 – Exemplo de funcionamento de uma multibomba.....	43
Fig. 3.9 – Modo de funcionamento de uma central de velocidade variável [30].....	44
Fig. 4.1 – Caudais de cálculo em função dos caudais acumulados para um nível de conforto médio (Anexo V) [1].....	47
Fig. 4.2 – Caudais instantâneos.....	48
Fig. 4.3 – Caudais de cálculo	48
Fig. 4.4 – Esquema da rede para exemplificar a metodologia.....	51
Fig. 4.5 – Introdução do caudal fictício no EPANET	52
Fig. 5.1 – Rede abastecida pela central hidropneumática.....	58
Fig. 5.2 – Planta do piso e indicação de cada uma das habitações	60

Fig. 5.3 – Redes de água fria e quente	61
Fig. 5.4 – Representação da rede de abastecimento de água no EPANET	62
Fig. 5.5 – Representação da 1ª habitação em EPANET com a respectiva notação dos tubos e nós..	63
Fig. 5.6 – Representação da 2ª habitação em EPANET com a respectiva notação dos tubos e nós..	63
Fig. 5.7 – Representação da 3ª habitação em EPANET com a respectiva notação dos tubos e nós..	64
Fig. 5.8 – Representação da 3ª habitação em EPANET com a respectiva notação dos tubos e nós..	64
Fig. 5.9 – Folha de cálculo para o dimensionamento dos tubos.....	65
Fig. 5.10 – Folha de cálculo para caudais fictícios.....	65
Fig. 5.11 – Representação coluna montante no EPANET	71
Fig. 5.12 – Número de pisos servidos e pressões a garantir pela central hidropneumática	73
Fig. 5.13 – Cálculo do caudal de cálculo a bombear e do caudal máximo bombado	74
Fig. 5.14 – Cálculo da potência, volume e dimensões da central hidropneumática	75
Fig. 5.15 – Custos energéticos da central hidropneumática	76
Fig. 7.1 – Evolução do teor de cloro em função do tempo e do coeficiente de reacção	84
Fig. 7.2 – Teor de cloro no nó N1 da coluna montante, para um caudal de 0.05 l/s e $C_0 = 0.30$ mg/l à saída da central hidropneumática	85
Fig. 7.3 – Teor de cloro no nó mais afastado (Lav_Q4_1), aí considerando um caudal de 0.05 l/s e $C_0 = 3$ mg/l à saída da central hidropneumática.	86
Fig. 7.4 – Custo de energia actualizado durante 40 anos.....	88
Fig. A.1 – Planta de um dos pisos.....	A.7
Fig. A.2 – Corte 1-1'	A.8
Fig. A.3 – Corte 2-2'	A.9
Fig. A.4 – Representação da rede de abastecimento de água de um dos pisos	A.10

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1 – Caudais mínimos nos dispositivos (Anexo IV) [1].....	46
Quadro 4.2 – Número de fluxómetros em utilização simultânea (anexo V) [1]	47
Quadro 4.3 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET	52
Quadro 4.4 – Fórmulas consideradas no Epanet para o cálculo da perda de carga contínua (unidades SI) [36]	54
Quadro 4.5 – Coeficientes das fórmulas de perda de carga para tubagens novas [36].....	54
Quadro 4.6 – Coeficientes das fórmulas de perda de carga para tubagens novas [36].....	55
Quadro 5.1 – Diâmetros utilizados no dimensionamento da rede [9]	59
Quadro 5.2 - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_3	66
Quadro 5.3 – Funcionamento hidráulico dos tubos no último piso	67
Quadro 5.4 – Pressões no último piso	70
Quadro 5.5 – Funcionamento hidráulico dos tubos coluna montante.....	72
Quadro 5.6 – Pressões na coluna montante.....	72
Quadro 6.1 – Parâmetros indicadores	77
Quadro 6.2 – Exemplos de modelos cinéticos de reacções no seio do escoamento [36].....	80
Quadro a.1 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_4	A.1
Quadro a.2 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_3	A.2
Quadro a.3 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_2	A.3
Quadro a.4 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_1	A.4
Quadro a.5 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para os nós que ligam as habitações à coluna montante	A.5
Quadro a.6 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a coluna montante	A.5

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Pe-x - Polietileno reticulado de alta densidade

PP-R - Polipropileno Copolímero Random

PVC - Poli cloreto de Vinil

MVC - Mono cloreto de Vinil

PEAD - Polietileno de alta densidade

PEBD - Polietileno de baixa densidade

PEMD - Polietileno de média densidade

Ag - Aço Galvanizado

AI - Aço Inoxidável

Cu - Cobre

PN - Pressão nominal

UV - Ultravioleta

OMS - Organização Mundial de Saúde

RAC - Reservatório de ar comprimido

CS - Coeficiente de segurança

COT - Carbono orgânico total

1

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Como se sabe, é muito frequente que a rede pública de abastecimento de água não possa garantir pressão suficiente para abastecer convenientemente determinado edifício. O Decreto Regulamentar nº 23/95, que institui o Regulamento Geral de Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, adiante designado por “Regulamento”, sugere que é necessário garantir uma pressão ao nível do solo que, em mca, se exprime por:

$$H = 10 + 4 * n \quad (1.1)$$

A variável n corresponde ao número de pisos acima do solo (o R/C conta também para este efeito) e H a pressão, em mca. Assim, um edifício de R/C + 4, por exemplo, necessita de uma pressão de 30 mca. É muito provável que em certas zonas a rede pública não consiga assegurar essas pressões, ainda por cima em regime de ponta.

Isto, que já era uma situação corrente, passará a sê-lo ainda mais por força da redução de pressões para evitar perdas de água na rede, medida que está a ser cada vez mais utilizada. Consequentemente, aumenta o número de prédios que precisam de solução própria para garantir uma pressão conveniente.

Embora haja outras soluções, hoje em dia as mais vulgares são:

- Centrais hidropneumáticas com bombas de velocidade fixa;
- Centrais hidropneumáticas com bombas de velocidade variável.



Fig. 1.1 – Central hidropneumática de velocidade fixa [33]



Fig. 1.2 - Central hidropneumática de velocidade variável [34]

Estas soluções são descritas com pormenor no Capítulo 3. Para o caso de bombas com velocidade fixa um dos órgãos mais importantes do sistema é um reservatório fechado onde a água se encontra submetida a uma pressão que vai aumentando ou diminuindo conforme o reservatório contenha mais ou menos água.

No caso das centrais hidropneumáticas com bombas de velocidade variável o papel fundamental é desempenhado por uma ou mais bombas cuja velocidade de rotação é comandada pela frequência de alimentação eléctrica do motor, que por sua vez é definida por um transdutor de pressões cujo sinal depende dos consumos da rede.

Para além do equipamento de pressurização o sistema de abastecimento envolve outras componentes, designadamente, as redes de distribuição de água fria e de água quente, reservatório alimentado pela rede pública, ao qual são ligados os grupos de bombagem (em certos casos pode haver uma ligação directa à rede, conforme se verá) e equipamento eléctrico para protecção, sinalização, controlo e medida.

Feita esta breve introdução, cabe referir os principais objectivos deste trabalho:

- (i) Proporcionar informação com interesse para projectos de sistemas de abastecimento de água prediais, designadamente ao nível de canalizações (Capítulo 2), centrais hidropneumáticas (Capítulo 3 e Capítulo 5), bases de cálculo (Capítulo 4), qualidade da água (Capítulo 6) e custos de energia (Capítulo 8);
- (ii) Desenvolver uma metodologia que permita a utilização do simulador EPANET, de uso livre e muito popular na análise de sistemas públicos. Note-se que o cálculo de redes públicas e de redes prediais segue metodologias muito diferentes, porque os caudais nas últimas são fixados em termos probabilísticos, não compatíveis com o princípio da continuidade nos nós. Desconhece-se qualquer trabalho semelhante sobre o assunto, o qual é tratado nos Capítulos 4 e 5, tomando como caso de estudo um edifício de 12 pisos.
- (iii) Explorar as potencialidades do EPANET, não só para o habitual cálculo hidráulico da rede, mas também para estudo da qualidade da água e sensibilidade a alguns factores, tais como rugosidade dos tubos e perdas de carga localizadas, frequentemente esquecidas (Capítulo 7). Mais uma vez se toma como caso de estudo o edifício acima referido.

2

MATERIAIS DAS TUBAGENS – DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E DOS TIPOS DE INSTALAÇÕES EM REDES PREDIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo irá ser feita uma análise dos diferentes materiais de tubagens utilizados em redes de alimentação de água em edifícios.

Far-se-á descrição dos vários materiais, fazendo referência a vantagens e desvantagens de cada um deles. Será também abordado neste capítulo, as várias tecnologias de construção de redes de abastecimento de água.

2.2. TIPOS DE INSTALAÇÕES

Existem vários tipos de construção de redes prediais de abastecimento de água. As tubagens podem ser embutidas nas paredes ou nos pavimentos, colocadas no tecto ou em tecto falso, instaladas à vista. As tubagens embutidas no pavimento requerem uma natureza flexível, e protegidos com uma manga, pelo que nem todos os materiais são possíveis de serem utilizados. Quanto às tubagens instaladas à vista, estas geralmente são de natureza metálica, sendo possível utilizar tubagens plásticas desde que estas estejam devidamente protegidas dos raios ultra-violeta recorrendo a pintura dos tubos, por exemplo.

O Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de Agosto apresenta alguns artigos nomeadamente o artigo 96º, em que é descrito regras e cuidados a ter com as instalações da rede predial de água quente e fria, e que diz o seguinte:

- 1- “As canalizações interiores da rede predial de água fria e quente podem ser instaladas à vista, em galerias, caleiras, tectos falsos, embainhadas ou embutidas.
- 2- As canalizações não embutidas são fixadas por braçadeiras, espaçadas em conformidade com as características do material.
- 3- Na instalação de juntas e no tipo de braçadeiras a utilizar deverão ser consideradas a dilatação e a contracção da tubagem.
- 4- As canalizações exteriores da rede predial de água fria podem ser enterradas em valas, colocadas em paredes ou instaladas em caleiras, devendo ser sempre protegidas de acções mecânicas e isoladas termicamente quando necessário.

5- As canalizações não devem ficar:

- a) Sob elementos de fundação;
- b) Embutidas em elementos estruturais;
- c) Embutidas em pavimentos, excepto quando flexíveis e embainhadas;
- d) Em locais de difícil acesso;
- e) Em espaços pertencentes a chaminés e a sistemas de ventilação.”

Em seguida apresentam-se algumas imagens que apresentam os diferentes tipos de instalação:

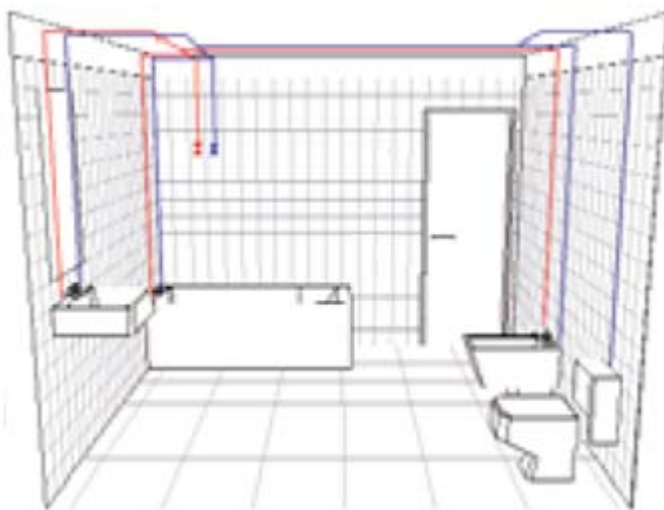


Fig. 2.1 – Instalação com tubos embutidos na parede e sobre tecto falso [4]

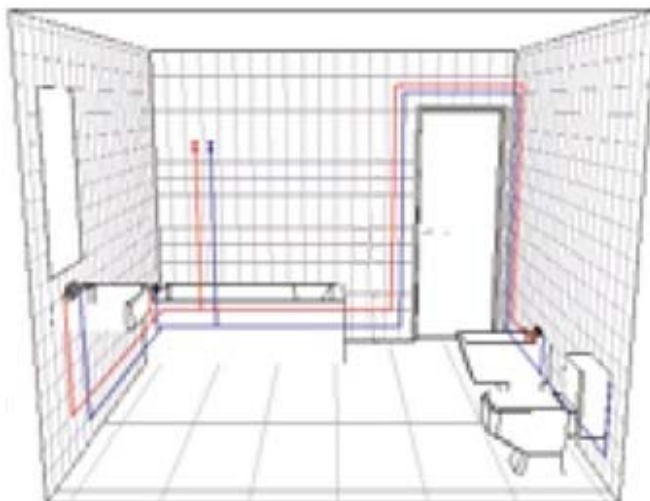


Fig. 2.2 – Instalação com tubos embutidos na parede, ou à vista [4]

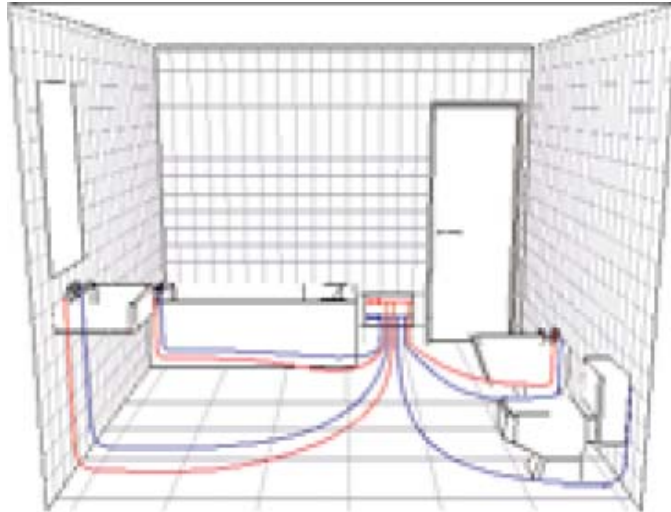


Fig. 2.3 – Instalação embutida no pavimento [4]

Além disto, as tubagens podem ser instaladas em série, como no caso da figura 2.1 e 2.2, ou em paralelo ligados a um colector, como representado na figura 2.3.

Nas ligações em série, é necessário considerar o número de ligações que é preciso alimentar com um certo intervalo de tubo da rede. Este tipo de instalação permite a utilização de menor quantidade de tubagem, ao contrário da instalação em paralelo, mas também a utilização de diâmetros diferentes por causa das ligações das utilizações em série.

No caso de uma ligação em paralelo, os tubos que vão ligar às diferentes utilizações de água estão ligados a um colector. Este tipo de instalação permite a utilização de diâmetros menores, pelo facto de, a partir do colector, irá sair um tubo para cada utilização, sendo este dimensionado para o respectivo caudal; elimina as variações de pressão e caudais em cada tubo, permite uma utilização de menor quantidade de acessórios. Além disso permite uma reparação mais eficaz na medida em que, caso haja problemas numa das ligações, as restantes possam continuar a funcionar.

2.3. MATERIAIS UTILIZADOS

No mercado existem várias soluções de materiais aceites para redes prediais de abastecimento de água.

Os principais materiais utilizados são os seguintes:

- Tubos de parede tricomposta ou multi-camada (plástico - alumínio - plástico)
- Tubos em Polietileno reticulado (Pe-x)
- Tubos em Polipropileno (PP-R)
- Tubos em Poli cloreto de vinil (PVC)
- Tubos em Polietileno de alta densidade (PEAD)
- Tubos em Aço galvanizado (Ag)
- Tubos em Aço inox (Al)
- Tubos em Cobre (Cu)

Pelo Decreto Regulamentar nº23/95, artigo 99º vem que:

- 1- “As tubagens e acessórios que constituem as redes interiores podem, entre outros, ser de cobre, aço inoxidável, aço galvanizado ou PVC rígido, este último no caso de canalizações de água fria não afectas a sistemas de combate a incêndios.
- 2- Nas redes exteriores de água fria, as tubagens e acessórios podem ser de ferro fundido, fibrocimento, polietileno ou PVC rígido.”

Em seguida irá ser realizada uma descrição de cada um dos vários tipos de materiais que são utilizados no abastecimento de água em edifícios. São indicados os preços dos vários materiais para um diâmetro de 25 mm para se ter uma ideia das variações dos preços dos diferentes materiais. É preciso tomar em atenção que estes preços servem apenas como mera comparação, podendo estar desactualizados.

2.4. TUBO MULTI-CAMADA

A tecnologia dos tubos multi-camada consiste em inserir uma camada metálica, normalmente alumínio, compreendida entre dois estratos de matéria plástica sendo normalmente utilizado o Polietileno de estrutura reticulada de alta densidade (Pe-x).



Fig. 2.4 – Representação esquemática de um tubo multi-camada [5]

A combinação destes estratos permite a combinação de vantagens típicas das tubagens metálicas, com algumas vantagens dos materiais de tipo plástico, permitindo eliminar algumas desvantagens características de cada um dos tipos de materiais. Este tipo de tubo constitui uma alternativa válida às tubagens metálicas e também a alguns tubos de natureza plástica, sendo muito utilizados nos sistemas de instalação mais comuns.

Os problemas típicos das tubagens metálicas como por exemplo a corrosão, em alguns casos a toxicidade, a elevada rugosidade interior que leva a importantes perdas de carga, e as importantes incrustações a que estes materiais estão sujeitos, são eliminadas graças aos estratos em Polietileno de estrutura reticulada de alta densidade (Pe-x). Do mesmo modo, os problemas típicos que as tubagens de materiais plásticos têm, tal como a permeabilidade aos gases e as radiações ultravioleta, a forte dilatação térmica e a falta de estabilidade da sua forma na instalação, são eliminados graças à existência do estrato metálico.

Este tipo de material, devido às suas características, permite uma instalação tanto em série como em paralelo, sendo possível proceder-se a instalação embutida no pavimento.

Para um diâmetro de 25 mm o preço deste material ronda os 3,85 €.

2.4.1. VANTAGENS:

As principais vantagens que os tubos multi-camada podem garantir são as seguintes:

- Impermeabilidade ao oxigénio e aos gases em geral
- Estabilidade da sua forma durante a instalação, como por exemplo numa curva
- Baixa condutibilidade térmica
- Leveza em fase de transporte e de instalação
- Menor dilatação comparativamente com outros tubos
- Inexistência de condutibilidade eléctrica
- Atenuação da propagação das ondas sonoras
- Atoxicidade
- Óptimo comportamento face ao fogo
- Perdas de carga reduzidas e óptimo comportamento face a incrustações e outros fenómenos de abrasão

Impermeabilidade ao oxigénio e aos gases em geral

A camada de alumínio existente no interior do tubo não permite a passagem de nenhuma molécula gasosa e dos raios ultravioleta, impedindo assim fenómenos de corrosão que podem ser provocados por a oxigenação dos circuitos.

Estabilidade da sua forma e maleabilidade

O raio de curvatura passível de ser atingido por este material de forma a não provocar estrangulamentos ou deformações particulares, ronda 2 a 5 vezes o diâmetro exterior do tubo. É possível ser atingido raios de curvatura mais pequenos caso seja utilizado um utensílio próprio para realizar as curvas nos tubos.

É possível efectuar uma curvatura manual, quando esta é muito pequena, recorrendo a uma mola anti-esmagamento, quando seja necessário.

O estrato metálico permite manter a estabilidade da forma assumida pelo tubo depois deste ter sido moldado.

Baixa condutibilidade térmica

Os tubos multi-camada são caracterizados por terem uma baixa condutibilidade térmica, na ordem dos 0.43 W/m °C, pelo que permitem uma dispersão de calor muito inferior ao calor dos tubos metálicos em geral, evitando assim perdas de calor por parte do fluido e a formação de condensação sobre a superfície exterior do tubo.

Leveza

Este material possui um peso específico muito reduzido, pelo que esta característica permita uma maior facilidade no transporte para a instalação, permitindo uma mais rápida e fácil instalação.

Condutibilidade eléctrica

Pelo facto de o estrato metálico se encontrar protegido pelos revestimentos interior e exterior em Pe-x, não se encontrando em contacto com outras matérias metálicas ou mesmo com o fluido que circula no interior, não é possível que se produzam fenómenos de corrosão devidos à diferença de potencial entre metais mais ou menos nobres, e além disso, o tubo tem incorporada a função de junta dielétrica entre dois terminais diferentes.

Atenuação da propagação de ondas sonoras

O revestimento interior em Pe-x atenua de uma forma bastante positiva as ondas sonoras que não são absorvidas pelo estrato metálico.

Eventuais ruídos provocados pelo funcionamento do grupo hidropressor ou pela circulação do fluido, são também atenuados que até resultam imperceptíveis.

Atoxicidade

Os tubos multi-camada são adequados para o transporte e distribuição de água potável. O estrato interior em Polietileno reticulado de alta densidade permite um comportamento adequado para os fluidos compatíveis com este material.

Comportamento face a incêndio

Os tubos multi-camada apresentam um óptimo comportamento no que diz respeito a uma situação de incêndio, graças ao estrato metálico e a baixa emissão de fumo em caso de combustão.

Perdas de carga, incrustações, abrasões e corrosão

A superfície interior do tubo multi-camada apresenta uma superfície muito lisa (rugosidade na ordem dos $7\mu\text{m}$) que as perdas de carga são muito reduzidas, comparativamente a tubos metálicos tradicionais.

Pelo facto destes tubos não permitirem a formação de incrustações ou ferrugem, permite que as perdas de carga se mantêm estáveis ao longo do tempo.

A baixa rugosidade dos tubos irá levar a um melhor aproveitamento do caudal, um menor consumo de energia das estações de bombagem e um melhor aproveitamento da pressão nas instalações de circulação por gravidade.

2.4.2. DESVANTAGENS:

- Gama de diâmetros
- Preço

Gama de diâmetros

Pelo facto de existirem pequenas gamas de diâmetros, em que o diâmetro exterior mais elevado é igual a 50mm, o material encontra-se em desvantagem quando for necessário utilizar maiores diâmetros.

Preço

É uma solução mais cara comparativamente as restantes soluções em tubos plásticos.

De resto, as desvantagens associadas aos estratos plásticos são compensadas pelo estrato metálico e vice-versa.

2.5. TUBO EM POLIETILENO RETICULADO DE ALTA DENSIDADE (PE-X)

Os tubos em Pe-x, são produzidos com material plástico, designado de Polietileno reticulado de alta densidade. A produção destes tubos consiste na utilização de uma matéria-prima (Polietileno) com um peso molecular e densidade elevadas. Dá-se a formação de longas cadeias moleculares, ligando várias moléculas compostas por carbono e hidrogénio.

A reticulação define-se como um processo que altera a estrutura química de tal forma que as cadeias de polímero são ligadas umas às outras para formarem uma rede tridimensional por meio de uniões químicas. Esta nova estrutura obtida por este processo, torna impossível a fusão ou a dissolução do polímero, a não ser que a sua estrutura seja previamente destruída.

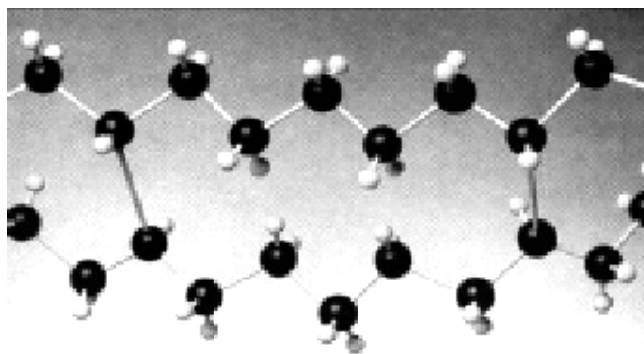


Fig. 2.5 – Estrutura molecular do Polietileno reticulado de alta densidade (ligação das varias cadeias de moléculas) [8]

Este material, por ser de natureza plástica, pode ser instalado no pavimento, para além de poder ser instalada embutida na parede ou no tecto como a maioria das tubagens, podendo, ou não, estar revestido com uma manga de protecção feita com a utilização de um tubo corrugado que pode ser de Polietileno ou Polipropileno.

No caso de o tubo estar revestido com a manga, o espaçamento entre o diâmetro exterior do tubo e o diâmetro interior da manga permite que o tubo possa sofrer dilatações, tanto axiais como radiais. Permite, no caso de numa instalação por colectores, um aviso de fugas de água, pois se o tubo tiver sido furado por algum motivo, a água que sair irá ser conduzida ao longo da manga até ao colector permitindo assim identificar qual o tubo danificado mais facilmente. Para além disso o facto de existir este espaçamento entre o tubo e o revestimento permite uma mais fácil remoção do tubo, para

reparação ou substituição do mesmo, sem que seja necessário estar a abrir o pavimento, ou a parede, onde o tubo se encontra instalado.



Fig. 2.6 – Tubo em Pe-x revestido com manga de protecção

Para tubos instalados na soleira sem revestimento e para pressões de utilização que podem atingir 6 bar, o tubo deve ser instalado a uma profundidade de 2,5 a 3 vezes o diâmetro exterior do tubo, de modo a evitar fenómenos de fenda de rebocos.

Os tubos em Pe-x podem ser instalados tanto em série, como em paralelo ligados a uma caixa de colectores.

Os tubos em Pe-x apresentam uma gama de diâmetros nominais compreendidos entre 16 a 110 mm.

Para um diâmetro de 25 mm o preço deste material ronda os 1.60 €.

Para além disto, existem outras características que permitem o sucesso técnico e económico destes tubos, mas também existem algumas desvantagens associadas ao material.

2.5.1. VANTAGENS:

- Perdas de carga muito baixas, óptimo comportamento face a incrustações e outros fenómenos de abrasão
- Óptimas características mecânicas e de funcionamento
- Leveza em fase de transporte, deslocações e instalações
- Atoxicidade
- Óptimas propriedades dieléctricas
- Baixa condutibilidade térmica
- Atenuação da propagação das ondas sonoras
- Grande facilidade de instalação
- Memória térmica

Perdas de carga, incrustações e abrasões

Os tubos em Polietileno reticulado de alta densidade apresentam uma superfície interior muito lisa e um valor de rugosidade muito inferior comparativamente com tubos de natureza metálica. Este aspecto é devido ao facto de que esta matéria possa ser facilmente trabalhada, para que depois da sua extrusão, não apresente nenhuma porosidade ou fissuração. Esta característica mantém-se por longos períodos de tempo, visto que os tubos em Pe-x não permitem a formação de incrustações interiores que, com o

passar do tempo, iriam alterar a superfície interior do tubo, o que iria levar a um aumento das perdas de carga.

Os tubos em Pe-x são fabricados em material resistente à corrosão, não sendo atacados pelos elementos habitualmente presentes na água.

Em relação à abrasão, os estratos em Pe-x possuem uma alta resistência a este fenómeno, permitindo que a água corra com uma grande rapidez, mesmo que contenha impurezas em suspensão.

Por estes motivos, as perdas de carga no interior dos tubos em Pe-x são muito reduzidas, o que levará a um melhor aproveitamento do caudal, um menor gasto de energia das estações de bombagem e uma melhor utilização da pressão nas instalações de circulação por gravidade.

Características mecânicas e de funcionamento

Os tubos em Pe-x apresentam um bom comportamento e funcionamento em relação a pressões, utilizações, temperaturas, duração, etc. graças às características mecânicas e de funcionamento do material.

Leveza

Os tubos e as ligações em Pe-x, tem um peso específico muito reduzido, pelo que esta característica possibilite uma maior facilidade no transporte para a instalação, permitindo uma mais rápida e fácil montagem.

Atoxicidade

Os tubos em Polietileno reticulado de alta densidade, podem ser utilizados em redes de distribuição onde circulam fluidos para uso alimentar, apresentando uma competência adequada para o transporte de água potável, cumprindo todas as normas vigentes a nível internacional.

Propriedades dieléctricas

O Polietileno reticulado de alta densidade é um dos melhores materiais no que diz respeito a isolação eléctrica, por possuir uma elevada resistência a estes fenómenos. Assim, as redes de distribuição realizadas em Pe-x, não irão ser sujeitas a fenómenos de erosão eléctrica, fenómeno esse que acontece nas tubagens metálicas.

