



• **Medição de Caudais e Volumes  
em Redes de Águas**

EPAL Technical Editions



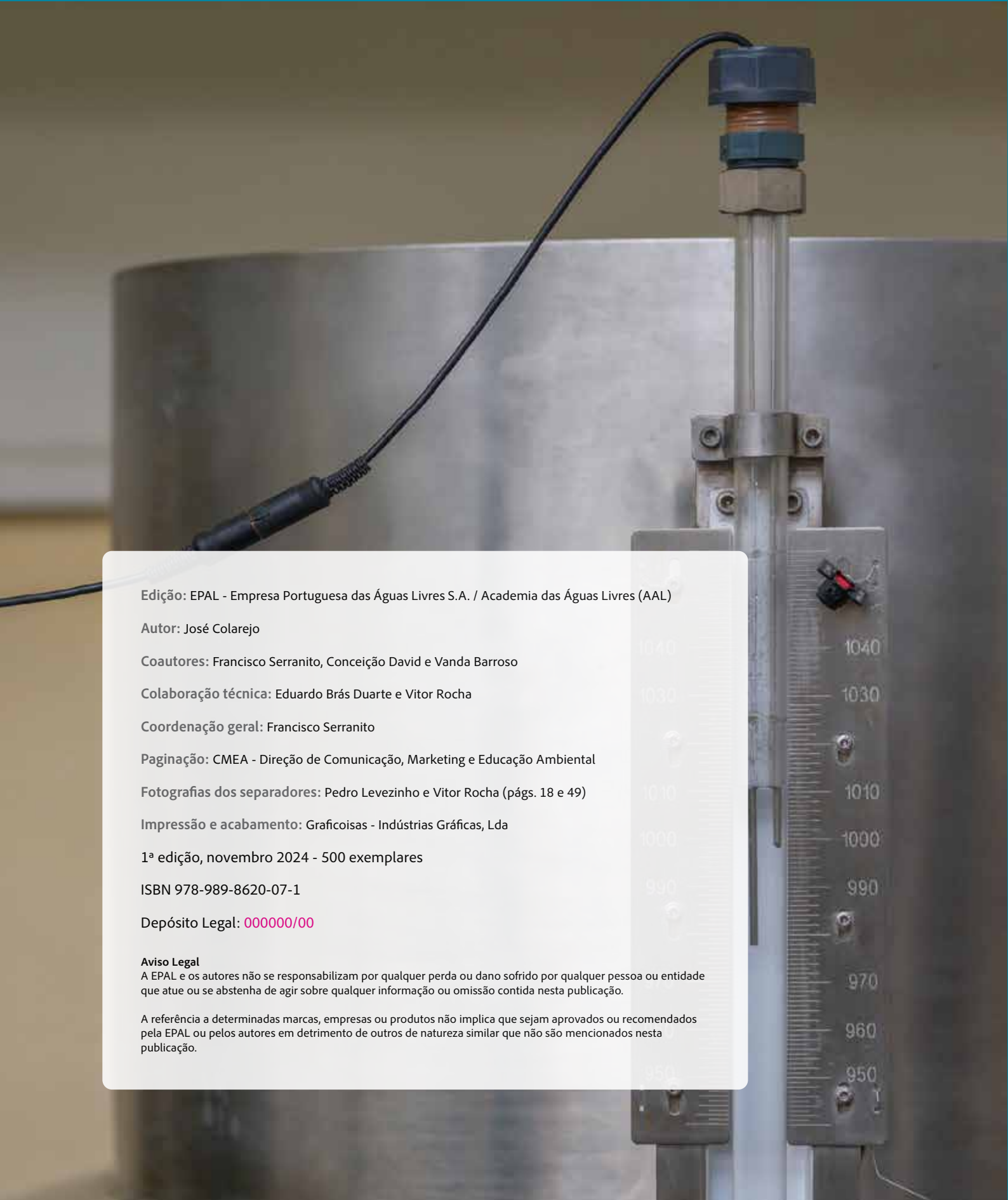
**EPAL**

Grupo Águas de Portugal



# Medição de Caudais e Volumes em Redes de Águas

Guia Orientador



**Edição:** EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A. / Academia das Águas Livres (AAL)

**Autor:** José Colarejo

**Coautores:** Francisco Serranito, Conceição David e Vanda Barroso

**Colaboração técnica:** Eduardo Brás Duarte e Vitor Rocha

**Coordenação geral:** Francisco Serranito

**Paginação:** CMEA - Direção de Comunicação, Marketing e Educação Ambiental

**Fotografias dos separadores:** Pedro Levezinho e Vitor Rocha (págs. 18 e 49)

**Impressão e acabamento:** Graficoisas - Indústrias Gráficas, Lda

1ª edição, novembro 2024 - 500 exemplares

ISBN 978-989-8620-07-1

Depósito Legal: 000000/00

**Aviso Legal**

A EPAL e os autores não se responsabilizam por qualquer perda ou dano sofrido por qualquer pessoa ou entidade que atue ou se abstenha de agir sobre qualquer informação ou omissão contida nesta publicação.

A referência a determinadas marcas, empresas ou produtos não implica que sejam aprovados ou recomendados pela EPAL ou pelos autores em detrimento de outros de natureza similar que não são mencionados nesta publicação.

# índice

<b>Prefácio</b>	<b>7</b>
<b>Nota Prévia</b>	<b>8</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>11</b>
<b>2. Enquadramento</b>	<b>15</b>
2.1 <u>Conceitos gerais</u>	<u>15</u>
2.2 <u>Importância da Medição no Setor da Água</u>	<u>15</u>
2.3 <u>Considerações gerais no âmbito da medição</u>	<u>15</u>
<b>3. Princípios Gerais de Metrologia</b>	<b>19</b>
3.1 <u>Enquadramento histórico</u>	<u>19</u>
3.1.1 <u>Na Antiguidade</u>	<u>19</u>
3.1.2 <u>Na Idade Média</u>	<u>20</u>
3.1.3 <u>Na Idade Moderna (Portugal)</u>	<u>25</u>
3.2 <u>O Sistema Métrico Decimal</u>	<u>26</u>
3.2.1 <u>Princípios gerais</u>	<u>26</u>
3.2.2 <u>A unidade de base, linear: o Metro</u>	<u>26</u>
3.2.3 <u>A unidade de peso: o Quilograma</u>	<u>27</u>
3.2.4 <u>A unidade de tempo: o Segundo</u>	<u>28</u>
3.3 <u>Estabelecimento do Sistema Métrico Decimal</u>	<u>29</u>
3.4 <u>Grandezas de base de um sistema de unidades</u>	<u>29</u>
3.5 <u>Grandezas de base do Sistema Internacional de Unidades (S.I.)</u>	<u>31</u>
3.6 <u>Múltiplos e Submúltiplos do S.I.</u>	<u>33</u>
3.7 <u>Unidades não pertencentes ao S.I.</u>	<u>34</u>
3.8 <u>Escrita correcta das unidades S.I.</u>	<u>35</u>
3.9 <u>Representação das medições</u>	<u>36</u>
3.10 <u>Legislação do Sistema Internacional S.I.</u>	<u>36</u>
3.11 <u>O Sistema Internacional de Unidades no mundo</u>	<u>37</u>
3.12 <u>Fundamentos da Metrologia</u>	<u>38</u>
3.12.1 <u>Metrologia Científica</u>	<u>38</u>
3.12.2 <u>Metrologia Aplicada (ou Industrial)</u>	<u>38</u>
3.12.3 <u>Metrologia Legal</u>	<u>38</u>
3.13 <u>A Metrologia aplicada à medição da água</u>	<u>39</u>
3.13.1 <u>Considerações gerais</u>	<u>39</u>
3.13.2 <u>Erros de indicação em contadores de água e medidores de caudal</u>	<u>40</u>

3.13.3	Curvas de Erro de um instrumento de medição	42
3.13.4	Curvas de Erro características de contadores de água	43
3.13.5	Incerteza na medição	43
3.13.6	Tratamento da incerteza na medição	45
<b>4.</b>	<b>Noções de Hidráulica</b>	<b>49</b>
4.1	Aspectos gerais	49
4.2	Hidrostática	49
4.2.1	Conceitos relevantes	49
4.2.2	Pressão hidrostática	50
4.3	Hidrodinâmica	52
4.3.1	Conceitos gerais	52
4.3.2	Escoamentos em superfície livre	52
4.3.3	Escoamentos em condutas sob pressão ("condutas fechadas cheias")	53
4.3.4	A problemática da presença de ar nas condutas	60
4.3.5	Gestão da presença de ar nas condutas	64
<b>5.</b>	<b>Medidores de caudal e contadores de água</b>	<b>75</b>
5.1	Aspectos gerais	75
5.2	Princípios de medição	76
5.3	Tipos de contadores para condutas fechadas cheias	76
5.3.1	Contadores volumétricos	77
5.3.2	Contadores velocimétricos ou "de velocidade"	84
5.4	Tipos de medidores para condutas com escoamento em superfície livre	104
5.4.1	Aspectos gerais	104
5.4.2	Medidores com descarregadores de soleira delgada ("thin plate weirs")	104
5.4.3	Medidores com caleiras ou calhas ("flumes")	107
5.4.4	Medidores multissensoriais	110
<b>6.</b>	<b>Condições de instalação e critérios de selecção de medidores</b>	<b>117</b>
6.1	Escoamentos em condutas fechadas cheias	117
6.1.1	Considerações gerais	117
6.1.2	Principais tipos de perturbação de escoamento e suas causas	117
6.1.3	Medidas corretoras das perturbações de escoamento	119
6.1.4	Efeitos da rotação induzida em ensaios de exploração do fenómeno	122
6.1.5	Balanço dos cuidados a observar nas instalações de contadores	124
6.1.6	Erros comuns observados nas instalações de contadores	125
6.1.7	Boas práticas na instalação de contadores	127
6.1.8	Crítérios de selecção de contadores	130
6.1.9	Boas práticas na instalação e colocação em serviço dos contadores	133
6.2	Escoamentos em condutas de saneamento (secção cheia ou superfície livre)	134
6.2.1	Considerações gerais	134
6.2.2	Tipologias de medição	135
6.2.3	Condicionantes	138
6.2.4	Seleção da solução	140

<b>7. Comunicação e tratamento de dados</b>	<b>143</b>
7.1 <b>Generalidades</b>	<b>143</b>
7.1.1 Bases de numeração	143
7.1.2 Nomenclatura dos grandes números	145
7.1.3 Nomenclatura dos números informáticos	147
7.1.4 Arquitetura de uma máquina de processamento	149
7.2 <b>Comunicações aplicadas aos contadores de água (telemetria)</b>	<b>150</b>
7.2.1 Tecnologia de comunicação por fios baseada na emissão de impulsos	152
7.2.2 Tecnologia de comunicação por fios, com base no protocolo "M-Bus"	152
7.2.3 Sistema de comunicações por radiofrequência	153
7.2.4 Sistemas em "nuvem"	154
7.3 <b>Principais vantagens e funcionalidades da telemetria nos contadores</b>	<b>155</b>
7.4 <b>Tratamento de dados associados à medição</b>	<b>156</b>
<b>8. Metrologia Legal</b>	<b>159</b>
8.1 <b>Considerações gerais</b>	<b>159</b>
8.2 <b>Organização da Metrologia Legal</b>	<b>160</b>
8.3 <b>Formas de atuação da Metrologia Legal</b>	<b>161</b>
8.3.1 Generalidades	161
8.3.2 Aprovação de Modelo	161
8.3.3 Primeira Verificação	163
8.3.4 Verificação Periódica (obrigatória)	163
8.3.5 Verificação Extraordinária	164
8.3.6 Considerações específicas relativamente a contadores de água	165
8.3.7 Instrumentos de medição não legalmente abrangidos pela Metrologia Legal	165
<b>9. Gestão do parque de contadores de água e de medidores de caudal</b>	<b>169</b>
9.1 <b>Considerações gerais</b>	<b>169</b>
9.2 <b>Medição de caudal e de volume em água de abastecimento</b>	<b>170</b>
9.2.1 Balanço hídrico	170
9.2.2 Medição nos grandes clientes	171
9.2.3 Medição nos clientes residenciais	171
9.2.4 Perfis de consumo nos clientes residenciais	172
9.2.5 A problemática das perdas de carga	175
9.2.6 Substituição programada de contadores	177
9.2.7 Influência financeira da substituição programada de contadores	179
9.2.8 Caso de estudo numa Entidade Gestora	181
9.3 <b>Medição de caudal em águas residuais</b>	<b>183</b>
9.3.1 Ciclo de vida da medição	183
9.3.2 Planeamento	183
9.3.3 Aquisição	184
9.3.4 Instalação	186
9.3.5 Operação	191
9.3.6 Período de funcionamento	202

9.4	<b>Aquisição e Desativação</b>	<b>202</b>
9.4.1	Generalidades	202
9.4.2	Contadores de pequeno calibre (residenciais e comerciais ligeiros)	203
9.4.3	Contadores de grande calibre	204
<b>10.</b>	<b>Enquadramento normativo e legislativo</b>	<b>207</b>
10.1	<b>Medição de volume em água de abastecimento</b>	<b>207</b>
10.1.1	Aspectos gerais	207
10.1.2	A Normalização dos contadores de água ("Antiga Abordagem")	209
10.1.3	A Normalização dos contadores de água ("Nova Abordagem")	211
10.1.4	Enquadramento legislativo	215
10.2	<b>Medição de volume em águas residuais</b>	<b>215</b>
<b>11.</b>	<b>Certificação e ensaios</b>	<b>217</b>
11.1	<b>Considerações gerais</b>	<b>217</b>
11.2	<b>Confirmação metrológica</b>	<b>217</b>
11.2.1	Calibração	218
11.2.2	Verificação	219
11.2.3	Rastreabilidade dos resultados da medição	220
11.2.4	Ajuste e/ou reparação do instrumento	220
11.2.5	Evidência documental e visual	221
11.2.6	Intervalos entre confirmações metrológicas	221
	<b>Nota final</b>	<b>222</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>224</b>



## **Prefácio pelo Presidente do Conselho de Administração, da EPAL e da Águas do Vale do Tejo, Carlos Martins**

A presente publicação do Guia “Medição de Caudais e Volumes em Redes de Águas”, vem enriquecer as edições técnicas do setor, porquanto estamos na presença de um excelente trabalho do Eng. José Colarejo, que partilha o seu profundo conhecimento sobre contadores de água.

Os contadores de água são um equipamento central na gestão comercial dos serviços de abastecimento de água, promovendo valores de equidade, potenciando valores ambientais e assegurando o princípio do utilizador-pagador.

As exigências atuais em matéria de uso eficiente da água reforçam a importância do rigor na medição de caudais na gestão e controlo de perdas nos sistemas.

Os desafios da transição digital tiram partido da evolução tecnológica e determinam o avanço da telemetria, que permite um progresso relevante na forma e no rigor técnico com que se podem abordar os balanços hídricos dos sistemas e atuar de forma consequente nos fatores que, em cada caso, mais contribuem para a gestão eficiente da água.

O presente Guia permite uma viagem no tempo e nos princípios gerais da metrologia, desde os primeiros passos até aos nossos dias, com particular ênfase na medição de caudais e volumes de água e na importância das comunicações nos projetos de telemetria.

Em boa hora nos são trazidos os princípios teóricos para a medição em regime de pressão e de superfície livre, estes no suporte à medição de caudal de águas residuais, campos de utilização e regras de instalação.

Os contributos e reflexões sobre a importância da gestão do parque de contadores das entidades gestoras permitem estabelecer padrões normativos e princípios operacionais dentro de referenciais que têm por base conhecimento e experiência.

Estando a EPAL empenhada em providenciar medidas para reforço da recolha e tratamento de dados que permitam incrementar a base de registos do seu Plano de Controlo de Perdas, bem como assegurar a transição digital com significativos ganhos económicos e ambientais e melhor nível de serviço aos clientes, em boa hora edita este Guia.

Agradecer ao autor, Eng.º José Colarejo, e ao Diretor de Operações de Abastecimento de Água, Eng.º Francisco Serranito, pela coordenação editorial, pelo trabalho que nos deixam e pela qualidade técnica que partilham com todos os profissionais do setor.

### **Nota Prévia para o Guia da Medição pelo Diretor de Operações de Abastecimento, da EPAL e da Águas do Vale do Tejo, Francisco Serranito**

A preparação da generalidade dos conteúdos do presente “Guia” teve lugar em 2016, no período que mediou entre as agregações e as cisões entre empresas do grupo AdP. Embora algumas atualizações recentes tenham sido introduzidas no texto, o documento ainda reflete o contexto relacional e de gestão que existia na altura entre a EPAL e as outras empresas envolvidas.

O referido contexto recomendava uma abordagem padronizada aos procedimentos, o que levou a EPAL, através da Academia das Águas Livres e em articulação com a AdP, a promover uma série de ações de formação com esse objetivo. Entre estas ações estava o curso de “Formação em Medição Avançada de Caudais”, desenvolvido sob a coordenação do Eng.º José Colarejo. Este curso foi homologado pela Ordem dos Engenheiros e tem continuado a ser ministrado periodicamente.

O presente documento tem por base as matérias lecionadas no curso supramencionado, correspondendo, essencialmente, à respetiva consubstanciação. Portanto, não é surpreendente que o autor deste guia seja também o coordenador das ações de formação, ainda que tenha contado com o apoio de outros técnicos para tópicos específicos, nomeadamente das Engenheiras Vanda Barroso e Conceição David, no que respeita à medição na vertente do Saneamento.

O Eng.º José Colarejo conta com mais de 30 anos de experiência ao nível do projeto e fabrico de contadores no âmbito do Grupo JANZ, tendo também sido responsável pela assistência técnica a clientes e pela Direção Comercial da fábrica de contadores de água do referido grupo. Durante este período, colaborou com diversas Entidades Gestoras de água, visando a melhoria da gestão e da eficácia dos respetivos parques de contadores. Foi membro de Comissões de Normalização Europeias (CEN) e Internacionais (ISO) e coordenou a Comissão Técnica de Normalização CT 116 – Medição do escoamento de água em condutas fechadas (contadores de água) no âmbito da APDA até 2018. A sua vasta experiência nas vertentes de Metrologia Geral e Medição de Caudais permitiu-lhe realizar e coordenar, ao longo dos anos, diversas ações de formação para diferentes Entidades Gestoras, o que torna natural a sua escolha como autor deste Guia, promovido pela Academia das Águas Livres.

O percurso e as competências do Eng.º Colarejo fazem dele uma das maiores referências no panorama da medição de caudais em Portugal. Esta publicação pretende também constituir um reconhecimento pelo trajeto profissional de um técnico que, ao longo de décadas, manteve uma ligação profissional à EPAL, na qualidade de fornecedor de equipamentos de medição, consultor, parceiro na definição de procedimentos no âmbito das comissões normativas e, mais recentemente, como formador na Academia das Águas Livres.

Entre as qualidades destacadas pelos técnicos da EPAL que se foram cruzando profissionalmente com o Eng.º Colarejo estão a competência, os conhecimentos, a assertividade e a disponibilidade para partilhar o seu saber. Pessoalmente, tivemos a oportunidade de conhecer o Eng.º Colarejo há cerca de 15 anos e mantivemos contactos profissionais regulares ao longo da última década, o que nos permite não só corroborar a opinião dos restantes colegas da EPAL, como acrescentar outro atributo: a confiabilidade, uma característica crucial no contexto da medição.

Não há dúvidas de que o Eng.º Colarejo sempre encarou a sua profissão e as suas funções com um efetivo espírito de missão. No entanto, ao observar o brilho dos seus olhos, a vivacidade da sua voz e, por vezes, até a mudança na sua postura ao falar de contadores e de medição, rapidamente percebemos que a sua relação com o tema vai além da lógica meramente profissional - envolve prazer e devoção, constituindo uma verdadeira “paixão”.

É notável que essa paixão se mantenha tão forte hoje, aos 78 anos, como era há 15 anos, quando o conhecemos. Talvez hoje seja ainda mais evidente o seu desejo de partilhar essa paixão, de nos transmitir um pouco do fascínio e o “bichinho” associados à temática da medição. Cabe-nos a nós aproveitar...

Do ponto de vista das características pessoais, destacaríamos a enorme gentileza revelada pelo Eng.º Colarejo, que se tornou mais evidente à medida que a nossa relação se consolidou, bem como um profundo respeito pelo próximo.

Perante estas qualidades, é com orgulho que podemos dizer que partilhamos uma forte amizade com o Eng.º José Colarejo e que, ainda que de forma modesta, pudemos contribuir para tornar possível a presente publicação.