Baixa condutibilidade térmica

Os tubos em Pe-x apresentam um baixo valor de condutibilidade térmica e a dispersão de calor por metro linear é muito inferior, comparativamente ao calor produzido com tubagens metálicas. Assim, tal como todas as tubagens plásticas, evitam-se perdas de calor por parte do fluido e a formação de condensação sobre a superfície exterior do tubo.

Atenuação da propagação das ondas sonoras

Os tubos em Polietileno reticulado de alta densidade não transmitem vibrações nem as geram. O seu emprego assegura o máximo silêncio. Além disso, eventuais ruídos provocados pela circulação do fluido, são também atenuados tornando-se insignificantes.

Facilidade de instalação

Graças a maleabilidade e trabalhabilidade, os tubos em Pe-x permitem que, para além das técnicas tradicionais de instalação, sejam adoptadas novos esquemas de distribuição inovativos.

As redes de distribuição realizadas com tubos em Pe-x, podem ter conformações e destinos muito diferentes, podendo até realizar instalações completamente removíveis.

Além disto, não são necessárias a utilização de instrumentos particulares, pelo que a sua instalação é muito simples.

Memória térmica

Graças à sua estrutura molecular, os tubos em Polietileno reticulado de alta densidade são caracterizados por uma memória térmica que permite a possibilidade de que o tubo possa voltar à forma original no momento da reticulação, após este sofrer uma deformação devido à temperatura.

Resistência ao fogo

Apesar de os tubos em Pe-x serem feitos de material inflamável, o efeito da reticulação do Polietileno permite que o material não goteje. Este fenómeno só começa a ocorrer quando são atingidas temperaturas que rondam os 400 °C. No caso de ocorrer um incêndio e este provocar a combustão dos tubos em Pe-x, o resultado dessa combustão seria composto por dióxido de carbono e água pura, que são substâncias nem corrosivas nem tóxicas.

2.5.2. DESVANTAGENS:

- Raios Ultravioleta
- Permeabilidade aos gases
- Dilatação térmica
- Resistência ao choque

Raios Ultravioleta

Em geral os tubos de Polietileno não são muito resistentes aos raios ultravioletas. Assim é necessário evitar ou instalar tubos em Pe-x de cor branca em posição directamente exposta aos raios de sol.

Caso seja necessário instalar tubos em Pe-x ao ar livre, é preciso protegê-los com uma pintura própria para protecção contra a acção dos raios ultravioletas.

Permeabilidade aos gases

Os tubos em Pe-x, tal como as restantes tubagens de materiais plásticos possuem uma certa permeabilidade ao vapor de água e a gases. Esta característica possui uma importância mais relevante em instalações de aquecimento, pois pode ocorrer a oxigenação da água contida nesses tubos, do que nas instalações hidrosanitárias onde é desprezável este efeito.

Dilatação térmica

Os tubos em Pe-x apresentam um grande coeficiente de dilatação, $\alpha = 0,15 \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$, o que pode levar a grandes dilatações dependendo da variação da temperatura. No caso de instalações debaixo da soleira, as dilatações em geral não provocam problemas pelo facto de se utilizarem mangas de protecção, servindo para compensar os efeitos das dilatações térmicas.

Em relação às instalações à vista, as eventuais dilatações provocam um efeito estético desagradável e podem originar tensões não desejadas sobre alguns componentes do sistema tais como, curvas, cotovelos, T's, etc.

Para controlar os efeitos das dilatações térmicas, que não podem ser compensados de uma maneira natural, é necessário intervir na rede, prevendo pontos fixos de ancoragem, suportes sustentáveis escorregadiços e braços de dilatação que sejam adequados.

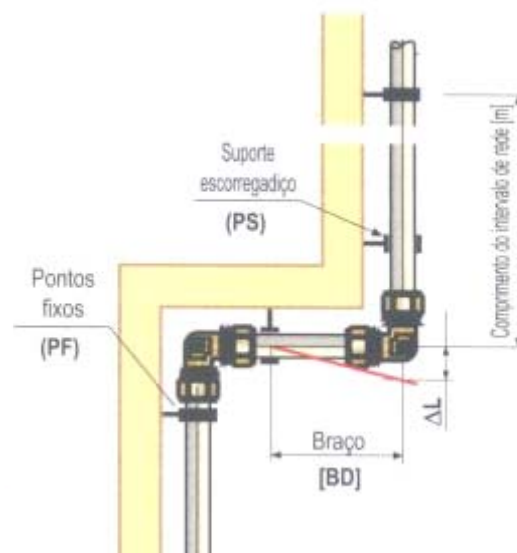


Fig. 2.7 – Compensação das dilatações [7]

Resistência ao choque

Os tubos em Pe-x, por serem de material plástico, não possuem uma resistência ao choque tão grande, comparativamente aos tubos metálicos, pelo que na sua instalação deve-se ter cuidados para evitar danificar os materiais e evitar o uso de materiais que apresentem danos.

2.6. TUBO EM POLIPROPILENO COPOLIMERO RANDOM (PP-R)

Os tubos em PP-R, são produzidos com um material plástico, designado de Polipropileno Copolimero Random, obtendo-se os tubos e acessórios em Polipropileno. O Polipropileno Copolimero Random, cuja matéria-prima é fornecida em pequenos grânulos de cor azul, é uma resina termoplástica que é transformada no produto final mediante um aumento de temperatura, que permite plastificar o material. Os tubos são obtidos por extrusão e os acessórios por injeção.

O sistema de tubos e ligações em PP-R, são ideais para o transporte de fluidos, quer em altas quer em baixas temperaturas, sob pressão para longos períodos de tempo, e são utilizados em instalações hidrosanitárias e de aquecimento, no transporte de líquidos alimentares e em instalações industriais.

Uma das particularidades deste sistema em PP-R consiste na técnica de ligação, que é obtida mediante a soldadura por fusão entre o tubo e os acessórios, o que significa que os tubos e conexões se fundem molecularmente a uma temperatura de 260 °C, permitindo que o tubo e o acessório passem a constituir um corpo único dispensando o uso de solda, roscas ou colas, eliminando-se assim os eventuais problemas que poderiam derivar de potenciais pontos de perda.



Fig. 2.8 – Tubos e acessórios em PP-R [10]

Os diâmetros nominais dos tubos em PP-R podem ir desde 16 mm até 90 mm, para PN20 e desde 32 a 110 mm para PN10, sendo que para esta pressão só se pode usar água fria. Estes os diâmetros correspondem aos diâmetros exteriores do tubo.

Para um diâmetro de 25 mm o preço deste material ronda os 1.75 €.

Os tubos em Polipropileno Copolímero Random apresentam múltiplas características que resultam num sistema ideal para realizar instalações modernas e tecnologicamente avançadas, mas também apresentam algumas desvantagens.

2.6.1. VANTAGENS:

- Baixa perda de carga
- Ausência de corrosão, incrustações e abrasão
- Baixa condutividade térmica
- Baixo ruído
- Higienicidade
- Resistência as correntes vagantes
- Facilidade de trabalho

Baixa perda de carga

Os tubos em PP-R possuem uma superfície interna que não apresenta fissurações ou porosidades, devido a uma estrutura particularmente homogênea e compacta do matéria, o que permite obter uma superfície interna lisa, resultando então perdas de carga baixas no tubo.

Graças à superfície interior ser lisa permitirá, tal como nos outros materiais de natureza plástica, um melhor proveito do caudal, um menor consumo de energia das estações de bombagem e uma melhor utilização da pressão nas instalações de circulação por gravidade.

Corrosão, incrustações e abrasão

Os tubos em PP-R resistem a qualquer tipo de dureza de água e apresentam também uma grande resistividade a substâncias químicas de natureza ácida ou alcalina, o que os tornam compatíveis em contacto com os materiais utilizados na construção, tais como cal e o cimento, sem necessitar de recorrer a protecção específica. Além disto, o acabamento interior dos tubos evita a formação de incrustações, por apresentar uma superfície muito lisa.

Quanto ao fenómeno de abrasão, os tubos apresentam uma elevada resistência a este fenómeno, o que permite velocidades mais elevadas da água, sem originar problemas de erosão dos tubos.

Condutividade térmica

O elevado grau de isolamento térmico que caracteriza o material permite uma baixa perda de calor por parte de fluido transportado reflectindo-se num ganho energético.

O baixo valor de condutividade térmica provoca uma diminuição drástica do efeito de condensação sobre a superfície exterior do tubo, que em certas condições termo-higrométricas, seria muito desfavorável no caso de utilização de tubos metálicos.

A baixa condutibilidade térmica permite também que, quando a temperatura externa ao tubo é muito baixa, a água necessita de um período longo de tempo para que a transformação em gelo se verifique.

Ruído

Graças ao elevado valor de isolamento acústico do material, o ruído produzido, quer no caso em que a velocidade da água é extremamente elevada, quer quando ocorre o fenómeno de choque hidráulico, seja muito atenuado.

Higienicidade

A matéria-prima utilizada para a produção dos tubos em PP-R, é completamente atóxica e os tubos podem ser utilizados em redes de distribuição onde circulam fluidos para uso alimentar, mostrando uma aptidão apropriada para o transporte de água potável, cumprindo as normas vigentes.

Resistência às correntes vagantes

O Polipropileno é um péssimo condutor eléctrico, apresentando um elevado poder de isolante eléctrico, o que permite que os tubos e as ligações não irão sofrer dos fenómenos causados pelas correntes vagantes, **ou seja** não se irá verificar a formação de perfurações, ao contrário dos tubos metálicos. Este fenómeno ocorre em instalações que se encontram na proximidade de grandes aglomerações industriais ou em zonas de grande concentração de corrente electrostática.

Facilidade de trabalho

Os tubos e acessórios em PP-R têm um peso específico reduzido, o que permite obter peças bastante leves, pelo que esta característica possibilita uma maior facilidade no transporte para a instalação, permitindo uma mais rápida e fácil montagem, realizada de um modo credível e seguro.

2.6.2. DESVANTAGENS:

O Polipropileno Copolímero Random, tal como as restantes tubagens plásticas apresenta algumas desvantagens, nomeadamente ao nível de:

- Raios Ultravioleta
- Permeabilidade aos gases
- Dilatação térmica
- Resistência ao choque

Raios Ultravioleta

Os tubos em PP-R não são muito resistentes à acção dos raios ultravioletas, pelo que não devem ser instalados nem armazenados em locais onde possam estar expostos acção das radiações ultravioletas, para evitar o fenómeno de envelhecimento do material, que levaria a perda das características físico-químicas que possuía inicialmente.

Caso seja necessário instalar os tubos em locais onde vão sofrer acção das radiações UV, deve-se proteger o material com uma pintura própria para protecção do material.

Permeabilidade aos gases

Os tubos em PP-R possuem uma certa permeabilidade ao vapor de água e a gases. Esta característica possui uma importância mais relevante em instalações de aquecimento, pois pode ocorrer a oxigenação da água contida nesses tubos, do que nas instalações hidrosanitárias onde é desprezável este efeito.

Dilatação térmica

Os tubos em PP-R apresentam um grande coeficiente de dilatação, $\alpha = 0,15 \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$, o que pode levar a grandes dilatações dependendo da variação da temperatura.

Em relação às instalações à vista, as eventuais dilatações provocam um efeito estético desagradável e podem originar tensões não desejadas sobre alguns componentes do sistema tais como, curvas, cotovelos, T's, etc.

Tal como nos tubos em Pe-x é necessário intervir na rede, prevendo pontos fixos de ancoragem, suportes sustentáveis escorregadiços e braços de dilatação que sejam adequados, para controlar os efeitos das dilatações térmicas que não podem ser compensados de uma maneira natural (ver Fig.2.7).

Resistência ao choque

Os tubos em PP-R, ao contrário das tubagens metálicas, não possuem uma resistência ao choque tão grande, pelo que na sua instalação deve-se ter cuidados para evitar danificar os materiais.

2.7. TUBO EM POLI CLORETO DE VINIL (PVC)

O PVC (poli cloreto de vinil) é um plástico não 100% originário do petróleo. É constituído por cloro e etileno. O PVC é feito a partir de repetidos processos de polimerização que convertem hidrocarbonetos, contidos em materiais como o petróleo, em um único composto chamado polímero. Este dá ao PVC duas vantagens, a de não ser tão susceptível às mudanças de preço no mercado de petróleo e de não ser um bom combustível como os derivados de petróleo.

Por uma reacção química, o etileno e o cloro, que se encontram em estado gasoso, combinam-se formando o dicloreto de etileno. Este, por sua vez, é transformado em um gás designado por MVC (mono cloreto de vinil). Estas moléculas irão ser submetidas ao processo de polimerização, que converte o monómero num polímero de vinil (PVC), que é um pó muito fino de cor branca e totalmente inerte.

O PVC irá ser manipulado e sofrerá transformações adequadas, de forma a obter-se uma variedade de produtos, tais como tubos e acessórios para serem utilizados para transporte de água potável em canalizações domésticas sob pressão, esgotos para saneamento básico.



Fig. 2.9 – Tubo em Poli cloreto de vinil [13]

Os diâmetros nominais destes tubos vão desde os 16 mm até os 125 mm, podendo atingir os 800 mm.

Para um diâmetro de 25 mm o preço deste material ronda os 2.00 €.

Os tubos em PVC apresentam várias características que permitem o sucesso técnico e económico destes tubos, mas também apresentam algumas desvantagens.

2.7.1. VANTAGENS:

- Resistência a agentes químicos

- Propriedades eléctricas
- Material termoplástico
- Fácil montagem
- Baixa rugosidade
- Atoxicidade

Resistência a agentes químicos

Os tubos em PVC resistem à corrosão da maior parte dos agentes químicos, mantendo-se inalteráveis face à acção exterior de ambientes ou à interior pelo tipo, concentração e temperatura do fluido conduzido.

Propriedades eléctricas

Por ser uma material de natureza plástica, o PVC é um péssimo condutor eléctrico, pelo que os tubos e acessórios feitos neste material não irão sofrer dos fenómenos causados pelas correntes vagantes ao contrário dos tubos de natureza metálica, tais como a formação de perfurações e outros tipos de corrosão por fenómenos eléctricos.

Material Termoplástico

Pelo facto de os tubos em PVC serem termoplásticos, permite que estes possam ser manejados e manipulados sob o efeito de focos de calor.

Fácil montagem

Graças ao facto de o PVC ser um material leve, os tubos e acessórios feitos com este material são leves, facilitando o transporte e instalação dos materiais, permitindo também uma montagem mais rápida e fácil.

Baixa rugosidade

Os tubos em PVC apresentam uma rugosidade interior baixa, dando origem a perdas de carga reduzidas comparativamente às que se verificam em outros materiais não plásticos.

Por possuir uma superfície interior muito lisa, a formação de incrustações é evitada e não apresenta fenómenos de corrosão, pelo que os tubos mantêm constante a sua secção e o coeficiente de perda de carga com o tempo.

A baixa rugosidade dos tubos irá também permitir um melhor aproveitamento do caudal, um menor consumo de energia das estações de bombagem e um melhor aproveitamento da pressão nas instalações de circulação por gravidade.

Atoxicidade

A matéria-prima utilizada nos tubos em PVC, é atóxica o que permite a utilização em redes de distribuição onde circulam fluidos para uso alimentar, mostrando uma boa aptidão para o transporte de água potável.

2.7.2. DESVANTAGENS:

- Dilatações térmicas
- Resistência ao choque
- Raios Ultravioleta
- Permeabilidade aos gases

Dilatações Térmicas

Os tubos em PVC apresentam um coeficiente de dilatação térmica igual a 0.08 mm/m °C, o que pode originar grandes deformações na tubagem. O tubo pode fracturar-se quando o fluido que circula nele se encontra perto da congelação, ou pode sofrer dilatações com o aumento da temperatura.

Na instalação das tubagens em PVC é então necessário alguns cuidados a ter para evitar problemas com as dilatações térmicas, tais como nas instalações à vista não fixar rigidamente à parede para que o tubo possa sofrer dilatações, nas instalações embebidas os tubos devem ser envolvidos em materiais macios, e nas secções onde ocorrem as diferenças de temperatura, deve haver roços alargados a fim de os tubos poderem contrair e dilatar em segurança. No caso de grandes dilatações térmicas, deve-se prever juntas de dilatação.

Resistência ao choque

Tal como outros materiais plásticos, os tubos em PVC não possuem uma resistência ao choque elevada, devendo assim ser evitado os choques violentos, o contacto com arestas vivas de corpos duros e outras operações que possam danificar o material.

Raios Ultravioleta

Pela natureza plástica do material, os tubos em PVC não são muito resistentes à acção das radiações ultravioleta, que podem levar a um envelhecimento do material e perda das características físico-químicas que possuía, pelo que se deve evitar o armazenamento e a instalação em locais onde possa estar expostos a luz solar e a radiação ultravioleta.

Caso seja necessário instalar os tubos em locais onde vão sofrer acção das radiações UV, deve-se proteger o material com uma pintura própria para protecção do material.

Permeabilidade aos gases

Os tubos em PVC possuem uma certa permeabilidade ao vapor de água e a gases, sendo que é necessário conhecer os coeficientes de permeabilidade específica do material em função dos gases, que circulam nele.

2.8. TUBO EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

O polietileno é um plástico, incolor, translúcido, termoplástico, flexível em pequenas espessuras, inodoro e não tóxico, decompondo-se a uma temperatura de aproximadamente 300 °C e é menos denso que a água.

O Polietileno é obtido através da polimerização do gás etileno. Os diferentes processos de polimerização para a produção industrial de Polietileno requerem determinadas condições de pressão e temperatura, e a presença de catalisadores. A variação destas condições durante a polimerização permite a obtenção de produtos de características diferentes.

Inicialmente este processo era realizado através da submissão do etileno a altas pressões, entre os 1000 a 1500 atm., e temperaturas compreendidas entre os 80 e os 300 °C, resultando assim o Polietileno denominado de alta pressão ou de baixa densidade (PEBD).

Existe também outro procedimento, que consiste em polimerizar o etileno a temperaturas e pressões moderadas de 50 a 200 atm., dissolvido em hidrocarbonetos líquidos, com um catalisador à base de óxidos metálicos, obtendo-se um Polietileno de média densidade (PEMD).

É possível obter-se Polietileno em condições mais favoráveis, trabalhando-se a pressões baixas (entre 30 a 40 atm.) e a uma temperatura inferior a 300 °C, graças ao recurso de catalisadores metálicos tais como o titânio e o magnésio, obtendo-se assim o Polietileno denominado de alta densidade (PEAD).

O Polietileno obtido nestas condições apresenta poucas ou nenhuma cadeia ramificada (Polietileno linear). O Polietileno cristaliza à medida que o fundido arrefece, e as cadeias moleculares longas vão se rearranjar em pequenas zonas cristalinas que, junto com as zonas amorfas, associam-se para formar macroestruturas conhecidas como esferulites. Quanto mais curtas forem as cadeias e menor o grau de ramificação, melhor será o processo de cristalização. O predomínio das zonas cristalinas facilita o agrupamento e o empacotamento das moléculas e, conseqüentemente, o aumento da densidade.

O maior número de ligações inter-moleculares e a alta percentagem de zonas cristalinas proporciona um aumento de densidade, rigidez, dureza, resistência à tracção e módulo de elasticidade. Em contrapartida também leva a uma diminuição da resistência ao impacto e à fissuração.

O PEAD permitiu a criação de tubos para aplicações a pressões mais elevadas, com diminuição da espessura dos tubos e também o aumento das gamas de diâmetros.

Os tubos em Polietileno são utilizados para a condução de fluidos sob pressão, para condução de combustíveis gasosos, trabalhos de rega, drenagem de terrenos agrícolas e zonas de intervenção da construção civil, entre outras utilizações.



Fig. 2.10 – Tubos em Polietileno de alta densidade [15]

Os tubos em PEAD apresentam uma elevada gama de diâmetros nominais que vão desde 16 mm até 1200 mm, apesar de que para abastecimento de água se considere até 125 mm.

Para um diâmetro de 25 mm o preço deste material ronda 1.00 €. Este material é mais utilizado para grandes diâmetros.

Os tubos em PEAD apresentam várias características que permitem o sucesso técnico e económico destes tubos, mas também existem algumas desvantagens associadas ao material.

2.8.1. VANTAGENS:

- Baixa densidade
- Maior flexibilidade
- Resistência a agentes químicos
- Baixo coeficiente de fricção
- Baixo módulo de elasticidade
- Características eléctricas
- Inalterável com o tempo
- Atoxicidade

Baixa densidade

A baixa densidade do material permite uma maior facilidade no transporte e na manipulação dos tubos, permitindo também o fabrico de maiores comprimentos de tubos.

Maior flexibilidade

Por possuir um módulo de elasticidade baixo, compreendido entre 850 a 1200 MPa, o tubo pode ser apresentado em bobines de grande comprimento. Além disso permite realizar a frio curvaturas importantes sem necessidade de utilizar acessórios.

Resistência a agentes químicos

O Polietileno apresenta uma resistência elevada aos agentes químicos habituais. É pouco sensível à água, mesmo quando está a ferver, e à humidade. Apresenta uma resistência à corrosão muito elevada.

Baixo coeficiente de fricção

Os tubos em PEAD apresentam uma rugosidade interior muito pequena, o que conduz a perdas de carga inferiores às que se verificam em outros materiais não plásticos.

Para além disso, pelo facto de a superfície interior ser muito lisa, impede a formação de incrustações e não apresenta fenómenos de corrosão, pelo que os tubos mantêm constante a sua secção e o coeficiente de fricção ao longo do tempo.

A baixa rugosidade dos tubos irá permitir, tal como nos outros materiais plásticos, um melhor aproveitamento do caudal e uma utilização mais eficiente da energia gasta na bombagem pela estação elevatória ou um melhor aproveitamento da pressão no caso de circulação por gravidade.

Baixo módulo de elasticidade

O facto de os tubos possuírem um baixo módulo de elasticidade permite que resistam a tensões e deformações elevadas com cargas instantâneas, e permite que a celeridade seja muito menor em comparação com outros materiais, atenuando as cargas por choque hidráulico.

Características eléctricas

O Polietileno é um material não condutor de corrente eléctrica, pelo que os tubos não necessitam de protecções contra correntes galvânicas.

Inalterável com o tempo

Os tubos em PEAD apresentam uma longevidade bastante elevada, mantendo as características inalteráveis e dentro das margens de segurança do projecto.

Atoxicidade

Os tubos em PEAD são completamente atóxicos, conservando assim a qualidade da água transportada.

2.8.2. DESVANTAGENS:

O Polietileno de alta densidade, tal como as restantes tubagens plásticas apresenta algumas desvantagens, nomeadamente:

- Raios Ultravioleta
- Permeabilidade aos gases
- Dilatação térmica

Raios Ultravioleta

Os tubos em PEAD não são muito resistentes à acção dos raios ultravioletas. Para evitar isto o Polietileno pode ser aditivado com o negro de carbono e outros estabilizadores durante o processo de fabrico para o proteger contra os efeitos da radiação UV e contra o seu envelhecimento.

Permeabilidade aos gases

Os tubos em PEAD possuem uma certa permeabilidade ao vapor de água e a gases, sendo que é necessário conhecer os coeficientes de permeabilidade específica do material em função dos gases, que circulam nele.

Dilatação térmica

Os tubos em PEAD apresentam um grande coeficiente de dilatação, $\alpha = 0,13 \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$, o que pode levar a grandes dilatações dependendo da variação da temperatura, devendo se ter o cuidado de, quando se projectar as instalações, evitar sobretensões térmicas que encurtariam a vida do tubo. Os aumentos de temperatura vão diminuir as propriedades mecânicas, acelerando o envelhecimento do material.

2.9. TUBO EM AÇO GALVANIZADO

O processo de galvanização consiste em submergir um metal, neste caso o aço, em um substrato, geralmente em zinco, transferindo assim iões do estrato para a superfície do aço através da electrólise.

Para que as reacções possam acontecer, é necessário fornecer energia eléctrica para que possa ocorrer a electrólise. O aço irá sofrer redução e deve estar ligado **ao pólo negativo, o cátodo**, de uma fonte de energia, enquanto o metal que sofre a oxidação deve ser ligado **a um pólo positivo, o ânodo**.

A galvanização com zinco (zincagem) é o processo mais utilizado na protecção de objectos feitos com ferro ou aço, pois a temperatura da solução de zinco ronda os 430 a 460 $^\circ\text{C}$, o que vai levar à aceleração da reacção entre o aço e o zinco.

Este processo vai garantir ao aço uma maior durabilidade e uma menor corrosão, oferecendo uma protecção anti-corrosiva a longo prazo.

Os tubos em aço galvanizado podem ser utilizados em instalações de água sanitária fria e quente para consumo humano e uso geral, instalações de rega, redes de segurança contra incêndios, redes de ar comprimido, instalações de ar condicionado, redes de distribuição de gás, entre outras utilizações.

Os tubos em aço galvanizado apresentam uma gama de diâmetros nominais que vão desde os 6 mm aos 150 mm de diâmetro.



Fig. 2.11 – Tubo em aço galvanizado [17]

Para um diâmetro de 25 mm o preço deste material ronda os 3.35 €.

Os tubos em aço galvanizado apresentam várias características diferenciadoras que permitem o sucesso técnico e económico de um sistema com este material como solução, mas também existem algumas desvantagens associadas ao material.

2.9.1. VANTAGENS:

- Resistência mecânica
- Resistência ao fogo
- Salubridade
- Longa duração
- Normalização
- Flexibilidade / versatilidade
- Protecção do meio ambiente
- Resistência a acções ambientais

Resistência mecânica

O aço galvanizado apresenta uma óptima performance perante vários tipos de solicitações, tais como o desgaste por abrasão, deformação por impacto, perfuração, pressão, tracção, compressão, flexão, torção, etc.

Resistência ao fogo

O aço galvanizado apresenta um baixo coeficiente de dilatação linear e um ponto de fusão elevado, pelo que apresenta um óptimo funcionamento em situações de incêndios.

Salubridade

Os tubos em aço galvanizado cumprem os requisitos da Organização Mundial de Saúde (O.M.S.), pelo que pressupõe a idoneidade dos tubos para a condução de água potável fria e quente.

Longa duração

Conhecido o nível de agressividade da água e em particular o nível de agressividade com vista a dotar a rede das medidas correctivas adequadas, consegue-se garantir uma longa vida da instalação.

Normalização

Os tubos de aço galvanizado estão concebidos e são fabricados com base em normas técnicas aplicáveis de âmbito europeu e mundial, que fixam vários requisitos para os tubos, de forma a assegurar um elevado nível de qualidade e compatibilidade aquando da sua utilização.

Flexibilidade / versatilidade

A vasta gama de acessórios (geralmente em ferro fundido maleável roscados) com as diferentes dimensões dos tubos em aço, aliada à grande facilidade de manuseamento dos tubos em termos de corte, dobragem ou roscagem, permite materializar de uma forma eficaz qualquer projecto de instalação.

Protecção do meio ambiente

Os tubos de aço galvanizado e os respectivos acessórios são produtos recicláveis e não agressores do meio ambiente.

Resistência a acções ambientais

Os tubos de aço inoxidável não são afectados pela acção de raios Ultravioleta, são resistentes a corrosão provocada pela maioria dos solos e apresentam um baixo coeficiente de dilatação térmica, ao contrário dos tubos plásticos, apresentando assim um melhor funcionamento face às variações de temperatura.

2.9.2. DESVANTAGENS:

- Corrosão e rugosidade
- Peso elevado
- Preço

Corrosão e rugosidade

A maior parte dos fenómenos de corrosão metálica são de natureza electroquímica. Este tipo de corrosão surge quando os metais se encontram em contacto com meios que possuem condutividade electrolítica, como são as dissoluções salinas, a água ou a humidade ambiental.

Devido às diferenças de potencial electroquímico que se verifica entre diferentes pontos da superfície de um mesmo metal, originam a formação de micropilhas galvânicas, nas quais umas zonas de metal actuam como ânodos e outras como cátodos, funcionando a água ou a humidade como electrólito.

A consequência destes processos é a progressiva destruição do metal com a formação de produtos de corrosão, que frequentemente são hidróxidos ou hidratos do metal em causa.

No caso do ferro e do aço, os produtos da corrosão que se formam em meios aquosos mais ou menos neutros, são óxidos ferrosos hidratados, sendo produtos porosos que não constituem uma barreira isolante eficaz para a humidade nem para o oxigénio do ar, pelo que o processo de corrosão do ferro ou do aço pode progredir, enquanto as condições ambientais causadoras da corrosão permanecerem, até à destruição completa do material.

A corrosão nos tubos em aço galvanizado pode aparecer sob diferentes formas. Pode ser uniforme, corroendo uniformemente toda a superfície exposta, levando a eventual diminuição da espessura da secção; pode ser corrosão por picadas, actuando em pequenos pontos da superfície do metal, escavando-a, eventualmente até à perfuração completa, sendo este tipo de corrosão associado à presença de cloretos ou de microrganismos no meio; corrosão intersticial, actuando de forma localizada que se desenvolve em interstícios onde se podem formar pequenos volumes de água estagnada (fendas, uniões de peças), no interior dos quais se dá corrosão por arejamento diferencial.

Esta corrosão leva ao aparecimento de rugosidade nos tubos que origina perdas de carga elevadas, comparativamente com materiais de natureza plástica, podendo também originar roturas ou entupimentos.

Para evitar estes problemas de corrosão nos tubos procede-se à utilização de revestimentos galvanizados com zinco. A corrosão provocada pela água neste revestimento leva à formação de produtos da corrosão do zinco, normalmente carbonatos básicos de zinco hidratados que, sendo insolúveis, aderentes e pouco porosos, formam uma capa de passivação que isola eficazmente o revestimento galvanizado do contacto com o meio ambiente agressivo, enquanto existir zinco no revestimento.

Peso elevado

Os tubos de aço galvanizado, por ser um material de natureza metálica, possuem um peso elevado, pelo que dificulta a sua instalação na rede de abastecimento de água.

Preço

Outra desvantagem dos materiais de natureza metálica refere-se ao preço de uma solução em tubos de aço galvanizado, pois comparativamente a matérias plásticas este tipo de materiais são mais caros.

2.10. TUBO EM AÇO INOXIDÁVEL

O aço inoxidável é uma liga de ferro e cromo, podendo conter também níquel, molibdênio e outros elementos, que apresenta propriedades físico-químicas superiores aos aços comuns, sendo a alta resistência à oxidação atmosférica a sua principal característica. As principais famílias dos aços inoxidáveis, classificados segundo a sua microestrutura, são: ferríticos, austeníticos, martensíticos, endurecíveis por precipitação e Duplex.

Os elementos de liga, em particular o cromo, conferem resistência à corrosão. O cromo presente na liga oxida-se em contacto com o oxigénio do ar, formando uma película, muito fina e estável, de óxido de cromo - Cr_2O_3 - que se forma na superfície exposta ao meio. Ela é chamada de camada passiva e tem a função de proteger a superfície do aço contra processos corrosivos. Para isto, é necessária uma quantidade mínima de cromo de cerca de 11% em massa. Esta película é aderente e impermeável, isolando o metal abaixo dela do meio agressivo. Assim, deve-se tomar cuidado para não reduzir localmente o teor de cromo dos aços inoxidáveis durante o processamento. Este processo é conhecido em metalurgia como passivação. Por ser muito fina a película tem pouca interação com a luz e permite que o material continue apresentando seu brilho característico. Este processo permite que os aços inoxidáveis não necessitem de proteção contra a corrosão, ao contrário de outros materiais.

Os tubos em aço inoxidável apresentam uma gama de diâmetros nominais que vão desde os 12 mm aos 108 mm de diâmetro.



Fig. 2.12 – Tubos em aço inoxidável [21]

Para um diâmetro de 25 mm o preço deste material ronda os 4.00 €.

Os tubos em aço inoxidável apresentam várias características que permitem o sucesso técnico e económico destes tubos, mas também existem algumas desvantagens associadas ao material.

2.10.1. VANTAGENS:

- Resistência mecânica
- Resistência à erosão
- Baixo coeficiente de fricção
- Características mecânicas
- Fácil instalação
- Reciclável

- Salubridade
- Longevidade
- Resistência a acções ambientais

Resistência mecânica

O aço inoxidável apresenta uma óptima performance perante vários tipos de solicitações, tais como o desgaste por abrasão, deformação por impacto, perfuração, pressão, tracção, compressão, flexão, torção, etc.

Resistência à erosão

Os tubos em aço inoxidável possuem uma resistência à erosão causada por grandes caudais ou pela presença de por exemplo partículas de areia. Estes tubos resistem a velocidades elevadas e a turbulência provocada, por exemplo, por bombas.

Baixo coeficiente de fricção

Os tubos em aço inoxidável apresentam um baixo valor de fricção comparativamente com outros materiais de natureza metálica, o que leva a melhores resultados ao nível de perdas de carga e a custos de bombagem.

Características mecânicas

Os tubos de aço inoxidável são caracterizados por uma excelente durabilidade e ductilidade, o que faz com que este material seja resistente à corrosão, aos fenómenos de cavitação e as acções da água e da atmosfera. Além disso permite que haja uma redução da espessura da parede sem prejudicar a segurança do tubo.

Fácil instalação

A facilidade em moldagem e soldagem, associadas à ductilidade do aço inoxidável, permitem uma fácil instalação do material.

Reciclável

Ao contrário de outros materiais como tubagens plásticas, os tubos em aço inoxidável podem ser reciclados e parte do seu custo inicial pode ser recuperado.

Salubridade

A camada protectora de cromo formada é inerte em água potável, pelo que os tubos em aço inoxidável mantêm a qualidade e a integridade da água, sendo então um material idóneo para o transporte de água fria e quente.

Longevidade

Graças à sua resistência à corrosão e a ductilidade do material, os tubos apresentam uma longevidade elevada, podendo funcionar cerca de 100 anos em boas condições.

Resistência a acções ambientais

Os tubos de aço inoxidável não são afectados pela acção de raios Ultravioleta, são resistentes a corrosão provocada pela maioria dos solos e apresentam um baixo coeficiente de dilatação térmica, ao contrário dos tubos plásticos, apresentando assim um melhor funcionamento face às variações de temperatura.

2.10.2. DESVANTAGENS:

- Corrosão e rugosidade
- Peso elevado
- Preço

Corrosão e rugosidade

Tal como nos tubos em aço galvanizado, os principais problemas dos tubos de aço inoxidável estão ligados aos fenómenos de corrosão electroquímica, visto que os tubos são de natureza metálica.

A corrosão acontece essencialmente quando o elemento metálico apresenta zonas simultaneamente em contacto com meios de pH diferente, de desigual humidade ou temperatura, presença de iões despassivantes como os cloretos ou de concentrações diferentes de agentes activos como o oxigénio. Este último caso é uma das causas mais comuns da corrosão verificada em elementos metálicos, designando-se por corrosão por arejamento diferencial. A zona da superfície do metal com menor acesso ao oxigénio adquire carácter anódico, enquanto que na zona com maior acesso ao oxigénio adquire carácter catódico, ocorrendo a reacção de redução do oxigénio, ficando o metal intacto. A corrosão por arejamento diferencial irá conduzir ao aparecimento da corrosão localizada e geralmente ocorre em fendas, recantos, sob depósitos, etc.

Nos tubos em aço inoxidável a corrosão pode ser por picadas, actuando em pequenos pontos da superfície do metal, escavando-a, eventualmente até à perfuração completa, sendo este tipo de corrosão associado à presença de cloretos ou de microrganismos no meio; corrosão intersticial, actuando de forma localizada que se desenvolve em interstícios onde se podem formar pequenos volumes de água estagnada (fendas, uniões de peças), no interior dos quais se dá corrosão por arejamento diferencial.

Esta corrosão leva ao aparecimento de rugosidade nos tubos que origina perdas de carga elevadas, comparativamente com materiais de natureza plástica, podendo levar também a roturas ou entupimentos.

A presença de cromo no aço ajuda a evitar os problemas causados pela corrosão do aço.

Peso elevado

Os tubos de aço inoxidável, por serem feitos de aço são um material com peso elevado, pelo que dificulta a sua instalação na rede de água.

Preço

Outra desvantagem dos materiais de natureza metálica refere-se ao preço de uma solução em tubos de aço inoxidável, pois comparativamente a materiais plásticos, são mais caros.

2.11. TUBO EM COBRE

Durante décadas, o cobre e ligas de cobre foram consideradas como uma matéria-prima ideal para canalizações domésticas. Por apresentar longevidade, versatilidade e uma facilidade de processamento permite que o cobre se destaque de outras matérias-primas para canalizações de água.

Os tubos de cobre foram introduzidos por volta de 1900, sendo que o seu uso se começou a afirmar por volta de 1950. Estes tubos existem em várias espessuras de paredes, sendo a sua utilização dependente do fim a que se destina.

Os tubos de cobre podem ser utilizados em diversas aplicações, tais como o transporte de água quente e fria para consumo humano, sistemas de radiação, painéis solares, etc.

Os tubos em cobre apresentam uma gama de diâmetros que vão desde os 6 mm até aos 108 mm.



Fig. 2.13 – Tubos em cobre [19]

Para um diâmetro de 25 mm o preço deste material é superior a 4.00 €.

Os tubos de cobre apresentam vantagens e desvantagens associadas à sua utilização.

2.11.1. VANTAGENS:

- Resistência mecânica
- Características mecânicas
- Baixo coeficiente de fricção
- Longevidade

- Comportamento ao fogo
- Reciclável
- Atoxicidade
- Resistência a acções ambientais

Resistência mecânica

O cobre apresenta um bom comportamento face vários tipos de solicitações, tais como o desgaste por abrasão, deformação por impacto, pressão, temperatura, etc.

Características mecânicas

O cobre é resistente à fadiga. Os sistemas com cobre não apresentam problemas de expansão ou contracção excessivas causadas por mudanças de temperatura. As juntas de cobre bem instaladas não apresentam problemas. Além disso o cobre é um material com uma óptima durabilidade e resistência.

Baixo coeficiente de fricção

O material possui uma superfície interior lisa, o que permite obter-se um coeficiente de perdas de carga reduzido, reduzindo assim as perdas de carga e facilitando o fluxo de água.

Longevidade

Os tubos em cobre apresentam uma elevada longevidade, graças ao controlo e precisão na fabricação. É um material com muitas décadas de serviço, que provaram a confiança do material.

Comportamento ao fogo

O cobre não é um material inflamável, é um material resistente à acção do fogo, não queimando nem fundindo ou favorecendo a combustão. Este material não liberta gases tóxicos quando expostos ao fogo.

Reciclável

O cobre é um material reciclável, sendo então considerado amigo do ambiente e parte do seu custo inicial pode vir a ser recuperado.

Atoxicidade

O cobre é um material tem propriedades bactericidas, inibindo o crescimento bacteriano, o que permite evitar a propagação de varias bactérias como a legionella, por exemplo. É um óptimo material para o transporte de água para consumo humano.

Resistência a acções ambientais

Os tubos de cobre não são afectados pela acção de raios Ultravioleta, são resistentes a corrosão provocada pela maioria dos solos e apresentam um baixo coeficiente de dilatação térmica, ao contrário dos tubos plásticos, apresentando assim um melhor funcionamento face às variações de temperatura.

Além disso, o cobre é um material impermeável e não poroso, o que permite que não ocorra a entrada de contaminantes pela parede do tubo e afectar a qualidade da água.

2.11.2. DESVANTAGENS:

- Corrosão e rugosidade
- Peso elevado
- Preço

Corrosão e rugosidade

Como é um material de natureza metálica, os tubos de cobres estão sujeitos a acções de corrosão

Tal como os outros materiais metálicos, a corrosão nestes tubos surge quando o elemento metálico apresenta zonas em contacto com meios de pH diferentes, desigual temperatura ou humidade, alcalinidade, dureza e outros factores químicos da água, presença de elementos agressivos para o cobre como os nitratos, a presença de diferentes quantidades de oxigénio que leva a corrosão por arejamento diferencial, entre outros.

A corrosão nestes tubos pode ser uniforme, corroendo uniformemente toda a superfície exposta, levando a eventual diminuição da espessura da secção; pode ser corrosão por picadas, actuando em pequenos pontos da superfície do metal, escavando-a, eventualmente até à perfuração completa, sendo este tipo de corrosão associado à presença de cloretos ou de microrganismos no meio; corrosão intersticial, actuando de forma localizada que se desenvolve em interstícios onde se podem formar pequenos volumes de água estagnada (fendas, uniões de peças), no interior dos quais se dá corrosão por arejamento diferencial; ou corrosão por erosão, que é uma corrosão localizada que se desenvolve em consequência da erosão de películas protectoras provocada pelo movimento de um fluido.

Esta corrosão leva ao aparecimento de rugosidade nos tubos que origina perdas de carga elevadas, comparativamente com materiais de natureza plástica, pode originar problemas por formação de incrustações e pode levar também a roturas ou entupimentos.

Para evitar estes problemas tem de se ter cuidado na instalação dos tubos para que não se misturem materiais metálicos diferentes, minimizar zonas de protuberâncias, minimizar zonas de mudança brusca de direcção do fluido.

Preço

Os tubos em cobre são mais caros comparativamente a outras soluções nomeadamente as soluções plásticas.

2.12. CONCLUSÃO

A escolha do material depende então de vários motivos e condicionantes, desde o tipo de água que é transportada, a sua temperatura, a presença de substâncias como cloretos na água, o tipo de utilização que se pretende, do meio onde irá ser instalado a rede de distribuição de água e do tipo de instalação desejada, do preço do material.

Todos os materiais apresentam vantagens e desvantagens relativamente a outros tipos de materiais, pelo que a sua escolha tem de ser cuidada e na sua montagem na rede, tomar todos os cuidados para uma correcta instalação para que esta possa funcionar com a maior eficiência e qualidade.

3

CENTRAIS HIDROPNEUMÁTICAS

3.1. CENTRAIS HIDROPNEUMÁTICAS COM BOMBAS DE VELOCIDADE FIXA

As centrais hidropneumáticas constituem, geralmente, um dos órgãos dos sistemas de abastecimento de água em edifícios altos. Conforme atrás se disse, podem usar bombas de velocidade fixa ou variável.

As primeiras (ver Fig.3.1) incluem um mínimo de 2 grupos electrobomba (de forma a garantirem reserva mútua activa), um reservatório de ar comprimido, quadro eléctrico e restante equipamento de sinalização, controlo e medida.



Fig. 3.1– Central hidropneumática de velocidade fixa [33]

O funcionamento dos grupos é controlado pela pressão no interior do reservatório de ar comprimido (RAC) – ver Fig.3.3. Quando as torneiras se abrem a água é retirada do RAC. A pressão pode descer até aos níveis de arranque, e a primeira bomba entra em funcionamento. À medida que o consumo aumenta, mais bombas arrancam para satisfazer o consumo. Como o caudal que entra é superior ao que sai, a pressão aumenta, podendo ocorrer paragem da bomba através do sensor de pressão. À medida que o consumo decresce, mais bombas serão desligadas.

Para reduzir a dimensão do RAC, a potência dos grupos e poupar energia, será lógico que os pisos inferiores sejam abastecidos directamente pela rede pública, enquanto os pisos superiores irão ser abastecidos pela central. No entanto, também há quem alimente todos os fogos a partir da central, para colocar todos os condóminos em situação idêntica.



Fig. 3.2 – Esquema de central hidropneumática em edifícios altos

3.1.1. DIMENSIONAMENTO

3.1.1.1. Determinação do volume útil

O volume útil do reservatório comanda o funcionamento dos grupos. Para o cálculo deste volume vamos introduzir as seguintes variáveis:

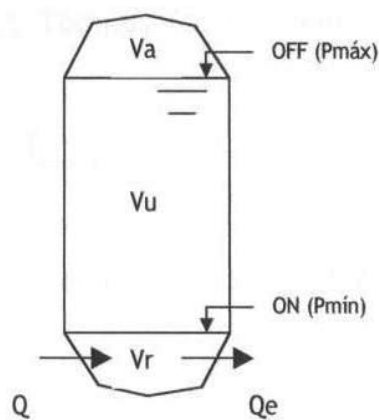


Fig. 3.3 – Esquema RAC [28]

- V_a – Volume de ar (m^3)
- V_u – Volume útil (m^3)
- V_r – Volume de reserva (m^3)
- Q – Caudal bombado (m^3/s)
- Q_e – Caudal que sai do RAC (m^3/s)
- P_{min} – Pressão mínima admitida (mca), cujo valor faz arrancar a bomba
- P_{max} – Pressão máxima admitida (mca), cujo valor faz desligar a bomba

É necessário ter em conta a variação do caudal bombado, visto que à medida que a água vai entrando no reservatório a pressão no seu interior vai aumentando, o que leva à diminuição do caudal. Quando

se atinge a pressão máxima, as bombas desligam. Havendo consumo de água, a saída desta permite a expansão do ar e, conseqüentemente, a diminuição da pressão no interior do RAC. Quando se atinge o valor mínimo pré-estabelecido, é emitido um sinal que faz a bomba arrancar novamente. Como o caudal vai variando ao longo deste ciclo, nos cálculos será considerado um caudal médio (Q_{med}), como se pode ver pela figura 3.4

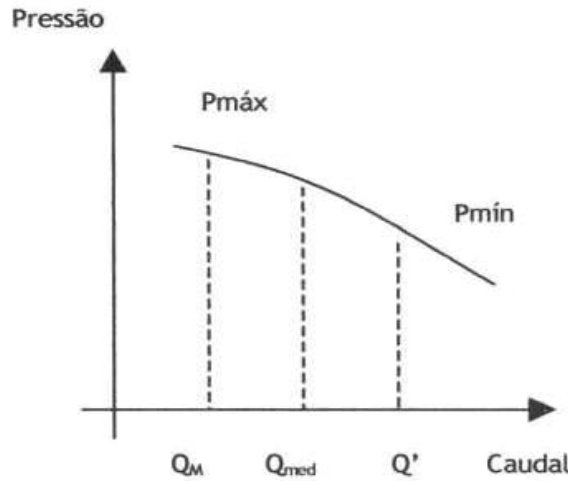


Fig. 3.4 – Curva característica da bomba [28]

Onde Q_M é o caudal bombado correspondente à pressão máxima, e Q' o caudal correspondente à pressão mínima.

Para o cálculo do volume útil é necessário conhecer o tempo de enchimento e de esvaziamento do RAC. Como $Q > Q_e$, o esvaziamento do RAC só ocorre quando os grupos de bombagem estão parados, pelo que o tempo de esvaziamento é dado por:

$$T_{esv} = \frac{V_u}{Q_e} \quad (3.1)$$

Já o tempo de enchimento é dado por:

$$T_{enchimento} = \frac{V_u}{Q_{med} - Q_e} \quad (3.2)$$

O período de enchimento-esvaziamento é dado pela soma de cada um desses tempos, pelo que:

$$T = \frac{V_u}{Q_e} + \frac{V_u}{Q_{med} - Q_e} \quad (3.3)$$

Interessa conhecer a frequência máxima do arranque dos grupos, a qual está associada ao período mínimo. Derivando T em ordem a Q_e facilmente se verifica que esse mínimo ocorre para $Q_e = Q_{med}/2$. Introduzindo este resultado na equação (3.3) encontra-se:

$$T = \frac{V_u}{Q_{med}/2} + \frac{V_u}{Q_{med}/2} = \frac{4 * V_u}{Q_{med}} \quad (3.4)$$

Isto é, o período mínimo, T (segundos) é uma função do volume útil, V_u , e do caudal médio Q_{med} .

Com este período podemos determinar o número máximo de arranques por hora, como se poderá ver na expressão seguinte:

$$N(n^o/hora) = \frac{3600}{T} = \frac{900 * Q_{med}}{V_u} \quad (3.5)$$

O número de arranques é importante, pois uma frequência muito elevada pode queimar os motores, além de contribuir para um maior desgaste do equipamento.

O valor de N costuma ser dado pelos fabricantes em função da potência dos motores. O quadro seguinte mostra um exemplo para uma dada marca.

Quadro 3.1 – Número de arranques por hora [27]

Potência (kW)	N
1	96
2	72
3	56
4	48
5	42
6	36
8	28
10	24

Refira-se que a potência é dada por:

$$P = \frac{\gamma * Q * H}{\eta} \quad (3.6)$$

onde P corresponde à potência (kW), γ ao peso volúmico da água (kN/m^3), Q ao caudal bombado (m^3/s), H à altura manométrica e η ao rendimento do grupo de bombagem

Expressando a equação (3.6) em ordem a V_u , obtém-se:

$$V_u = \frac{900 * Q_{med}}{N} \quad (3.7)$$

relação que dá o volume útil em função do número máximo de arranques por hora do grupo de bombagem e do caudal médio.

No chamado “método Gallizio” considera-se $Q_{med} = 1.6 * Q_M$, sendo Q_M o caudal correspondente à pressão máxima.

Substituindo em (3.7) fica:

$$V_u \geq \frac{1440 * Q_M}{N} \quad (3.8)$$

O caudal de dimensionamento, Q_M , deverá ser o caudal máximo pedido pela rede, majorado por um coeficiente de segurança, $CS = [1.15, 1.25]$.

3.1.1.2. Determinação do volume total

Para determinar o volume total do reservatório aplica-se a lei de expansão dos gases (Lei de Boyle-Mariotte), segundo a qual o produto do volume de um gás pela pressão a que está sujeito é constante.

$$P * V = const \quad (3.9)$$

P corresponde à pressão absoluta.

Portanto, e tendo em atenção a Fig. 3.3, a expressão (3.9) fica:

$$P_{max} * V_a = P_{min} * (V_u + V_a) \quad (3.10)$$

Desenvolvendo fica:

$$V_a * P_{max} = V_u * P_{min} + V_a * P_{min} \quad (3.11)$$

$$V_a * (P_{max} - P_{min}) = V_u * P_{min} \quad (3.12)$$

Somando $V_u * (P_{max} - P_{min})$ a ambos os membros, a equação (3.12) pode escrever-se com o seguinte aspecto:

$$V_a + V_u = V_u * \frac{P_{max}}{P_{max} - P_{min}} \quad (3.13)$$

Admitindo que $V_a + V_u = 80\%$ do volume total do reservatório, pois considera-se um volume de reserva $V_r = 20\%$ da capacidade total, o volume total V (m^3) do reservatório vem dado pela seguinte expressão:

$$V = 1.25 * \frac{P_{max} * V_u}{P_{max} - P_{min}} \quad (3.14)$$

O volume de reserva funciona como uma reserva de segurança acima da boca de saída, evitando assim a entrada de ar na conduta.

Para se ter um serviço aceitável, não deve haver diferenças exageradas entre P_{max} e P_{min} , sugerindo-se um diferencial compreendido entre 10 a 15 mca.

Para o dimensionamento da central hidropneumática, que se realizará no Capítulo 5, irá ser utilizado uma folha de cálculo em Excel elaborado por Oliveira e Neves (2007) [37]. Este segue todo o processo de dimensionamento descrito neste capítulo.

3.2. CENTRAIS HIDROPNEUMÁTICAS COM BOMBAS DE VELOCIDADE VARIÁVEL

Devido à necessidade de obter uma pressão constante, independentemente do consumo em instalações prediais, de manter um nível constante de esgoto, de manter constante a temperatura em sistemas de aquecimento ou arrefecimento de líquidos e de manter um caudal constante em sistemas de processamento com recirculação, alguns fabricantes fornecem bombas com motor de rotação variável.



Fig. 3.5 - Central hidropneumática de velocidade variável [34]

O rendimento de uma bomba centrífuga está directamente relacionado com a velocidade de rotação da mesma. Então, se a velocidade for aumentada:

- O caudal aumenta proporcionalmente à velocidade
- A pressão aumenta proporcionalmente ao quadrado da velocidade
- A potência aumenta proporcionalmente ao cubo da velocidade
- O rendimento permanece praticamente inalterado, mas é aplicado ao novo caudal.

Segundo [31] este sistema consta essencialmente de um transdutor de pressão na linha de bombagem, que sensoriza um sistema de pressão, o qual envia sinais eléctricos a um centro de controlo sempre que ocorre variação de pressão provocada por variação do caudal. O centro de controlo faz com que a velocidade do motor varie de modo a que a pressão se conserve a mesma, apesar da variação do caudal.

A finalidade do transdutor e sensor é transformar transitórios hidráulicos em sinais ou estímulos eléctricos capazes de determinar, no equipamento electrónico do centro de controlo, respostas que irão determinar a variação da rotação do motor.

Neste centro de controlo, existem rectificadores estáticos de silício SCR que reagem ao sinal enviado pelo sensor e modificam a onda sinoidal da corrente alternada que alimenta o motor da bomba. Assim, por exemplo, se for apenas necessário metade do número de rotações, somente metade da onda sinoidal é permitida através do SCR do motor. Este responde operando na rotação equivalente necessária para atender à solicitação do sistema. As mudanças de velocidade processam-se suavemente, sem ruído, em atendimento ao consumo verificado a cada momento.

Segundo [31], nestas centrais, a deslocação do ponto de funcionamento não se limita apenas às curvas características das bombas de velocidade fixa, mas pode estender-se também a toda a área da curva, limitada pela característica do número máximo de bombas em funcionamento.

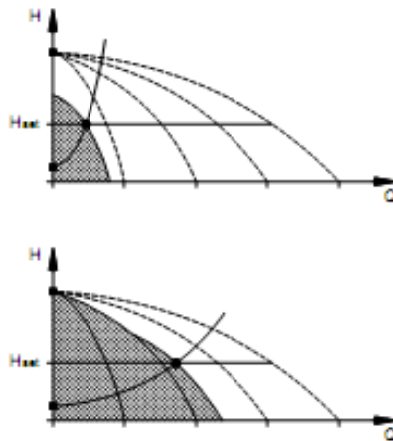


Fig. 3.6 – Modo de funcionamento de um conjunto de bombas com velocidade variável [35]

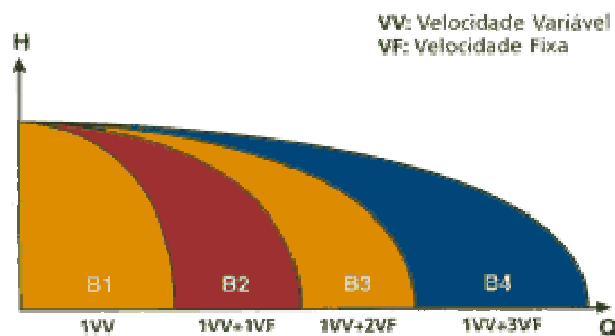


Fig. 3.7 – Exemplo de funcionamento de uma multibomba

Já não se verificam as limitações relacionadas com os diferenciais entre pressão Mín e Máx. A regulação manométrica é efectuada permanentemente, quaisquer que sejam as aberturas e fechos de válvulas. Usa-se um transdutor de pressão para efectuar a medição analógica da pressão, o qual emite um sinal eléctrico proporcional à pressão medida. No sistema existirá um regulador que compara esta medição com o valor de serviço pré-programado, que por sua vez, irá controlar um variador de frequência através de um sinal eléctrico proporcional, actuando-o da seguinte maneira:

- Se $P_{medida} < P_{serviço}$ é emitida ordem de aceleração, **ou seja**, aumento do sinal transmitido pelo variador.
- Se $P_{medida} > P_{serviço}$ é emitida ordem de desaceleração, **ou seja**, diminuição do sinal.
- Se $P_{medida} = P_{serviço}$ a velocidade mantém-se constante, **ou seja**, o sinal de saída não é alterado.