DIN  
KI.1

°C

HAENNI  
SWISS MADE

21 XV

## MEDIÇÃO DE CAUDAIS E VOLUMES EM REDES DE ÁGUAS

### GUIA ORIENTADOR

*“... quando se pode medir aquilo de que se fala e exprimi-lo em números,  
sabe-se alguma coisa sobre o assunto;  
mas quando não se consegue medi-lo, nem se pode exprimi-lo em números,  
o conhecimento será de natureza escassa e insatisfatória.”*

*Lord Kelvin  
(1824 –1907)*

## 1 Introdução

A medição faz parte da atividade humana desde as primeiras civilizações uma vez que é necessário medir – comprimento, massa ou tempo – o que se transaciona. Em Portugal, como no resto da Europa, a metrologia evoluiu lentamente, desde uma extrema diversidade, na Idade Média, até à atual situação de uniformidade, resultante da adoção do Sistema Internacional de Unidades.

No setor da água, em que se inserem as atividades do Abastecimento de Água e do Saneamento, a medição de volumes e de caudais de águas (bruta, potável, ...) e de águas residuais assume particular importância, sendo um fator basilar ao nível da relação com clientes na medida em que constitui a base da transação comercial (faturação). Com efeito, a transparência e credibilidade da medição são essenciais para proporcionar a necessária confiança entre as partes envolvidas, o que, caso não se verifique, poderá constituir uma potencial fonte de conflitos.

Por outro lado, face à permanente necessidade de melhoria da eficiência e de otimização de processos, a medição de caudais e volumes, assumindo-se como uma ferramenta essencial para a monitorização e controlo desses processos, vê relevado o seu papel no setor da água.

Resulta, assim, clara a relevância da “função medição” nas atividades de abastecimento de água e de saneamento, pelo que se justifica que os respetivos intervenientes possuam adequados conhecimentos técnicos, suportando a sua ação, de forma transversal e harmonizada, nas melhores práticas internacionalmente reconhecidas.

Consciente das suas responsabilidades no setor da água e da importância da medição de caudais e volumes para a missão das Entidades Gestoras, a EPAL promoveu uma ação de formação específica sobre a matéria na Academia das Águas Livres, designada “*Formação em Medição Avançada de Caudais*”. Este curso, homologado pela Ordem dos Engenheiros, tem vindo a ser ministrado periodicamente, sob a coordenação do Eng.º José Colarejo, tendo como público-alvo técnicos do setor da água, quer pertencentes ao grupo AdP quer externos ao mesmo.

O presente “Guia”, publicado sob a égide da Academia das Águas Livres, tem por base as matérias lecionadas no curso suprarreferido, correspondendo basicamente à consubstanciação, em um documento formal e integrado, do respetivo programa. Desta forma, a presente publicação pretende contribuir para um entendimento comum e para a utilização de uma linguagem uniforme sobre a medição, bem como para uma visão integrada e partilhada da temática. Visa ainda facultar ferramentas para uma correta e harmonizada disseminação dos conceitos associados à medição no âmbito das entidades gestoras, criando as bases para a definição do Sistema de Gestão da Medição, a implementar por essas entidades.

Neste contexto, ao longo do presente documento será possível conhecer:

- os princípios gerais e os aspetos chave associados à Metrologia;
- o enquadramento legal e normativo da medição;
- os principais tipos de medidores de caudal e de contadores de água;
- os condicionantes mais relevantes inerentes à instalação e utilização de medidores;
- algumas noções sobre a gestão de parques de contadores/medidores;
- os ensaios mais comuns associados aos contadores/medidores;
- os aspetos essenciais a considerar na implementação de um Sistema de Medição no âmbito do Grupo AdP.

- Página em branco -



EN 837-1

1.4571

bar

Baumer



## 2 Enquadramento

### 2.1 Conceitos gerais

“Medição” é a ação e o efeito de medir, tendo o termo “Medir” tido origem na palavra latina “metiri” (mensurare). O termo “medidor”, entendido como aquilo que mede, resulta da inserção do sufixo latino “tor”, que significa “agente de alguma coisa”.

Assim, o objetivo de uma medição é determinar o valor de uma grandeza a medir, requerendo uma apropriada especificação dessa grandeza, do método e do procedimento de medição.

O ato de medir envolve a existência de:

- unidades de medida (comparativos usados na medição), que devem ser:
  - inalteráveis
  - universais
  - de fácil reprodução
- instrumentos de medição
- incertezas.

### 2.2 Importância da Medição no Setor da Água

A necessidade de controlar as transferências de volumes em sistemas de abastecimento de água (AA) e de drenagem de águas residuais (AR) extensos e multifacetados exige respostas adequadas ao nível da medição desses volumes e caudais.

Atendendo a que, só nas atividades em Alta, se encontram instalados mais de 10 mil medidores de caudal/volume nas empresas do Grupo AdP e que, se se considerar os sistemas em Baixa, esse número ascende a um valor da ordem de 2,5 milhões de instrumentos de medida, facilmente se compreende a complexidade e relevância da medição na atividade do Grupo.

Por outro lado, sendo a medição uma atividade transversal, envolvendo diversas áreas funcionais das entidades gestoras – Manutenção, Operações, Gestão de Ativos, Gestão de Projetos e Obras, Gestão de Clientes, Compras, etc. –, importa assegurar uma correta articulação ao nível da atuação dessas áreas no que concerne à medição. O facto de a medição constituir a base da faturação, reforça a necessidade desta atividade cumprir um conjunto de exigências ao nível da:

- fiabilidade;
- sistematização;
- rastreabilidade;
- credibilidade;
- confiança.

O eventual não cumprimento destas premissas poderá potenciar a geração de conflitos relevantes, quer entre as entidades gestoras e os seus clientes, quer internamente, no seio das próprias entidades.

### 2.3 Considerações gerais no âmbito da medição

A temática da medição é bastante vasta e complexa, requerendo a consideração e o cumprimento de um conjunto de regras e procedimentos.

Assim importa, desde logo, ter em conta que a medição tem associado um determinado “erro”, pretendendo-se que esse erro seja suficientemente pequeno e controlável para que seja possível “viver com ele”. A margem de erro decorre das imperfeições do instrumento de medição, das limitações do medidor (quem tira as medidas) ou dos erros experimentais.

Uma das formas mais comuns e testadas para minimizar e controlar os erros de medição consiste na definição e implementação de um Sistema de Gestão da Medição, entendido como o conjunto de instrumentos de medição, recursos humanos e técnicos, operações e métodos usados para quantificar uma grandeza a medir. Por outras palavras, Sistema de Gestão da Medição é o processo completo para obter medições, devendo cumprir as seguintes condições:

- Simplicidade;
- Fácil perceção;
- Sistematização;
- Adaptabilidade;
- Transversalidade (articulação entre áreas);
- Controlo e rastreabilidade;
- Credibilidade.

Este Sistema de Gestão da Medição deve abranger as diferentes fases do ciclo de vida da medição e procurar dar resposta às principais questões que se colocam em cada uma delas, conforme se ilustra na Figura 2-1.

16

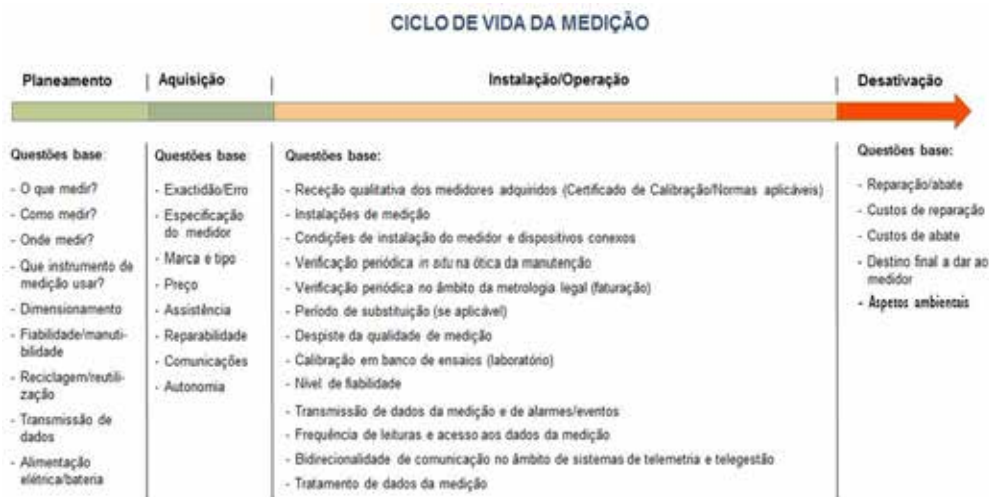


Figura 2-1 – Principais questões associadas ao Ciclo de Vida da Medição

- Página em branco -



## 3 Princípios gerais da Metrologia

### 3.1 Enquadramento histórico

#### 3.1.1 Na Antiguidade

Desde a mais remota Antiguidade que as sociedades humanas sentiram a necessidade de quantificar os diversos materiais com que lidavam no seu dia-a-dia. A partir do momento em que aprenderam a contar unidades discretas (três cavalos, vinte ovelhas, etc.), cedo perceberam que tinham de ser criados métodos de quantificação e de medição generalizada de fenómenos ou substâncias, contínuas ou descontínuas (medir distâncias, quantificar a produção de cereais ou de azeite, quantificar o tempo decorrido entre dois acontecimentos, etc.).

Nasceram, assim os conceitos de “grandeza” e de “unidade”, que são a base de qualquer sistema de medição e que, modernamente, são definidos como:

O Vocabulário Internacional da Metrologia (VIM) <sup>1</sup> estabelece as definições formais destes conceitos fundamentais. Assim:

- *Medição* – Processo de obtenção experimental dum ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza.  
(definição 2.1 do VIM)
- *Grandeza* – Propriedade dum fenómeno dum corpo ou duma substância, que pode ser expressa quantitativamente sob a forma dum número e duma referência.  
(definição 1.1 do VIM)

Desse mesmo documento retira-se também a informação de que a “referência” mencionada na definição de grandeza poderá (ainda que não exclusivamente) ser uma “unidade de medida”:

- *Unidade de medida* – Grandeza escalar real, definida e adotada por convenção, com a qual qualquer outra grandeza da mesma natureza pode ser comparada para expressar, na forma dum número, a razão entre as duas grandezas (definição 1.9 do VIM).

Estes conceitos, ainda que sujeitos a definições tecnicistas, que, à primeira vista, podem parecer complicadas, estão hoje bem intuídos e dados por adquiridos nas sociedades atuais, mas resultam de uma laboriosa conquista humana ao longo dos séculos.

Como seria de esperar, foi o desenvolvimento da economia das sociedades primitivas que, ao passar do regime de subsistência individual ou familiar para o regime de trocas, implicou a necessidade de quantificar (medir) os bens transacionados, de forma a poderem ser valorados. Foi, portanto, necessário criar meios de medição desses bens, que fossem aceites em consenso pelos participantes nessas transações.

Começaram então a aparecer unidades de medida de forma a permitir avaliar a extensão das terras dos respectivos proprietários ou o tamanho das peças dos tecidos transacionados (“unidades de comprimento”). E também a medida da quantidade de cereais, de azeite ou vinho transacionados (“unidades de volume”).

<sup>1</sup> Vocabulário Internacional da Metrologia – 1.ª Edição Luso Brasileira | IPQ – INMETRO 2012

Com a invenção das balanças, as transações menos volumosas, sobretudo de materiais considerados mais preciosos, começaram a ser feitas com base no peso dos bens, pelo que também foi necessário criar “unidades de peso”.

Também se começou a perceber que uma dada unidade de medida, apropriada para quantificar as compras familiares de trigo numa feira, poderia não ser adequada para tratar as grandes transações por grosso. Ou que a forma de medir o comprimento dos panos também não era adequada para medir distâncias entre localidades. Nasceram assim diferentes tipos de unidades para um mesmo tipo de grandeza, as quais se relacionavam entre si (conceito de “múltiplos” e de “submúltiplos”).

Embora muitas vezes não saibamos hoje o seu significado exato, dos livros de História (e até da própria Bíblia) chegam-nos termos como “estádio”, “côvado”, “cúbito” (como inequívocas unidades de comprimento), “arrátel”, “marco”, “onça” (como unidades de peso), “moio”, “alqueire”, “maquia” (como unidades de volume de secos), “pipa”, “almude”, “canada” (como unidades de volume de líquidos).

É de notar a diferenciação que existia entre as unidades de volume de “secos” (cereais, grãos, feijões) e de “líquidos” ou “molhados” (azeite, vinho, leite). Essa diferenciação advém certamente da diferente forma de transportar e de transvazar os produtos em questão.

Para além da miríade de nomes de unidades que existiram, elas, ainda que com o mesmo nome, variavam de região para região e também ao longo do tempo. Em tempos de algum imobilismo das sociedades, talvez não tivesse sido muito grave, mas imagina-se o caos que terá existido quando começou a haver maiores movimentações dos mercadores e das populações.

No que à medição da água se refere, chegaram aos nossos dias testemunhos arqueológicos interessantíssimos de como no Antigo Egito – naturalmente por iniciativa dos Faraós reinantes, que constituíam o Estado – se fizeram importantes obras públicas no domínio da hidráulica, no sentido de domar as cheias periódicas do Nilo, fazendo assim com que um fenómeno da Natureza que, à partida, poderia ser uma calamidade, se tornasse numa fonte de prosperidade.

E isso foi conseguido porque as águas eram sabiamente conduzidas, por meio de canais de irrigação, para as terras mais afastadas do Nilo, tornando o Egito numa longa e larga faixa de oásis verdejantes, no meio de uma zona desértica.

Como quaisquer outras obras públicas, esses trabalhos tinham de ser custeados pelos beneficiários dessa água, ou seja, pelos proprietários das terras irrigadas, aparecendo assim a necessidade de quantificar a água, para que o utilizador a pagasse.

Foram descobertos e postos em prática métodos de medição baseados em princípios que ainda hoje são utilizados para avaliar o caudal – e conseqüentemente o volume – de água que passa num canal aberto. Desses métodos, restam representações e alguns exemplares em diversos museus.

### 3.1.2 Na Idade Média

#### 3.1.2.1 Em Inglaterra

Conforme anteriormente referido, o principal incentivo para o surgimento das necessidades de medição terá sido o desenvolvimento das trocas comerciais. Como é evidente, logo de seguida surgiu a cobrança de impostos ou de rendas, por parte do poder local (senhor feudal,

conventos, bispados) ou do próprio estado central (reis, imperadores). Sobretudo para os monarcas, o caos resultante das mais diversas medidas, com variações regionais, não interessava absolutamente nada, mas também não era fácil, nas tentativas de unificação, vencer as resistências das diversas situações instaladas.

Terá sido um rei de Inglaterra, Henrique I, do início do século XII e que ficou conhecido na História como sendo um governante severo e eficiente, que resolveu estabelecer alguma ordem no caos das medições, criando um sistema baseado nas medidas do seu próprio corpo.

Assim, fixou como padrão de comprimento a distância entre seu nariz e o polegar do seu braço estendido. A esse comprimento foi dado o nome de “yard” (“jarda”, em português).



Figura 3-1 – Definição da “yard”

Henrique I também terá mandado medir o tamanho do seu pé (“foot” – plural “feet”) e constatado que 3 pés perfaziam uma jarda. E foi medido ainda o comprimento da falangeta do seu dedo polegar, a que foi dado o nome de “inch” (“polegada”, em português), sendo que 12 polegadas perfazem um pé.



Figura 3-2 – Definição do “foot”

A História não regista o pormenor, mas certamente terá havido necessidade de fazer alguns ajustes nas medidas, para acertar a relação:

$$1 \text{ yard} = 3 \text{ feet} = 36 \text{ inch}$$



Foram depois feitos padrões destas medidas, para serem distribuídos pelos diversos territórios do reino.

Claro que isso não foi suficiente, mas foi uma base de partida. O desenvolvimento posterior do sistema inglês prosseguiu com a definição das unidades em lei, na Magna Carta de 1215 (rei João, também conhecido como João Sem-Terra), e emitindo padrões de medida a partir da capital da época, Winchester.

Bastante mais tarde, em 1556, foi decretada uma grande unificação, que ficou conhecida como a “Proclamação de Manchester” e que deu origem ao famoso Sistema Imperial Inglês, o qual também veio a evoluir com o tempo.

Os padrões foram revistos em 1588 e 1758. A última “Imperial Standard Yard”, em bronze, foi produzida em 1845 e serviu como padrão no Reino Unido até que a jarda fosse redefinida internacionalmente, em 1959, como tendo o valor de 0,9144 m.



Figura 3-3 – Proclamação sobre pesos e medidas em Manchester, 1556

O poder económico e militar Inglês disseminaram o Sistema Imperial por todo o mundo, donde resulta a sua prevalência popular em muitas regiões e áreas de actividade, sobretudo onde a influência britânica se sente ou fez sentir.



Figura 3-4 – Quadro público, afixado numa parede, com referenciais de medidas Inglesas (British yard – two feet – one foot – six inches – three inches)



## 3.1.2.2 Em Portugal

Enquanto, em Inglaterra, a evolução dos padrões de medida correspondia ao descrito, em Portugal também reinavam as mais diversas unidades de medida, que variavam de região para região, inclusivamente por vezes usando a mesma designação, mas com valores muito diferentes, que também iam variando com o tempo. Algumas tentativas de centralizar o assunto, por parte dos diversos monarcas, iam esbarrando nos mais variados interesses instalados, quer dos mercadores, quer dos senhores locais, quer até da própria população.

A confusão nas unidades de medida e nos respectivos padrões era tanta que D. Pedro I (1357-1367) tentou impor um padrão único para todo o território português, decretando que as medidas dos sólidos tivessem como base as medidas de Santarém e que as medidas dos líquidos fossem as utilizadas em Lisboa. Sabemos que não foi completamente bem sucedido, mas foi dado um passo no caminho certo.

Refira-se que, independentemente das variantes entre as medidas até então usadas, predominava a utilização de uma estrutura de múltiplos e submúltiplos, constituída na base de potências de 2, havendo, portanto, relações de “um quarto”, “metade” (“meia”), “dobro”, “4 vezes”, “12 vezes”, “24 vezes”, “36 vezes” e até “64 vezes”.

Alguns exemplos de medidas de capacidade para secos, por alturas de 1260 <sup>2</sup>:

Denominação principal	Moio de 64 alqueires					Presumível equivalência SI
Moio	1					883,2 litros
Quarteiro	4	1				220,8 litros
Sesteiro	8	2	1			110,4 litros
Teiga	16	4	2	1		55,2 litros
Alqueire	64	16	8	4	1	13,8 litros

23

Idem, no caso das medidas de capacidade para líquidos:

Denominação principal	Moio de 32 almudes				Presumível equivalência SI
Moio	1				537,6 litros
Puçal	4	1			134,4 litros
Quarta	8	4	1		67,2 litros
Almude	32	8	4	1	16,8 litros

**Nota:** Dada a diversidade de medidas, ao longo do País, os valores de equivalência indicados nos quadros acima são reportados ao que se presume serem os padrões de Lisboa, na época. Aqui observa-se claramente que o “alqueire” e o “almude” constituíam a unidade de base deste tipo de medidas, sendo que as outras eram múltiplas destas, e provavelmente dado o seu tamanho, seriam apenas “unidades de conta”, enquanto as de base seriam as “unidades reais” manuseadas.

Posteriormente, D. Afonso V (1438-1481) impôs os padrões de três cidades: Lisboa, Porto e Santarém.

<sup>2</sup> Viana, Mário – Estudos de história metrológica – Medidas de capacidade portuguesas, Cap. 3.

Apesar destes esforços, a confusão ainda imperava e no reinado de D. João II (1481-1495), devido à intensificação do comércio internacional, adotou-se um novo padrão de peso – o “marco” de Colónia –, materializado num padrão que deveria ser feito em ferro forjado e que serviria para pesar ouro e prata.

Também D. Manuel I (1495-1521) promoveu reformas dos pesos e medidas, mas a primeira grande reforma geral foi feita por D. Sebastião, através de lei datada de 26 de janeiro de 1575 (realça-se a proximidade temporal com a reforma de Manchester). Com efeito, se, no caso dos pesos, a reforma metrológica de D. Manuel I, inclusa nas chamadas Ordenações Manuelinas, revelava algum sucesso, em virtude da distribuição de novos padrões pelo país, a reforma das medidas de volume praticamente não saíra do papel, mantendo-se o uso generalizado das medidas antigas.

Assim, em 1575, D. Sebastião emitiu uma nova lei no sentido de reforçar as medidas tomadas pelo seu bisavô, mandando igualar todas as medidas de cereais, vinho e azeite pelas que eram utilizadas em Lisboa. Para que esta medida tivesse sucesso, ordenou a distribuição, pelo país, de padrões das medidas de volume, tanto para os secos, baseadas no “alqueire”, como para os líquidos, cuja unidade principal era o “almude”.