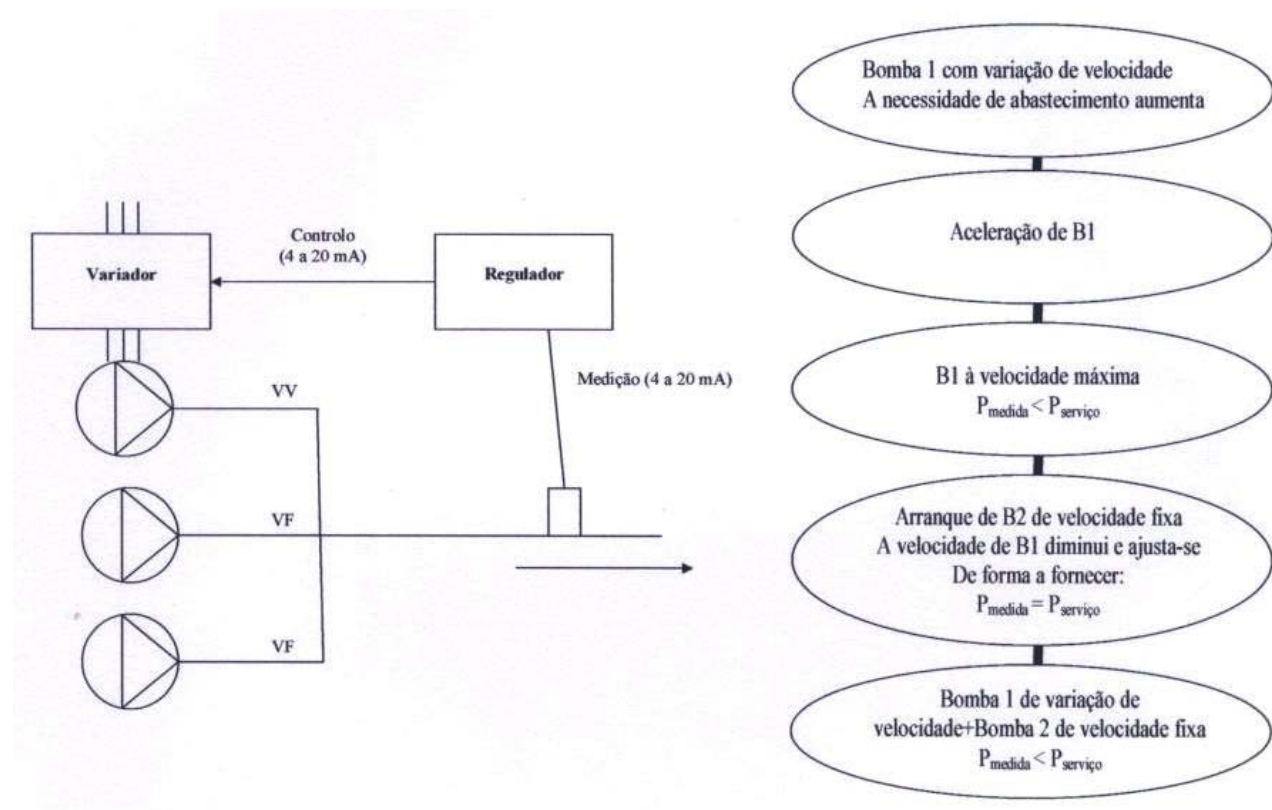


Fig. 3.8 – Modo de funcionamento de uma central de velocidade variável [30]

Levando em conta a reacção rápida do sistema, o ponto de funcionamento desloca-se numa linha horizontal (pressão de serviço).

As centrais hidropneumáticas com velocidade variável necessitam de um pequeno reservatório de membrana para manter a pressão na conduta quando não há consumo, evitando assim que as bombas continuem a trabalhar quando o consumo é nulo.

VANTAGENS E DESVANTAGENS:

- Pode-se obter um caudal qualquer entre 0 e Q_{max} , através da regulação da velocidade e do número de bombas.
- É possível manter uma pressão constante, independentemente do caudal.
- O depósito hidropneumático poderá ser de dimensões reduzidas.
- Diminuição do nº de arranques do motor
- Custo de exploração menor
- Investimento inicial maior

4

CÁLCULO HIDRÁULICO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA EPANET

4.1. BASES PARA O CÁLCULO HIDRÁULICO

O Regulamento define os elementos fundamentais para o estudo dos sistemas de distribuição predial de água. Por exemplo, o artigo 87º refere-se à concepção de novos sistemas, estabelecendo que:

- 1- “Na concepção de novos sistemas há que atender:
 - a) À pressão disponível na rede geral de alimentação e à necessária nos dispositivos de utilização;
 - b) Ao tipo e número de dispositivos de utilização;
 - c) Ao grau de conforto pretendido;
 - d) À minimização dos tempos de retenção da água nas canalizações.
- 2- As pressões de serviço nos dispositivos de utilização devem situar-se entre 50 kPa e 600 kPa, sendo recomendável, por razões de conforto e durabilidade dos materiais, que se mantenham entre os 150 kPa e 300 kPa”

Para o dimensionamento da rede é necessário determinar os caudais que a mesma deverá transportar. O artigo 89º refere-se aos dispositivos de utilização, referindo que:

- 1- “Na elaboração dos estudos relativos à distribuição predial de água, devem definir-se os tipos de utilização e indicar-se a sua localização.
- 2- Os aparelhos alimentados por dispositivos de utilização devem estar devidamente identificados nas peças desenhadas do projecto.”

Conhecidos os diferentes tipos de utilização e a sua quantidade, é possível determinar os caudais instantâneos a que a rede irá estar sujeita, conforme estabelece o art. 90º:

- 1- “Os caudais instantâneos a atribuir aos dispositivos de utilização devem estar de acordo com o fim específico a que se destinam.
- 2- Os valores mínimos dos caudais instantâneos a considerar nos dispositivos de utilização mais correntes são indicados no anexo IV.”

Em seguida apresenta-se o quadro que se encontra no anexo IV do Regulamento.

Quadro 4.1 - Caudais mínimos nos dispositivos (Anexo IV) [1]

Dispositivos	Caudais mínimos (l/s)
Lavatório individual	0.10
Lavatório colectivo (por bica)	0.05
Bidé	0.10
Banheira	0.25
Chuveiro individual	0.15
Pia de despejo com torneira de Φ 15 mm	0.15
Autoclismo de bacia de retrete	0.10
Mictório com torneira individual	0.15
Pia lava louça	0.20
Bebedouro	0.10
Máquina lava louça	0.15
Máquina ou tanque de lavar roupa	0.20
Bacia de retrete com fluxómetro	1.50
Mictório com fluxómetro	0.50
Boca de rega ou de lavagem de Φ 15 mm	0.30
Idem de Φ 20 mm	0.45
Máquinas industriais e outros aparelhos não especificados	Em conformidade com as indicações dos fabricantes

Somando os vários caudais instantâneos de cada utilização determina-se o caudal acumulado, o qual é afectado por um coeficiente de simultaneidade para definir o caudal de cálculo. Tal é descrito no artigo 91º do Regulamento:

- 1- “Na determinação dos caudais de cálculo deve ter-se em conta a possibilidade do funcionamento não simultâneo da totalidade dos dispositivos de utilização, considerando-se coeficientes de simultaneidade como se dispões nos números seguintes.
- 2- Designa-se por coeficientes de simultaneidade numa dada secção a relação entre o caudal simultâneo máximo previsível, ou seja o caudal de cálculo, e o caudal acumulado de todos os dispositivos de utilização alimentados através dessa secção.
- 3- O coeficiente de simultaneidade pode ser obtido por via analítica ou gráfica resultante de dados estatísticos aplicáveis.
- 4- No anexo V é apresentada uma curva que, tendo em conta os coeficientes de simultaneidade, fornece os caudais de cálculo para um nível de conforto médio em função dos caudais acumulados, e pode ser utilizada para os casos correntes de habitação sem fluxómetros.

- 5- No caso de instalação com fluxómetros, ao caudal de cálculo obtido de acordo com os números anteriores deve ainda adicionar-se o caudal de cálculo dos fluxómetros, a determinar de acordo com o indicado no anexo V.”

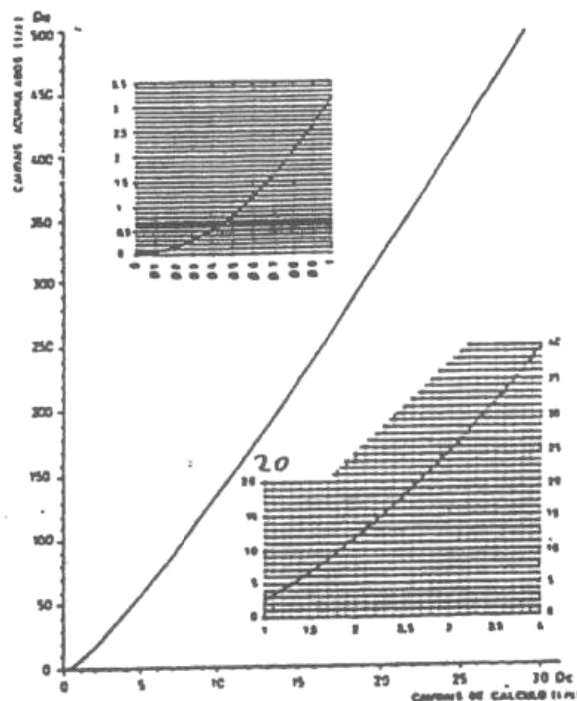


Fig. 4.1 – Caudais de cálculo em função dos caudais acumulados para um nível de conforto médio (Anexo V) [1]

Quadro 4.2 – Número de fluxómetros em utilização simultânea (anexo V) [1]

Nº de fluxómetros instalados	Em utilização simultânea
3 a 10	2
11 a 20	3
21 a 50	4
Superior a 50	5

O número 4 do artigo 91º merece uma referência especial. Suponhamos que há um conjunto de dispositivos de utilização que, se estivesse a funcionar em simultâneo, debitaria um caudal de 50 l/s. No entanto, o mais certo é que só alguns deles funcionem em simultâneo. A análise probabilística subjacente à curva do Anexo V sugere que, de facto, o mais provável é que este conjunto de aparelhos não debite mais do que 4.95 l/s, o qual será o caudal de cálculo para a rede.

Para cálculo automático interessa representar a referida curva por expressões analíticas, as quais poderão ser as seguintes:

- $Q_a \leq 0.3 \text{ l/s} : Q_c = Q_a$
- $3.5 \geq Q_a > 0.3 \text{ l/s} : Q_c = 0.5469 Q_a^{0.5137}$
- $25 \geq Q_a > 3.5 \text{ l/s} : Q_c = 0.5226 Q_a^{0.5364}$
- $500 \geq Q_a > 25 \text{ l/s} : Q_c = 0.2525 Q_a^{0.7587}$

Q_a corresponde ao caudal acumulado (l/s) e Q_c ao caudal de cálculo (l/s).

Esta não simultaneidade de consumos cria uma dificuldade de cálculo que, supõe-se, não terá ainda sido convenientemente resolvida. Suponhamos que o tubo representado na Fig. 4.2 teria que alimentar duas zonas, cujos caudais instantâneos seriam de 25 l/s para cada.

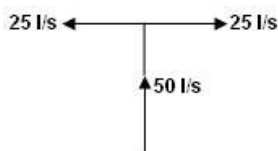


Fig. 4.2 – Caudais instantâneos

Os caudais a utilizar no cálculo da rede estão representados na Fig. 4.3, verificando-se que não satisfazem o princípio da continuidade, visto que o caudal efluente é superior ao afluente.

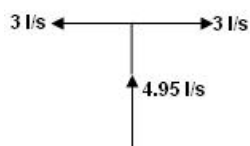


Fig. 4.3 – Caudais de cálculo

Isto faz com que o cálculo hidráulico não reflecta uma situação plausível, não permitindo conhecer o funcionamento da rede em determinado momento. Isto seria útil para simulações visando, por exemplo, o teor de cloro em qualquer ponto da rede, o tempo que a água permanece na canalização, o modo de propagação de determinados efeitos, a utilização de controlos, etc.

Estes são cenários que é possível explorar com o programa EPANET, hoje em dia muito utilizado no estudo das redes públicas, daí que neste trabalho se tenha procurado desenvolver uma metodologia quer permita a utilização deste programa que, para além de reconhecidamente interessante, tem a vantagem de ser de uso livre.

4.2. METODOLOGIA PROPOSTA PARA A UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA EPANET

4.2.1. PROGRAMA EPANET

Segundo [36] o EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição em pressão. Uma rede é constituída por tubagens, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável. O EPANET permite obter os valores do caudal em cada tubagem, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos passos de cálculo. Adicionalmente, para além de espécies químicas, o cálculo da idade da água e o rastreio da origem de água em qualquer ponto da rede também podem ser levados a cabo.

EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Pode ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efectuar simulações de sistemas de distribuição. O estabelecimento de cenários de projecto (p.ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos constituem alguns exemplos. O EPANET pode ajudar a analisar estratégias alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade da água do sistema, através de, por exemplo:

- Alterações na utilização de origens de água num sistema com múltiplas origens,
- Alteração de esquemas de funcionamento de grupos elevatórios e enchimento/esvaziamento de reservatórios de nível variável,
- Utilização de tratamento adicional, como seja a recloração,
- Selecção de tubagens para limpeza e substituição.

Em ambiente Windows, o EPANET fornece um ambiente integrado para editar dados de entrada da rede, executar simulações hidráulicas e de qualidade da água e visualizar os resultados em vários formatos. Estes últimos incluem a possibilidade de visualizar mapas da rede com codificação a cores, tabelas de dados, gráficos de séries temporais e gráficos de isolinhas.

4.2.1.1. Capacidades de Modelação Hidráulica

Segundo [36] uma rede completamente caracterizada (ou seja, incluindo todas as tubagens, sem simplificações) e uma modelação hidráulica fiável constituem pré-requisitos essenciais para a correcta modelação de qualidade da água. O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, de que se destacam como principais características:

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

4.2.1.2. Capacidades de Modelação da Qualidade da Água

Ainda segundo [36], para além da modelação hidráulica, o EPANET fornece as seguintes possibilidades relativamente à modelação da qualidade da água:

- Modelação do transporte de um constituinte não-reactivo (por exemplo, um traçador) através da rede ao longo do tempo;
- Modelação do transporte, mistura e transformação de um constituinte reactivo, à medida que este sofre decaimento (por exemplo, cloro residual) ou crescimento (um subproduto da desinfecção, por exemplo) com o tempo;
- Modelação do tempo de percurso da água através da rede;
- Cálculo da percentagem de caudal que, com origem em determinado nó, atinge qualquer outro nó ao longo do tempo (cálculo da importância relativa de duas origens de água diferentes, por exemplo);
- Modelação de reacções de decaimento do cloro no seio do escoamento e na parede da tubagem;
- Utilização de cinéticas de ordem n para modelar reacções no seio do escoamento em tubagens e reservatórios;
- Utilização de cinéticas de ordem 0 ou 1 para modelar reacções na parede das tubagens;
- Definição de limites para a transferência de massa na modelação de reacções na parede;
- Permitir que as reacções de crescimento ou decaimento sejam controladas por um valor de concentração-limite;
- Aplicação à rede de coeficientes de reacção globais, que podem ser modificados individualmente para cada tubagem;
- Possibilidade de relacionar o coeficiente de reacção na parede com a rugosidade da tubagem;
- Definição de variação temporal da concentração ou de entrada de massa em qualquer ponto da rede;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável como reactores de mistura completa, de escoamento em êmbolo ou ainda de mistura com dois compartimentos.

Tirando partido destas possibilidades, o EPANET pode efectuar os seguintes tipos de análise:

- Mistura de água a partir de diversas origens;
- Determinação do tempo de percurso da água através de um sistema;
- Determinação da perda de cloro residual;
- Determinação do crescimento de subprodutos da desinfecção;
- Rastreio da propagação de contaminantes ao longo da rede.

Estas são as facetas geralmente exploradas no estudo de sistemas públicos de abastecimento de água. Embora não tenhamos conhecimento de qualquer exemplo, é convicção do orientador deste

trabalho que o programa EPANET também poderá ter interesse para o estudo de sistemas prediais, com a vantagem adicional de se tratar de software de uso livre.

4.2.2. METODOLOGIA PROPOSTA NESTE TRABALHO

De forma a resolver o problema da continuidade dos caudais de cálculo na rede de distribuição, atrás explicado, foi desenvolvida uma metodologia que permite a utilização do EPANET no estudo de redes prediais de abastecimento de água.

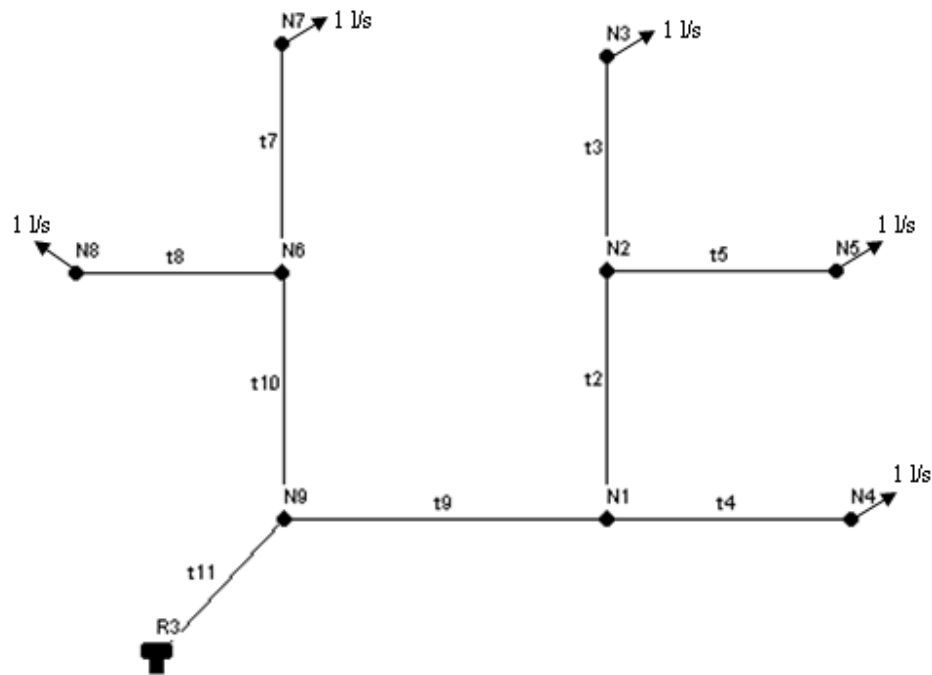


Fig. 4.4 – Esquema da rede para exemplificar a metodologia

Considere-se a Fig. 4.4 e, por simplicidade, admita-se que os nós N3, N4, N5, N7, N8 têm um consumo de 1.0 l/s cada e os restantes nós não apresentam qualquer consumo.

Comece-se pelo nó mais a jusante, que neste exemplo corresponde a N3. O caudal acumulado no tubo t3 é igual ao consumo neste nó, isto é, 1.0 l/s, correspondendo-lhe um caudal de cálculo de 0.55 l/s. Então, no nó N3 o caudal efluente é 1.0 l/s, mas o caudal afluyente só seria 0.55 l/s (o do tubo t3). Em termos de Epanet os caudais efluentes são considerados positivos, enquanto os afluentes são negativos, pelo que a equação da continuidade se escreve da seguinte forma: $-0.55 + 1 + Q_F = 0$. Daqui resulta $Q_F = -0.45$ l/s. Esta metodologia está ilustrada no Quadro 4.4.

Segue-se, depois, o procedimento usado para as redes ramificadas, isto é, avança-se para N5. A situação é absolutamente idêntica a N3, pelo que há que considerar um caudal fictício de -0.45 l/s.

Segue-se N2, onde o consumo é igual a 0 l/s. O caudal acumulado no tubo t2 é de 2 l/s, o que corresponde a um caudal de cálculo de 0.8 l/s. Mas os caudais de cálculo em t3 e t5 são 0.55 l/s em qualquer caso, correspondendo a um caudal efluente total de 1.1 l/s. Então, a equação da continuidade em N2 escreve-se da seguinte forma: $-0.8 + 1.1 + Q_F = 0$. Daqui resulta $Q_F = -0.30$ l/s

Prossegue-se com o método para os restantes nós da rede, conforme mostra o quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Q fictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc (2)	Q Epanet
3	1	3	1	0.55	0	-0.45
5	1	5	1	0.55	0	-0.45
2	0	2	2	0.80	1.1	-0.30
4	1	4	1	0.55	0	-0.45
1	0	9	3	1.00	1.35	-0.35
7	1	7	1	0.55	0	-0.45
8	1	8	1	0.55	0	-0.45
6	0	10	2	0.80	1.1	-0.30
9	0	11	5	1.25	1.8	-0.55

Notas:

- (1) - Há que começar pelos nós de jusante
- (2) - Somatório dos caudais de cálculo nos tubos que o nó irá abastecer

Os caudais fictícios são introduzidos no EPANET nas Categorias de Consumo 2, como se vê na Figura 4.5.

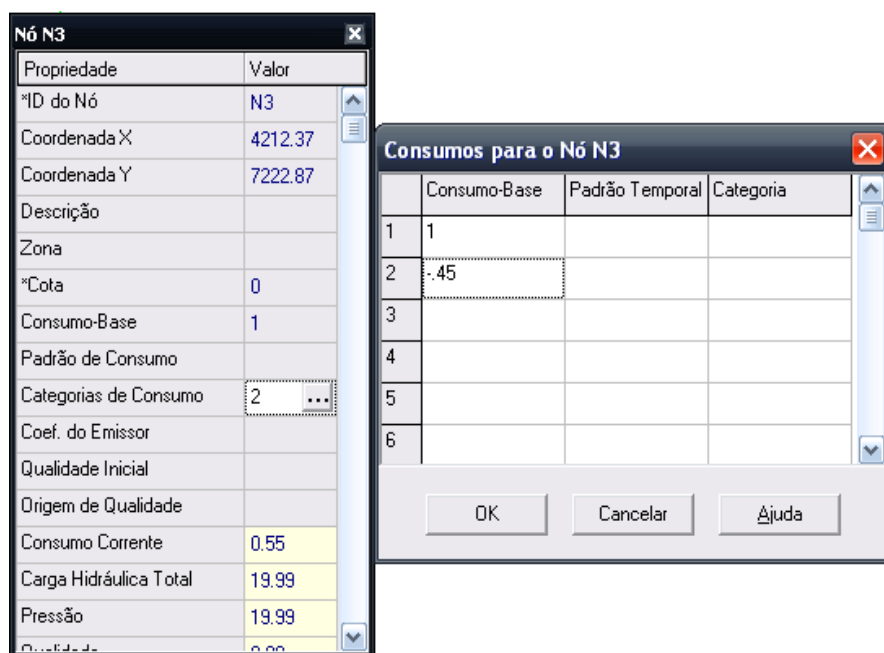


Fig. 4.5 – Introdução do caudal fictício no EPANET

4.3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Para o dimensionamento da rede predial é importante considerar os artigos 93º e 94º do Regulamento. O primeiro diz que os “Os caudais de cálculo na rede predial de água fria e de água quente devem basear-se nos caudais instantâneos atribuídos aos dispositivos de utilização e nos coeficientes de simultaneidade.”

O artigo 94º estabelece:

- 1- “O dimensionamento hidráulico da rede predial de água fria e quente é efectuado de acordo com os seguintes elementos:
 - a) Caudais de cálculo;
 - b) Velocidade, que devem situar-se entre os 0.5 m/s e os 2.0 m/s;
 - c) Rugosidade do material.”

O diâmetro interior do tubo irá então ser determinado através da expressão

$$U = \frac{Q}{S} \quad (4.1)$$

onde U representa a velocidade (m/s), Q o caudal (m³/s) e S a secção do tubo (m²). Isto corresponde a:

$$D = \sqrt{\frac{4000 * Q}{\pi * U}} \quad (4.2)$$

onde D é o diâmetro interior do tubo (mm), Q o caudal (l/s) e U a velocidade (m/s). Para o pré-dimensionamento dos tubos foi admitida uma velocidade U = 1.5 m/s.

4.4. PERDAS DE CARGA

4.4.1. PERDAS DE CARGA CONTÍNUAS

No Epanet as perdas de carga contínuas podem ser calculadas por três vias:

- Fórmula de Hazen-Williams
- Fórmula de Darcy-Weisbach
- Fórmula de Chezy-Manning

A fórmula de Hazen-Williams é uma das mais utilizadas, mas tem um elevado grau de empirismo.

A equação de Darcy-Weisbach é teoricamente a mais correcta, aplicável a todos os regimes de escoamento e a todos os líquidos. O EPANET utiliza diferentes métodos para calcular o factor de resistência (f), consoante o regime de escoamento:

- A fórmula de Hagen-Poiseuille, para regime laminar (Re < 2000).
- A fórmula de Swamee e Jain, como aproximação da fórmula de Colebrook-White, para escoamento turbulento (Re > 4000).
- Uma interpolação cúbica, a partir do ábaco de Moody, para a transição do escoamento laminar para turbulento (2000 < Re < 4000).

Actualmente, a fórmula de Chezy-Manning quase só é utilizada em escoamentos com superfície livre. Estas fórmulas equivalem à expressão geral:

$$h_l = A * q^B \quad (4.3)$$

onde h_l representa a perda de carga (comprimento), q o caudal (m^3/s), A o termo de perda de carga e B o expoente do caudal.

O quadro 4.4 apresenta os termos A e B para cada fórmula, determinados empiricamente.

Quadro 4.4 – Fórmulas consideradas no Epanet para o cálculo da perda de carga contínua (unidades SI) [36]

Fórmula	Termo de perda de carga (A)	Exponente de caudal (B)
Hazen-Williams	$10.674 * C^{-1.852} * d^{-4.871} * L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0827 * f(\epsilon, d, q) * d^{-5} * L$	2
Chezy-Manning	$10.294 * n^2 * d^{-5.33} * L$	2

Neste quadro, C é o coeficiente da fórmula de Hazen-Williams, ϵ a rugosidade absoluta (ou rugosidade de Darcy-Weisbach) (mm), n o coeficiente de rugosidade de Manning, d o diametro da tubagem (m), L o comprimento da tubagem e q o caudal (m^3/s).

O quadro 4.5 apresenta os intervalos de variação dos diferentes coeficientes, consoante o tipo de tubagem, considerando que é nova. No entanto, é preciso ter em conta que os seus valores podem alterar-se significativamente com a idade.

Quadro 4.5 – Coeficientes das fórmulas de perda de carga para tubagens novas [36]

Material	C, Hazen-Williams (SI)	ϵ , Darcy-Weisbach (mm)	N, Manning (SI)
Ferro fundido	130 - 140	0.25	0.012 – 0.015
Betão ou com revestimento de betão	120 - 140	0.3 - 3	0.012 – 0.017
Ferro galvanizado	120	0.15	0.015 – 0.017
Plástico	140 - 150	0.0015	0.011 – 0.015
Aço	140 - 150	0.03	0.015 – 0.017
Grés	110	0.3	0.013 – 0.015

Esclarece-se que neste trabalho se optou pela fórmula de Darcy-Weisbach.

4.4.2. PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

As perdas de carga localizadas são causadas pelo aumento da turbulência devido à existência de curvas, alargamentos e estreitamentos, etc. A importância de as incluir nos cálculos depende da topologia da rede e do grau de exactidão pretendido.

No Epanet são consideradas associando à tubagem um coeficiente de perda de carga localizada. A perda de carga é traduzida pelo produto deste coeficiente pela altura cinética do escoamento:

$$h_l = K * \left(\frac{V^2}{2 * g} \right) \quad (4.4)$$

Aqui K representa o coeficiente de perda de carga localizada, V a velocidade do escoamento (m/s) e g a aceleração da gravidade (m/s²).

O Quadro 4.6 fornece os valores de K para diferentes tipos de singularidades. Devem ser encarados como valores indicativos, uma vez que dependem da geometria da singularidade, do número de Reynolds e, em alguns casos, de determinadas condições de escoamento.

Quadro 4.6 – Coeficientes das fórmulas de perda de carga para tubagens novas [36]

Singularidade	K
Válvula de globo, abertura completa	10.0
Válvula de ângulo, abertura completa	5.0
Válvula de retenção de batente, abertura completa	2.5
Válvula de cunha, abertura completa	0.2
Curva a 90° (raio pequeno)	0.9
Curva a 90° (raio médio)	0.8
Curva a 90° (raio grande)	0.6
Curva a 45°	0.4
Curva de retorno	2.2
Tê standard – escoamento na linha	0.6
Tê standard – escoamento na linha - ramal	1.8
Entrada em aresta viva (reservatório – tubagem)	0.5
Entrada em aresta viva (tubagem – reservatório)	1.0

5

CASO DE ESTUDO 1 – DIMENSIONAMENTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE UM EDIFÍCIO DE 12 PISOS COM O PROGRAMA EPANET

5.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Este capítulo tem como principal objectivo verificar a possibilidade de utilização do software EPANET para o estudo do abastecimento de água de edifícios.

Irá ser estudada a rede de um edifício habitacional e comercial a implantar na Malha 6 do Plano de Pormenor das Antas. Este edifício localizar-se-á na Via Futebol Clube do Porto, na cidade do Porto.

O referido imóvel será constituído por doze pisos, sendo dois enterrados, um piso no rés-do-chão e os restantes pisos elevados. Os pisos das caves serão destinados ao estacionamento e zonas técnicas, o rés-do-chão é um piso dedicado a comércio e serviços, e os restantes 9 pisos elevados são de habitação, com 4 habitações de tipologia T2.

O abastecimento de água do edifício será feito através de conjuntos cisterna/grupo sobrepessor, localizados no R/c. Estas cisternas servirão todos os pisos elevados, sendo os espaços comerciais e as caves alimentadas graviticamente e directamente da rede pública.

O esquema geral está representado na Fig. 5.1

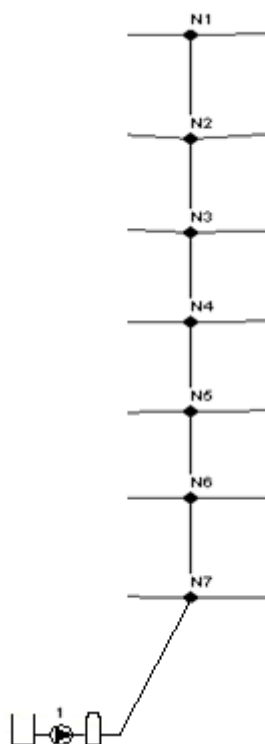


Fig. 5.1 – Rede abastecida pela central hidropneumática

As cisternas serão alimentadas a partir da rede pública, por dois ramais domiciliários independentes, um por cada bloco.

As tubagens a instalar no piso da Cave ficarão situadas junto ao tecto e sempre que possível à vista.

As tubagens no interior dos restantes pisos do edifício serão embutidas nas paredes ou suspensas no tecto e alimentarão os respectivos aparelhos sanitários através de prumadas.

Foi admitida uma pressão na rede de 25 mca. Pela expressão (1.1) verificou-se que o abastecimento de água directamente pela rede pública poderá ser feito do rés-do-chão até ao piso 2, enquanto que para os restantes pisos irá ser feito por uma central hidropneumática.

Na definição do traçado das redes no interior das habitações, procurou-se que cada compartimento sanitário pudesse ser isolado em caso de avaria, através de válvulas de seccionamento, sem que qualquer outro fosse afectado.

A rede de água quente dos fogos será alimentada através de uma caldeira ou esquentador a gás.

No interior dos diversos fogos optou-se pela utilização de tubagem em PP-R PN20 (polipropileno copolímero random) com acessórios do mesmo material, por esta parecer uma boa solução para o caso de estudo, por apresentar resistência à corrosão electro-química e a correntes vagantes, baixa condutividade térmica, baixa perda de carga, ser uma instalação silenciosa, permitir facilidade de trabalho na instalação, boa higiene e qualidade no transporte de água, além de ser uma solução económica.

Quadro 5.1 – Diâmetros utilizados no dimensionamento da rede [9]

PN 20 (PP-R - Coprax)	
Dext (mm)	Dint (mm)
16	10.6
20	13.2
25	16.6
32	21.2
40	26.6
50	33.2
63	42.0
75	50.0
90	60.0
110	74.0

5.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO

O cálculo da rede de distribuição baseia-se nos caudais instantâneos correspondentes aos diferentes dispositivos de utilização, empregando-se as curvas de caudais de cálculo para um nível médio de conforto, conforme se viu no Capítulo 4.

Os diâmetros foram fixados com base em critérios de velocidade e perda de carga, conforme também descrito no mesmo capítulo.

Para se poder proceder ao estudo da rede de distribuição com o programa EPANET foi necessário proceder ao desenho da mesma, de modo a definir o seu traçado, comprimentos das tubagens e acessórios utilizados.

Foi então desenhada com o programa AUTOCAD, traçando a rede de água fria e de água quente e os respectivos acessórios (tais como curvas, válvulas de retenção e seccionamento, torneiras, etc.) na planta correspondente a um dos pisos do edifício.

Procurou-se desenhar o traçado mais curto para a rede, de modo a reduzir perdas de carga, custos, etc. Para o material escolhido, optou-se por um traçado embutido na parede.

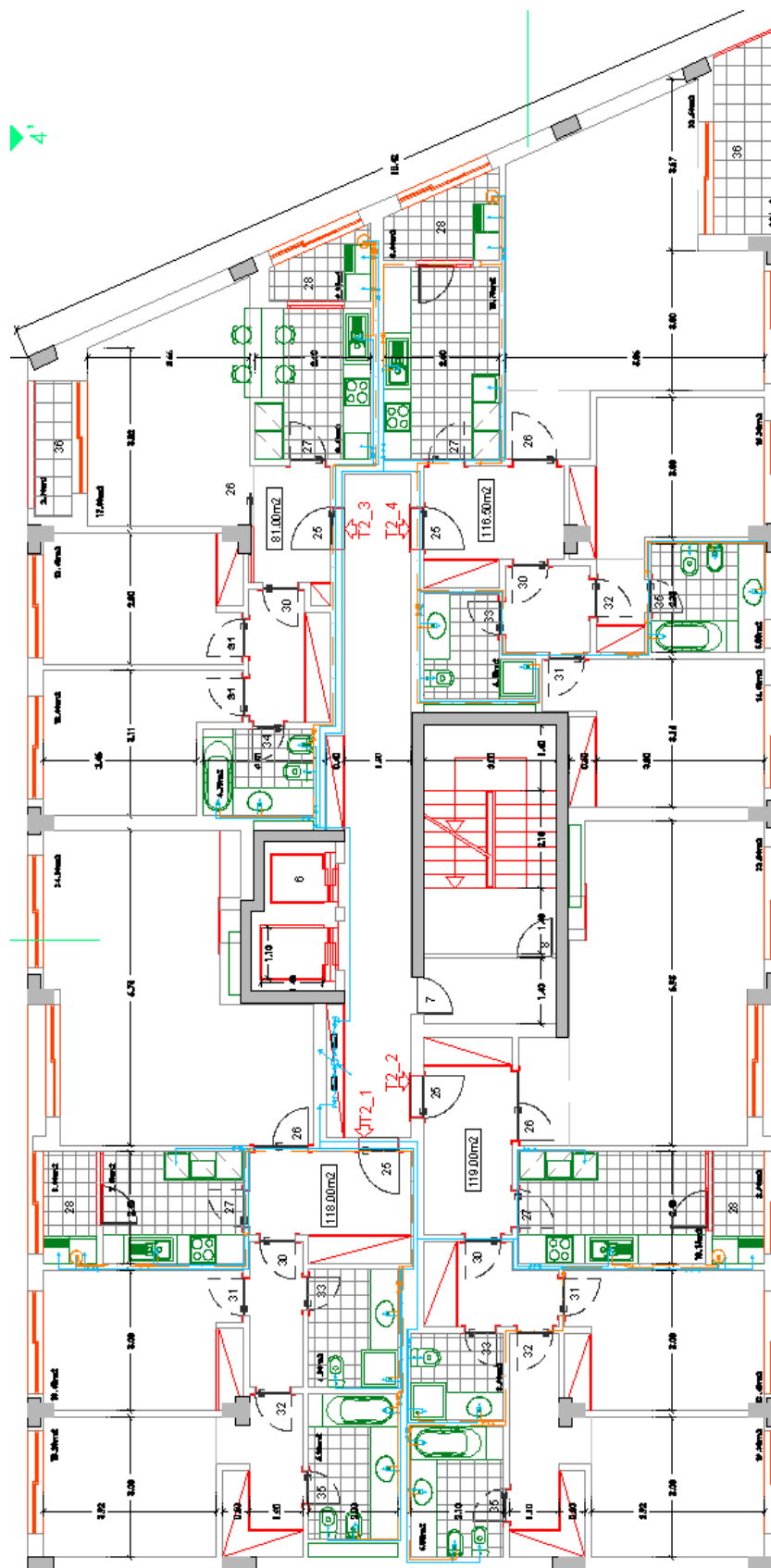


Fig. 5.2 – Planta do piso e indicação de cada uma das habitações

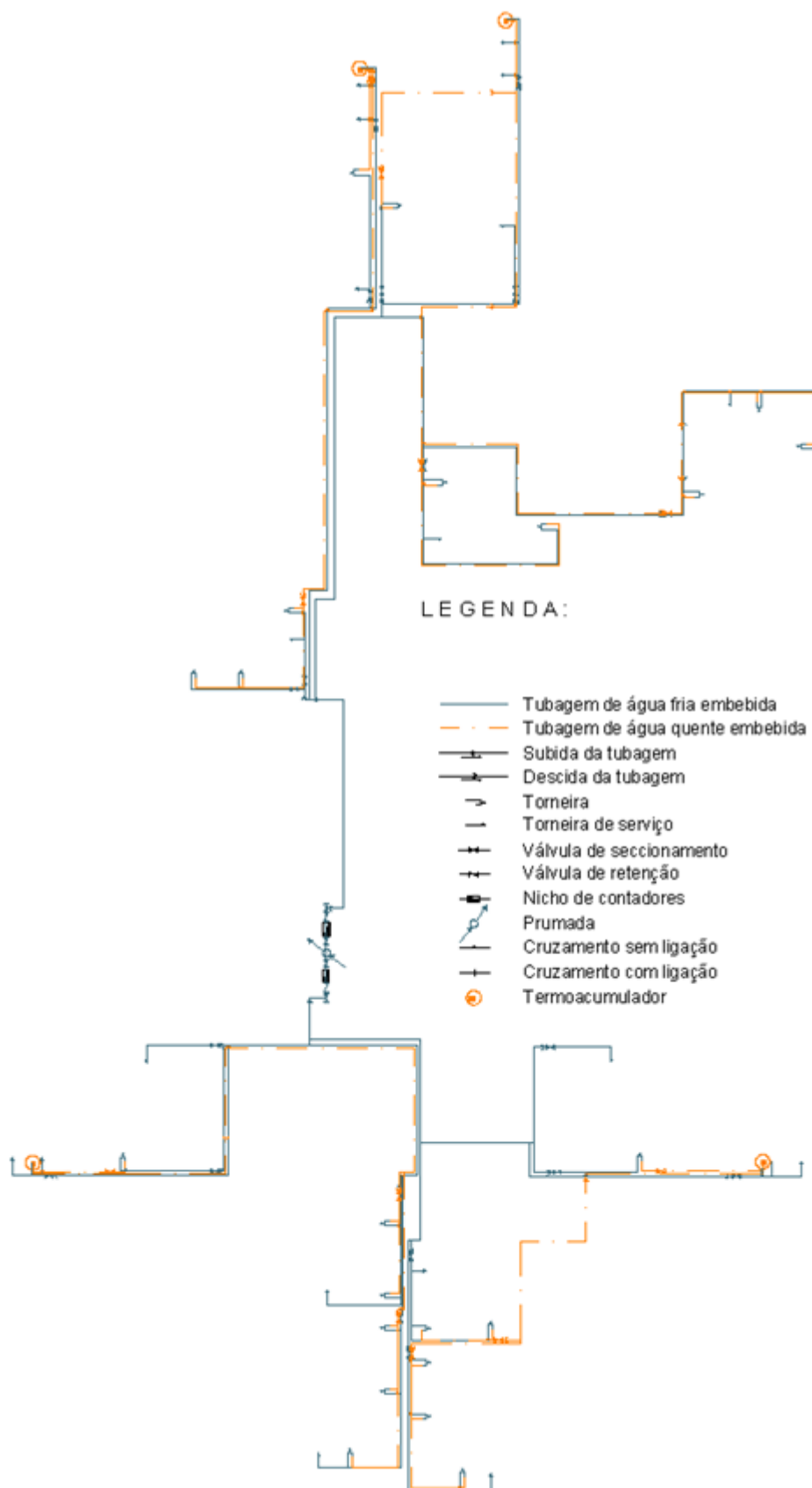


Fig. 5.3 – Redes de água fria e quente

5.2.1. ESTUDO DE UM DOS PISOS

Com a rede desenhada foi possível passar ao estudo do problema com o programa EPANET.

Em primeiro lugar, desenhou-se a rede de distribuição de água fria e quente de forma esquemática neste programa, tendo sido procurado que os nós de cada utilização, correspondentes a água fria e quente ficassem próximos um do outro, de forma a dar um melhor aspecto e facilidade de leitura e análise do problema. Foi procurada também a separação de cada um dos 4 fogos com tipologia T2 na representação esquemática da rede de abastecimento.

Para os nós referentes a cada uma das utilizações foi utilizada uma notação que permitisse distinguir a sua função, tipo de água utilizada e a quantidade existente em cada uma das habitações. Nos restantes nós que permitem a bifurcação das várias tubagens, foram apenas numerados, tendo o cuidado de seguir a ordem de cada uma das habitações utilizadas para a notação dos nós das utilizações. Por exemplo, para um lavatório de uma das casas de banho da primeira habitação temos para a torneira de água quente a designação de Nlav_Q1_1, em que lav corresponde à utilização em causa que neste caso, corresponde ao lavatório, o Q corresponde a água quente, o primeiro 1 identifica a habitação onde se encontra o lavatório e o segundo 1 indica qual a casa de banho.

Em relação às tubagens a notação usada apenas distingue a rede de água fria e de água quente.

O reservatório fictício que está ligado à rede serve apenas para substituir a coluna montante.

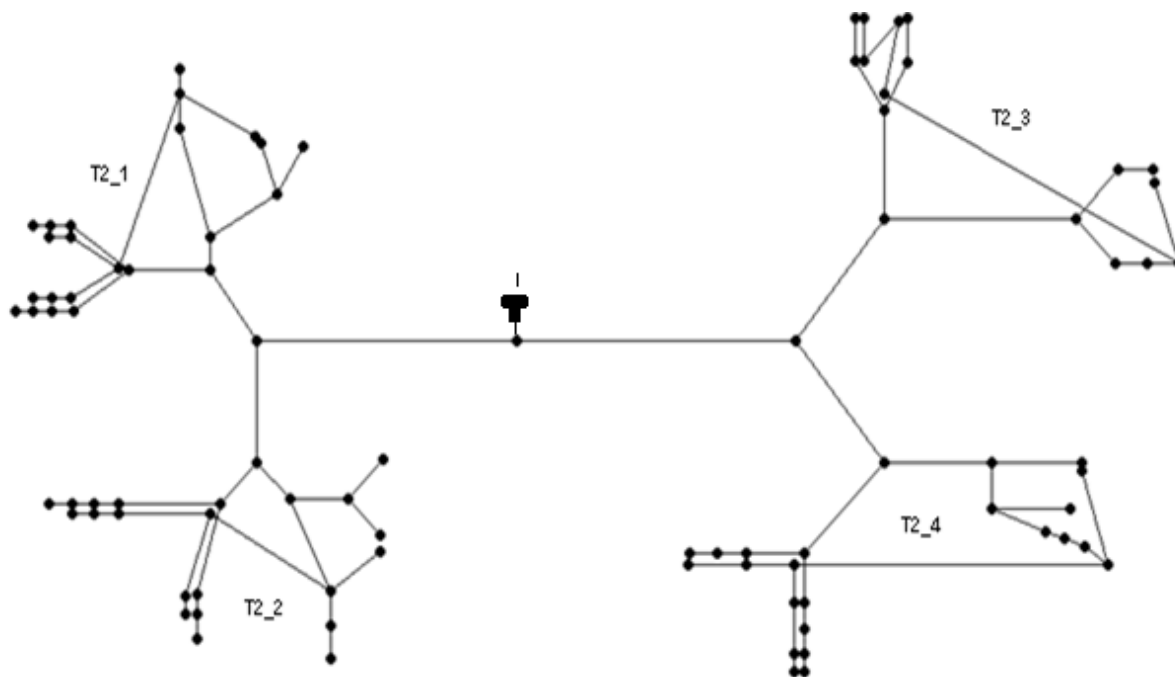


Fig. 5.4 – Representação da rede de abastecimento de água no EPANET

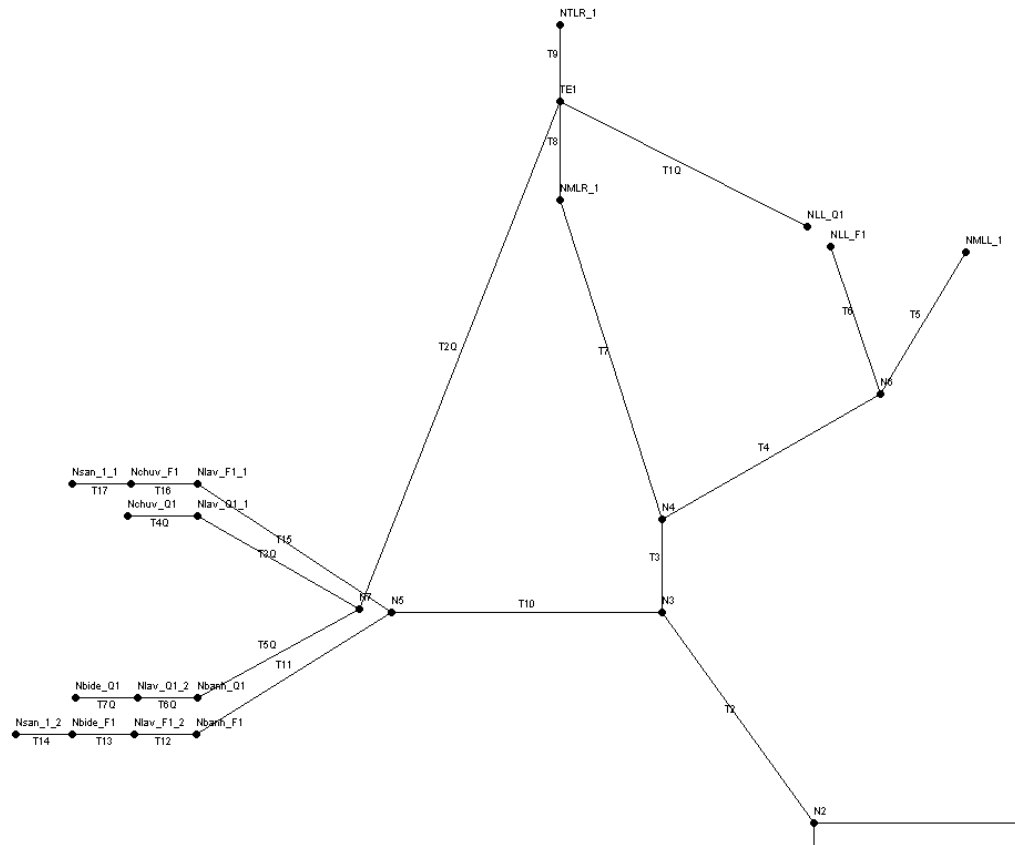


Fig. 5.5 – Representação da 1ª habitação em EPANET com a respectiva notação dos tubos e nós

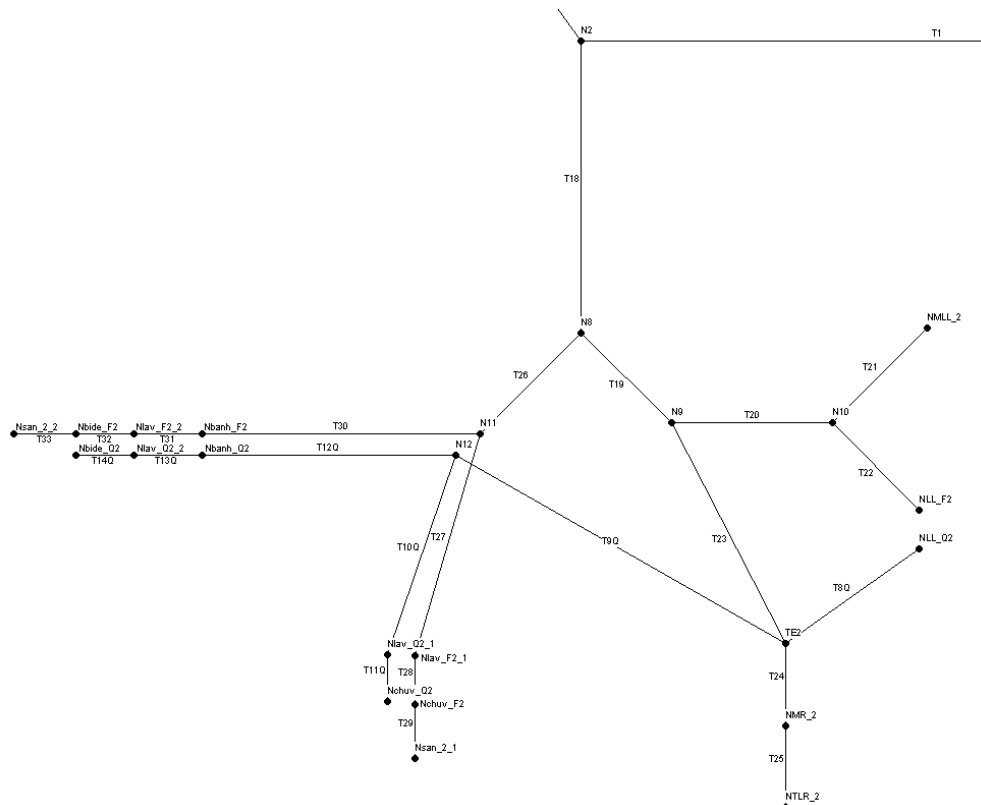


Fig. 5.6 – Representação da 2ª habitação em EPANET com a respectiva notação dos tubos e nós

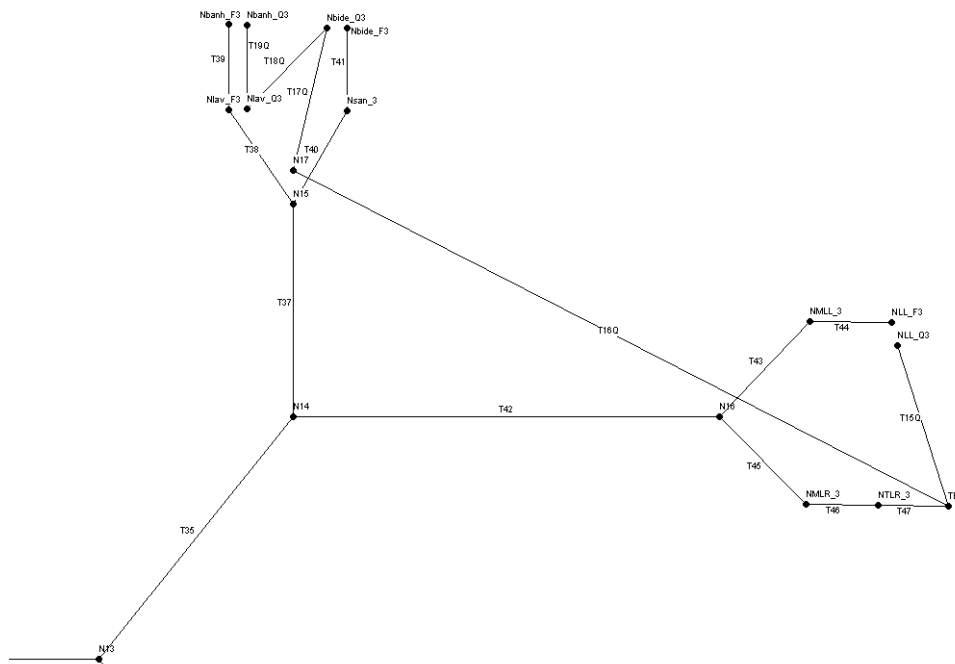


Fig. 5.7 – Representação da 3ª habitação em EPANET com a respectiva notação dos tubos e nós

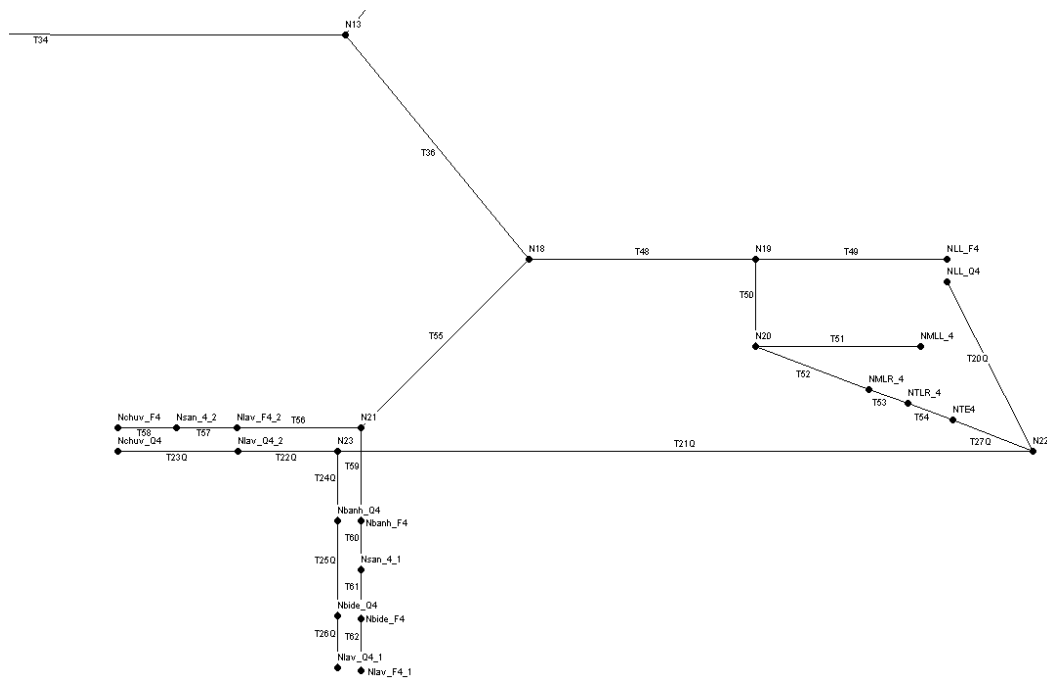


Fig. 5.8 – Representação da 3ª habitação em EPANET com a respectiva notação dos tubos e nós

Com a rede desenhada, passou-se à introdução dos caudais mínimos nos dispositivos de utilização de água fria e quente, em cada um dos nós respectivos.

Após a introdução dos caudais instantâneos determinaram-se os respectivos caudais de acumulados em cada tubo e pode-se então proceder à determinação dos diâmetros dos tubos.

Para se obter os caudais acumulados em cada tubo, exportou-se a rede com o software EPANET. Utilizando então o software Excel para abrir o ficheiro da rede, procedeu-se então ao cálculo do respectivo diâmetro de acordo com o procedimento descrito no capítulo 4 no ponto 4.3.

Este dimensionamento é realizado através duma folha de cálculo elaborada pelo autor deste trabalho.

Tubo	Caudal acum (l/s)	Caudal calc (l/s)	D cálculo (mm)	Dcom int. (mm)	Velocidade (m/s)
T0	9.60	1.80	39.1	42.0	1.30
T1	5.10	1.30	33.2	42.0	0.94
T2	2.55	0.90	27.6	33.2	1.04
T3	1.65	0.75	25.2	26.6	1.35
T4	0.35	0.35	17.2	21.2	0.99
T5	0.15	0.15	11.3	13.2	1.10
T6	0.20	0.20	13.0	13.2	1.46
T7	1.30	0.65	23.5	26.6	1.17
T8	1.10	0.60	22.6	26.6	1.08
T9	0.20	0.20	13.0	13.2	1.46

Fig. 5.9 – Folha de cálculo para o dimensionamento dos tubos

Com a introdução do respectivo caudal acumulado no seu respectivo tubo, a folha de cálculo irá determinar o respectivo caudal de cálculo e o diâmetro do tubo.

Verificou-se que em nenhuma conduta existia uma velocidade superior a 1,5 m/s, cumprindo assim o disposto no regulamento.

Caudais fictícios

Com o cálculo dos diâmetros realizado, introduziram-se os resultados obtidos no ficheiro de rede que tinha sido previamente exportado do EPANET, tendo-se importado a rede para o EPANET já com os diâmetros dos tubos corrigidos.