A lei confirmava os submúltiplos destas medidas que tinham sido estabelecidos por D. Manuel I e, no caso dos secos, indicava um múltiplo do alqueire: a “fanga”, que media 4 alqueires. De acordo com esta lei (Carta de Almeirim), os volumes de secos deveriam passar a ser medidos obrigatoriamente por “rasa” (usando uma rasoura) e não por “cogulo”, tornando assim a medição mais rigorosa. Introduzia ainda outra alteração relevante: o azeite, em vez de ser medido por alqueire e respectivos submúltiplos, devia ser medido por “almudes de 12 canadas” e “meios almudes”. Quanto ao resto, aplicavam-se as Ordenações, tal como anteriormente.

Resulta assim que, embora sem a projeção internacional da Inglaterra, mas sensivelmente pela mesma época, também Portugal procurava o seu próprio caminho no domínio da Metrologia.



Figura 3-5 – Medida de secos, da época de D. Sebastião, com a respectiva rasoura <sup>3</sup>



Figura 3-6 – Medida de líquidos, da época de D. Sebastião, notando-se o rasgo de vertedura <sup>4</sup>

<sup>3</sup> IPQ, Museu da Metrologia

<sup>4</sup> IPQ, Museu da Metrologia

### 3.1.3 Na Idade Moderna (Portugal)

Em 1812 foi criada uma Comissão para o Exame dos Forais e Melhoramentos da Agricultura, a qual recomendou a reforma do sistema de pesos e medidas. Assim, ordenou o governo que, em colaboração com a Academia Real das Ciências, *“formassem um plano para a igualdade dos pesos e medidas, próprio dos grandes conhecimentos e luzes do século, debaixo de um sistema geral com base sólida e permanente”*.

Deste trabalho resultou um relatório apresentado ao príncipe regente D. João (futuro rei D. João VI), que recomendou a utilização de um sistema baseado nas medidas do novo sistema métrico francês (cuja unidade fundamental era o *“mètre”*), mas com terminologia portuguesa. O novo sistema abrangia as medidas lineares, de capacidade e de peso, com relações de equivalência entre as diversas unidades de base, baseadas no elemento *“água”*.

Assim, a unidade fundamental era a *“mão-travessa”*, que correspondia a 1/10 do *“mètre”* francês; a *“mão-cúbica”* (correspondente a um *“litro”*) designava-se por *“canada”* (antiga medida de volumes de líquidos), e uma canada de água destilada pesaria uma *“libra”* (um *“quilograma”*). Estava assim constituído o primeiro sistema português de base decimal.

O relacionamento entre unidades, numa base de potências de 10 (*“base decimal”*), é uma das grandes novidades que o sistema métrico francês trouxe ao mundo.



Figura 3-7 – Padrão da *“mão-travessa”*, unidade fundamental das medidas de comprimento no sistema de D. João VI (equivalente a 1 dm)<sup>5</sup>

Em 1814 foi decidido mandar executar 300 conjuntos dos novos padrões de pesos e medidas, na Junta da Fazenda do Arsenal do Exército, de acordo com os protótipos vindos de França, para serem distribuídos pelo império português. Em 1819, um aviso dos governadores do reino, dirigido aos corregedores das comarcas, mandou recolher ao mesmo Arsenal os padrões dos concelhos para os comparar com os novos.

<sup>5</sup> “A reforma de D. João VI” – IPQ, Museu da Metrologia

As guerras liberais vieram atrasar todo o processo, pelo que, só em 1852, D. Maria II fez publicar o decreto de 13 de dezembro que adotou o Sistema Métrico Decimal, agora com a respectiva nomenclatura original, e estipulando dez anos para a sua entrada em vigor. Antecipando esse prazo, a 20 de junho de 1859 foi assinado o decreto pelo qual passou a vigorar o uso da medida métrica linear, a partir de 1 de Janeiro de 1860, na cidade de Lisboa, e nas restantes localidades a 1 de Março do mesmo ano, ficando abolidos e ilegalizados os “côvados” e as “varas”, bem como quaisquer outras medidas lineares.

A obrigatoriedade da utilização das restantes medidas, de peso e de volume, entrou em vigor, em todo o território nacional, em 1 de janeiro de 1862.

### 3.2 O Sistema Métrico Decimal

#### 3.2.1 Princípios gerais

Embora tradicionalmente se considere que a Inglaterra, em finais do século XVIII, foi o berço da Revolução Industrial, foi, no entanto, a França que, em 1791, também a viver a sua própria Revolução – esta de cariz político e social –, propôs a adoção de um sistema de unidades coerente que passou a ser conhecido por Sistema Métrico, o qual tinha por princípios a “universalidade” e a “simplicidade”:

- *Universalidade*: porque visa poder ser usado por todos os países, em todas as esferas da atividade científica e técnica, correspondendo a cada grandeza uma única unidade para todas as aplicações.
- *Simplicidade*: porque apenas baseado numa única unidade – o metro – ao qual todas as outras se reportam, por relações simples e exclusivamente decimais para os múltiplos e submúltiplos.

#### 3.2.2 A unidade de base, linear: o Metro

A unidade de base, aprovada pela Assembleia Nacional Francesa, em 1799, foi o “*mètre*” (da raiz grega “*metron*”, que significa medida), o qual tinha por definição um comprimento equivalente à “*décima milionésima parte de um quarto do meridiano terrestre*”.



Figura 3-8 – Representação do “metro” em relação à medida da circunferência da Terra

Este “mètre” foi materializado num padrão, sob a forma de dois traços marcados numa barra perfilada, de secção em “X”, feita de platina iridiada.

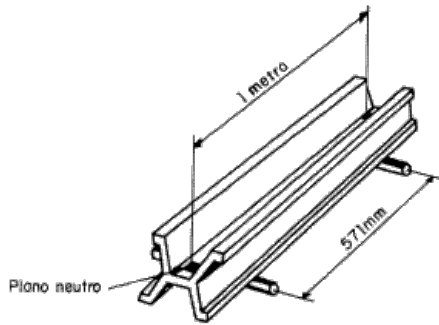


Figura 3-9 – Padrão físico do “metro”



Figura 3-10 – A barra de platina-irídio utilizada no protótipo do metro (1889 – 1960)



Figura 3-11 – Referencial do “mètre”, afixado na Place Vendôme, em Paris, ao lado da entrada do Ministério da Justiça <sup>6</sup>

Como referido, todas as outras unidades do sistema métrico são “construídas” a partir do “metro” (ou dos seus múltiplos ou submúltiplos), em relações sempre decimais, razão pela qual também foi chamado Sistema Métrico Decimal.

### 3.2.3 A unidade de peso: o Quilograma

Para o peso foi adoptado o “kilogramme”, cujo padrão é constituído por um cilindro de platina iridiada com 39 mm de diâmetro e 39 mm de altura (medidas calculadas para o padrão ser equivalente ao peso de um decímetro cúbico de água) (CGPM – 1901).

**Nota:** o conceito de “peso” (que é um conceito gravimétrico) está hoje abandonado, tendo sido adoptado o conceito de “massa” (que não depende da gravidade), na época, com base no mesmo padrão físico.

<sup>6</sup> Foto do Autor

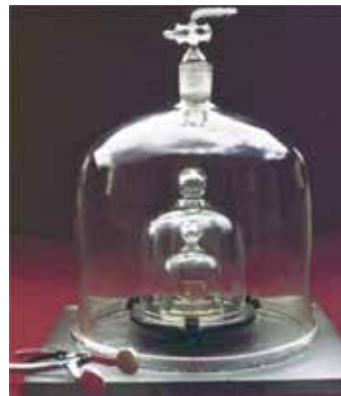
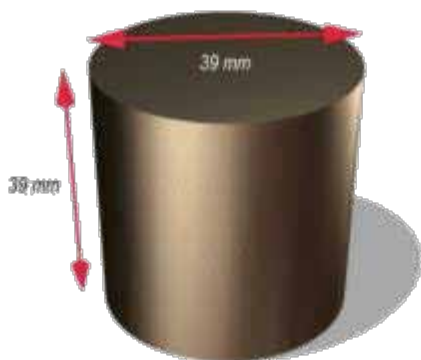


Figura 3-12 – Padrão de 1 kg de platina-irídio conservado em vácuo no BIPM, em França.

### 3.2.4 A unidade de tempo: o Segundo

Para a medição do tempo, curiosamente, e dada a antiguidade das ciências astronómicas, sempre houve um razoável consenso relativamente às divisões baseadas no período de rotação da Terra. Quando o sistema métrico foi instituído, há muito que, pelo menos nas civilizações ditas ocidentais, o dia estava dividido em horas, minutos e segundos. Foi, portanto, fácil adotar o “segundo” como unidade de medida do tempo.

***Nota:** Já nos outros sistemas mais antigos, e apesar da anarquia que reinava nas restantes medidas, a contagem do tempo não oferecia grandes polémicas, até porque, para o desenvolvimento tecnológico da época, o rigor da sua medição estava confinado aos cálculos astronómicos e aos dos navegadores oceânicos, não sendo, portanto, matéria da preocupação do grande público.*

Uma vez o “segundo” adoptado como unidade de medida do tempo, a seguir veio a dificuldade de o definir de forma exata, já que o período real de rotação da Terra não é exactamente como convencionado.



Figura 3-13 – Formas de medir o tempo, que a evolução tecnológica se encarregou de aperfeiçoar.

### 3.3 Estabelecimento do Sistema Métrico Decimal

Em 20 de maio de 1875, foi instituído um tratado internacional, que veio a ficar conhecido como “*Convention du Mètre*” (Convenção do Metro), o qual foi ratificado por 17 Estados. Portugal que, tal como atrás referido, já tinha, entretanto, adoptado internamente o Sistema Métrico, foi um desses Estados fundadores da Convenção.

Foram então feitas cópias dos dois padrões – metro e quilograma – para serem distribuídas pelos países aderentes ao tratado, tendo Portugal recebido os Protótipos n.ºs 10, os quais se encontram à guarda do actualmente denominado Instituto Geográfico Português (IGP).

Este tratado estabeleceu as seguintes organizações para conduzir as actividades internacionais, em matéria de um sistema uniforme de medidas:

- *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM) – Conferência intergovernamental de delegados oficiais dos países membros e da autoridade suprema para todas as acções;
- *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM) – Comissão composta por cientistas e metrologistas, que prepara e executa as decisões da CGPM e é responsável pela supervisão do Bureau Internacional de Pesos e Medidas;
- *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) – Laboratório permanente e centro mundial da metrologia científica, cujas actividades incluem o estabelecimento de normas de base e a realização de intercomparações internacionais entre os padrões nacionais de medida e também realiza calibrações para os estados-membros.



Figura 3-14 – Insígnia do Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)

### 3.4 Grandezas de base de um sistema de unidades

Um sistema de unidades é fundamentalmente construído com base em três grandezas mecânicas:

- Comprimento
- Peso ou massa
- Tempo

A estas grandezas de base, adicionam-se mais algumas outras, por exemplo, da área eléctrica ou molecular.

Se o sistema for baseado no “peso”, está-se perante um “sistema gravimétrico”.



Um exemplo desta situação será o Sistema Imperial Inglês:

- jarda (yd)
- libra peso (lbf)
- segundo (s)

O mesmo sucedendo com o Sistema Métrico Decimal original (hoje usualmente designado como MKpS):

- metro (m)
- quilograma (peso) (kgf)
- segundo (s)

A título de informação, indicam-se algumas correspondências entre o Sistema Imperial Inglês e o Sistema MKpS:

Múltiplos da jarda:

- 1 braça = 2 jardas (1,8288 m)
- 1 milha (terrestre) = 1760 jardas (1609 m)
- 1 légua = 3 milhas = 5280 jardas (4828 m)

Submúltiplos da jarda:

- 1 pé = 0,3333 jardas (0,3048 m)
- 1 polegada = 0,0278 jardas (0,0254 m) → 1 jarda = 36 polegadas

Ou seja: 1 jarda = 3 pés e 1 pé = 12 polegadas

No caso de pesos, destaca-se:

- 1 onça (ounce) (28,3495 g)
- 1 libra (pound) (0,4536 kg)

Sendo: 1 libra = 16 onças

Quanto a volumes, em 1824, foi criado o Imperial British Gallon, o qual contém 10 libras de água pura a 62 °F (4,5461 L), sendo:

1 galão imperial = 4 quartos (quart) = 8 pintos (pint)

Existe ainda o Winchester Gallon (4,4049 L) para “secos”

Cedo se percebeu que um sistema baseado no peso, não satisfazia às exigências de rigor que a evolução científica e tecnológica impunha, já que a aceleração da gravidade difere consoante a zona da Terra e, obviamente, também fora dela. Deu-se então a mudança para um sistema independente da gravidade, baseado na “massa”, isto é, um “sistema mássico”.

Nasceu assim o sistema MKS, derivado do MKpS, por adoção do padrão de massa. Manteve-se o mesmo padrão físico que já existia, passando a considerar-se a sua massa a não o seu peso.

Assim, as unidades de base do sistema MKS são:

- metro (m)
- quilograma (massa) (kg)
- segundo (s)



**Nota:** Convirá fazer aqui uma recordatória da relação entre “peso” e “massa”.

Segundo a equação fundamental da Dinâmica:

$$F = m \cdot a$$

A qual pode ser descrita como:

“Uma força constante  $F$ , de um determinado valor, aplicada a um corpo de massa  $m$ , imprime neste um movimento uniformemente acelerado, com um valor constante de aceleração  $a$ ”.

Também pode ser descrita da forma inversa:

“Uma aceleração constante  $a$ , de um determinado valor, aplicada a um corpo de massa  $m$ , submete-o a uma força constante  $F$ ”.

Ou seja, descrito em unidades MKS:

$$[ 1 \text{ N (newton)} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 ]$$

Se, na aceleração, se considerar o valor da gravidade terrestre, teremos:

$$[ 9,8 \text{ N (1kgf)} = 1 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 ]$$

Ou seja, o valor do peso de 1 kgf (do sistema MKpS), corresponde a uma força de 9,8 N no sistema MKS.

O sistema MKS (também chamado “Giorgi”) resultou, pois, da modificação do sistema métrico decimal original, por substituição do padrão-peso pelo padrão-massa.

Deste sistema, adoptado em 1935, por proposta do físico italiano Giovanni Giorgi, mas que só se tornou efectivo em 1948, resultou o actual Sistema Internacional de Unidades (S.I.), que entrou em vigor em 1960.

### 3.5 Grandezas de base do Sistema Internacional de Unidades (S.I.)

Para formar o Sistema Internacional de Unidades, definiram-se sete grandezas físicas consideradas como “básicas ou fundamentais”. Às três grandezas mecânicas de base, foram adicionadas outras específicas – corrente eléctrica, temperatura termodinâmica, quantidade de matéria e intensidade luminosa.

Por conseguinte, a estas sete grandezas passaram a corresponder sete unidades básicas – as unidades básicas do S.I. – descritas no quadro abaixo. A partir delas é possível derivar todas as outras unidades existentes.

As unidades básicas do SI são dimensionalmente axiomáticas, isto é, são dimensionalmente independentes entre si.

Grandeza de base	Unidade	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente eléctrica	ampere	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de matéria	mol	mol
Intensidade luminosa	candela	cd

Até 1995, existiam ainda duas “grandezas e unidades suplementares”, concretamente o ângulo plano e o ângulo sólido. Uma resolução da CGPM (Conferência Geral de Pesos e Medidas), dessa data, considerou-as como fazendo parte do grupo das “unidades derivadas”.

Todas as outras unidades existentes podem ser derivadas das unidades básicas. Entretanto, foram definidas como “unidades derivadas” do SI apenas aquelas que podem ser expressas através das unidades básicas do SI e sinais de multiplicação e divisão, ou seja, sem qualquer fator multiplicativo ou prefixo com a mesma função.

Desse modo, há apenas uma unidade do S.I. para cada grandeza. Nalguns casos, dão-se nomes especiais para as unidades derivadas, normalmente em homenagem a cientistas que se notabilizaram.

Seguem-se exemplos de algumas das unidades derivadas mais correntes:

Grandeza	Unidade	Símbolo
Ângulo plano	radiano	rad
Ângulo sólido	esterradiano	sr
Superfície	metro quadrado	m <sup>2</sup>
Volume	metro cúbico	m <sup>3</sup>
Força	newton	N
Pressão	pascal	Pa
Velocidade	metro por segundo	m/s
Aceleração	metro por segundo quadrado	m/s <sup>2</sup>
Caudal	metro cúbico por segundo	m <sup>3</sup> /s

Há já alguns anos, que as unidades de base, como o “metro” e o “segundo”, já não eram definidas com recurso a padrões materiais, mas sim definidas com base em fenómenos da Física. Apenas o “quilograma” permanecia referido a um padrão físico.

Na 26.ª reunião da Conferência Geral dos Pesos e Medidas (CGPM), realizada em Versailles, de 13 a 16 de novembro de 2018, foi decidida uma remodelação das unidades de base do Sistema Internacional, para entrar em vigor no dia 20 de maio de 2019.

Assim, a Resolução n.º 1 revoga todas as definições formais anteriores e procede a uma redefinição de todas as sete unidades de base do Sistema Internacional, conforme veremos seguidamente.

Daqui, resultaram as seguintes definições:

- **Segundo** (símbolo **s**) – Unidade S.I. de tempo. É definido tomando como fixo o valor da frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de cério 133 ( $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ ) como sendo de 9 192 631 770, expresso em Hz.
- **Metro** (símbolo **m**) – Unidade S.I. de comprimento. É definido tomando como fixo o valor da velocidade da luz no vazio (**c**) como sendo de 299 792 458, expresso em m/s, sendo o “segundo” definido em função de  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .
- **Quilograma** (símbolo **kg**) – Unidade S.I. de massa. É definido tomando como fixo o valor da constante de Plank (**h**) como sendo de  $6,62607015 \times 10^{-34}$ , expressa em J.s, sendo o “metro” e o “segundo” definidos em função de **c** e de  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

Cabe aqui fazer notar que a unidade “metro”, que desde o início da criação do então denominado Sistema Métrico, foi a unidade primária de todo o sistema, passou agora a ser definida em função do “segundo”, tornando-se este na unidade primária.

**Nota de curiosidade:** Até esta data, a unidade de massa era a única unidade de base (e também a única unidade de todo o sistema S.I.) que ainda se baseava num artefacto humano e não em um fenómeno físico universal. A partir de agora, todos os padrões físicos passaram a ser simples objetos de museu.

Analisadas as três unidades mecânicas de raiz, não iremos aqui definir ao pormenor as restantes quatro unidades de base, indicando apenas as suas referências básicas, de forma abreviada. Assim:

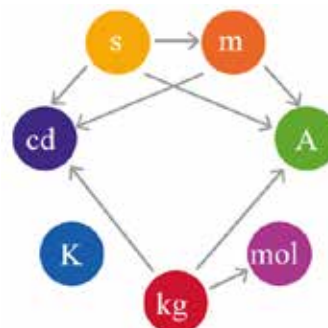
- **Ampere** (símbolo **A**) – Unidade S.I. de corrente eléctrica, definida em função do valor da carga elementar, **e**.
- **Kelvin** (símbolo **K**) – Unidade S.I. de temperatura termodinâmica, definida em função da constante de Boltzmann, **k**.
- **Mole** (símbolo **mol**) – Unidade S.I. de quantidade de matéria, definida em função da constante de Avogadro, **N<sub>A</sub>**.
- **Candela** (símbolo **cd**) – Unidade S.I. de intensidade luminosa numa dada direção, definida em função da eficácia de uma radiação luminosa monocromática, com a frequência de  $512 \times 10^{-12}$  Hz, **Kcd**.

Fica evidenciado o papel que o “segundo” agora assumiu como unidade primária. Apenas o “Kelvin” ficou “de fora”, com uma definição que não depende das outras unidades.

33



Representação sequencial das sete unidades de base S.I.



Representação gráfica da interdependência das sete unidades de base S.I.

### 3.6 Múltiplos e Submúltiplos do S.I.

Os múltiplos e os submúltiplos do S.I. são constituídos por potências de 10, de índice positivo ou negativo, respetivamente.

No entanto, foram constituídos prefixos que permitem escrever quantidades sem utilização da notação científica, de maneira mais clara para quem trabalha com uma determinada faixa de valores.