Os caudais de cálculo não respeitam o princípio da continuidade, tal como foi visto em 4.1. Assim irá ser necessário recorrer a caudais fictícios, de forma a permitir a utilização do software EPANET. Para isso seguiu-se a metodologia descrita no ponto 4.2 do capítulo anterior. Os caudais fictícios foram calculados graças a uma folha de cálculo elaborada pelo autor deste projecto.

Caso de estudo – Coluna Montante						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qficticio no nó	
nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc nos nós anteriores	Q Epanet
N1	9.6	T1	9.6	1.8	0	-7.8
N2	9.6	T2	19.2	2.55	1.8	-8.85
N3	9.6	T3	28.8	3.25	2.55	-8.9
N4	9.6	T3	38.4	4.05	3.25	-8.8
N5	9.6	T5	48	4.8	4.05	-8.85
N6	9.6	T6	57.6	5.5	4.8	-8.9
N7	9.6	T7	67.2	6.15	5.5	-8.95

Fig. 5.10 – Folha de cálculo para caudais fictícios

Começando pelo nó mais a jusante da rede, calcula-se os caudais fictícios dos nós de cada uma das habitações.

Os resultados encontram-se nos quadros a.1, a.2, a.3, a.4 e a.5 dos anexos. O quadro 5.2 corresponde ao cálculo dos caudais fictícios na habitação T2_3.

Quadro 5.2 - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_3

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
Nbanh_Q3	0.25	T19Q	0.25	0.25	0.00	0.00
Nlav_Q3	0.10	T18Q	0.35	0.35	0.25	0.00
Nbide_Q3	0.10	T17Q	0.45	0.40	0.35	-0.05
N17	0.00	T16Q	0.45	0.40	0.40	0.00
NLL_Q3	0.20	T15Q	0.20	0.20	0.00	0.00
TE3	0.00	T47	0.65	0.45	0.60	-0.15
NTLR_3	0.20	T46	0.85	0.55	0.45	-0.10
NMRL_3	0.20	T45	1.05	0.60	0.55	-0.15
NLLF_3	0.20	T44	0.20	0.20	0.00	0.00
NMLL_3	0.15	T43	0.35	0.35	0.20	0.00
N16	0.00	T42	1.40	0.70	0.95	-0.25
Nbide_F3	0.10	T41	0.10	0.10	0.00	0.00
Nsan_3	0.10	T40	0.20	0.20	0.10	0.00
Nbanh_F3	0.25	T39	0.25	0.25	0.00	0.00
Nlav_F3	0.10	T38	0.35	0.35	0.25	0.00
N15	0.00	T37	0.55	0.45	0.55	-0.10
N14	0.00	T35	1.95	0.80	1.15	-0.35
N13	0.00	T34	4.50	1.20	1.70	-0.50

Resultados

Após a introdução dos caudais fictícios nos respectivos nós, e com os tubos dimensionados para o respectivo caudal de cálculo, pode-se então realizar o estudo da rede ao nível do piso, nomeadamente o estudo das pressões e velocidades, qualidade da água, tempo que a água permanece na canalização, modo de propagação de determinados efeitos, utilização de controlos, etc., conforme mostram alguns exemplos adiante apresentados.

Quadro 5.3 – Funcionamento hidráulico dos tubos no último piso

Troço	Caudal (l/s)	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	K perdas carga localizadas	Perda de carga total no tubo (mca)	Velocidade (m/s)
T0	1.80	1000.00	1.0	0.0	0.00	1.30
T1	1.30	42.00	3.1	3.8	0.25	0.94
T2	0.90	33.20	0.1	0.6	0.04	1.04
T3	0.75	26.60	1.6	0.6	0.60	1.35
T4	0.35	21.20	0.1	0.6	0.04	0.99
T5	0.15	13.20	2.6	2.4	0.55	1.10
T6	0.20	13.20	5.6	3.2	1.83	1.46
T7	0.65	26.60	7.3	3.0	0.73	1.17
T8	0.60	26.60	0.2	0.6	0.05	1.08
T9	0.20	13.20	0.4	0.8	0.19	1.46
T10	0.55	26.60	5.0	2.2	0.37	0.99
T11	0.45	21.20	4.2	3.8	0.78	1.27
T12	0.30	16.60	1.3	0.6	0.28	1.39
T13	0.20	13.20	2.6	1.4	0.83	1.46
T14	0.10	13.20	0.6	0.8	0.07	0.73
T15	0.35	21.20	2.1	3.0	0.30	0.99
T16	0.25	16.60	1.4	0.6	0.22	1.16
T17	0.10	13.20	1.7	1.6	0.17	0.73
T18	0.90	33.20	4.3	1.4	0.26	1.04
T19	0.75	26.60	2.2	0.6	0.26	1.35
T20	0.35	21.20	0.1	0.6	0.04	0.99
T21	0.15	13.20	4.5	3.2	0.89	1.10
T22	0.20	13.20	3.7	3.2	1.33	1.46
T23	0.65	26.60	7.3	3.0	0.73	1.17
T24	0.35	21.20	0.2	0.6	0.04	0.99
T25	0.20	13.20	0.6	0.8	0.25	1.46
T26	0.55	26.60	2.2	1.4	0.18	0.99
T27	0.55	21.20	1.6	2.2	0.22	0.99
T28	0.25	16.60	1.1	0.6	0.18	1.16
T29	0.10	13.20	1.9	1.4	0.18	0.73
T30	0.45	21.20	3.5	3.0	0.64	1.27
T31	0.30	16.60	1.1	0.6	0.25	1.39
T32	0.20	13.20	2.6	1.4	0.84	1.46
T33	0.10	13.20	0.7	0.8	0.07	0.73
T34	1.20	33.20	9.0	6.2	1.27	1.39

Quadro 5.3 (cont.) – Funcionamento hidráulico dos tubos no último piso

Troço	Caudal (l/s)	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	K perdas carga localizadas	Perda de carga total no tubo (mca)	Velocidade (m/s)
T35	0.80	26.60	0.2	0.6	0.08	1.44
T36	0.90	33.20	9.0	3.0	0.56	1.04
T37	0.45	21.20	1.2	3.0	0.38	1.27
T38	0.35	21.20	1.3	0.6	0.12	0.99
T39	0.25	16.60	1.0	0.8	0.18	1.16
T40	0.20	13.20	1.0	0.6	0.33	1.46
T41	0.10	13.20	0.6	0.8	0.06	0.73
T42	0.70	26.60	9.0	3.0	0.98	1.26
T43	0.35	21.20	1.5	2.2	0.22	0.99
T44	0.20	13.20	2.3	0.8	0.70	1.46
T45	0.60	26.60	5.0	3.0	0.49	1.08
T46	0.55	26.60	0.7	0.6	0.07	0.99
T47	0.45	21.20	0.4	0.8	0.11	1.27
T48	0.75	26.60	0.3	0.6	0.08	1.35
T49	0.20	13.20	3.0	2.4	1.06	1.46
T50	0.70	26.60	2.7	0.6	0.27	1.26
T51	0.15	13.20	2.6	2.4	0.55	1.10
T52	0.65	26.60	5.7	3.0	0.62	1.17
T53	0.60	26.60	0.7	0.6	0.08	1.08
T54	0.55	26.60	0.5	0.8	0.07	0.99
T55	0.55	26.60	3.5	1.4	0.25	0.99
T56	0.35	21.20	1.8	2.2	0.24	0.99
T57	0.25	16.60	1.2	0.6	0.19	1.16
T58	0.15	13.20	3.9	2.4	0.75	1.10
T59	0.45	21.20	8.0	4.6	1.28	1.27
T60	0.30	16.60	5.0	4.6	1.34	1.39
T61	0.20	13.20	0.7	0.6	0.24	1.46
T62	0.10	13.20	2.3	1.6	0.21	0.73
T1Q	0.20	13.20	1.8	1.4	0.64	1.46
T2Q	0.50	21.20	13.8	13.2	3.00	1.42
T3Q	0.25	16.60	2.1	3.0	0.47	1.16
T4Q	0.15	13.20	1.5	0.6	0.27	1.10
T5Q	0.40	21.20	4.2	3.8	0.62	1.13
T6Q	0.20	13.20	1.3	0.6	0.40	1.46

Quadro 5.3 (cont.) – Funcionamento hidráulico dos tubos no último piso

Troço	Caudal (l/s)	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	K perdas carga localizadas	Perda de carga total no tubo (mca)	Velocidade (m/s)
T7Q	0.10	13.20	2.5	1.6	0.23	0.73
T8Q	0.20	13.20	2.4	1.4	0.79	1.46
T9Q	0.50	21.20	9.2	5.4	1.80	1.42
T10Q	0.25	16.60	1.6	2.2	0.35	1.16
T11Q	0.15	13.20	1.5	0.8	0.27	1.10
T12Q	0.40	21.20	3.7	3.8	0.58	1.13
T13Q	0.20	13.20	1.1	0.6	0.36	1.46
T14Q	0.10	13.20	2.5	1.6	0.23	0.73
T15Q	0.20	13.20	2.0	1.4	0.69	1.46
T16Q	0.40	21.20	12.7	5.6	1.51	1.13
T17Q	0.40	21.20	1.4	2.2	0.27	1.13
T18Q	0.35	21.20	2.8	1.4	0.27	0.99
T19Q	0.25	16.60	1.0	0.8	0.18	1.16
T20Q	0.20	13.20	7.0	4.8	2.38	1.46
T21Q	0.50	21.20	9.9	3.8	1.74	1.42
T22Q	0.25	16.60	1.8	2.2	0.38	1.16
T23Q	0.15	13.20	5.2	2.4	0.95	1.10
T24Q	0.40	21.20	7.9	5.2	1.05	1.13
T25Q	0.20	13.20	5.6	4.6	1.97	1.46
T26Q	0.10	13.20	2.2	1.6	0.21	0.73
T27Q	0.55	26.60	1.4	1.2	0.13	0.99

Quadro 5.4 – Pressões no último piso

Nó	Cota (m)	Consumo (l/s)	Pressão (mca)	Nó	Cota (m)	Consumo (l/s)	Pressão (mca)
N1	29.5	0	22.03	N14	29.5	0	20.68
N2	29.5	0	21.78	N18	29.5	0	20.20
N8	29.5	0	21.51	N15	29.5	0	20.30
N11	29.5	0	21.33	Nlav_F3	29.5	0.1	20.17
N9	29.5	0	21.25	Nbanh_F3	29.5	0.25	20.00
N3	29.5	0	21.74	Nsan_3	29.5	0.1	19.96
N4	29.5	0	21.53	Nbide_F3	29.5	0.1	19.90
N5	29.5	0	21.37	N16	29.5	0	19.70
N6	29.5	0	21.50	NMLL_3	29.5	0.15	19.48
NTLR_1	29.5	0.2	20.57	NLL_F3	29.5	0.2	18.79
TE1	29.5	0	20.75	NMLR_3	29.5	0.2	19.21
NMLR_1	29.5	0.2	20.80	NTLR_3	29.5	0.2	19.15
NLL_F1	29.5	0.2	19.66	TE3	29.5	0	19.04
NMLL_1	29.5	0.15	20.94	N19	29.5	0	20.12
Nlav_F1_1	29.5	0.1	21.07	N21	29.5	0	19.95
Nchuv_F1	29.5	0.15	20.85	NLL_F4	29.5	0.2	19.07
Nsan_1_1	29.5	0.1	20.68	N20	29.5	0	19.86
Nbanh_F1	29.5	0.25	20.59	NMLL_4	29.5	0.15	19.31
Nlav_F1_2	29.5	0.1	20.30	NMLR_4	29.5	0.2	19.24
Nbide_F1	29.5	0.1	19.47	NTLR_4	29.5	0.2	19.17
Nsan_1_2	29.5	0.1	19.41	N22	29.5	0	18.96
N10	29.5	0	21.22	Nlav_F4_2	29.5	0.1	19.71
NMLL_2	29.5	0.15	20.33	Nsan_4_2	29.5	0.1	19.52
NLL_F2	29.5	0.2	19.89	Nchuv_F4	29.5	0.15	18.76
TE2	29.5	0	20.52	Nbanh_F4	29.5	0.25	18.67
NMR_2	29.5	0.2	20.48	Nsan_4_1	29.5	0.1	17.33
NTLR_2	29.5	0.2	20.23	Nbide_F4	29.5	0.1	17.09
Nbanh_F2	29.5	0.25	20.69	Nlav_F4_1	29.5	0.1	16.88
Nlav_F2_2	29.5	0.1	20.44	NLL_Q1	29.5	0.2	20.11
Nbide_F2	29.5	0.1	19.60	N7	29.5	0	17.76
Nsan_2_2	29.5	0.1	19.53	Nlav_Q1_1	29.5	0.1	17.28
Nlav_F2_1	29.5	0.1	21.11	Nchuv_Q1	29.5	0.15	17.01
Nchuv_F2	29.5	0.15	20.93	Nbanh_Q1	29.5	0.25	17.13
Nsan_2_1	29.5	0.1	20.75	Nlav_Q1_2	29.5	0.1	16.74
N13	29.5	0	20.76	Nbide_Q1	29.5	0.1	16.51

Quadro 5.4 (cont.) – Pressões no último piso

Nó	Cota (m)	Consumo (l/s)	Pressão (mca)	Nó	Cota (m)	Consumo (l/s)	Pressão (mca)
NLL_Q2	29.5	0.2	19.73	Nlav_Q3	29.5	0.1	17.00
N12	29.5	0	18.72	Nbanh_Q3	29.5	0.25	16.82
Nlav_Q2_1	29.5	0.1	18.38	NLL_Q4	29.5	0.2	16.59
Nchuv_Q2	29.5	0.15	18.10	N23	29.5	0	17.23
Nbanh_Q2	29.5	0.25	18.14	Nlav_Q4_2	29.5	0.1	16.85
Nlav_Q2_2	29.5	0.1	17.79	Nchuv_Q4	29.5	0.15	15.90
Nbide_Q2	29.5	0.1	17.56	Nlav_Q4_1	29.5	0.1	14.00
NLL_Q3	29.5	0.2	18.36	Nbide_Q4	29.5	0.1	14.21
N17	29.5	0	17.53	Nbanh_Q4	29.5	0.25	16.18
Nbide_Q3	29.5	0.1	17.26	NTE4	29.5	0	19.10

5.2.2. ESTUDO DA COLUNA MONTANTE

Com o estudo da rede do último piso realizado, procedeu-se ao estudo da coluna montante.

Neste estudo seguiu-se a mesma metodologia utilizada no ponto 5.2.1, de forma a possibilitar a utilização do EPANET para o estudo da coluna de montante.

Os valores dos caudais fictícios encontram-se em anexo no quadro a.6

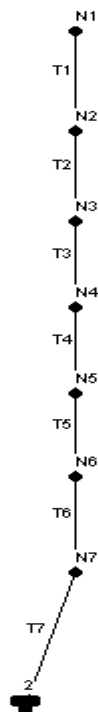


Fig. 5.11 – Representação coluna montante no EPANET

Os resultados obtidos foram os seguintes:

Resultados

Quadro 5.5 – Funcionamento hidráulico dos tubos coluna montante

Troço	Caudal (l/s)	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	K perdas carga localizadas	Perda de carga total no tubo (mca)	Velocidade (m/s)
T1	1.80	42.00	3.00	0.00	0.15	1.30
T2	2.55	50.00	3.00	0.00	0.12	1.30
T3	3.25	60.00	3.00	0.00	0.07	1.15
T4	4.05	60.00	3.00	0.00	0.11	1.43
T5	4.80	74.00	3.00	0.00	0.05	1.12
T6	5.50	74.00	3.00	0.00	0.07	1.28
T7	6.15	74.00	10.50	0.00	0.30	1.43

Quadro 5.6 – Pressões na coluna montante

Nó	Cota (m)	Consumo (l/s)	Pressão (mca)
N1	29.5	0	22.03
N2	26.5	0	25.18
N3	23.5	0	28.30
N4	20.5	0	31.37
N5	17.5	0	34.48
N6	14.5	0	37.54
N7	11.5	0	40.61

5.3. CENTRAL HIDROPNEUMÁTICA

Os grupos sobrepressores previstos para pressurização da rede de alimentação serão constituídos pelas seguintes órgãos:

- Grupos electrobomba de eixo verticais
- Reservatório de ar comprimido
- Quadro eléctrico
- Equipamento de sinalização, controlo e medida

Em alternativa ao reservatório de ar comprimido poder-se-ia optar por um variador de frequência que permitisse ajustar o funcionamento dos grupos ao débito instantâneo solicitado.

O dimensionamento da central hidropneumática irá ser feito de acordo com o descrito no ponto 3.1.1 e utilizando uma folha de cálculo em Excel criada por Oliveira e Neves (2007).

O caudal a fornecer pelos grupos corresponde ao caudal de cálculo da rede com uma majoração de 20%.

Para se obter uma pressão mínima na rede de 14 mca é necessária uma altura manométrica no mínimo igual a 50.41 mca. Considerou-se um diferencial de 10 mca, isto é, uma pressão máxima de 60.41 mca.

Isto conduz a um reservatório com 3355 litros de capacidade e 2 grupos electrobomba de 8 kW.

O programa indica também que o consumo diário é de 18900 litros e a energia gasta diariamente é igual a 4.75 kWh.

Considerando o custo do kWh igual a 0.1 € chega-se a um montante de 15 € por mês, o que é um valor relativamente modesto.

Segue-se a apresentação dos resultados obtidos pelo referido programa.

Análise do Edifício a Abastecer

Dados

Pressão da rede pública mca

Tipo de Edificação - R/C + => n = 10

Nº pisos abastecidos

Pisos abastecidos a partir da rede R/C + => n = 3

Nº de Pisos abastecidos pela central hidropneumática => n = 7

A imagem que se segue serve para melhor clarificar quais os pisos a abastecer, quer pela rede, quer pela central hidropneumática. É importante realçar que esta representa apenas um exemplo solto, permanecendo inalterável com os dados do problema.

Diagrama de um edifício com 10 pisos. O R/C (Rez do chão) é o piso 0. Os pisos 1 e 2 são abastecidos pela rede pública. Os pisos 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 são abastecidos pela central hidropneumática. A altura do reservatório é indicada como p.d. = 4m.

Pressões a garantir pela C.H.

Varição máxima entre $P_{e\text{ máx}}$ e $P_{e\text{ min}}$ admissível no reservatório $10 \leq$ ≤ 14 mca

Pressão efectiva mínima ($P_{e\text{ min}}$) mca

Pressão efectiva máxima ($P_{e\text{ máx}}$) mca

Pressão absoluta mínima ($P_{\text{ min}}$) mca

Pressão absoluta máxima ($P_{\text{ máx}}$) mca

Fig. 5.12 – Número de pisos servidos e pressões a garantir pela central hidropneumática

Dimensões Reservatório da Central Hidropneumática

Preencher as células em branco com o número de dispositivos existentes em cada piso

Dispositivos de utilização para:	Caudais mínimos l/s	Nº dispositivos/piso	Nº total de dispositivos	Caudais Acumulados l/s
Lavatório individual	0.10	14	98	9.8
Lavatório colectivo (por bica)	0.05	0	0	0
Bidé	0.10	8	56	5.6
Banheira	0.25	8	56	14
Chuveiro individual*	0.15	6	42	6.3
Pia de despejo com torneira de Ø15mm	0.15	0	0	0
Autoclismo de bacia de retrete	0.10	7	49	4.9
Mictório com torneira individual	0.15	0	0	0
Pia Lava-louça	0.20	8	56	11.2
Bebedouro	0.10	0	0	0
Máquina de lavar louça	0.15	4	28	4.2
Máquina ou tanque de lavar roupa	0.20	8	56	11.2
Bacia de retrete com fluxómetro*	1.50	0	0	0
Mictório com fluxómetro	0.50	0	0	0
Boca de rega ou lavagem de Ø15mm	0.30	0	0	0
Idem de Ø20mm	0.45	0	0	0

* - valores discutíveis e com liberdade para serem alterados

Caudal de cálculo a bombear

Caudal Acumulado Total 67.2 l/s

Caudal Acumulado de Cálculo (Q_e) 6.15 l/s

Caudal máximo bombado

$$1.15 * Q_e \leq Q_M \leq 1.25 * Q_e$$

Factor majorativo [1.15;1.25] 1.2

Caudal máximo bombado (Q_M) 7.4 l/s

Fig. 5.13 – Cálculo do caudal de cálculo a bombear e do caudal máximo bombado

Dimensões Reservatório da Central Hidropneumática

Nº arranques máx. da bomba

Rendimento do grupo (η)	60 %
Potência do motor (P)	7.30 Kw
Potência do Fabricante*	8 Kw
Nº arranques máximo*	28

* a potência do fabricante e o nº de arranques máx. da bomba são limitados pelos modelos fabricados.

Características Reservatório

Reserva de água em relação ao volume total	20 %
Volume útil Reservatório	381 litros
Volume total Reservatório	3355 litros
Diâmetro Reservatório	1.45 m
Altura Reservatório	2.20 m

Fig. 5.14 – Cálculo da potência, volume e dimensões da central hidropneumática

Custos Energéticos da Central Hidropneumática

	Tipo de Fogo		
	T1	T2	T3
Nº Fogos	0	36	0
Média Consumidores/Fogo*	2.5	3.5	5

* A média de consumidores por fogo pode ser ajustada ao problema

Energia consumida pela bomba

Nº total de consumidores	126
Consumo per capita*	150 l/hab/dia
Consumo diário Total	18900 litros
Energia consumida	4.75 Kwh/dia

* Regulamento SAAS Porto considera 250 l/hab/dia

Custo Energia por mês

Custo unitário energia	0.1 €/Kwh
Custo mensal energia	15 €/mês

Fig. 5.15 – Custos energéticos da central hidropneumática

6

QUALIDADE DA ÁGUA NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO PREDIAIS

6.1. LEGISLAÇÃO

A questão da qualidade da água destinada ao consumo humano está regulada pelo Decreto-Lei nº 243/2001 de 5 de Setembro. Antes de mais, diga-se que este diploma define sistema de distribuição predial como sendo “as canalizações, acessórios e aparelhos instalados entre as torneiras normalmente utilizadas para consumo humano e a rede de distribuição, desde que não sejam da responsabilidade da entidade gestora do sistema de abastecimento”.

De acordo com o artigo 7º, no caso de a água ser fornecida a partir de uma rede de distribuição, como aqui interessa analisar, a verificação da conformidade é feita nas torneiras normalmente utilizadas para consumo humano. Esse controlo deve ser feito pela entidade gestora do sistema de abastecimento público, segundo plano submetido e aprovado pelas autoridades competentes.

A parte C do anexo I deste documento define quais os parâmetros a controlar e quais os respectivos valores paramétricos, conforme mostra o quadro 6.1.

Estes parâmetros são estabelecidos apenas para efeitos de controlo de água destinada ao consumo humano fornecida por sistemas de abastecimento público, redes de distribuição, camiões ou navio-cisterna, ou utilizada numa empresa da indústria alimentar ou posta à venda em garrafas ou outros recipientes.

Quadro 6.1 – Parâmetros indicadores

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidades	Notas
Alumínio	200	µg/l Al	
Amónio	0.5	mg/l NH ₄	
Cloretos	250	mg/l Cl	Nota 1
Clostridium perfringens (incluindo esporos)	0	N/100 ml	Nota 2
Cor	20	mg/l PtCo	
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C	Nota 1
pH	≥ 6.5 ≤ 9.0	Unidades de pH	Notas 1 e 3

Quadro 6.1 (cont.) – Parâmetros indicadores

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidades	Notas
Ferro	200	g/l Fe	
Manganês	50	g/l Mn	
Cheiro, a 25°C	3	Factor de diluição	
Oxidabilidade	5	mg/l O ₂	Nota 4
Sulfatos	250	mg/l SO ₄	Nota 1
Sódio	200	mg/l Na	
Sabor, a 25°C	3	Factor de diluição	
Número de colónias	Sem alteração	N/ml 22°C	
	anormal	N/ml 37°C	
Bactérias coliformes	0	N/100 ml	Nota 5
Carbono orgânico total	Sem alteração	mg/l C	Nota 6
	anormal		
Turvação	4	UNT	Nota 7
α -total	0.1	Bq/l	
β -total	1	Bq/l	
Trítio	50	Bq/l	Notas 8 e 10
Dose indicativa total	0.1	mSv/ano	Notas 9 e 10

Nota 1 - A água não deve ser agressiva para os materiais com que entra em contacto.

Nota 2 - Parâmetro a ser controlado quando a origem de água for superficial ou por ela influenciada. Caso se verifique o incumprimento deste valor paramétrico, deverá ser investigado todo o sistema de fornecimento para identificar existência de risco para a saúde humana devido à presença de outros microrganismos patogénicos, por exemplo criptosporidium.

Nota 3 - Para a água sem gás contida em garrafas ou outros recipientes, o valor mínimo do pH pode ser reduzido para 4,5 unidades. Para a água, em garrafas ou outros recipientes, naturalmente rica ou artificialmente enriquecida em dióxido de carbono, o valor mínimo pode ser mais baixo.

Nota 4 - Caso seja analisado o COT (carbono orgânico total), não é necessária a determinação da oxidabilidade.

Nota 5 - Para as águas contidas em garrafas ou outros recipientes, as unidades são N/250 ml.

Nota 6 - Dispensada a análise para abastecimentos inferiores a 10 000 m³/dia.

Nota 7 - No caso de águas superficiais, o valor paramétrico da turvação à saída do tratamento deve ser ≤ 1 UNT.

Nota 8 - Frequências de controlo são fixadas no anexo II, quadro B1), do presente diploma.

Nota 9 - Com excepção do trítio, potássio - 40, radão e produtos de desintegração do radão, frequências de controlo e localizações mais adequadas para os pontos de controlo são estabelecidas no anexo II, quadro B1), do presente diploma.

Nota 10 - As propostas de programa de controlo da qualidade da água a apresentar nos termos da nota 8, sobre frequências de controlo, e da nota 9, sobre as frequências de controlo, métodos de controlo e localizações mais adequadas para os pontos de controlo, serão adoptadas de acordo com o disposto neste diploma. Eventuais alterações poderão ocorrer futuramente nos termos dos artigos 11º e 12º da Directiva nº 98/83/CE.

O anexo II tem por objectivo definir os controlos de rotina e inspecção assim como as frequências mínimas de amostragem e análise da água destinada ao consumo humano fornecida por sistemas de abastecimento público, rede de distribuição, camiões ou navios-cisterna, utilizada numa empresa de indústria alimentar e à venda em garrafas e outros recipientes.

6.2. REACÇÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Segundo [36] o módulo de simulação de qualidade da água do EPANET permite acompanhar o crescimento ou o decaimento de uma substância devido a reacções, à medida que esta se desloca ao longo da rede. Para tal, é necessário conhecer a taxa de reacção e o modo como esta pode depender da concentração da substância.

As reacções podem ter lugar no seio do escoamento, entre espécies químicas presentes na água, ou na interface com as paredes das tubagens ou dos reservatórios de nível variável. O EPANET permite que o modelador trate estas duas zonas de reacção separadamente.

6.2.1. TRANSPORTE POR CONVECÇÃO EM TUBAGENS E REACÇÕES NO SEIO DO ESCOAMENTO

Uma substância dissolvida é transportada ao longo de uma tubagem com a mesma velocidade média do escoamento, sujeita a uma determinada taxa de reacção (crescimento, decaimento). A dispersão longitudinal é um mecanismo de transporte usualmente pouco importante para a maioria das condições operacionais. **Significa**, portanto, que se admite não existir mistura de massas entre segmentos adjacentes que se deslocam ao longo da tubagem. Assim, desprezando a dispersão longitudinal, obtém-se a seguinte equação de convecção com reacção:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -U_i * \frac{\partial C_i}{\partial x} + R(C_i) \quad (6.1)$$

em que C_i corresponde à concentração volumétrica (massa/volume, no EPANET vem em mg/l) na tubagem i em função da distância x e do tempo t , U_i corresponde à velocidade média do escoamento (comprimento/tempo, no EPANET vem em m/s) na tubagem i e R corresponde à taxa de reacção (massa/volume/tempo, no EPANET vem em mg/l/dia), função da concentração.