Os prefixos oficiais são:

a) Múltiplos

Potência de 10	Prefixo	Símbolo
$10^1$	deca	da
$10^2$	hecto	h
$10^3$	kilo	k
$10^6$	mega	M
$10^9$	giga	G
$10^{12}$	tera	T
$10^{15}$	peta	P
$10^{18}$	exa	E
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{24}$	yotta	Y

b) Submúltiplos

Potência de 10	Prefixo	Símbolo
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	fento	f
$10^{-18}$	ato	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

34

### 3.7 Unidades não pertencentes ao S.I.

O S.I. admite várias unidades que não pertencem ao sistema, mas que são de uso quotidiano muito instituído.

- Unidades com nomes e símbolos especiais autorizados de múltiplos e submúltiplos decimais das unidades S.I.:

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor S.I.
Volume	litro	l ou L	$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
Massa	tonelada	t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$
Pressão	bar	bar	$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa} = 1000 \text{ hPa} = 10^5 \text{ Pa}$

- Unidades com nomes e símbolos especiais autorizados de múltiplos e submúltiplos não decimais das unidades S.I.:

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor S.I.
Ângulo plano	grau	°	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
	minuto	'	$1' = (1/60)^\circ = (\pi/10\ 800) \text{ rad}$
	segundo	"	$1'' = (1/60)' = (\pi/648\ 800) \text{ rad}$
Tempo	minuto	min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
	hora	h	$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$
	dia	d	$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\ 400 \text{ s}$

### 3.8 Escrita correcta das unidades S.I.

#### Nome de unidade:

- O **nome** das unidades deve ser sempre escrito em **carateres minúsculos**;  
Exemplos: quilograma, newton, metro cúbico  
Exceções: quando o nome estiver no início da frase;  
no caso particular de "grau Celsius".
- Somente o nome da unidade aceita o plural;
- Para a pronúncia correta do nome das unidades, deve-se utilizar o acento tónico sobre a unidade e não sobre o prefixo;  
Exemplos: micrometro, hectolitro, milissegundo, centigrama, nanometro.  
Exceções: quilómetro, hectómetro, decâmetro, decímetro, centímetro e milímetro (uma vez que o uso consagra esta pronúncia).

#### Símbolo de unidade:

- As unidades do S.I. podem ser escritas pelos seus nomes ou representadas por meio de símbolos.
- O símbolo não é uma abreviatura. É um sinal convencional e invariável utilizado para facilitar e universalizar a escrita e a leitura das unidades S.I..
- O símbolo nunca deverá ser seguido de "ponto".
- O símbolo não admite plural. Como sinal convencional e invariável que é, nunca será seguido de "s".
- Em geral, os símbolos das unidades são escritos em minúsculas, excetuando-se os casos em que o nome da unidade deriva de um nome próprio, nos quais a primeira letra do símbolo é maiúscula.
- Quando uma unidade derivada é formada pelo produto de duas ou mais unidades, o seu símbolo pode ser indicado com os símbolos das unidades separadas por pontos a meia altura ou por um espaço.

Exemplo: N m ou N · m

- Quando uma unidade derivada é formada dividindo uma unidade por outra, o seu símbolo pode ser indicado utilizando uma barra oblíqua (/), uma barra horizontal ou também expoentes negativos.

Exemplo:  $m/s$  ou  $m \cdot s^{-1}$

- Nunca deve ser utilizado na mesma linha mais de uma barra oblíqua, a menos que sejam adicionados parênteses, a fim de evitar qualquer ambiguidade; em casos complicados, devem ser utilizados expoentes negativos ou parênteses.

Exemplos:  $m/s^2$  ou  $m \cdot s^{-2}$  mas não:  $m/s/s$

$m \cdot kg/(s^3 \cdot A)$  ou  $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$  mas não:  $m \cdot kg/s^3/A$

### 3.9 Representação das medições

- O resultado de uma medição deve ser representado com o valor numérico da medida, seguido de um espaço de até um carácter e, em seguida, o símbolo da unidade em questão.

Exemplo:

Valor numérico    prefixo da unidade  
**240,2 cm**  
espaço de até um carácter    símbolo da unidade

- Para a unidade de temperatura, grau Celsius, haverá um espaço de até um carácter entre o valor e a unidade, porém não se utiliza espaço entre o símbolo do grau e a letra "C" para formar a unidade "grau Celsius".

Exemplo:

Valor numérico    símbolo da unidade grau Celsius  
**25 °C**  
espaço de até um carácter

- Os símbolos das unidades de tempo, hora (h), minuto (min) e segundo (s), são escritas com um espaço entre o valor medido e o símbolo. Também há um espaço entre o símbolo da unidade de tempo e o valor numérico seguinte.

Exemplo:

**8 h 35 min 20 s**  
espaços de até um carácter

- Para os símbolos da unidade de ângulo plano, grau (°), minuto (') e segundo (") não deve haver espaço entre o valor medido e as unidades; porém, deve haver um espaço entre o símbolo da unidade e o próximo valor numérico.

**109° 28' 1"**  
espaços de até um carácter

### 3.10 Legislação do Sistema Internacional S.I.

Como já referido, o então chamado Sistema Métrico Decimal começou por ser oficializado em Portugal, em 1852, por decreto de D. Maria II.

O S.I. foi adoptado em Portugal através do Decreto-Lei n.º 427/83, de 7 de dezembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 320/84, de 1 de outubro.

Foi sendo sucessivamente alterado por vários decretos, até ao D.L. n.º 254/2002, que reaprova globalmente o sistema de unidades de medida legais, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 80/181/CEE, relativa às legislações dos Estados membros para as unidades de medida.

As recentes alterações (de 2019), foram já contempladas pela Directiva (UE) 2019/1258, a qual foi transposta para a legislação portuguesa pelo Decreto-Lei n.º 76/2020, de 25 de setembro.

Pela sua própria natureza, o S.I. é um sistema dinâmico e evolutivo, sujeito às alterações e aos ajustes decididos nas conferências do CGPM. Daí, e porque é um sistema legal, a necessidade de constante publicação de legislação atualizada.

### 3.11 O Sistema Internacional de Unidades no mundo

Conforme anteriormente referido, o poder económico e militar inglês disseminaram o Sistema Imperial Inglês em todo o mundo, nomeadamente nas suas colónias, o que poderá justificar a sua ainda prevalência em algumas regiões e áreas de actividade, sobretudo onde a influência anglo-saxónica foi ou ainda é mais forte.

No entanto, essa prevalência faz-se sentir essencialmente ao nível da vida quotidiana das pessoas comuns, já que, no que concerne às utilizações técnicas e científicas, o sistema S.I. já se tornou praticamente universal, ao ponto de o próprio Reino Unido a ele ter aderido oficialmente, por força da sua adesão a UE; não é suposto que o recente “Brexit” vá fazer reverter essa situação.

Com efeito, se, por um lado, os sinais de trânsito ainda apresentam os limites de velocidade em milhas por hora e as pessoas ainda continuam a beber a sua cerveja nos “pubs”, pedindo “one pint” ou “half a pint”, por outro lado, os contadores de água, domésticos ou industriais, fazem a sua medição em metros cúbicos!

A figura seguinte contém uma representação da distribuição do S.I. no mundo. Em termos oficiais, e para além dos Estados Unidos da América, apenas a Libéria e Myanmar ainda não aderiram oficialmente ao Sistema Internacional de Unidades.

## Metric System Adoption

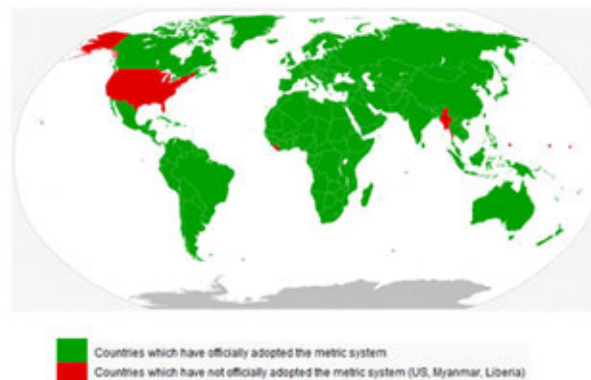


Figura 3-15 – Representação da distribuição e aplicação do S.I. no mundo

### 3.12 Fundamentos da Metrologia

O espírito da Metrologia...

*"...when you can measure what you are speaking about and  
express it in numbers, you know something about it;  
but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers,  
your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind."*

*Lord Kelvin  
(1824 –1907)*

**"Metrologia – ciência da medição e suas aplicações"  
(definição 1.1 do VIM – Vocabulário Internacional da Metrologia)**

Habitualmente, a Metrologia é dividida em três grandes categorias:

- Metrologia Científica;
- Metrologia Aplicada (ou Industrial);
- Metrologia Legal.

38

#### 3.12.1 Metrologia Científica

Ao nível da entidade nacional de cúpula, a metrologia científica tem por objectivo zelar pela actualização do Sistema Internacional de Unidades e pelos padrões das suas unidades de medida, tendo necessariamente em consideração as decisões e recomendações internacionais.

À entidade de cúpula também compete reconhecer os padrões de medida nacionais e os laboratórios metrologógicos primários.

#### 3.12.2 Metrologia Aplicada (ou Industrial)

Com o aparecimento das legislações metrologógicas modernas, foram criados sistemas de metrologia industrial, de *carácter facultativo*, não só ao nível de actuação (*melhores incertezas de medição*) mas também no tipo de actividade a desenvolver (calibração de instrumentos, controlo de produtos ou de processos, etc.).

#### 3.12.3 Metrologia Legal

Com largas tradições no nosso país, a Metrologia Legal é o sistema mais antigo e divulgado, sendo aplicável obrigatoriamente em diversos domínios.

Tem as suas origens remotas na necessidade de o Estado disciplinar as medições que envolviam transações comerciais e, hoje, vista na óptica da defesa do consumidor, estende os seus domínios, para além daquelas, também às medições que envolvem saúde, segurança pública, protecção do consumidor e do ambiente.

A Metrologia Legal, dada a sua importância no sector de actividade da distribuição de água, será objecto de análise separada em capítulo específico deste documento.



O quadro que se segue dá uma ideia sucinta das áreas de intervenção das diferentes categorias de Metrologia:

	<b>METROLOGIA CIENTÍFICA</b>	<b>METROLOGIA INDUSTRIAL</b>	<b>METROLOGIA LEGAL</b>
<b>REGIME</b>	Científico	Voluntário	Obrigatório
<b>DOMÍNIO DE ACTIVIDADES</b>	Realização das unidades; Investigação	Indústria, laboratórios e outras actividades económicas; Não regulamentar	Comerciais; Energia; Fiscais; Saúde
<b>APLICAÇÃO</b>	Padrões	Padrões e instrumentos de medição	Instrumentos de medição
<b>ÂMBITO</b>	Internacional	Nacional; Comunitário; Internacional	Nacional; Comunitário
<b>REGRAS</b>	Científicas	Normas; Recomendações; Procedimentos	Legislação e normas de cumprimento obrigatório
<b>OPERAÇÕES DE CONTROLO METROLÓGICO</b>	Intercomparações	Calibrações; Medições	Regulamentares

Figura 3-16 – Esquema representativo das actividades das diferentes categorias de Metrologia

### 3.13 A Metrologia aplicada à medição da água

#### 3.13.1 Considerações gerais

Parafraseando Lord Kelvin, no que concerne especificamente à denominada Indústria da Água, é possível referir:

*“Se, quando tratamos de água, a pudermos medir e exprimir essa medição em números, saberemos alguma coisa acerca do assunto; mas, quando não podemos medir eficazmente a água e não a pudermos exprimir nos seus valores numéricos, o nosso conhecimento será certamente deficiente e insatisfatório.”*

Efetivamente, e para além de todo o seu valor ambiental e social, a água, seja para abastecimento, ou seja residual – que resulta no final do ciclo –, está inevitavelmente associada a um processo comercial; isto é, trata-se de um bem que se vende e se compra e que, como tal, tem de ser medido.

Resulta, assim, a seguinte questão: o que interessa medir e quantificar quando está em causa a (utilização da) água?

Essencialmente, duas grandezas são fundamentais:

- O “volume passado” (medido em  $m^3$ ): é a “*mensuranda*”;
- O “caudal” (medido  $m^3/s$  ou  $m^3/h$ ), ao qual esse volume passou na secção de controlo: é a principal “*grandezza de influência*”.

Estão assim introduzidos dois conceitos metrológicos que, até ao momento, não tinham sido referidos:

- “*Mensuranda* – grandeza que se pretende medir” (definição 2.3 do VIM).
- “*Grandezza de influência* – grandeza que, numa medição directa, não afeta a grandeza a medir, mas afeta a relação entre a indicação e o resultado da medição” (definição 2.52 do VIM).

**Nota:** *É necessário ter presente que qualquer grandeza considerada de influência será, ela própria, mensuranda se for ela o objecto principal da medição. No caso em análise, se o objectivo for medir o caudal, então o caudal passará a ser a mensuranda.*

*No caso da medição do volume, o caudal será, como já dito, a principal grandeza de influência, já que o seu valor influencia a exactidão da medição do volume.*

*No entanto, outras grandezas de influência (embora menor) poderão ser tidas em conta, tais como a pressão de funcionamento (bar ou MPa), a temperatura da água ( $^{\circ}C$  ou K), ou ainda, por exemplo, alguns parâmetros eléctricos relevantes (tensão, frequência, etc.), no caso de instrumentos de medição que utilizem princípios eléctricos ou electrónicos.*

E porque é necessário proceder-se a medições, há que ter em conta que todos os instrumentos de medição – sem exceção, padrões incluídos – apresentam *erros de medição*. Assim, haverá que considerar:

- “*Erro (absoluto) de medição* – diferença (algébrica) entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência (valor convencionalmente verdadeiro)”.  
(definição 2.16 do VIM)
- “*Erro sistemático* – componente do erro de medição que, em medições repetidas, permanece constante ou varia de uma forma previsível”.  
(definição 2.17 do VIM)
- “*Erro relativo* – quociente entre o valor do erro (absoluto) de medição e o valor convencionalmente verdadeiro (expresso em %)”.  
(este conceito deixou de ter uma definição formal na actual edição do VIM)

### 3.13.2 Erros de indicação em contadores de água e medidores de caudal

O *erro relativo*, também chamado *erro de indicação* é um elemento de análise, não só metrológica, mas também económica, da maior importância na gestão dos contadores de água e medidores de caudal.

O erro relativo, expresso em percentagem, quando aplicado à medição do volume de água, é dado pela expressão:

$$\varepsilon = \frac{V_i - V_c}{V_c} \times 100$$

sendo:  $V_c$  – valor convencionalmente verdadeiro do volume passado;  
 $V_i$  – volume indicado pelo medidor, quando da medição de  $V_c$ .

No caso de ensaios com contadores de água, o valor do volume indicado é dado por:

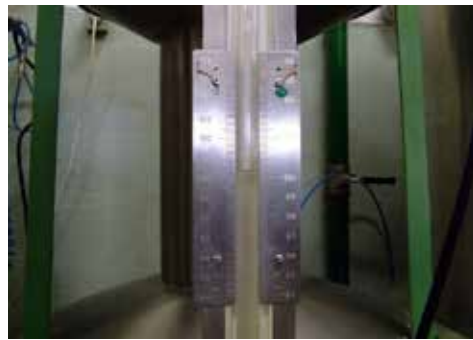
$$V_i = L_f - L_i$$

sendo:  $L_i$  – leitura inicial do contador (imediatamente antes do ensaio);  
 $L_f$  – leitura final do contador (imediatamente após o ensaio).

Ainda que com variantes tecnológicas, na forma como a metodologia é aplicada, a forma mais convencional de ensaiar contadores de água consiste em instalá-los em bancos de ensaio e fazer passar por eles um dado volume de água, o qual é quantificado, uma vez recolhido num adequado recipiente padrão de volume.



*Figura 3-17 – Bancos de ensaio para contadores de água residenciais; ao fundo, vêem-se diversos padrões de volume de diferentes capacidades <sup>7</sup>*



*Figura 3-18 – Escala de leitura, face a um tubo de nível, do valor convencionalmente verdadeiro do volume passado, num recipiente padrão <sup>8</sup>*

- *Caso n.º 1*: Exemplo de aplicação numérica no ensaio de um contador de água, a um dado valor do caudal de escoamento:
  - Leitura inicial do contador: 0568,456 25 m<sup>3</sup>
  - Leitura do contador no final do ensaio: 0568,659 42 m<sup>3</sup>
  - Volume indicado pelo contador: 203,17 dm<sup>3</sup>
  - Volume passado real medido no recipiente padrão: 200,10 dm<sup>3</sup>
  - Erro calculado no contador: **1,53%**

<sup>7</sup> Foto do Autor

<sup>8</sup> Foto do Autor

- *Caso n.º 2*: Exemplo de aplicação numérica de outro ensaio no mesmo contador de água, mas noutro valor do caudal de passagem:
  - Leitura inicial do contador: 0568,659 42 m<sup>3</sup>
  - Leitura do contador no final do ensaio: 0568,758 34 m<sup>3</sup>
  - Volume indicado pelo contador: 98,92 dm<sup>3</sup>
  - Volume passado real medido no recipiente padrão: 100,05 dm<sup>3</sup>
  - Erro calculado no contador: **-1,13%**

Estes dois exemplos numéricos evidenciam os efeitos na determinação do erro do contador, aquando da medição do volume passado (mensuranda), causados por diferentes valores do caudal de escoamento (grandeza de influência).

Faz-se notar que, para uma incerteza adequada na determinação do erro de indicação, as leituras num contador residencial devem ser feitas com a resolução de 5 decimais do metro cúbico, isto é, ao valor de centilitro.

### 3.13.3 Curvas de Erro de um instrumento de medição

Quando um dado instrumento de medição é sujeito a vários ensaios, em diferentes valores da mensuranda ou sob os efeitos de diferentes valores de uma dada grandeza de influência, irão ser obtidos outros tantos valores do erro de indicação. Ter-se-á, assim, um conjunto de pares de valores, do tipo:

$$m_1; \varepsilon_1, m_2; \varepsilon_2, m_3; \varepsilon_3, m_4; \varepsilon_4, m_5; \varepsilon_5, m_6; \varepsilon_6, \text{ etc.}$$

Se se contruir um gráfico, com os valores do erro de indicação no eixo das ordenadas e os valores das mensuranda ou da grandeza de influência no eixo das abcissas, obtém-se um gráfico do tipo exemplificado na figura seguinte.

Com base neste gráfico será possível traçar uma linha que una os diferentes pontos de ensaio, obtendo-se o que se designa por “*curva de erros*”:

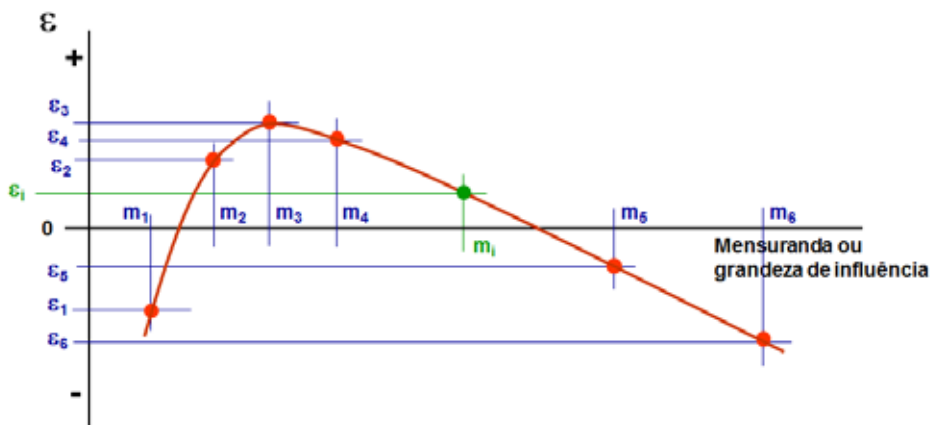


Figura 3-19 – Exemplo de traçado da curva de erros de um dado instrumento de medição

- Propriedades da curva de erros:
  - A curva de erros, salvo raras exceções (singularidades), apresenta geralmente um andamento suave, ora descendo ora subindo, mas sem transições bruscas;
  - Se houver suspeitas da existência de singularidades, a situação pode ser esclarecida levando a efeito ensaios em torno da zona da suposta existência dessas singularidades.
- Vantagens de haver um traçado da curva de erros:
  - Permite uma visualização simples da característica de desenvolvimento dos valores dos erros, de acordo com a influência dos fatores atrás referidos;
  - Permite inferir qual o valor do erro, para um dado valor da mensuranda ou da grandeza de influência, para o qual não tenha sido realizado ensaio. (Será o caso do presumível valor de  $\epsilon_i$  na situação não ensaiada para o valor de  $m_i$ ).

#### 3.13.4 Curvas de Erro características de contadores de água

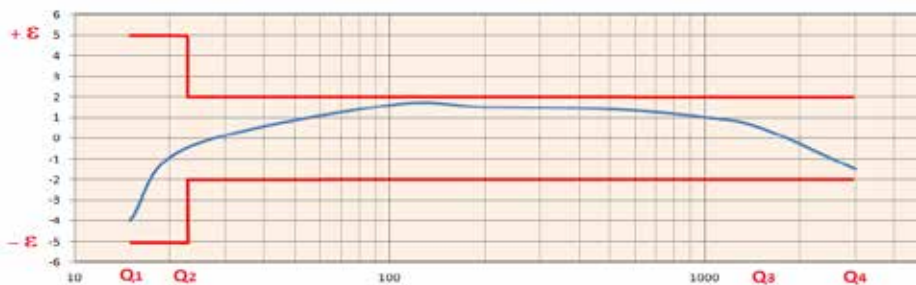


Figura 3-20 – Exemplo de uma curva de erros característica de um contador volumétrico residencial

#### 3.13.5 Incerteza na medição

Sempre que se procede a diversas medições repetidas, constata-se que, em ensaios à primeira vista idênticos, obtêm-se valores que, embora próximos, diferem entre si de um certo desvio.

Aparece, assim, mais um novo conceito, muito importante em Metrologia:

- “Incerteza da medição – parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a uma mensuranda, com base nas informações utilizadas” (definição 2.26 do VIM).

A incerteza na medição acontece em consequência de diversos fatores que influenciam o próprio processo de medição. As principais fontes de incerteza são:

- O próprio objecto da medição;
- O equipamento de medição;
- O método de medição;
- O(s) operador(es);
- As condições ambientais.

O quadro seguinte mostra um exemplo de ensaios de pesagem de uma massa, tendo supostamente o valor de 1 kg (1000 g), tendo sido efectuadas 10 pesagens. Neste caso, foi utilizada uma balança com uma sensibilidade de 0,1 g, tendo-se obtido os 10 valores que constam do quadro seguinte.

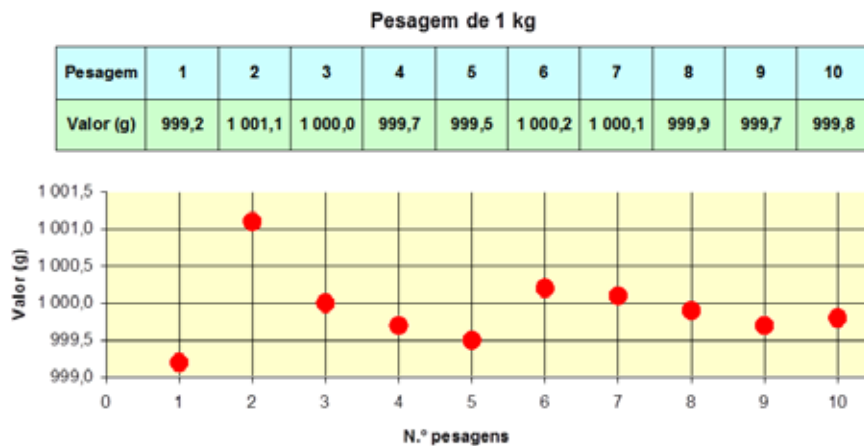


Figura 3-21 – Exemplo da dispersão observada numa sequência de pesagens de uma massa de 1 kg

44

A dispersão dos valores obtidos dá uma noção da incerteza desta medição.

**Nota:** Neste caso, não se trata de obter uma curva de erros, unindo os pontos obtidos, pois não houve variação nem do suposto valor da mensurada nem de qualquer grandeza de influência conhecida em causa. Houve apenas uma repetição sucessiva dos ensaios.

Relacionados com a incerteza, surgem mais dois conceitos importantes:

- “*Condição de repetibilidade* – condição de medição num conjunto de condições, que inclui o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições operativas e a mesma localização, e medições repetidas no mesmo objecto ou objetos similares, num curto intervalo de tempo” (definição 2.20 do VIM).
- “*Condição de reprodutibilidade* – condição de medição num conjunto de condições, que inclui os diferentes locais, operadores e sistemas de medição e medições repetidas no mesmo objecto ou objetos similares” (definição 2.24 do VIM).

Tem-se assim que a “repetibilidade” dos resultados de uma medição consiste na aproximação entre o resultado de medições sucessivas da mesma mensurada, efectuadas “nas mesmas condições de medição”. As condições para assegurar uma boa repetibilidade incluem:

- O mesmo método de medição;
- O mesmo observador;
- O mesmo instrumento de medição;
- As mesmas condições de utilização;
- O mesmo local;
- Repetição realizada em curtos intervalos de tempo.

Já a “reprodutibilidade” dos resultados de uma medição consiste na aproximação entre o resultado de medições da mesma mensuranda, efectuadas com “alteração das condições de medição”. As condições alteradas podem incluir:

- O princípio de medição;
- O método de medição;
- O observador;
- O instrumento de medição;
- As condições de utilização;
- O local;
- O tempo em que é realizada a medição.

Uma forma de visualizar a incerteza consiste em considerar que ela é simétrica e que o valor provável de mensuranda se encontra no centro da banda de incerteza. Assim, na figura seguinte tem-se as seguintes condições possíveis:

- A: O resultado obtido, adicionado da incerteza, fica acima do limite permitido;
- B: O resultado obtido é superior ao limite, mas este fica ainda dentro da incerteza;
- C: O resultado obtido é inferior ao limite, mas este fica ainda dentro da incerteza;
- D: O resultado obtido, adicionado da incerteza, fica abaixo do limite permitido.

Como é evidente, só a condição D garante um resultado com valores dentro do limite permitido; na condição C, embora o valor central do resultado esteja abaixo do limite permitido, alguns dos valores parcelares poderão estar fora desse limite.

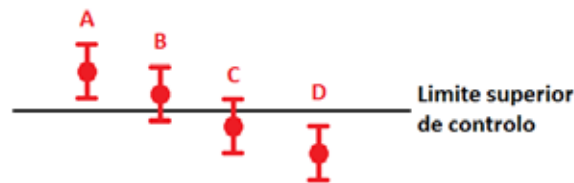


Figura 3-22 – Uma forma clássica de representação da incerteza

### 3.13.6 Tratamento da incerteza na medição

Não pretende este documento constituir-se como um tratado de avaliação de incertezas, as quais devem ter em conta o tipo de distribuição dos resultados obtidos. Basta considerar que no cálculo da incerteza em ensaios de contadores de água se considera que a distribuição dos resultados obtidos é de tipo “gaussiano”, isto é, seguem a chamada “distribuição normal”.

Em estatística, considera-se que uma distribuição é gaussiana se ela obedecer às regras dessa distribuição num universo de, pelo menos, 5 valores obtidos. Por razões de ordem prática, nos ensaios de calibração de contadores de água apenas se consideram 3 valores, isto é, basta realizar 3 ensaios, nas mesmas condições, em cada um dos pontos do valor do caudal.

A incerteza da medição é calculada determinando a “média” ( $\bar{x}$ ) do valor do erro, nesses ensaios, e o respectivo “desvio-padrão” ( $s$ ):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

sendo:

- $\bar{x}$  – Média dos valores  $x_i$  obtidos nos  $n$  ensaios realizados;
- $s$  – Estimação do desvio-padrão.

**Nota:** Em estatística, o desvio-padrão é normalmente representado por  $\sigma$  e refere-se à totalidade da população. Quando se trabalha apenas com uma amostra, trata-se de uma estimativa do desvio-padrão e representa-se por  $s$ .

Nos ensaios dos contadores, aplica-se a “avaliação da incerteza do Tipo A – Método de avaliação de incerteza pela análise estatística de séries de observações” (GUM 4.2)<sup>9</sup>.

A incerteza-padrão, “ $u$ ”, corresponde a um intervalo de valores cuja largura é igual ao desvio-padrão:

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Todos estes conceitos devem ser tidos em atenção, quer se trate de um simples instrumento de medição, quer se trate de um conjunto de diversos instrumentos. Assim, a medição deve ainda ser considerada num conceito mais abrangente:

“Sistema de Medição” – Conjunto de um ou mais instrumentos de medição e frequentemente outros dispositivos, compreendendo, se necessário, reagentes e fontes de alimentação, montado e adaptado para fornecer informações destinadas à obtenção dos valores medidos, dentro de intervalos especificados para grandezas de naturezas especificadas (definição 3.2 do VIM).



<sup>9</sup> G.U.M. – Guide to the expression of uncertainty in measurement | Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology – 2008



- Página em branco -



## 4 Noções de Hidráulica

### 4.1 Aspectos gerais

Este capítulo não pretende ser um tratado de Hidráulica, mas apenas a compilação de algumas noções gerais, de forma a sistematizar alguns conceitos fundamentais para técnicos do setor da água.

Importa, assim, recordar algumas definições básicas <sup>10</sup>:

- “Fluidos – corpos sem forma própria que podem escoar-se, isto é, sofrer grandes variações de forma, sob a acção de forças tanto mais fracas quanto estas variações são mais lentas.”

Tanto os “líquidos” como os “gases” são fluidos. Os líquidos ocupam um volume determinado e são pouco compressíveis; os gases ocupam sempre o máximo de volume de que podem dispor e são muito compressíveis.

- “Massa específica ( $\rho$ ) – é a massa contida na unidade de volume”. A massa específica da água, a 4 °C, é  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .
- “Peso específico ( $\gamma$ ) – é a força que a Terra exerce sobre a unidade de volume”. O peso específico da água, a 4 °C, é  $\gamma = \rho \cdot g = 1000 \times 9,81 \text{ N/m}^3 \cong 10\,000 \text{ N/m}^3$ .
- “Densidade ( $\delta$ ) – é a relação entre a massa (ou o peso) de determinado volume de um corpo considerado e a massa (ou o peso) de igual volume de água à temperatura de 4 °C”. Como resulta da própria definição,  $\delta$  é adimensional.
- “Coeficiente de viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) – é o parâmetro que traduz a existência de esforços tangenciais nos fluidos em movimento”. O valor de  $\mu$  depende do fluido e da temperatura a que ele se encontra. A “viscosidade”, enquanto propriedade, pode entender-se como a resistência que os fluidos oferecem à deformação.
- “Coeficiente de viscosidade cinemática ( $\nu$ ) – é o quociente entre o coeficiente de viscosidade dinâmica e a massa específica”.  $\nu = \mu/\rho$ .

### 4.2 Hidrostática

#### 4.2.1 Conceitos relevantes

Sendo a Hidrostática o ramo da Hidráulica que trata do comportamento dos líquidos em repouso, é importante destacar alguns conceitos relacionados com as forças moleculares nos líquidos <sup>11</sup>:

- *Forças de coesão* – são forças moleculares, de atração interna, que fazem com que as moléculas do próprio líquido se mantenham unidas.
- *Tensão superficial* – as moléculas que estão no interior do líquido mantêm-se em equilíbrio por acção recíproca das respectivas forças de coesão; as moléculas que se encontram à superfície estão submetidas às forças de coesão apenas das moléculas

<sup>10</sup> Excetuando outras eventuais referências específicas, as definições que constam deste capítulo são retiradas de “Hidráulica Geral”, de Armando Lencastre.

<sup>11</sup> As forças de coesão são praticamente inexistentes nos gases, mas estão presentes nos líquidos e, com maior intensidade, nos sólidos. Neste documento, o conceito é sempre referido em relação aos líquidos.

que se encontram abaixo e aos lados, do que resulta que a camada superficial de um líquido venha a comportar-se como uma película elástica.

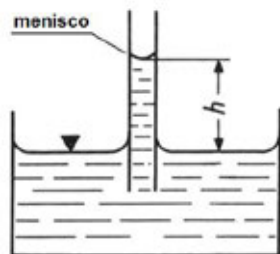
- *Forças de adesão* – são forças moleculares de atração entre o líquido e a superfície de um sólido, quando em contacto com este.

Quando, por exemplo, a água entra em contacto com uma superfície de vidro, as forças de adesão postas em jogo superam as forças de coesão da água e a água adere ao vidro; isto é, molha-o. Diz-se então que a água é um “líquido molhante”. Pelo contrário, se se tratar de mercúrio, este não adere a uma superfície de vidro, porque as suas forças de coesão são muito superiores às forças de adesão desenvolvidas em relação ao vidro. O mercúrio será então um “líquido não molhante”.

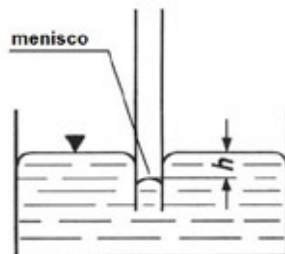
- *Capilaridade* – é um fenómeno que ocorre quando os líquidos se encontram no interior de tubos de pequeno diâmetro. A tensão superficial do líquido, combinada com a adesão, fará com que o líquido suba pelo tubo, caso se trate de um líquido molhante (“ascensão capilar”); no caso de um líquido não molhante, o líquido desce no tubo (“depressão capilar”).

Nas zonas de contacto entre o líquido e a superfície do tubo, a superfície do líquido encurva formando um “menisco”. Este será encurvado para cima, no caso dos líquidos molhantes e para baixo, no caso dos líquidos não molhantes.

Para um mesmo fluido, o fenómeno da capilaridade é tanto mais intenso quanto menor for o diâmetro do tubo.



*Figura 4-1 – Fenómeno da capilaridade observado num tubo de vidro mergulhado numa tina contendo um líquido molhante (p. ex.: água)*



*Figura 4-2 – Fenómeno da capilaridade observado num tubo de vidro mergulhado numa tina contendo um líquido não molhante (p. ex.: mercúrio)*

50

#### 4.2.2 Pressão hidrostática

Pressão (**p**) - É a relação entre uma determinada força e sua área de distribuição

$$p = \frac{F}{A}$$

Unidade de medida S.I.: N/m<sup>2</sup>, ou seja, Pa (pascal)

Outras unidades de medida tradicionais:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 10 \text{ m de H}_2\text{O} = 1 \text{ kg(f)/cm}^2$$

Unidade prática SI: **1 bar** = 10<sup>5</sup> Pa (≈ 10 m de H<sub>2</sub>O ≈ 1 kg(f)/cm<sup>2</sup>)

## 4.2.2.1 Pressão num ponto de um líquido

Considerando um recipiente com uma forma qualquer, cheio de um líquido:

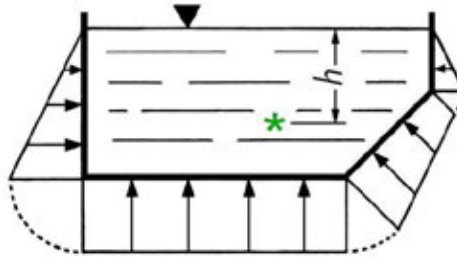


Figura 4-3 – Pressão num qualquer ponto \*, no seio de um líquido

A pressão num dado ponto (\*) desse líquido será dada por:

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

$$[ \text{Pa (N/m}^2\text{)} = \text{m} \times \text{kg/m}^3 \times \text{m/s}^2 ]$$

em que:

- P** – pressão no ponto de referência
- h** – altura do ponto de referência até à superfície livre do líquido
- $\rho$**  – massa específica do líquido
- g** – aceleração da gravidade

51

Facilmente se infere que, para um dado líquido e tomando a aceleração da gravidade como constante no local, “a pressão num dado ponto de um líquido é apenas consequência da altura da coluna de líquido e não da massa de líquido em causa”.

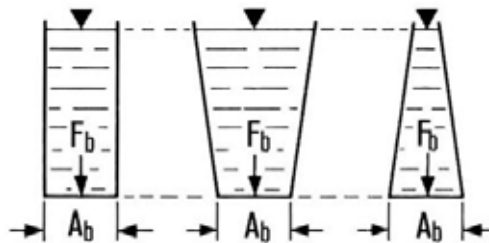


Figura 4-4 – A pressão no fundo de qualquer destes recipientes é independente da forma e do volume dos mesmos



#### 4.2.2 Vasos comunicantes

Sempre que um sistema de vasos comunicantes contenha um dado líquido isotrópico, o conjunto das superfícies livres do líquido, em qualquer dos ramos, define um plano horizontal.

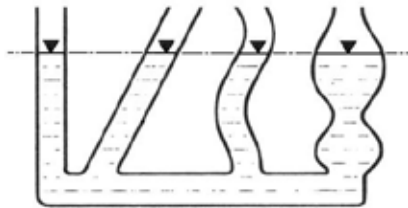


Figura 4-5 – Vasos comunicantes com o mesmo líquido

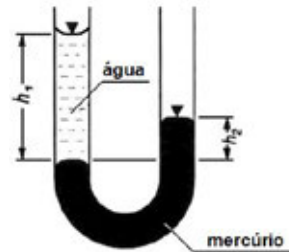


Figura 4-6 – Vasos comunicantes contendo líquidos não miscíveis de diferentes densidades

### 4.3 Hidrodinâmica

#### 4.3.1 Conceitos gerais

A Hidrodinâmica é o ramo da Hidráulica que trata do comportamento dos líquidos em movimento, designado como “escoamento”.

No âmbito deste documento, serão considerados dois tipos principais de escoamento:

- Escoamentos que se processam em regime de superfície livre do líquido, isto é, em contacto com o ar à pressão atmosférica, também designados como escoamentos em “canal aberto”;
- Escoamentos que se processam enchendo completamente a secção transversal da conduta, em regra na ausência de ar e havendo uma determinada pressão interna, situação também designada como de “conduta fechada cheia” ou “conduta sob pressão”.

#### 4.3.2 Escoamentos em superfície livre

Estes escoamentos podem ser “naturais”, como será o caso de um ribeiro, ou “artificiais”, como acontece nas levadas de água para irrigação ou nas condutas de drenagem de águas residuais.



Figura 4-7 – Um ribeiro: “canal aberto” natural



Figura 4-8 – Uma levada: “canal aberto” artificial

Dada a sua especificidade nas condutas de águas residuais, este tipo de escoamento será tratado em pormenor em capítulo posterior deste documento.

O conceito de “canal aberto”, como sinónimo de escoamento em regime de superfície livre, é independente da forma da conduta. Na figura que se segue, todas as condutas representadas estão em regime de “canal aberto”, independentemente de se encontrarem cobertas ou não.

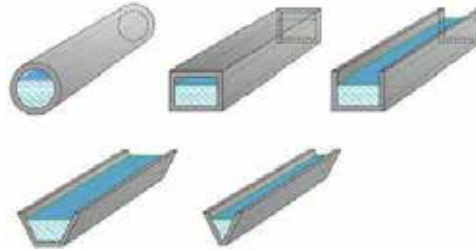


Figura 4-9 – Qualquer destas condutas está em regime de “canal aberto”

#### 4.3.3 Escoamentos em condutas sob pressão (“condutas fechadas cheias”)

Os regimes de escoamento em condutas sob pressão são os que acontecem normalmente numa rede de abastecimento de água, seja em condutas de adução (“em alta”) ou em condutas de distribuição (“em baixa”).



Figura 4-10 – Conduta de adução, em regime de “conduta fechada cheia”

##### 4.3.3.1 Princípio da constância de caudais

O princípio da constância de caudais diz que “o caudal que se escoia numa conduta fechada, depende apenas da velocidade do fluido e da área da secção reta da conduta, atravessada pelo fluido”

Ou seja:

$$Q = v \cdot A$$

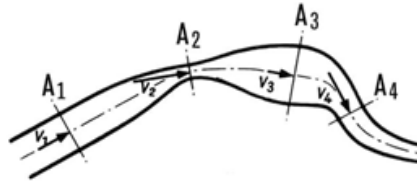
Unidade de medida S.I.: m<sup>3</sup>/s

$$[ \text{m}^3/\text{s} = \text{m}/\text{s} \times \text{m}^2 ]$$

em que:

- Q** – caudal em escoamento na conduta
- v** – velocidade do escoamento
- A** – área da secção transversal da conduta

O princípio da constância de caudais, quando aplicado a uma conduta fechada, de secção variável, evidencia que nas zonas onde existe estreitamento da secção a velocidade de escoamento aumenta, enquanto se reduz nas zonas de alargamento da secção. Ou seja:



$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = v_3 \cdot A_3 = v_4 \cdot A_4 = \text{const.}$$

Figura 4-11 – O caudal é constante ao longo da conduta

Para além da situação descrita, quando há necessidade de proceder a variações de secção da conduta – no caso de condutas circulares, isso traduz-se em variações no diâmetro – haverá que ter em atenção que essas variações não devem ser efectuadas de forma brusca, sob pena de se gerarem perturbações no escoamento

A figura seguinte ilustra o que acontecerá se as transições de diâmetro não forem efectuadas de forma suave.