Enquanto uma substância é transportada ao longo de uma tubagem, ou permanece num RNV, pode reagir com outros constituintes químicos presentes no seio da água.

O EPANET simula as reacções que ocorrem no seio do escoamento utilizando leis cinéticas de ordem n , onde a taxa de reacção instantânea (R em unidades massa/volume/tempo) depende da concentração, de acordo com a seguinte equação na forma diferencial:

$$R = K_b * C^n \quad (6.2)$$

onde K_b corresponde ao coeficiente de reacção no seio do escoamento, C à concentração do reagente (massa/volume, no EPANET vem em mg/l) e n à ordem da reacção. O coeficiente K_b tem unidades de concentração, elevado ao expoente $(1-n)$, a dividir pelo tempo (no EPANET vem em 1/dia para $n = 1$). Este coeficiente é positivo em reacções de crescimento e negativo em reacções de decaimento.

O EPANET também permite que se considerem reacções onde exista uma concentração-limite no crescimento ou decaimento último de uma substância. Neste caso, a taxa de reacção pode ser traduzida pelas seguintes expressões:

$$R = K_b * (C_L - C) * C^{n-1}, \text{ para } n > 0, K_b > 0 \quad (6.3)$$

$$R = K_b * (C - C_L) * C^{n-1}, \text{ para } n > 0, K_b < 0 \quad (6.4)$$

onde C_L corresponde à concentração-limite. Deste modo, existem três parâmetros (K_b , C_L , e n) que permitem caracterizar as reacções no seio do escoamento. Apresenta-se, a seguir, alguns casos especiais de modelos cinéticos bem conhecidos:

Quadro 6.2 – Exemplos de modelos cinéticos de reacções no seio do escoamento [36]

Modelo	Parâmetros	Exemplos
Decaimento de 1ª ordem	$C_L = 0, K_b < 0, n = 1$	Cloro Residual
Crescimento de 1ª ordem saturado	$C_L > 0, K_b > 0, n = 1$	Trihalometanos
Cinético de ordem nula	$C_L = 0, K_b < 0, n = 1$	Idade da água
Ausência de reacção	$C_L = 0, K_b = 0$	Traçador de Flúor

O valor da constante cinética K_b , para reacções de primeira ordem, pode ser estimado a partir de ensaios laboratoriais, colocando uma amostra de água numa série de garrafas de vidro não reactivas e analisando o conteúdo de cada garrafa em diferentes intervalos de tempo pré-determinados. Se a reacção é de primeira ordem, a representação gráfica dos valores de $\log (C_t/C_0)$ em função do tempo, permite obter uma linha recta onde C_t é a concentração no instante t e C_0 é a concentração no instante inicial. O valor de K_b é estimado a partir do declive da recta.

Os coeficientes de reacção no seio do escoamento usualmente crescem com o aumento da temperatura. A execução de séries de testes em garrafas, a diferentes temperaturas, permite avaliar com maior precisão o modo como o coeficiente de reacção varia com a temperatura.

6.2.2. REACÇÕES NA PAREDE

Durante o mecanismo de transporte nas tubagens, as substâncias dissolvidas podem ser transportadas para a parede da tubagem e reagir com materiais, como sejam os produtos de corrosão ou biofilme, que se encontrem junto ou na parede da tubagem. A área de tubagem disponível para reacção e a taxa de transferência de massa entre o seio do escoamento e a parede também influenciam a taxa de reacção. O raio hidráulico, que para uma tubagem é igual ao raio a dividir por dois, determina o factor

de forma. O efeito de transferência de massa pode ser representado por um coeficiente de transferência de massa, cujo valor depende da difusão molecular das espécies reactivas e do número de Reynolds do escoamento. Para leis cinéticas de 1ª ordem, a taxa de reacção na tubagem pode ser traduzida pela seguinte expressão:

$$r = \frac{2 * K_w * K_f * C}{R * (K_w + K_f)} \quad (6.5)$$

em que K_w corresponde ao coeficiente de reacção na parede (comprimento/tempo), K_f ao coeficiente de transferência de massa (comprimento/tempo) e R ao raio da tubagem. Para cinéticas de ordem zero, a taxa de reacção não pode ser superior à taxa de transferência de massa

$$r = \min(K_w, K_f * C) * (2/R) \quad (6.6)$$

em que K_w tem agora as unidades de massa/área/tempo.

Os coeficientes de transferência de massa são usualmente expressos em termos do número adimensional de Sherwood (Sh):

$$K_f = Sh \frac{D}{d} \quad (6.7)$$

onde D corresponde à difusão molecular da espécie a ser transportada (comprimento/tempo) e d ao diâmetro da tubagem. Em regime laminar, o número de Sherwood médio ao longo do comprimento de uma tubagem pode ser expresso do seguinte modo:

$$Sh = 3.65 + \frac{0.0668 * (d/L) * Re * Sc}{1 + 0.04 * [(d/L) * Re * Sc]^{2/3}} \quad (6.8)$$

em que Re é o número de Reynolds, d corresponde ao diâmetro do tubo, L o comprimento do tubo (m), Re o número de Reynolds e Sc corresponde ao número de Schmidt, **ou seja**, a viscosidade cinemática da água a dividir pela difusão molecular do químico ($Sc = \nu_{\text{água}}/D$). Para escoamento turbulento, a correlação empírica de Notter e Sleicher (1971) pode ser utilizada:

$$Sh = 0.0149 * Re^{0.88} * Sc^{1/3} \quad (6.9)$$

7

CASO DE ESTUDO 2 – EXPLORAÇÃO DE POTENCIALIDADES DO EPANET, TOMANDO COMO EXEMPLO UM EDIFÍCIO DE 12 ANDARES: CLORO E CUSTOS DE BOMBAGEM

7.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se exemplificar como as múltiplas potencialidades do EPANET e a rapidez das simulações permitem obter alguns ensinamentos acerca do comportamento das redes prediais de grandes edifícios. Dois casos são considerados:

- Comportamento da rede em termos de redução dos teores de cloro ao longo do seu comprimento;
- Análise das perdas de carga, **designadamente**, em termos de rugosidade dos tubos e perdas de carga localizadas, e avaliação da sua influência sobre os custos de bombagem.

7.2. ANÁLISE DOS TEORES DE CLORO

7.2.1. O EFEITO DO ARMAZENAMENTO

Nem sempre a rede pública está dimensionada para satisfazer os caudais de ponta exigidos por grandes edifícios, pelo que é frequente a construção de um reservatório para alimentação do sistema de bombagem. O tempo de retenção nesses reservatórios pode afectar a qualidade da água, quer pelo decaimento do teor de cloro, quer pelo crescimento de substâncias indesejáveis, por exemplo.

Veja-se a questão do cloro. Nos reservatórios são fundamentais as reacções no seio do escoamento. Considerando o caso mais simples de uma reacção cinética de primeira ordem, o decaimento pode-se traduzir pela equação:

$$\frac{c}{c_0} = e^{K_b \cdot t} \quad (7.1)$$

onde c corresponde à concentração de cloro no instante em análise (mg/l), c_0 a concentração de cloro no instante inicial (mg/l), K_b o coeficiente de reacção (dia^{-1}) e t o tempo (dias).

Embora não sejam ainda muito abundantes, em Portugal têm sido realizados alguns estudos sobre K_b . Um deles é relatado por Castro e Neves (2003), a respeito da rede de abastecimento de água de Lousada, o qual conduziu a $K_b = -0.34/\text{dia}$.

A Figura 7.1 mostra a evolução do teor de cloro à saída do reservatório, em função do tempo de retenção no mesmo. Dado que os valores reportados de K_b variam bastante, a análise foi feita para valores variando entre metade e o dobro do que foi encontrado no estudo da rede de Lousada, isto é, K_b variando entre $-0.17/\text{dia}$ e $-0.68/\text{dia}$.

Constitui prática correcta dimensionar os reservatórios para um dia de consumo. De acordo com a Figura 7.1 isto significa que poderá haver uma substancial perda de cloro à saída do reservatório, digamos, “grosso modo” o valor à saída do reservatório pode ser apenas 50% do valor da rede pública.

Trata-se de uma constatação que apoia a recente tendência para a recomendação de tempos de retenção curtos, inferiores a 24 horas.

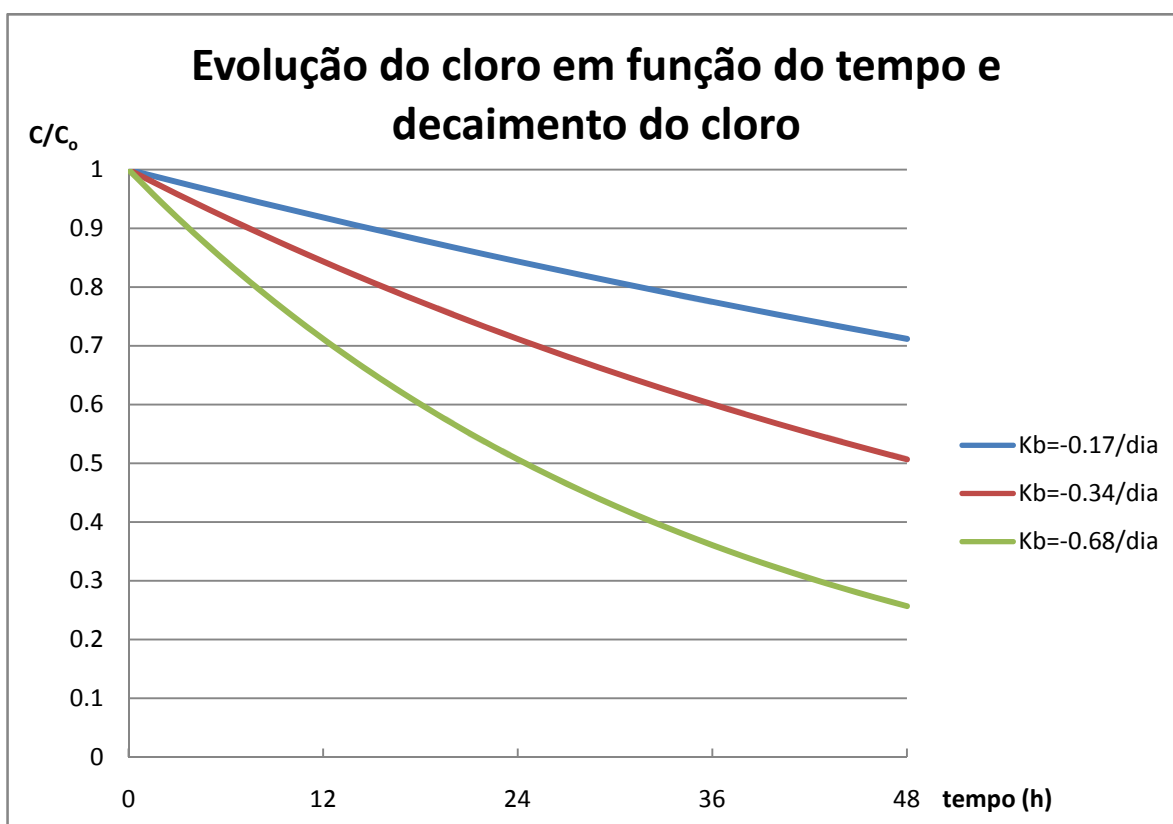


Fig. 7.1 – Evolução do teor de cloro em função do tempo e do coeficiente de reacção

7.2.2. PERDA DE CLORO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A equação 6.5 sugere que o raio da tubagem tem uma importância fundamental nas trocas de reagentes entre o escoamento e a parede. Intuitivamente, sente-se que quanto mais pequeno for o raio, mais facilmente se realizam essas trocas.

Como esse efeito é exponencial, nas redes prediais, como se lida com diâmetros muito pequenos, 12 mm por exemplo, será lógico interrogarmo-nos sobre o efeito que isso poderá ter no decaimento do desinfectante.

Para o efeito, foi realizada uma simulação, que consistiu na utilização de um caudal muito pequeno, correspondente a uma abertura intermédia de uma torneira ($Q = 0.05 \text{ l/s}$) na zona mais afastada da alimentação da rede (nó NLav_Q4_1)

A simulação foi executada com um coeficiente de troca com as paredes igual a -1.5 m/dia , situado na gama superior de valores referidos no manual do EPANET e admitiu-se, como mera hipótese de trabalho, que o teor de cloro à entrada da rede era $C_0 = 0.3 \text{ mg/l}$, por exemplo.

Como a coluna montante foi estudada em separado da rede de distribuição de água do piso, foram realizadas duas simulações em separado. A primeira consistiu em admitir uma concentração inicial de cloro de 0.3 mg/l na entrada da rede e conduziu aos seguintes resultados:

- A água demora cerca de 18 minutos a chegar ao nó N1 na coluna montante;
- A concentração de cloro neste nó é de 0.28 mg/l , equivalendo a uma perda de cerca de 7%

Estes resultados para a coluna montante estão ilustrados na Fig. 7.2.

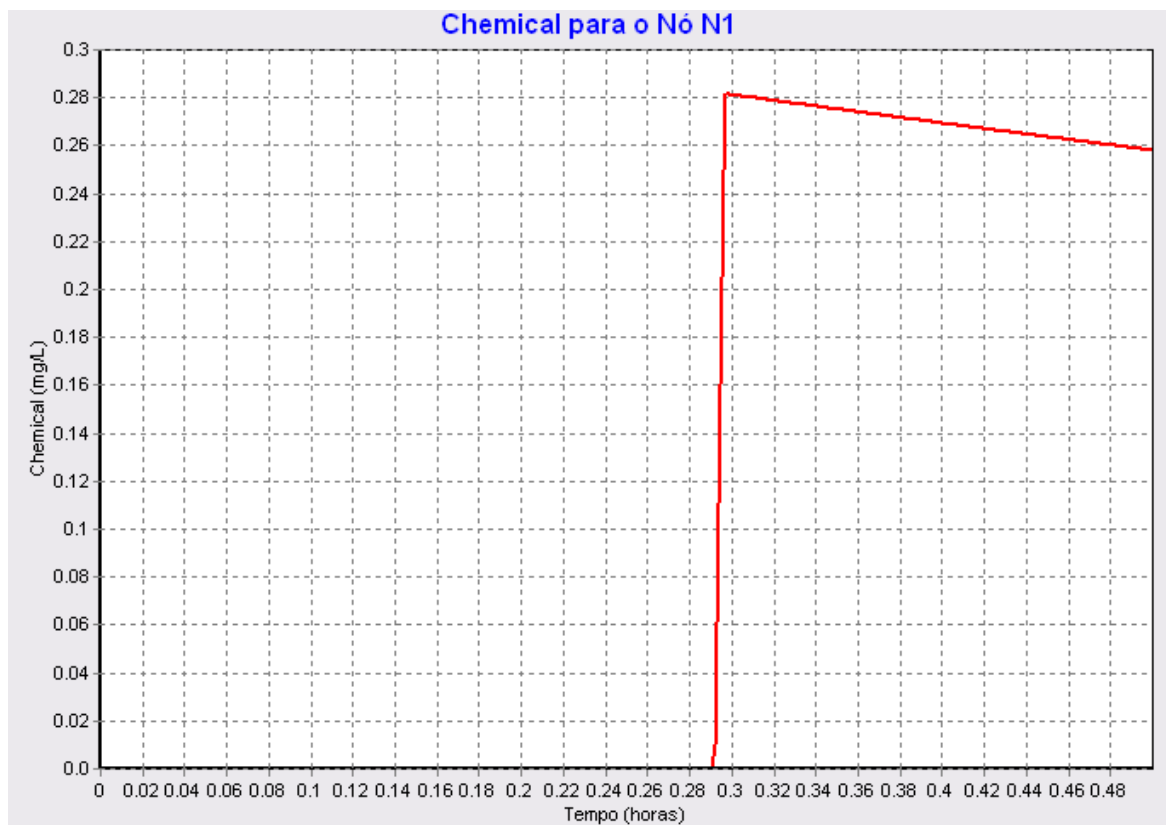


Fig. 7.2 – Teor de cloro no nó N1 da coluna montante, para um caudal de 0.05 l/s e $C_0 = 0.30 \text{ mg/l}$ à saída da central hidropneumática

Conhecida a concentração de cloro no nó N1 e o tempo que a água demorou a lá chegar, introduziu-se esse valor no início da rede de distribuição do piso, que corresponde ao nó N1 da coluna montante. A simulação conduziu aos seguintes resultados no nó mais a jusante:

- A água demora quase 10 minutos a chegar ao nó Lav_Q4_1;
- Quando lá chega, a concentração em cloro é de apenas 0.26 mg/l , o que equivale a uma perda de quase 10 % relativamente à saída da central hidropneumática.

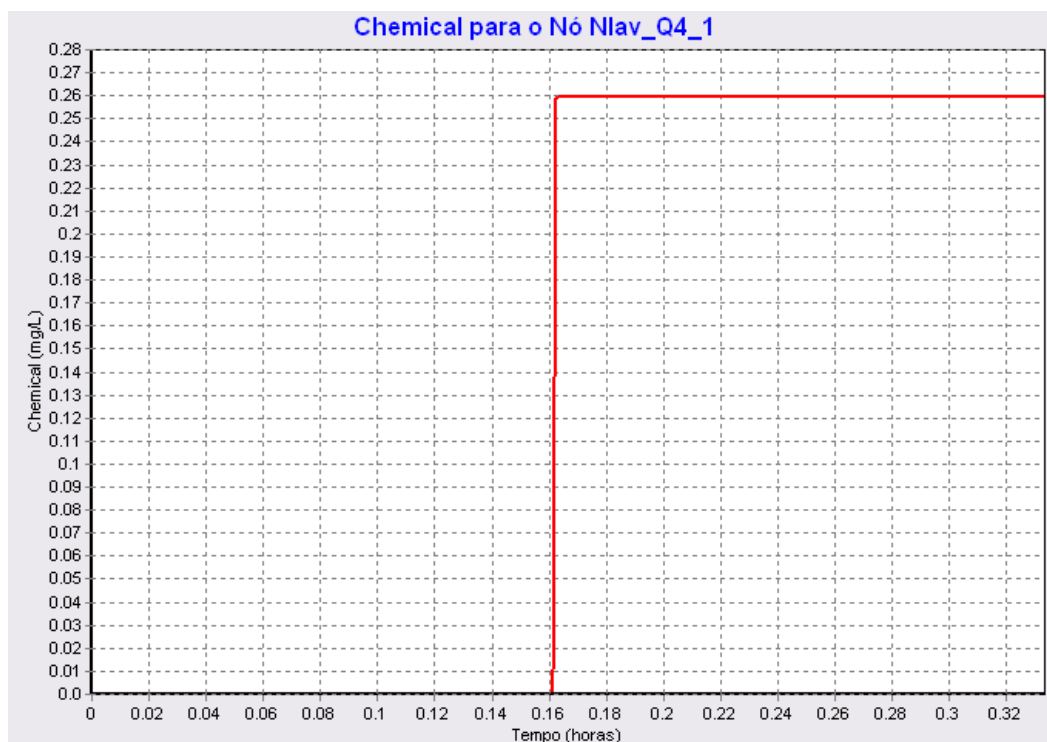


Fig. 7.3 – Teor de cloro no nó mais afastado (Lav_Q4_1), aí considerando um caudal de 0.05 l/s e $C_0 = 3$ mg/l à saída da central hidropneumática.

Consequentemente, o efeito conjugado do armazenamento no reservatório e das perdas na rede pode conduzir a perdas globais de 55%.

7.3. ANÁLISE DAS PERDAS DE CARGA

Duas questões são aqui analisadas:

- a) A rugosidade dos tubos influencia muito as perdas de carga?
- b) E as perdas de carga localizadas?

Para tubos de plástico novos o Manual do Epanet sugere uma rugosidade equivalente $k = 0.0015$ mm. No entanto, na prática é corrente usar-se $k = 0.04$ mm, o que pressupõe tubos antigos e uma atitude defensiva. Resolveu-se estudar qual o efeito destes dois valores tão dispares na rede do edifício que tem vindo a ser utilizado como caso de estudo.

Para o efeito basta fazer simulações que indiquem, por exemplo, qual a altura manométrica mínima para aqueles dois valores de k . Neste exemplo obtiveram-se alturas manométricas de 50.41 mca e 49.49 mca, conforme se use $k = 0.04$ mm ou $k = 0.0015$ mm. Isto é, uma diferença de 0.92 mca.

Relativamente às perdas de carga localizadas procedeu-se de modo análogo, fazendo simulações para obter a altura manométrica considerando, ou não essas perdas. No primeiro caso obteve-se uma altura manométrica de 50.41 mca e no segundo 47.92 mca. Isto é, as perdas de carga localizadas representam, em regime de ponta, 2.49 m.

7.4. CUSTOS DE BOMBAGEM

Pareceu interessante uma breve incursão sobre os custos da energia de bombagem – Neves (2008) –, quer pelo seu valor intrínseco, quer para analisar a sua sensibilidade às perdas de carga.

A energia necessária para elevar um certo volume de água (V , em m^3) a uma altura manométrica (H_{man} , em mca) é expressa, em kWh, por:

$$E = \frac{9.8 * V * H_{man}}{3600 * \eta} \quad (7.2)$$

onde η representa o rendimento do grupo.

Se se pretender a energia gasta anualmente, far-se-á

$$V = C_{dma} * 365 * \alpha \quad (7.3)$$

onde α representa um factor para ter em conta os dias em que não há consumo (férias, por exemplo). Desta forma, a energia gasta anualmente será dada por:

$$E_a = 0.99 * \frac{\alpha}{\eta} * C_{dma} * H_{man} \quad (7.4)$$

Sendo p o custo médio do kWh, o custo anual da energia será:

$$C_a = 0.99 * \frac{\alpha * p}{\eta} * C_{dma} * H_{man} \quad (7.5)$$

Tratando-se de despesas realizadas durante n anos, interessa saber quanto representará o seu conjunto em termos actuais. Esse valor será dado por:

$$C_{actualizado} = 0.99 * \sum_{i=1}^n \frac{\alpha * p}{\eta} * C_{dma} * H_{man} * \frac{1}{(1 + a)^i} \quad (7.6)$$

onde a representa a taxa de actualização. Se admitirmos que as variáveis mantêm o mesmo valor todos os anos, a equação anterior pode escrever-se da seguinte forma:

$$C_{actualizado} = 0.99 * \frac{\alpha * p}{\eta} * C_{dma} * H_{man} * \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + a)^i} \quad (7.7)$$

A análise que se segue pressupõe $n = 40$ anos, $a = 5\%$. Então a soma da série é igual a 17, pelo que:

$$C_{actualizado} = \frac{17 * \alpha * p}{\eta} * C_{dma} * H_{man} \quad (7.8)$$

O gráfico da figura seguinte foi preparado para dar uma rápida estimativa do custo actualizado da energia gasta em operações de bombagem. Considerou-se $p = 0.1 \text{ €/kWh}$, $\eta = 0.60$ e $\alpha = \frac{300}{365} = 0.82$, pelo que:

$$C_{actualizado} = 2.32 * C_{dma} * H_{man} \quad (7.9)$$

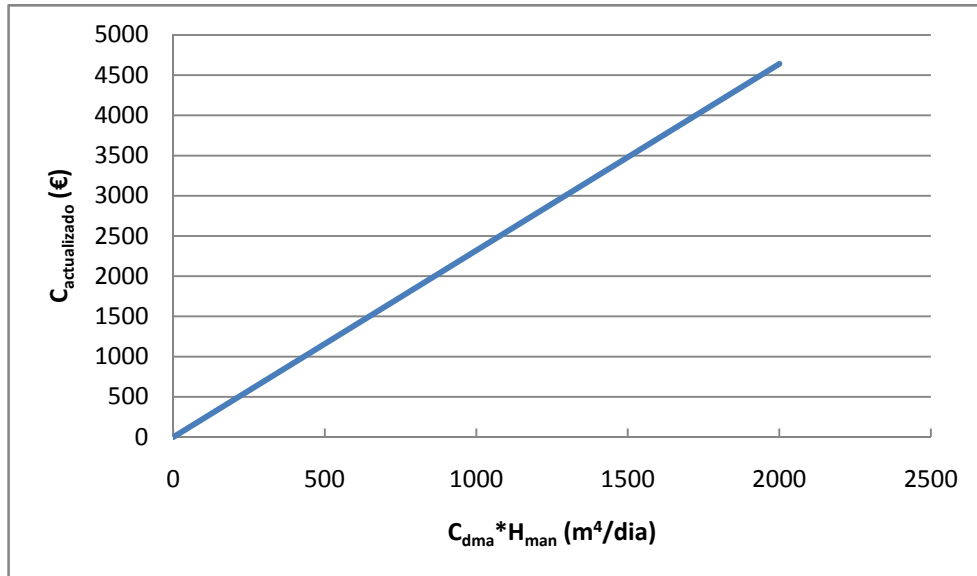


Fig. 7.4 – Custo de energia actualizado durante 40 anos

Consideremos agora o edifício que tem servido de caso de estudo. O consumo diário médio anual é de 18.9 m^3 e a altura manométrica média igual a 55.41 mca . Quer isto dizer que o custo da energia, actualizado ao longo de 40 anos, será da ordem dos 2430 euros.

E qual a sensibilidade às perdas de carga?

- As perdas de carga localizadas, 2.49 m , representam um custo actualizado de 109 euros;
- Uma rugosidade equivalente de 0.04 mm , em vez de 0.0015 mm traduz-se por um aumento de custo actualizado de 37 euros.

8

SÍNTESE E CONCLUSÕES

Como se sabe, é muito frequente que a rede pública de abastecimento de água não possa garantir pressão suficiente para abastecer convenientemente determinado edifício.

O presente trabalho foi estruturado em três partes. Uma primeira parte, essencialmente descritiva, na qual se apresentaram elementos com interesse para projectos de sistemas de abastecimento de água prediais, designadamente ao nível de canalizações, centrais hidropneumáticas com bombas de velocidade fixa e bombas de velocidade variável, bases de cálculo, qualidade da água e custos de energia.

A segunda parte foi dedicada ao uso do simulador EPANET no estudo de sistemas prediais de abastecimento de água. Acredita-se que tenha sido o primeiro trabalho publicado neste domínio. A questão não é linear, pois os caudais de cálculo são fixados em termos probabilísticos, não compatíveis com o princípio da continuidade nos nós. Isso obriga a um artifício, que consiste na introdução de caudais fictícios nos nós para assegurarem a continuidade, sendo esses caudais considerados como de Categoria 2.

O programa foi testado no estudo de um prédio de 12 pisos. Numa primeira fase fez-se aquilo que é fundamental: dimensionamento dos tubos, cálculo da pressão nos nós e da velocidade nos tubos. O programa mostrou grande versatilidade e a possibilidade de, rapidamente, ensaiar novos cenários, no sentido da optimização. O estudo foi feito considerando também as perdas de carga localizadas, o que é mais realista do que o procedimento habitual.

Os resultados obtidos com o EPANET para a rede de distribuição foram depois utilizados num outro programa de cálculo automático de centrais hidropneumáticas, desenvolvido por Oliveira e Neves (2007). Entre outras coisas, esse programa permite:

- Dimensionar o reservatório de ar comprimido;
- Calcular a potência dos grupos electrobomba;
- Determinar o custo da energia na bombagem;
- Dimensionar o compressor, se for caso disso.

A terceira parte do trabalho foi dedicada à exploração de algumas outras potencialidades do EPANET: qualidade da água e sensibilidade às perdas de carga. Como caso de estudo foi considerado o mesmo edifício de 12 pisos.

Foi analisado o comportamento do cloro presente na água, começando por estudar a influência do armazenamento da água. Concluiu-se que tempos de retenção de cerca de 24 horas podem levar a uma redução do teor de cloro da ordem dos 50%.

Dado que os tubos usados em redes prediais têm pequenos diâmetros (grandes extensões em 12 mm) e as perdas de cloro por interação com as paredes crescem exponencialmente com a redução do diâmetro, resolveu-se fazer uma incursão neste domínio. Considerando o caso, desfavorável, de uma única torneira descarregando 0.05 l/s no ponto mais longínquo da rede, verificou-se que a água demora cerca de 28 minutos a lá chegar, o que provoca uma redução do cloro de cerca de 10 %. Este efeito, conjugado com a perda no armazenamento, pode levar a uma redução global da ordem dos 55 %.