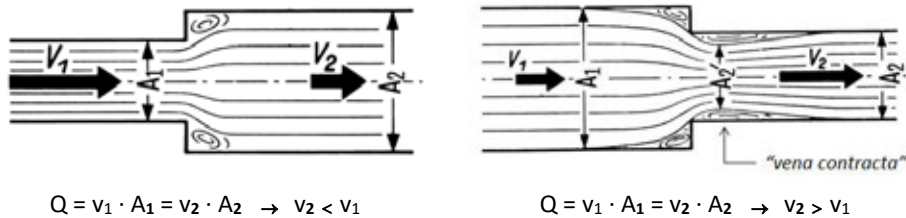


Figura 4-12 – As perturbações no escoamento traduzem-se por “perdas de carga”

Faz-se notar que as perturbações referidas são do tipo turbilhões, os quais constituem sorvedouros de energia, e que se traduzem por “perdas de carga” (“perdas de pressão”) na conduta. No caso particular da redução súbita de diâmetro, a inércia do fluido ainda conduz a uma auto-contracção suplementar, que costuma ser designada pelo termo latino “vena contracta”.

#### 4.3.3.2 Altura piezométrica e Teorema de Bernoulli

Considere-se uma linha de corrente de um escoamento em regime permanente <sup>12</sup>. Em cada ponto dessa linha de corrente, situado a uma cota, “z”, acima de um plano de referência, as diferentes partículas que, sucessivamente, ocupam esse ponto estão sujeitas a uma pressão, “p”, e estão animadas de uma velocidade, “v”, a que correspondem as condições energéticas definidas pelo Teorema de Bernoulli, o qual é dado pela expressão:

<sup>12</sup> Entende-se por “regime permanente” um regime de escoamento fora de fases transitórias.



$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = H_{\text{tot}} = \text{const.}$$

em que:

- z** – representa a cota acima do plano de referência
- p** – pressão no ponto considerado
- v** – velocidade de escoamento do fluido
- $\rho$**  – massa volúmica do fluido
- g** – aceleração da gravidade

As três parcelas da expressão, embora tendo a dimensão de um comprimento (altura) representam energias em cada ponto da linha de corrente, correspondendo à primeira parcela a energia potencial, à segunda parcela a energia piezométrica e à terceira parcela a energia cinética. “H” constitui assim a energia total de um dado ponto da linha de corrente.

Se se considerar uma linha de corrente horizontal, de um dado fluido, num mesmo local, os valores de “z”, “ $\rho$ ” e “g” são fixos, pelo que apenas poderá haver variação de “p” e de “v”:

$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = H_{\text{tot}} = \text{const.}$$

55

Nestas condições, a um aumento de velocidade corresponderá uma redução da pressão e também a sua inversa.

Uma aplicação imediata do Teorema de Bernoulli à medição de caudais encontra-se representada na figura seguinte:

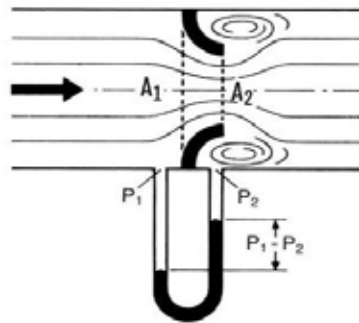


Figura 4-13 – Aplicação esquemática do Teorema de Bernoulli (caudalímetro diferencial ou deprimogéneo)

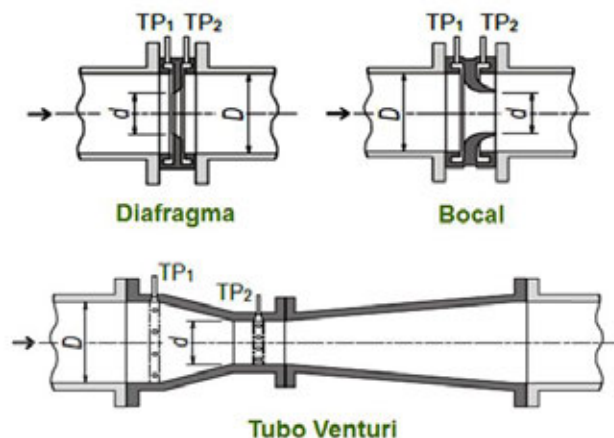


Figura 4-14 – Diferentes configurações construtivas de caudalímetros diferenciais <sup>13</sup>

#### 4.3.3.3 Escoamentos em regime laminar

Com baixas velocidades de escoamento, cada camada molecular do fluido desliza sobre as camadas adjacentes, sujeitas apenas às forças do atrito viscoso entre as camadas.

No caso de condutas de secção circular e considerando que, tratando-se um líquido molhante, a camada limite fica praticamente imóvel, “colada” à parede da conduta, as restantes camadas deslizam sobre as anteriores em velocidades aditivas crescentes, atingindo-se a velocidade máxima no eixo da conduta.

Se se representar a velocidade de cada camada pelo seu respectivo vetor, obtém-se a representação que se observa nas figuras seguintes e à qual se dá o nome de “perfil de velocidades”. Este perfil de velocidades tem uma distribuição do tipo parabólico:

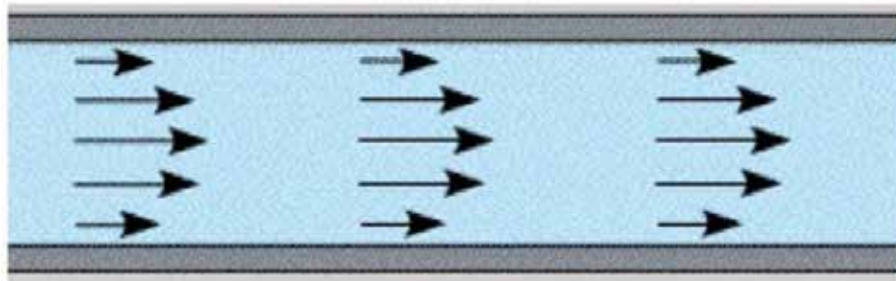


Figura 4-15 – Escoamento em regime laminar

<sup>13</sup> Desenho obtido no Guia Técnico n.º 9 (ERSAR) - Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas

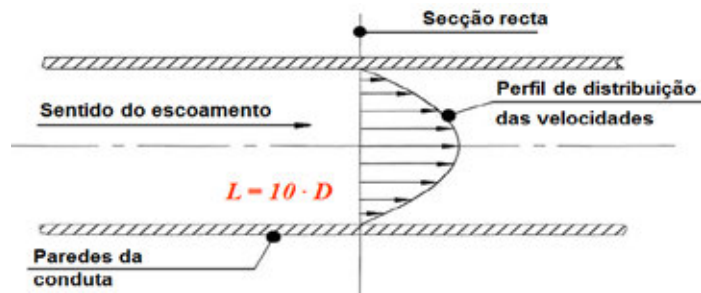


Figura 4-16 – Representação do perfil de velocidades em regime laminar

Como indicação de ordem prática, é suposto que, em regime laminar, o perfil de velocidades se encontre estabilizado no final de um troço reto de conduta com, pelo menos, um comprimento equivalente a dez vezes o valor do diâmetro da conduta, independentemente das perturbações que possam existir a montante desse troço.

#### 4.3.3.4 Escoamentos em regime turbulento

Para maiores velocidades de escoamento, as ligações viscosas entre as camadas moleculares começam a perder-se, pelo que as moléculas deixam de estar submetidas ao efeito de velocidades aditivas entre camadas. Ao mesmo tempo, também começam a ter trajetórias erráticas entre si.

Deste modo, para velocidades elevadas, e excetuando as moléculas da camada limite que continuam a tender a “colar-se” às paredes da conduta, todas as restantes são transportadas a velocidades sensivelmente idênticas:

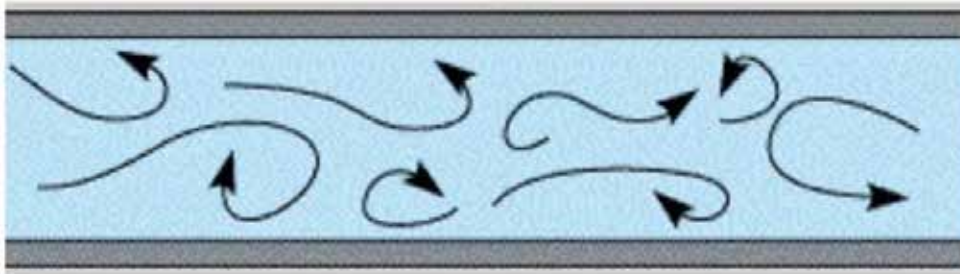


Figura 4-17 – Escoamento em regime turbulento

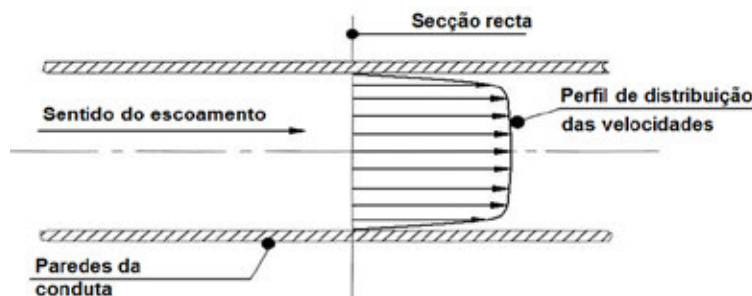


Figura 4-18 – Representação do perfil de velocidades em regime turbulento

#### 4.3.3.5 Número de Reynolds

O Número de Reynolds de um fluido é uma função adimensional que traduz a relação entre as forças de inércia e as forças de viscosidade que atuam sobre uma partícula desse fluido.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Unidade de medida SI: adimensional

$$[ 1 = (m/s \times m) / m^2/s ]$$

em que:

- d** – representa a dimensão característica (diâmetro, no caso de uma conduta de secção circular)
- v** – velocidade de escoamento do fluido
- $\nu$**  – viscosidade cinemática do fluido

O Número de Reynolds constitui um modo fácil de determinar se um escoamento se encontra em regime laminar ou turbulento, pois, na água:

- Escoamento laminar:  $Re < 2000$
- Escoamento turbulento:  $Re > 4000$

Naturalmente que a mudança de regimes não é súbita, pelo que haverá zonas de transição entre  $Re 2000$  e  $Re 4000$ .

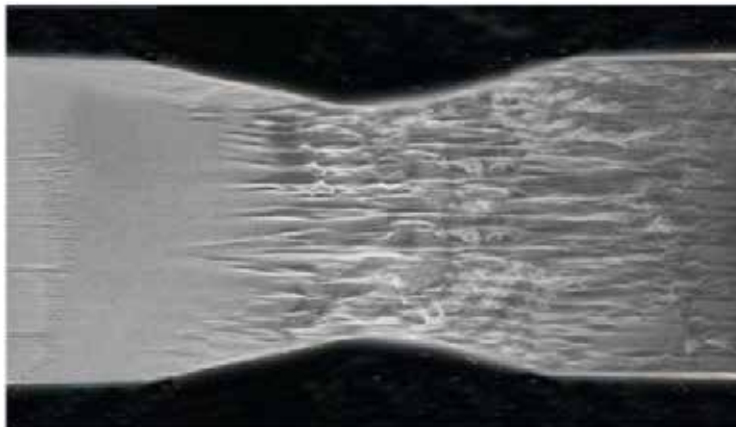


Figura 4-19 – Visualização da passagem de regime laminar a turbulento, em consequência do aumento de velocidade causado por um estreitamento

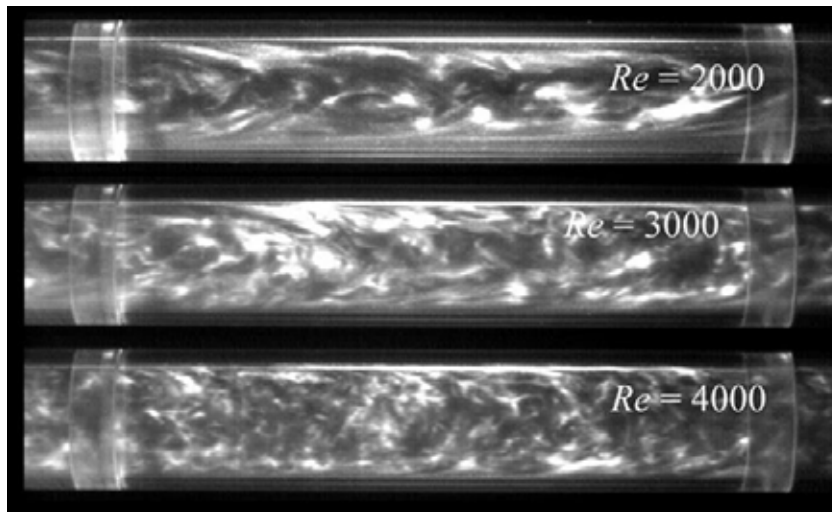


Figura 4-20 – Visualização das transições de regime laminar a turbulento para diferentes valores do Número de Reynolds

#### 4.3.3.6 Choque hidráulico

O choque hidráulico, vulgarmente denominado por “golpe de ariete”, resulta da redução súbita da velocidade de escoamento. Essa redução súbita pode ser total, caso resulte de um fecho brusco de uma válvula ou da paragem súbita de uma bomba (por exemplo, por falha de energia eléctrica).

No caso de um fecho brusco de uma válvula, existe uma massa de água, animada de uma determinada energia cinética, que é obrigada a parar muito rapidamente. Embora a água seja um líquido praticamente incompressível, existe alguma compressibilidade por via do ar que sempre se encontra dissolvido ou emulsionado. A energia acumulada junto à válvula que acabou de ser fechada vai gerar uma onda elástica (onda de choque) que se propaga no sentido contrário ao do movimento, isto é, para montante do escoamento.



Figura 4-21 – Representação esquemática da formação de um golpe de ariete

Caso se verifique uma paragem súbita de uma bomba, a massa de água a jusante da bomba tende a prosseguir por inércia, mas a água que está a montante da bomba já não será aspirada. Em consequência, vai formar-se uma depressão que poderá inclusivamente fazer colapsar a conduta por pressão negativa no seu interior; numa segunda fase, após se ter amortecido o movimento da água para jusante, esta irá retornar, sugada pela depressão criada. Esta situação também originará um golpe de ariete.

As ondas de choque dos golpes de ariete, que se propagam à velocidade do som na água, tenderiam a dissipar-se numa conduta de comprimento infinito; como, na realidade, existem singularidades nas condutas (curvas, “tês”, etc.), que constituem obstáculos, a onda de choque é refletida e retorna.

O tempo “*t*” de ida e volta da onda de choque será:

$$t = 2 L / V_s \quad [s]$$

em que:

**L** – representa o comprimento da conduta para montante, livre de obstáculos  
**V<sub>s</sub>** – velocidade do som na água (1480 m/s, a 20 °C)

A sobrepressão “ $\Delta p$ ” devida à onda de choque será:

$$\Delta p = \rho \cdot V_s \cdot (v_1 - v_2) \approx 1,5 \times 10^6 \cdot (v_1 - v_2) \quad [Pa]$$

em que:

**$\rho$**  – massa específica da água  
**V<sub>s</sub>** – velocidade do som na água  
**v<sub>1</sub> ; v<sub>2</sub>** – velocidades, inicial e final, da água no escoamento

#### 4.3.4 A problemática da presença de ar nas condutas

É um lugar-comum especular-se quanto aos efeitos da presença de ar nas condutas de abastecimento de água. Geralmente esta polémica cinde as opiniões em dois grandes grupos de argumentadores: do lado de quem fornece água, existe a tendência para desvalorizar a questão; do lado de quem a recebe – e paga –, o ar é tido como um dos maiores responsáveis pelos erros de medição, quase sempre interpretados no sentido do excesso de medição e da sua consequente sobrefaturação.

Na realidade, o ar é uma presença inerente à exploração de qualquer conduta de abastecimento de água, sendo, nuns casos, um inconveniente e, noutros casos, uma presença necessária. Importa, pois, ter a consciência que se tem de conviver com ele e, como tal, gerir a sua presença conforme as circunstâncias.

Assim, o primeiro passo será identificar as fontes de proveniência do ar numa conduta.

##### 4.3.4.1 Ar dissolvido naturalmente na água

A água presente na Natureza contém cerca de 1 a 2% (em volume) de ar dissolvido. Para se ter uma primeira aproximação a esta realidade, basta ter em conta que os peixes não respiram água, mas sim o ar que nela se encontra dissolvido.



*Figura 4-22 – Os peixes respiram o ar dissolvido na água*

A capacidade de a água dissolver ar (ou qualquer outro gás) aumenta com a pressão e com a diminuição da temperatura. Quando se retira do frigorífico uma garrafa de água gasificada e se abre a cápsula, provoca-se uma diminuição da pressão no seu interior; ao mesmo tempo, a temperatura da água vai começando a elevar-se, pelo que se observa o gás dissolvido a libertar-se sob a forma de bolhas.

Será ainda de referir um outro fenómeno devido ao ar dissolvido na água: o da formação de microbolhas, as quais se manifestam sob a forma de turvação. Este fenómeno também faz parte da vivência comum, pois toda a gente já teve a surpresa de, ao encher um copo de água numa torneira, observar que a água se apresenta com um aspecto “leitoso”.

Passados alguns segundos, observa-se que a água vai ficando mais límpida, a partir de baixo para cima; algum tempo depois, apresenta-se completamente límpida.



Massachusetts Water Resources Authority

*Figura 4-23 – Sequência de fotos onde se observa a evolução da libertação do ar dissolvido na água*

Faz-se notar que, na sequência de fotos, mostrada na Figura 4-23, não se observa qualquer variação do nível total de líquido no copo; esta observação é importante para outros aspectos da discussão sobre a implicação da eventual presença de ar nas condutas.

O fenómeno referido acontece geralmente em épocas frias, em que a água se encontra nos reservatórios a uma temperatura muito baixa. Como já atrás referido, a solubilidade do ar na água aumenta com o aumento da pressão e com a diminuição da temperatura.

Quando a água se escoar, a partir de um reservatório elevado em direção aos pontos de consumo, a pressão a que está submetida vai subindo, à medida que se reduz a respectiva

cota piezométrica. Embora a temperatura possa aumentar um pouco ao longo da conduta, o incremento da pressão irá manter ou até aumentar a solubilidade do ar na água.

Na proximidade de válvulas reductoras de pressão, e especialmente após as mesmas, o ar começa a tender para se separar da água, sob a forma de microbolhas. O efeito aumenta com o incremento da temperatura, quando a água chega ao ar livre, pelo que, se a água fosse recolhida, o copo ficaria cheio de uma água com o referido aspecto “leitoso”.

O fenómeno da turvação pelo ar não acontece apenas em atmosfera livre, embora seja nessas condições que é mais visível ao utilizador comum.

#### 4.3.4.2 Ar que entrou pelas ventosas

Em situações de depressão, originadas por refluxo da água, é necessário que se dê admissão de ar nas condutas, através das ventosas adequadas e instaladas para esse efeito, a fim de se evitar o eventual colapso da conduta.

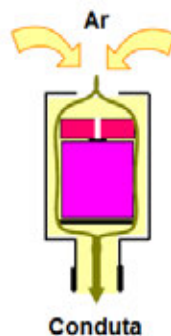


Figura 4-24 – Admissão de ar na conduta, através da ventosa

Naturalmente que, após a reposição da pressão na conduta, é necessário que o ar admitido possa sair, função que também será assegurada pelas ventosas.

#### 4.3.4.3 Ar que foi sugado por sistemas de bombagem

A água que é bombada por sucção, a partir de poços ou reservatórios, geralmente arrasta ar consigo.

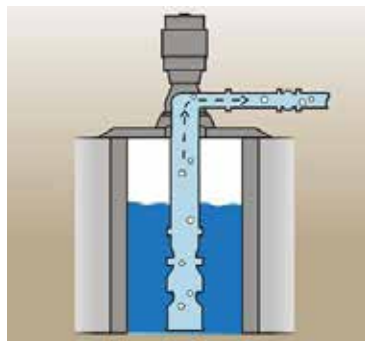


Figura 4-25 – Admissão de ar na conduta, sugado pela bomba



#### 4.3.4.4 Ar que foi sugado por vórtices nos reservatórios

Quando o nível do reservatório baixa muito, e se o caudal solicitado for elevado, pode haver a formação de vórtices que sugam ar para o interior da conduta.



Figura 4-26 – Formação de vórtices por sucção

#### 4.3.4.5 Ar existente em condutas vazias

Na operação de enchimento de uma conduta vazia, o ar que se encontra no seu interior tende a ser “empurrado” pela água, até escapar por onde for possível.

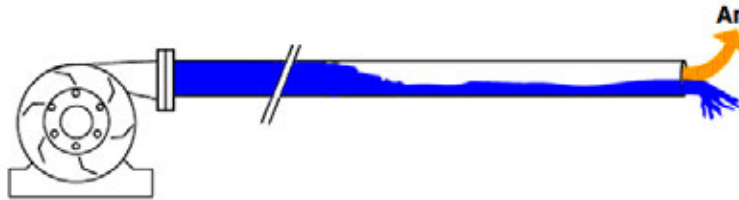


Figura 4-27 – Ar no interior de condutas vazias

#### 4.3.4.6 Ar aspirado por roturas nas condutas

À primeira vista, numa situação de rotura numa conduta, a pressão no interior da conduta será superior à pressão atmosférica e a água sairá.

No entanto, se existirem situações de depressão – aliás, a rotura até poderá ter sido provocada por colapso devido a uma depressão –, o ar será aspirado através do orifício ou fenda da rotura.

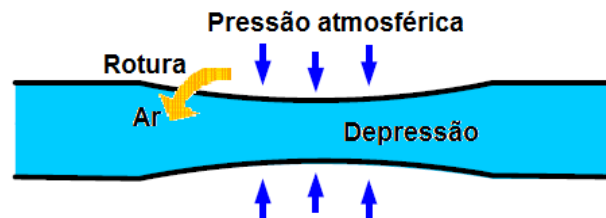


Figura 4-28 – Ar aspirado por rotura na conduta

#### 4.3.5 Gestão da presença de ar nas condutas

A presença de ar numa conduta de abastecimento de água, em serviço, será sempre nefasta, quer do ponto de vista das condições de exploração da conduta quer da eventual influência que o ar possa exercer nos equipamentos de medição. Todavia, como já anteriormente observado, em determinadas condições é conveniente e necessário deixar entrar ar nas condutas.

Trata-se, pois, de criar sistemas que permitam que o ar entre, quando necessário, e que ajudem depois a expulsá-lo. Os principais dispositivos utilizados para o efeito são válvulas de purga de ar (correntemente conhecidas por “ventosas”), especialmente concebidas para permitir a entrada e saída do ar, sempre que tal se revele necessário.

Para além das diversas soluções construtivas que os fabricantes têm implementado, as ventosas podem ser classificadas em três grandes grupos, segundo a sua forma de atuar:

- Ventosas de simples efeito;
- Ventosas de duplo efeito;
- Ventosas de triplo efeito.

Seguidamente, analisam-se algumas das situações mais comuns de utilização destes dispositivos.

##### 4.3.5.1 Abastecimento gravítico de um reservatório a partir de outro

Considere-se a situação esquematizada na seguinte sequência de figuras 4-29, em que o reservatório elevado **R1** vai descarregar para um reservatório **R2**, situado a uma cota inferior, através de uma conduta que segue o perfil da orografia do terreno:

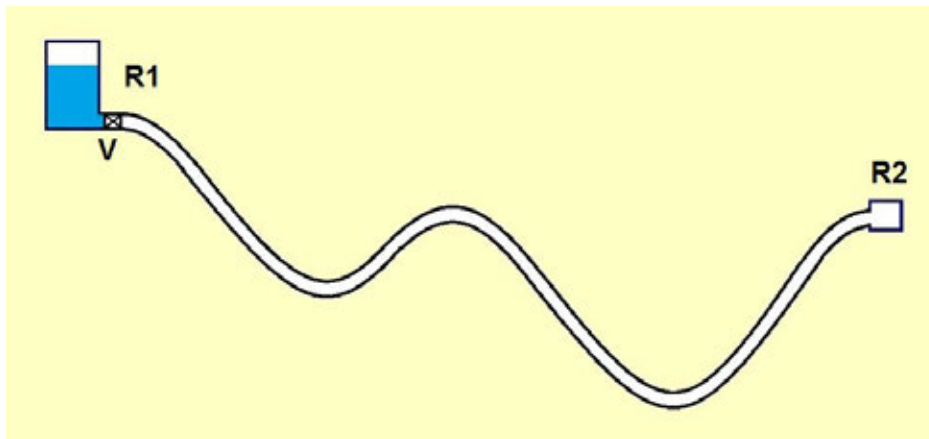


Figura 4-29a – Sistema adutor gravítico - particularidades do escoamento

Uma vez aberta a válvula **V**, a água começa a escoar e vai enchendo a conduta até ao ponto **A**.

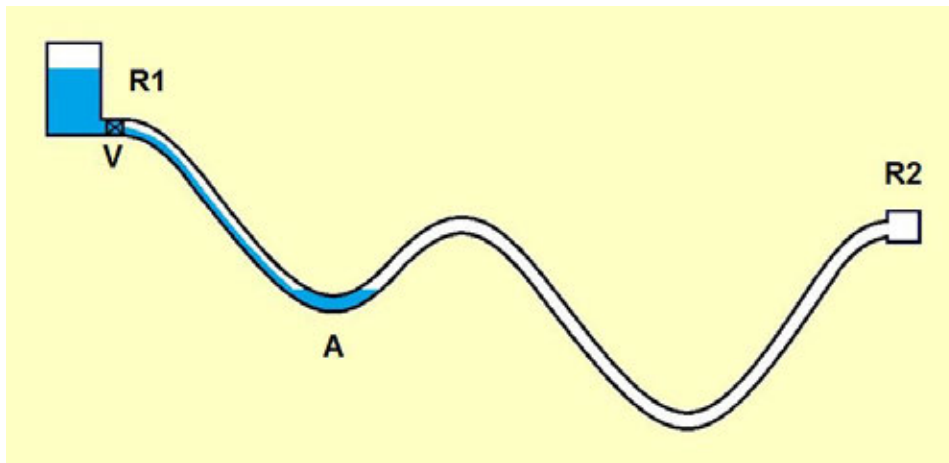


Figura 4-29b – Sistema adutor gravítico - particularidades do escoamento

Prosseguindo o enchimento, a água atinge o ponto B e vai escoar para o ponto C, enchendo até uma certa cota C'.

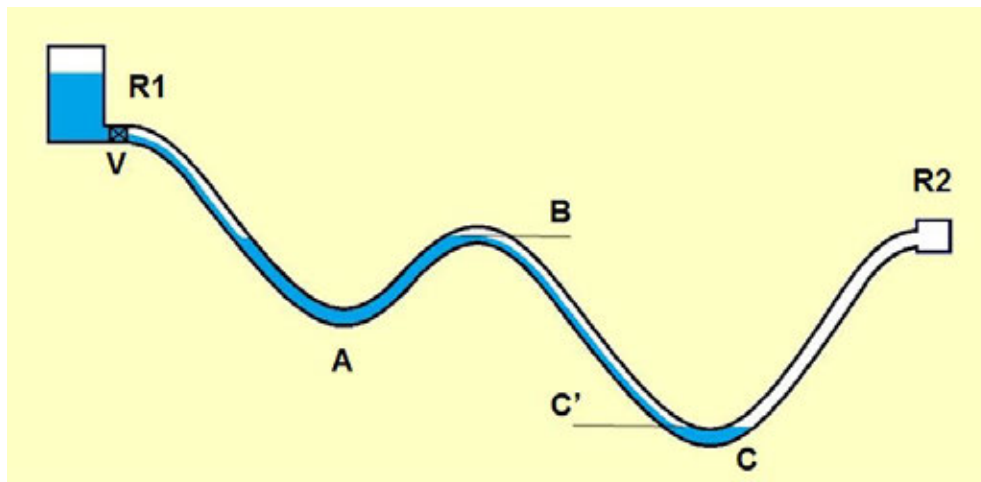


Figura 4-29c – Sistema adutor gravítico - particularidades do escoamento

Continuando o enchimento, a água irá atingir um certo ponto D onde a coluna de água  $h$  equilibra a pressão da bolsa de ar contida entre C'' e B. Nesta altura, o escoamento pára!

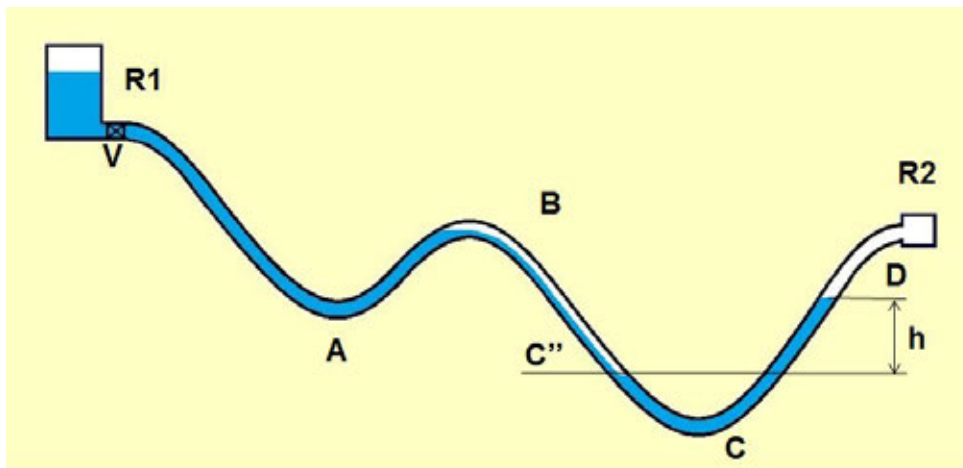


Figura 4-29d – Sistema adutor gravítico - particularidades do escoamento

Diz-se então que se criou um “tampão de ar”, bloqueando a continuidade do escoamento!

O que fazer para ultrapassar esta situação?

Pode-se, por exemplo, aumentar a pressão a montante, com uma bomba **P**, a qual irá “empurrar” o tampão de ar até que ele saia pelo reservatório **R2**. Mas, será que se estará a utilizar uma solução tecnicamente válida?

66

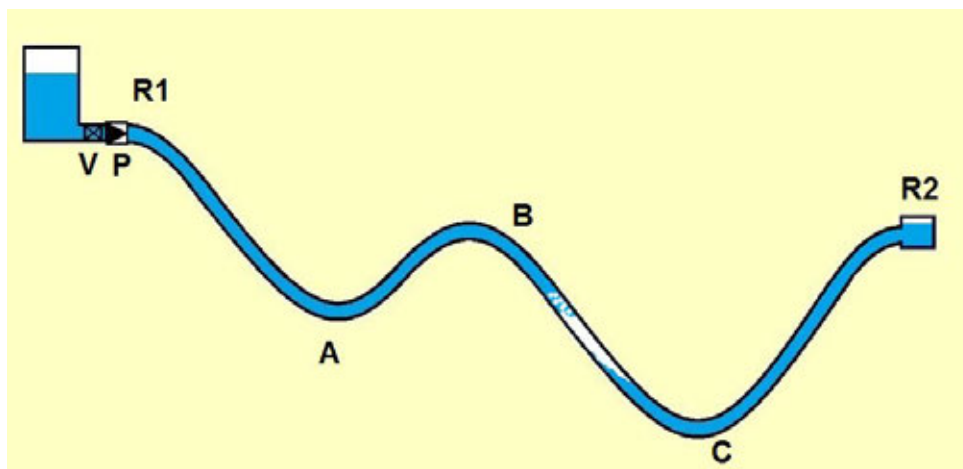


Figura 4-29e – Sistema adutor gravítico - particularidades do escoamento

A resposta será que obviamente não! Com efeito, se existe um problema causado pela presença de ar retido, a solução tecnicamente correcta será eliminar esse ar, instalando uma ventosa no ponto alto **B**, a qual irá permitir a saída do ar retido nesse troço de conduta.

Faz-se notar que, embora o ponto **D** também configure um ponto alto, não necessitará de ventosa, pois o próprio reservatório fará essa função.



Figura 4-29f – Sistema adutor gravítico - particularidades do escoamento

No entanto, se existir um medidor à entrada do reservatório R2, será necessário instalar uma ventosa a montante do medidor, a fim de evitar que bolsas de ar atravessem o referido medidor.

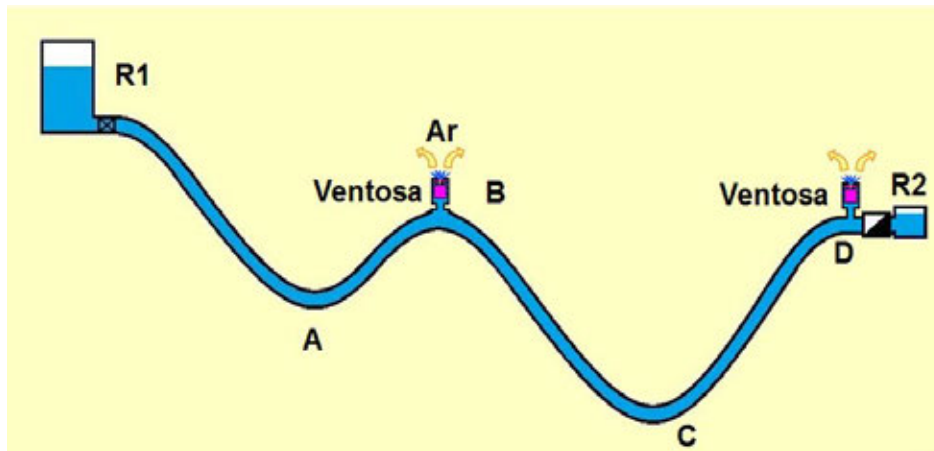


Figura 4-29g – Sistema adutor gravítico - particularidades do escoamento

#### 4.3.5.2 “Bolsas” de ar e depressões nas condutas

Conforme anteriormente demonstrado, os “tampões de ar” (que são *bolsas de ar*), ainda que não atinjam a situação extrema de provocar a paragem do escoamento, são um evidente fator de perda de carga, pois exigem energia adicional para assegurar o seu arrastamento.

De um modo geral, as bolsas de ar e as zonas de depressão são também um perigoso fator gerador de golpes de ariete.

As depressões surgem, entre outros motivos, quando se fecha uma válvula de corte e se esvazia a condução; a jusante dessa válvula cria-se uma depressão que pode causar o colapso da condução.

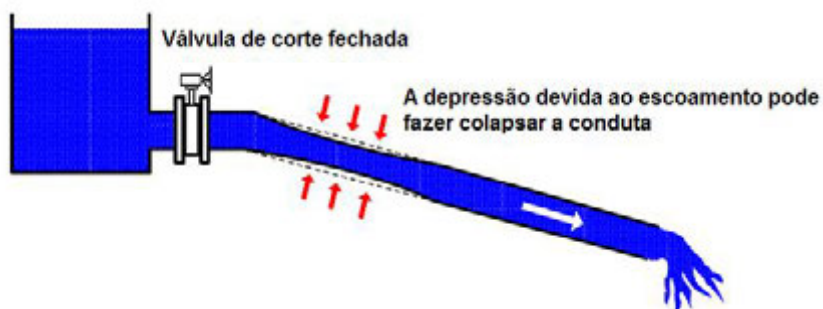


Figura 4-30 – Depressão causada pelo esvaziamento da conduta

Considere-se agora uma situação esquematizada na seguinte sequência de figuras 4-31, com uma instalação similar ao caso anterior, mas onde uma estação elevatória vai abastecer um reservatório, mediante uma conduta que segue o perfil orográfico do terreno que medeia as duas infraestruturas. Considere-se, ainda, que a bombagem está em funcionamento e a conduta está plenamente cheia, sem bolsas de ar no seu interior.

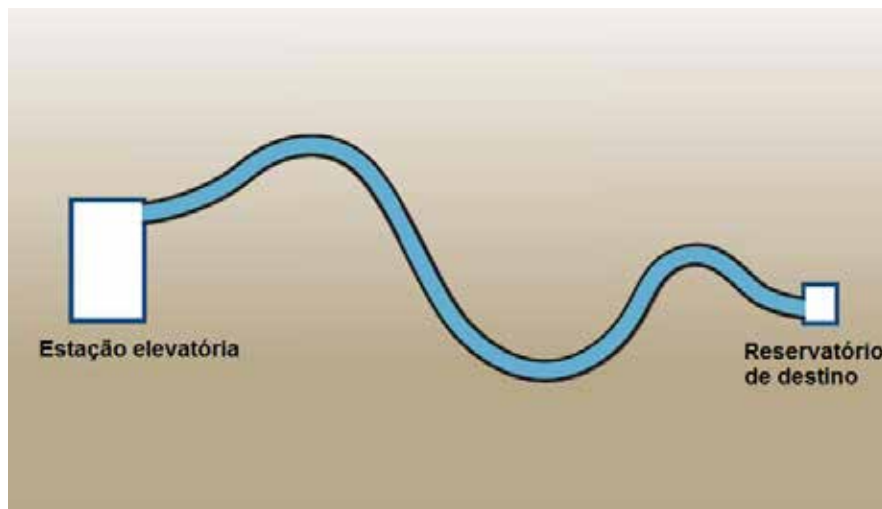


Figura 4-31a – Abastecimento de um reservatório por bombagem

Ao fim de um certo tempo de funcionamento, e pelas razões já explicadas, inevitavelmente haverá acumulação de bolhas de ar nos pontos altos, as quais, entre outros motivos, poderão advir da separação de fases que ocorre com variações de pressão e de temperatura.

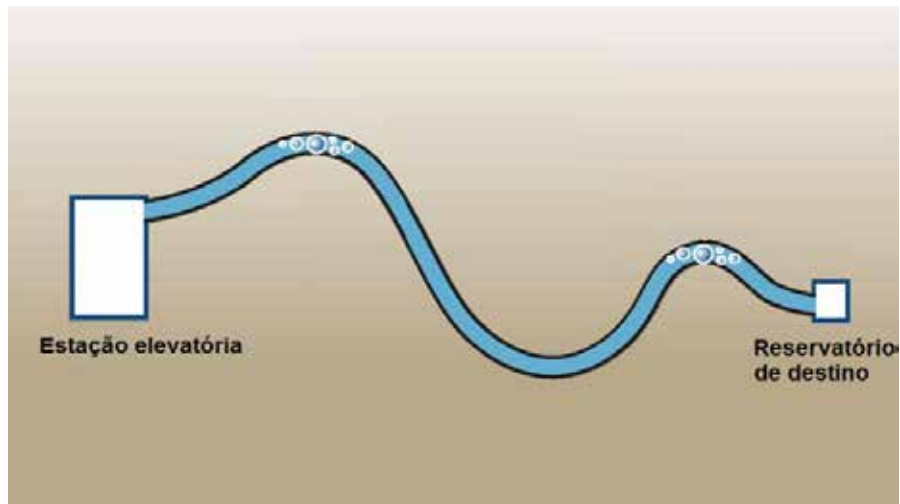


Figura 4-31b – Acumulação de bolsas de ar nos pontos altos

A simples instalação de válvulas de purga de ar (ventosas de “simples efeito”) eliminará as bolsas de ar acumuladas nos pontos altos.

Considere-se, agora, outra situação com as mesmas condições de funcionamento anteriormente expostas, mas em que as ventosas não foram ainda instaladas. Se existir uma paragem da bombagem, a conduta é parcialmente drenada pela água que continua a escoar-se para o reservatório de destino.

A drenagem da conduta irá originar zonas de depressão nos pontos altos, as quais podem, eventualmente, provocar o colapso das tubagens da conduta.



Figura 4-31c – Criação de zonas depressionárias com a paragem da bombagem

Quando a bombagem voltar a arrancar, as zonas depressionárias serão preenchidas.

As bolsas de ar, para além dos seus inconvenientes já debatidos, constituem “almofadas” de amortecimento; na sua ausência, as zonas de depressão serão rapidamente preenchidas havendo forte choque, quando os diferentes troços de água se encontram.

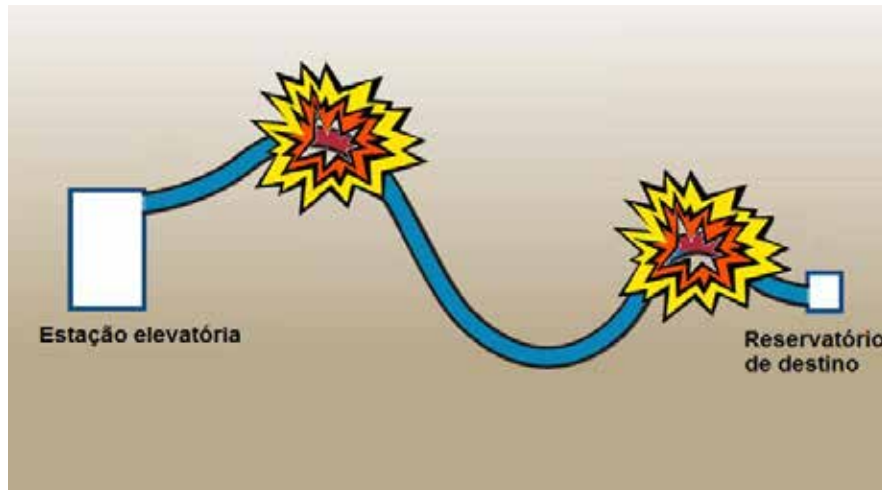


Figura 4-31d – Choques hidráulicos quando as zonas depressionárias são preenchidas com água

70

A instalação de válvulas de purga que, para além da saída do ar, também permitam a respetiva entrada (ventosas de “duplo efeito”), nos casos de paragem da bombagem, possibilitará que as zonas de depressão sejam preenchidas com ar.