Finalmente, o EPANET foi usado para algumas simulações no domínio das perdas de carga, considerando, ainda, o mesmo edifício. Algumas conclusões:

- A pressão necessária para vencer o desnível geométrico e garantir 14 mca no dispositivo mais afastado é de 43.5 mca (designada por pressão estática).
- As perdas de carga contínuas cifram-se em 4.42 mca, isto é, cerca de 10% da pressão estática.
- As perdas de carga localizadas são de 2.49 mca, o que corresponde a cerca de 50 % das perdas contínuas.
- Consequentemente, a pressão necessária à entrada da rede é de 50.41 mca.
- Este valor é praticamente igual ao previsto pelo Regulamento: $10 + 4 \times 10 = 50$ mca.
- Analisando a sensibilidade à rugosidade equivalente dos tubos, verificou-se que a tomando igual a 0.04 mm em vez de 0.0015 mm, isso implica um aumento de perda de carga de 0.92 mca.
- Finalmente, foram analisados os custos de bombagem, actualizados ao longo de 40 anos:
- O custo da energia deverá ser da ordem dos 2210 euros.
- As perdas de carga são responsáveis por cerca de 303 euros, cabendo 109 euros às de tipo localizado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministério das obras públicas, transportes e comunicações, *Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de Agosto*.
- [2] Ministério do ambiente e do ordenamento do território, *Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de Setembro*.
- [3] BARBOSA, J.N., 1986, *Mecânica dos Fluidos e Hidráulica Geral*, 1ºVolume, Porto Editora
- [4] EPAL, *Regras básicas para uma boa instalação de abastecimento de água potável*. 2007. www.epal.pt/epal/Helios/aspx/download.aspx?id=1536, 05/11/2007.
- [5] Tiemme Raccorderie, *Tubo multi-estratos com parte interior em alumínio AL-COBRAPEX – Manual técnico prático para a utilização de tubos AL-COBRAPEX nas instalações hídrico-termosanitárias*. http://www.pintocruz.pt/fotos/produtos/alpexpt_1181580575.pdf, 12/11/2007.
- [6] Tiemme Raccorderie, *Tubo PE-X de polietileno reticulado de alta densidade COBRAPEX – Manual técnico prático para a utilização de tubos COBRAPEX nas instalações hídrico-termosanitárias*, 12/11/2007.
- [7] UPONOR, *Manual Técnico Sistema de Instalação Sanitária Wirsbo® Quick & Easy®*, 04/06/2004.
- [8] UPONOR, *Manual Técnico de Aplicações Sanitárias e de Aquecimento*. http://www.uponor.pt/docs/sec4/MANUAL_EMBEBIDAS.pdf, 12/11/2007.
- [9] COPRAX, *Tubo e acessórios em Polipropileno Copolímero Random – Catalogo Técnico*. <http://www.coprax.com/prow.php?pro=000downlshowall&cat=1>, 15/11/2007.
- [10] HIDRONIR, *Catalogo Técnico sistema Niron*. http://www.hidronir.pt/cat_niron_1.htm, 20/11/2007.
- [11] <http://pt.wikipedia.org/wiki/PVC>, 28/4/2008.
- [12] http://www.pintocruz.pt/fotos/produtos/catalogo_pvcpolitejo_1183632070.pdf, 28/04/2008.
- [13] [http://www.pipelife.com/web/pt_new/t2w_pt.nsf/lookupDownloads/FT01/\\$file/Ft01_40.PDF](http://www.pipelife.com/web/pt_new/t2w_pt.nsf/lookupDownloads/FT01/$file/Ft01_40.PDF), 10/05/2008.
- [14] PIPELIFE, *Catalogo Tubagens de Polietileno*, http://www.pipelife.com/web/pt_new/t2w_pt.nsf/webTop/0CFF934A140A8C24802570190050DB7B, 10/05/2008.
- [15] FERSIL, *Manual técnico Pressão PE*, [http://www.fersil.com/client/documentos/MT_006-2\(PEAD\).pdf](http://www.fersil.com/client/documentos/MT_006-2(PEAD).pdf), 10/5/2008.
- [16] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Galvaniza%C3%A7%C3%A3o>, 20/05/2008.
- [17] APTA, *Manual do instalador*, <http://www.apta.pt/index2.html>, 20/06/2008.
- [18] Fontinha, R., Salta, M.M., *Desempenho de componentes metálicos em edifícios*, 02/2007. <http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/cpm/v26n3/v26n3a03.pdf>, 19/05/2008.
- [19] Salta, M.M., *Redes de distribuição de água em grandes edifícios. Características e durabilidade. Materiais metálicos*. <http://www.lrec.pt/files/manuelasalta2.pdf>, Outubro de 2007.
- [20] http://pt.wikipedia.org/wiki/A%C3%A7%C3%A3o_inoxid%C3%A1vel, 24/05/2008.
- [21] <http://www.tribuneindia.com/2008/20080112/real.htm>, 05/06/2008.

- [22] IMO A, *Stainless Steel Pipe - The clear Choice for Pure and Reliable Water Systems*, http://www.imoa.info/moly_uses/moly_grade_stainless_steels/water_distribution.html, 20/06/2008.
- [23] CONDESA, *Tubo de aço inoxidável*, http://www2.condesa.com/pdf/pt/tuboacero_cat.pdf, 24/05/2008.
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/Tap_water#Copper, 26/06/2008.
- [25] YORKSHIRE COPPER TUBES, *Yorkshire copper tubes trusted for life*, <http://www.yct.com/>, 30/6/2008.
- [26] PROCOBRE, *Tubulações de cobre O cobre e a água potável*, http://www.procobre.org/pr/aplicacoes_do_cobre/tubulacoes_de_cobre_1.html, 30/06/2008.
- [27] Neves, M.J.V., *Centrais hidropneumáticas – Apontamentos aulas Sistemas de Abastecimento Água*, FEUP.
- [28] Rodrigues, V.A.O., *Dimensionamento de centrais hidropneumáticas*, Projecto e Gestão de infra-estruturas de saneamento básico I, FEUP, 01/2001.
- [29] Pyrrait, J.M.A, Santiago, A.S.P., *Distribuição de águas fria e quente - problemas em edifícios altos*.
- [30] Lopes, H.G., *Centrais hidropneumáticas com bombas de velocidade variável*, FEUP, 2004
- [31] Macintyre, A., *Bombas e Instalações de Bombeamento*, editora Guanabara Dois, 1980
- [32] GRUNDFOS, <http://www.grundfos.com/web/homept.nsf/webPrintView/463B56D5A0D65BE5C12568E10038B5E1>, 15/09/2007.
- [33] GRUNDFOS, *Catálogo técnico HYDRO MULTI-S*, 06/06/2008
- [34] GRUNDFOS, *HYDRO MULTI-E Installation and operating instructions*, <http://www.grundfos.pt/web/grfosweb.nsf/Webopslag/hydro>, 06/06/2008.
- [35] GRUNDFOS, *GRUNDFOS data booklet – HYDRO 2000 Grundfos Hydro 2000 booster sets with 2 to 6 CR(E) pumps 50 Hz*, 28/03/2008.
- [36] LNEC, *EPANET 2.0 em português – simulação hidráulica e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água – Manual do utilizador*, Lisboa, 03/2002.
- [37] Oliveira e Neves (2007), *programa de cálculo automático para centrais hidropneumáticas*, disciplina sistemas de abastecimento de água FEUP

A

ANEXOS E PEÇAS DESENHADAS

A.1. CAUDAIS FICTÍCIOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE UM DOS PISOS:

Quadro a.1 - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_4

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
Nlav_Q4_1	0.10	T26Q	0.10	0.10	0.00	0.00
Nbide_Q4	0.10	T25Q	0.20	0.20	0.10	0.00
Nbanh_Q4	0.25	T24Q	0.45	0.40	0.20	-0.05
Nchuv_Q4	0.15	T23Q	0.15	0.15	0.00	0.00
Nlav_Q4_2	0.10	T22Q	0.25	0.25	0.15	0.00
N23	0.00	T21Q	0.70	0.50	0.65	-0.15
NLL_Q4	0.20	T20Q	0.20	0.20	0.00	0.00
N22	0.00	T27Q	0.90	0.55	0.70	-0.15
NTE4	0.00	T54	0.90	0.55	0.55	0.00
NTLR_4	0.20	T53	1.10	0.60	0.55	-0.15
NMRL_E	0.20	T52	1.30	0.65	0.60	-0.15
NMLL_4	0.15	T51	0.15	0.15	0.00	0.00
N20	0.00	T50	1.45	0.70	0.80	-0.10
NLL_F4	0.20	T49	0.20	0.20	0.00	0.00
N19	0.00	T48	1.65	0.75	0.90	-0.15
Nlav_F4_1	0.10	T62	0.10	0.10	0.00	0.00
Nbidé_F4	0.10	T61	0.20	0.20	0.10	0.00
Nsan_4_1	0.10	T60	0.30	0.30	0.20	0.00

Quadro a.1 (cont.) - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_4

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
Nbanh_F4	0.25	T59	0.55	0.45	0.30	-0.10
Nchuv_F4	0.15	T58	0.15	0.15	0.00	0.00
Nsan_4_2	0.10	T57	0.25	0.25	0.15	0.00
Nlav_F4_2	0.10	T56	0.35	0.35	0.25	0.00
N21	0.00	T55	0.90	0.55	0.80	-0.25
N18	0.00	T36	2.55	0.90	1.30	-0.40

O nó N18 corresponde ao primeiro nó desta habitação e o Nlav_Q4_1, o nó mais a jusante.

Quadro a.2 - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_3

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
Nbanh_Q3	0.25	T19Q	0.25	0.25	0.00	0.00
Nlav_Q3	0.10	T18Q	0.35	0.35	0.25	0.00
Nbide_Q3	0.10	T17Q	0.45	0.40	0.35	-0.05
N17	0.00	T16Q	0.45	0.40	0.40	0.00
NLL_Q3	0.20	T15Q	0.20	0.20	0.00	0.00
TE3	0.00	T47	0.65	0.45	0.60	-0.15
NCLR_3	0.20	T46	0.85	0.55	0.45	-0.10
NMRL_3	0.20	T45	1.05	0.60	0.55	-0.15
NLLF_3	0.20	T44	0.20	0.20	0.00	0.00
NMLL_3	0.15	T43	0.35	0.35	0.20	0.00
N16	0.00	T42	1.40	0.70	0.95	-0.25
Nbide_F3	0.10	T41	0.10	0.10	0.00	0.00
Nsan_3	0.10	T40	0.20	0.20	0.10	0.00
Nbanh_F3	0.25	T39	0.25	0.25	0.00	0.00
Nlav_F3	0.10	T38	0.35	0.35	0.25	0.00

Quadro a.2 (cont.) - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_32

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
N15	0.00	T37	0.55	0.45	0.55	-0.10
N14	0.00	T35	1.95	0.80	1.15	-0.35
N13	0.00	T34	4.50	1.20	1.70	-0.50

O nó N13 corresponde ao primeiro nó desta habitação e o Nbanh_Q3, o nó mais a jusante.

Quadro a.3 - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_2

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
Nbide_Q2	0.10	T14Q	0.10	0.10	0.00	0.00
Nlav_Q2_2	0.10	T13Q	0.20	0.20	0.10	0.00
Nbanh_Q2	0.25	T12Q	0.45	0.40	0.20	-0.05
Nchuv_Q2	0.15	T11Q	0.15	0.15	0.00	0.00
Nlav_Q2_1	0.10	T10Q	0.25	0.25	0.15	0.00
N12	0.00	T9Q	0.70	0.50	0.65	-0.15
NTRL_2	0.20	T25	0.20	0.20	0.00	0.00
NMR_2	0.20	T24	0.40	0.35	0.20	-0.05
NLL_Q2	0.20	T8Q	0.20	0.20	0.00	0.00
TE2	0.00	T23	1.30	0.65	1.05	-0.40
NLL_F2	0.20	T22	0.20	0.20	0.00	0.00
NMLL_2	0.15	T21	0.15	0.15	0.00	0.00
N10	0.00	T20	0.35	0.35	0.35	0.00
N9	0.00	T19	1.65	0.75	1.00	-0.25
Nsan_2_2	0.10	T33	0.10	0.10	0.00	0.00
Nbide_F2	0.10	T32	0.20	0.20	0.10	0.00
Nlav_F2_2	0.10	T31	0.30	0.30	0.20	0.00
Nbanh_F2	0.25	T30	0.55	0.45	0.30	-0.10

Quadro a.3 (cont.) - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_2

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
Nsan_2_1	0.10	T29	0.10	0.10	0.00	0.00
Nchuv_F2	0.15	T28	0.25	0.25	0.10	0.00
Nlav_F2_1	0.10	T27	0.35	0.35	0.25	0.00
N11	0.00	T26	0.90	0.55	0.80	-0.25
N8	0.00	T18	2.55	0.90	1.30	-0.40

O nó N18 corresponde ao primeiro nó desta habitação e o Nbide_Q2, o nó mais a jusante.

Quadro a.4 - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_1

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
Nbide_Q1	0.10	T7Q	0.10	0.10	0.00	0.00
Nlav_Q1_2	0.10	T6Q	0.20	0.20	0.10	0.00
Nban_Q1	0.25	T5Q	0.45	0.40	0.20	-0.05
Nchuv_Q1	0.15	T4Q	0.15	0.15	0.00	0.00
Nlav_Q1_1	0.10	T3Q	0.25	0.25	0.15	0.00
N7	0.00	T2Q	0.70	0.50	0.65	-0.15
NTRL_1	0.20	T9	0.20	0.20	0.00	0.00
NLL_Q1	0.20	T1Q	0.20	0.20	0.00	0.00
TE1	0.00	T8	1.10	0.60	0.90	-0.30
NMLR_1	0.20	T7	1.30	0.65	0.60	-0.15
NLL_F1	0.20	T6	0.20	0.20	0.00	0.00
NMLL_1	0.15	T5	0.15	0.15	0.00	0.00
N6	0.00	T4	0.35	0.35	0.35	0.00
N4	0.00	T3	1.65	0.75	1.00	-0.25
Nsan_1_2	0.10	T14	0.10	0.10	0.00	0.00
Nbide_F1	0.10	T13	0.20	0.20	0.10	0.00

Quadro a.4 (cont.) - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a habitação T2_1

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
Nlav_f1_2	0.10	T12	0.30	0.30	0.20	0.00
Nbanh_F1	0.25	T11	0.55	0.45	0.30	-0.10
Nsan_1_1	0.10	T17	0.10	0.10	0.00	0.00
Nchuv_F1	0.15	T16	0.25	0.25	0.10	0.00
Nlav_F1_1	0.10	T15	0.35	0.35	0.25	0.00
N5	0.00	T10	0.90	0.55	0.80	-0.25
N3	0.00	T2	2.55	0.90	1.30	-0.40

O nó N3 corresponde ao primeiro nó desta habitação e o Nbide_Q1, o nó mais a jusante.

Quadro a.5 - Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para os nós que ligam as habitações à coluna montante

Caso de estudo - Piso						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
N13	0.00	T34	4.50	1.20	1.70	-0.50
N2	0.00	T1	5.10	1.30	1.80	-0.50
N1	0.00	T0	9.60	1.80	2.50	-0.70

O nó N1 é o nó que liga a rede à coluna montante.

A.2. CAUDAIS FICTÍCIOS COLUNA MONTANTE:

Quadro a.6 – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a coluna montante

Caso de estudo – Coluna montante						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
N1	9.6	T1	9.6	1.8	0	-7.8
N2	9.6	T2	19.2	2.55	1.8	-8.85
N3	9.6	T3	28.8	3.25	2.55	-8.9

Quadro a.6 (cont.) – Cálculo dos caudais fictícios a introduzir no EPANET para a coluna montante

Caso de estudo – Coluna montante						
NÓ		TUBO PRINCIPAL			Qfictício no nó	
Nó	Q	Tubo jus	Qacum	Qcalc	Soma Qcalc	QEpanet
N4	9.6	T3	38.4	4.05	3.25	-8.8
N5	9.6	T5	48	4.8	4.05	-8.85
N6	9.6	T6	57.6	5.5	4.8	-8.9
N7	9.6	T7	67.2	6.15	5.5	-8.95

A.3. PLANTAS E ALÇADOS:

As seguintes figuras correspondem a peças desenhadas do edifício em estudo e a representação da rede de abastecimento de água em um dos pisos.

Fig.A.1 – Planta de um dos pisos

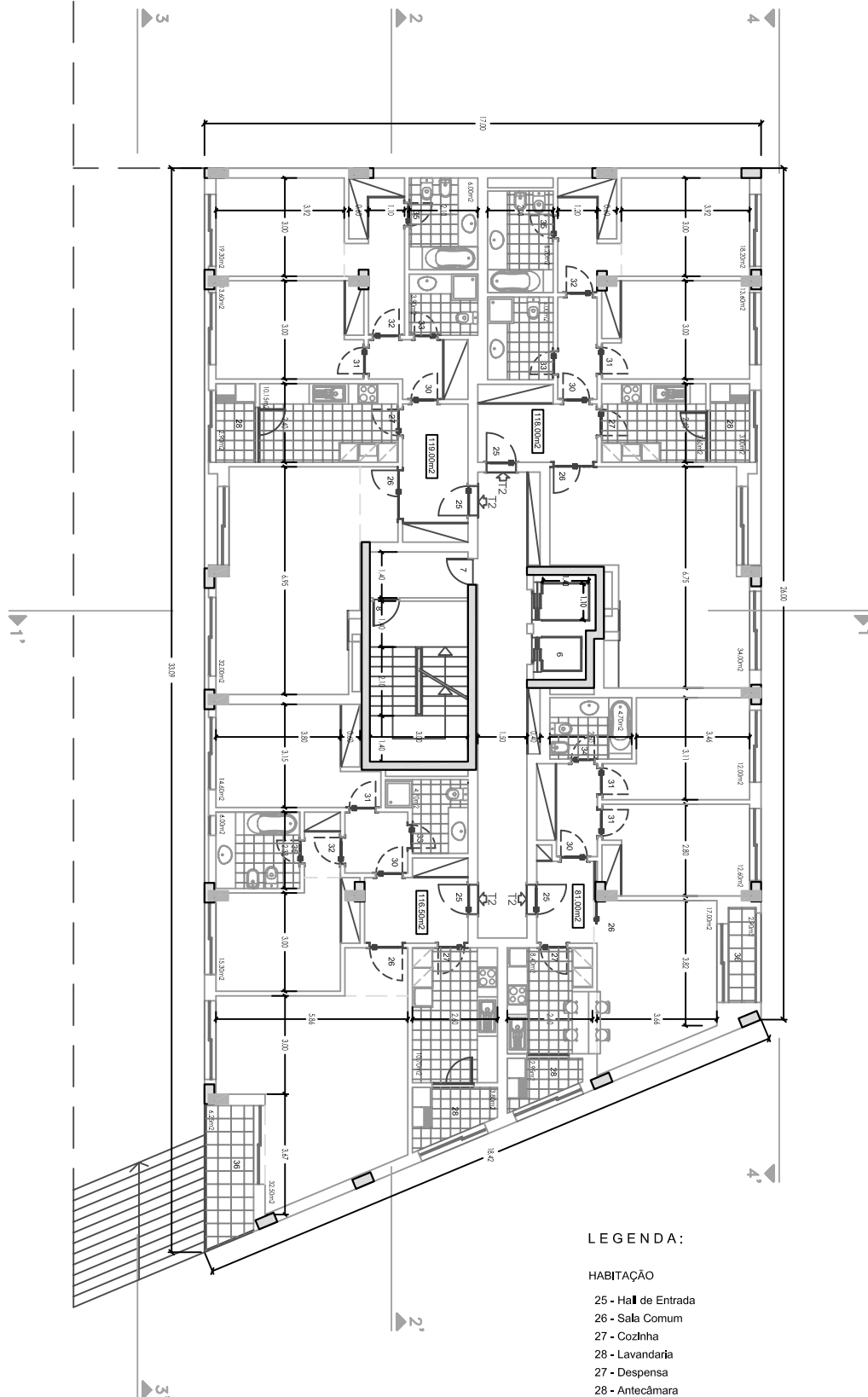
Fig.A.2 – Corte 1-1'

Fig.A.3 – Corte 2-2'

Fig.A.4 – Representação da rede de abastecimento de água de um dos pisos

Fig. A.1 - Planta de um dos pisos

Abastecimento de água de edificios altos



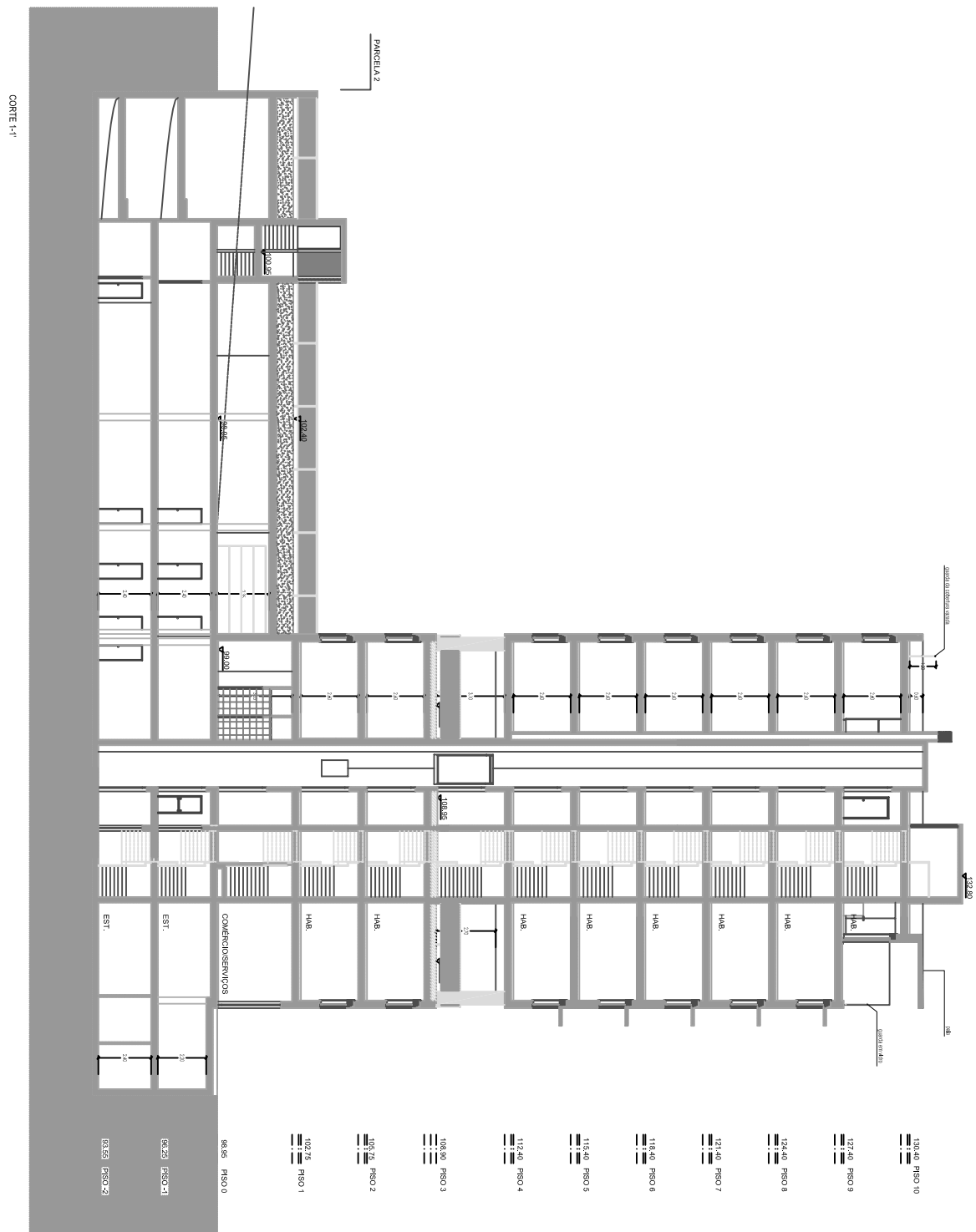
LEGENDA:

HABITAÇÃO

- 25 - Hall de Entrada
26 - Sala Comum
27 - Cozinha
28 - Lavandaria
27 - Despensa
28 - Antecâmara
29 - W.c.-Serviço
30 - Ante-câmara
31 - Quarto
32 - Suíte
33 - Banho c/Duche
34 - Banho
35 - Banho-Suíte
36 - Varanda
37 - Terraço
38 - Acesso à Cobertura

Fig. A.2 - Corte 1-1'

Abastecimento de água de edifícios altos





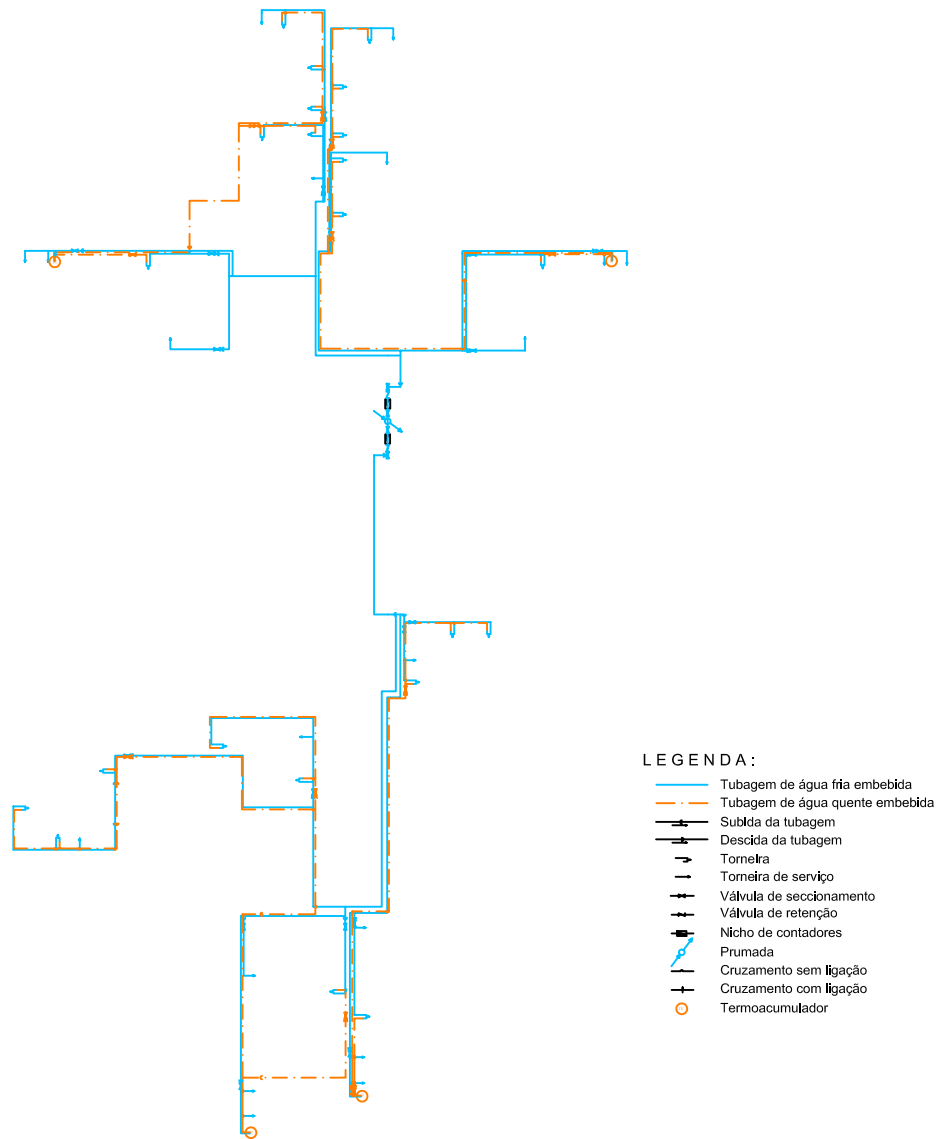


Fig. A.4 - Representação da rede de abastecimento de água de um dos pisos