Assim, quando a bombagem for retomada, e sendo o ar um fluido muito menos denso e viscoso do que a água, ele irá tender a sair muito rapidamente pelas ventosas - devendo estas ser dimensionadas de modo a controlar a velocidade de escape do ar. Neste contexto, embora o retorno da água seja muito mais amortecido que no caso anterior, quando o líquido chegar às ventosas, não vai conseguir sair e acontecerão, ainda assim, alguns golpes de ariete.

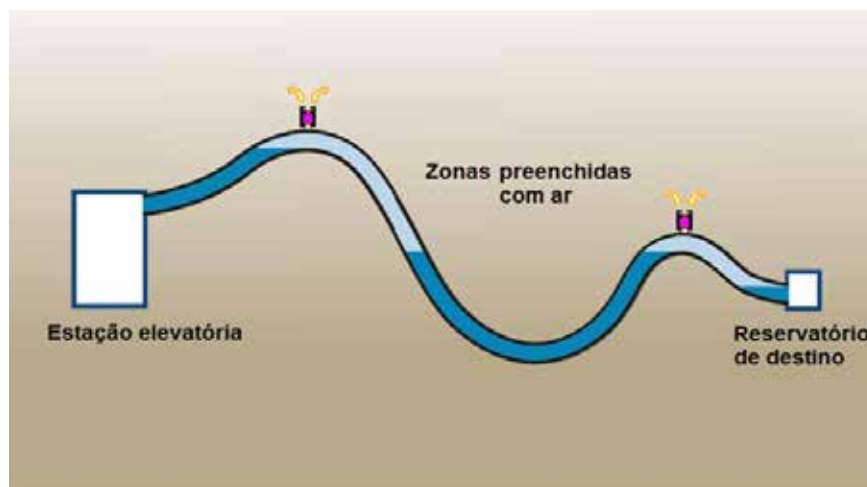


Figura 4-31e – A instalação de ventosas adequadas reduz os choques hidráulicos



Embora esta situação seja inevitável, poderá ser fortemente minimizada se forem usadas ventosas ditas de “triplo efeito”, as quais permitem controlar o fecho da saída de ar, tornando-o, deste modo, um pouco mais suave.

#### 4.3.5.3 Funcionamento das ventosas

Como referido anteriormente, as ventosas podem ser de “simples”, “duplo” ou “triplo efeito”:

- *Ventosas de “simples efeito” (“air release valves”)*

São válvulas de purga, de pequena secção de passagem, que permitem deixar sair, paulatinamente e em permanência, pequenas bolhas de ar que vão aparecendo na água.

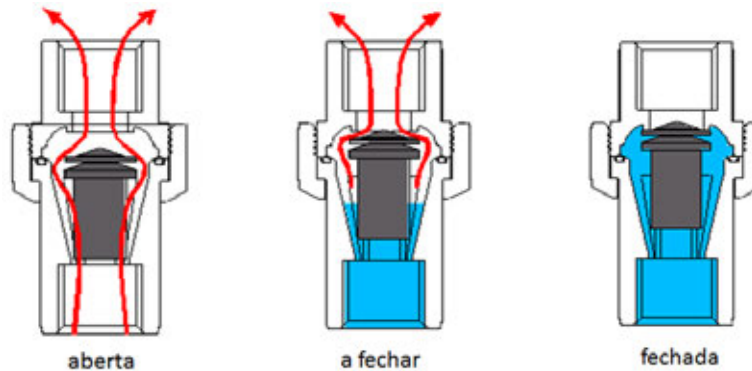


Figura 4-32 – Funcionamento de uma ventosa de simples efeito

- *Ventosas de “duplo efeito” (“air & vacuum valves”)*

São válvulas, de secção de passagem considerável, que permitem deixar sair rapidamente o ar contido numa conduta que se esvaziou, permitindo também admitir ar, em caso de depressão.

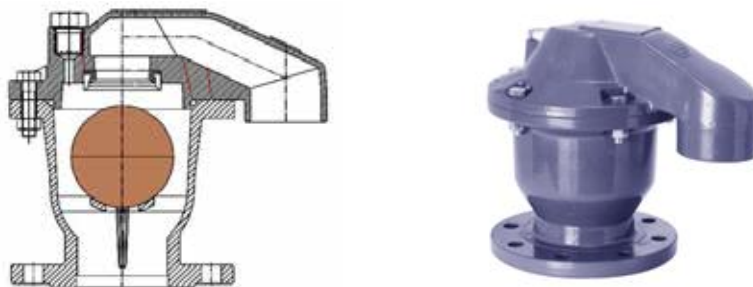


Figura 4-33 – Funcionamento de uma ventosa de duplo efeito

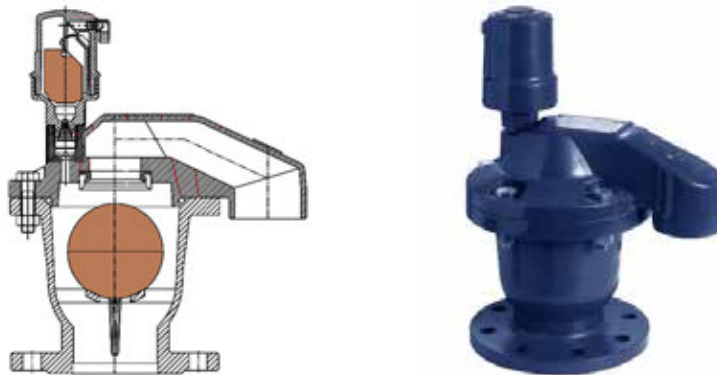
- *Ventosas de “triplo efeito” (“combination air valves”)*

São válvulas que, para além de fazerem a função de “duplo efeito”, também permitem deixar sair lentamente as bolhas gasosas.

A figura abaixo, permite observar a solução construtiva de um dado fabricante, em que o “triplo efeito” é conseguido combinando uma ventosa de “duplo efeito” com uma de “simples efeito”.

Efectivamente, a função realizada consiste em deixar sair rapidamente os grandes volumes de ar e, quando a água chega ao ponto de começar a fechar a grande ventosa, fica ainda um volume de ar, mais pequeno, a escapar-se lentamente pela pequena ventosa, conseguindo, assim, o efeito de amortecimento final e reduzindo o golpe de ariete.

Depois, quando em funcionamento em carga, será ainda a pequena ventosa a deixar sair as bolhas de ar que vão surgindo.



*Figura 4-34 – Funcionamento de uma ventosa de triplo efeito*

- Página em branco -

Linha 2



## 5 Medidores de caudal e contadores de água

### 5.1 Aspectos gerais

Como anteriormente referido, a título de exemplo, os povos do Antigo Egipto realizaram importantes obras hidráulicas com o objetivo de controlar e melhor aproveitar as cheias periódicas do Nilo. Os vestígios arqueológicos dessas obras evidenciam a preocupação de procurar quantificar a água que era distribuída pelas terras irrigadas, visando, naturalmente, fazer incidir sobre os proprietários dessas terras a taxaço de tal benefício.

Estava, portanto, iniciado um processo comercial de distribuição de água, o qual implicava meios de medição e de monitorização de caudais (leituras).

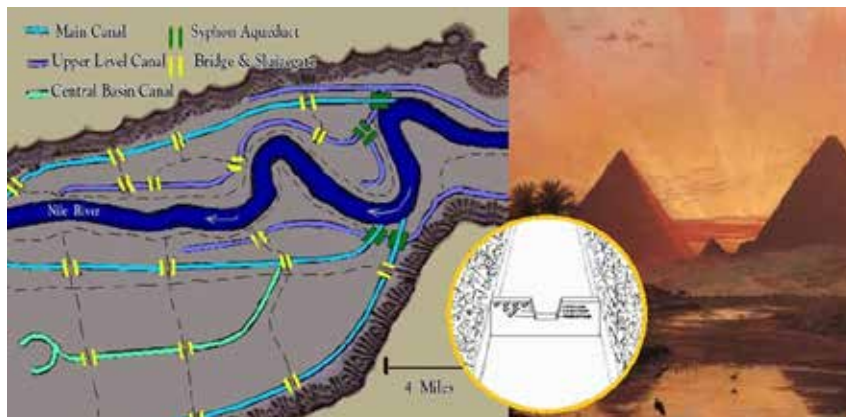


Figura 5-1 – Obras de hidráulica e sistema de medição no Antigo Egipto

Os sistemas de medição utilizados consistiam em introduzir determinados tipos de estrangulamento nos canais de irrigação – que nos tempos modernos se designam por “descarregadores” – e que ainda hoje se usam em levadas de água ou em condutas de drenagem de efluentes.

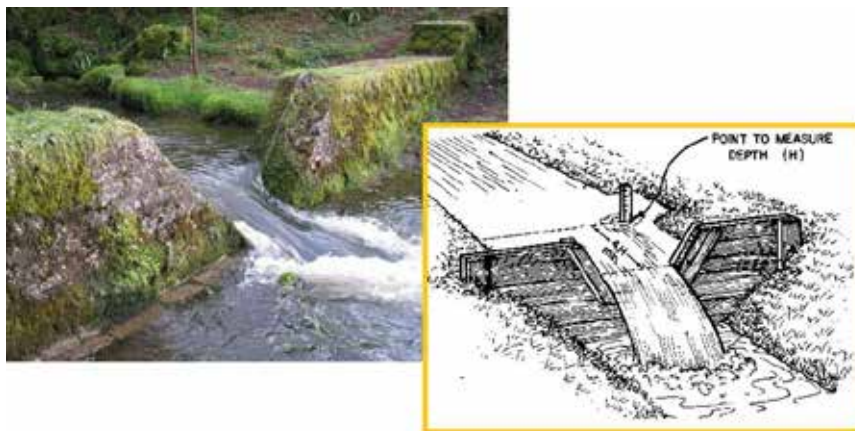


Figura 5-2 – Sistema medidor da água utilizado ao longo dos tempos – “descarregador”



Figura 5-3 – Descarregadores de medição usados nos tempos modernos

Os sistemas atrás referidos são designados como “escoamentos em superfície livre” ou, também, como “escoamentos em canal aberto”, regime que, atualmente, ainda é o mais comum nos sistemas de drenagem das águas residuais – embora em situações pontuais também exista o regime de conduta fechada cheia (por exemplo, na saída de estações elevatórias).

Nos sistemas de abastecimento de água, o regime de escoamento dominante é o de “conduta fechada cheia”.

## 5.2 Princípios de medição

Na medição dos volumes de água, em trânsito nas condutas, existem basicamente dois princípios de medição:

- Medição directa do volume de água passada (princípio volumétrico);
- Medição indirecta do volume, mediante a avaliação da velocidade do escoamento (princípio velocimétrico).

Estes princípios tanto são válidos para a medição em canais abertos como para a medição em condutas fechadas cheias.

## 5.3 Tipos de contadores para condutas fechadas cheias

Neste documento, os instrumentos aplicados na medição do volume de água de abastecimento são vulgarmente designados por “contadores”.

Naturalmente que, havendo dois princípios de medição, existirão contadores funcionando segundo cada um desses modos, originando diversas tecnologias que utilizam esses princípios:

- Contadores ditos “volumétricos”
  - De disco nutante
  - De êmbolo oscilante
- Contadores ditos “de velocidade”
  - Turbina monojacto
  - Turbina multijacto
  - Turbina helicoidal (woltmann)
  - Caudalímetros
    - Electromagnéticos
    - Ultrassónicos
    - Outros<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Muitos outros fenómenos da Física podem ser utilizados para realizar caudalímetros; no entanto, na Indústria da Água, são os dois primeiros os mais correntemente aplicados.

Convirá sublinhar que, embora haja uma tradição instituída de designar como “caudalímetro” um equipamento de tipo estático (eletrónico), destinado primariamente a proceder a medições instantâneas do valor do caudal passante, esses equipamentos têm vindo a ser cada vez mais utilizados como “contadores” do volume de água passado.

Assim, de forma genérica:

“Contador de água” – Instrumento concebido para medir de forma contínua, registar e indicar o volume de água que passa através do respetivo transdutor de medição, nas condições normais de funcionamento.

(segundo a definição 3.1.1 da Norma NP EN ISO 4064-1:2018)

Um contador inclui, pelo menos, o transdutor de medição, o calculador (incluindo um dispositivo de ajuste ou correcção, caso exista) e um dispositivo indicador. Estes três dispositivos podem estar em alojamentos diferentes.

### 5.3.1 Contadores volumétricos

#### 5.3.1.1 Contador de “ar livre”

Nos primórdios da distribuição de água, a filosofia então subjacente – também condicionada à tecnologia existente na época – consistia em “levar o chafariz para dentro de casa”, situação que, sem dúvida, constituía uma melhoria considerável da comodidade das condições de abastecimento, mas que, na prática, só era aplicável a edifícios de alguma importância.

Com a massificação da distribuição domiciliária de água nos centros urbanos, a solução encontrada para a medição da água entregue, foi o contador dito de “ar livre”, o qual consistia essencialmente num reservatório com válvula de flutuador (à semelhança dos atuais autoclismos) e uma torneira onde o utilizador ia servir-se da água.

À medida que parte da água do reservatório ia sendo gasta, outra entrava, caindo sobre um dispositivo constituído por dois recipientes basculantes. Quando um dos recipientes se encontrava cheio, basculava, despejando a água recebida, e ficava o outro recipiente em posição para receber água; a partir daí, um sistema de totalizador registava o número de basculamentos (e, conseqüentemente, a quantidade de “volumes cíclicos”) do dispositivo medidor, apresentando num mostrador o valor acumulado do volume passado.

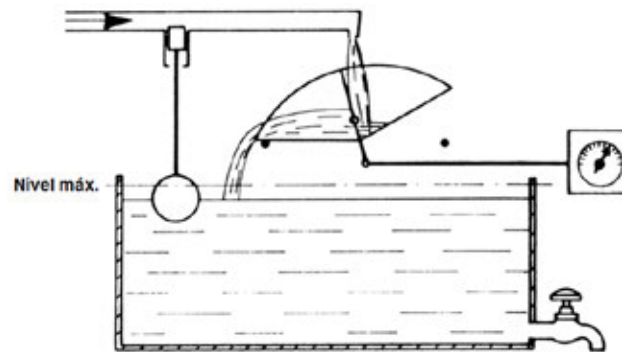


Figura 5-4 – Representação esquemática de um contador volumétrico de “ar livre”

Estes contadores eram habitualmente instalados nas cozinhas das habitações, que também eram o compartimento da casa onde o abastecimento de água se fazia.



Estes equipamentos de medição ficaram popularizados, na gíria popular, como os contadores “Bastos”, em consequência do nome do fabricante português, que os produzia sob licença de uma marca francesa.



Figura 5-5 – Contador “Bastos”



Figura 5-6 – Imagem de uma cena de um filme português, “A Canção de Lisboa” (1933), onde se pode observar um contador “Bastos” instalado numa cozinha e a funcionar (observa-se a torneira a deitar água).

É importante reter o conceito de que um contador volumétrico, no seu funcionamento, não segue quaisquer leis da Hidráulica; efetivamente funciona medindo a água “a baldes”!

Do mesmo modo, se hipoteticamente se pretendesse medir a água retirada de um poço por uma “nora” de rega, seria possível criar um fator de correlação, considerando o volume de cada alcatruz, o número de alcatruzes da nora e aplicando um contador de voltas no eixo que é tracionado pela animal de carga. Ter-se-ia, assim, um contador volumétrico!

Mais uma vez, o conceito de medir água “a baldes”...





*Figura 5-7 – Uma “nora” de tirar água do poço poderia (hipoteticamente...) ser utilizada como contador volumétrico!*



*Figura 5-8 – Representação simbólica do conceito de medição volumétrica “a baldes”*

#### 5.3.1.2 Contador de “disco nutante”

Trata-se de um contador cuja solução construtiva passa por uma “câmara volumétrica” em forma de zona esférica, no interior da qual existe um disco que oscila, tendo uma rótula no seu centro.

Cinematicamente, o típico movimento de oscilação que este disco executa, por ação da água que o impulsiona, é designado por “movimento de natação”, por ser do mesmo tipo do movimento similar de oscilação do eixo da Terra, na sua órbita em torno do Sol.

O seu “volume cíclico” consiste na quantidade de água transportada numa oscilação completa do disco.

Este tipo de contador é bastante utilizado nos Estados Unidos da América, mas não tem conquistado adeptos fora dessa área geográfica. Contra ele tem o facto de a sua câmara volumétrica não admitir grandes velocidades, o que obriga a volumes cíclicos consideravelmente grandes, com o conseqüente aumento do “bojo” do corpo do contador, mesmo em aplicações de tipo residencial (DN 15 ou DN 20).



Figura 5-9 – Contador volumétrico de “disco nutante”

### 5.3.1.3 Contador de “êmbolo oscilante”

Este é o modelo construtivo de contador volumétrico que se popularizou praticamente por todo o mundo (exceção aos EUA, como já referido).

A sua solução construtiva passa por uma câmara volumétrica circular, no interior da qual existe um êmbolo oscilante, também circular, com um rasgo, e que se move guiado por uma peça de forma laminar, nesse rasgo.



Figura 5-10 – Representação esquemática do funcionamento de uma câmara volumétrica de êmbolo oscilante

A água entra por uma ou mais janelas no fundo da caixa da câmara, do lado da entrada, impele o movimento do êmbolo e é transportada por este para o lado da saída, escoando-se pelas janelas correspondentes, simetricamente opostas, situadas na tampa da câmara (não representada na figura 5-10).



Figura 5-11 – Câmara volumétrica de êmbolo oscilante (tampa, êmbolo e câmara)



Figura 5-12 – Câmara volumétrica de êmbolo oscilante (tampa e êmbolo colocado na câmara)

### Representação esquemática da cinemática da câmara volumétrica

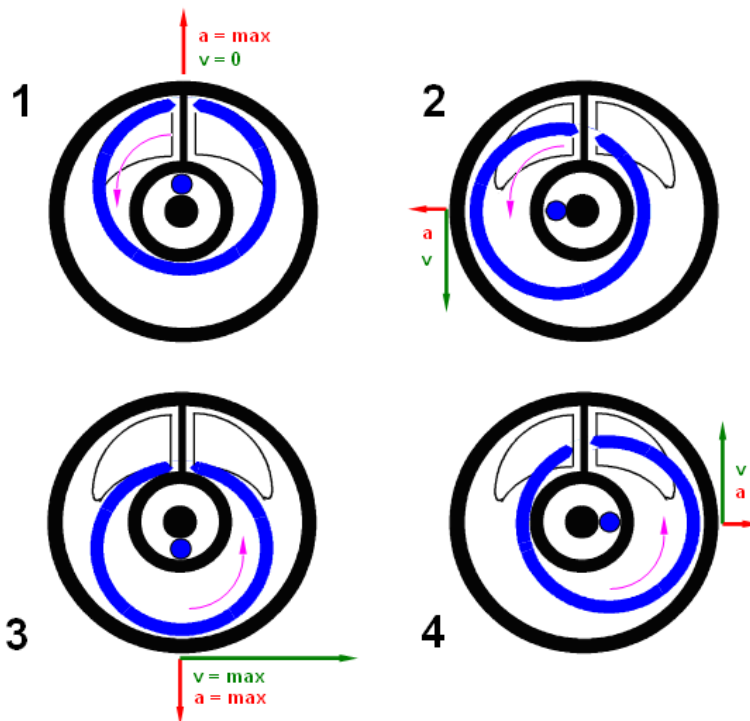


Figura 5-13 – Comportamento cinemático do êmbolo (representado a azul), no seu movimento oscilatório no interior da câmara (representada a preto). Também estão indicados os valores relativos da velocidade tangencial e da aceleração centrífuga do êmbolo em quatro tempos do seu movimento.

**Nota:** Realça-se que a câmara volumétrica tem um funcionamento completamente simétrico e reversível.

Na Figura 5-13, observa-se uma câmara representada com o êmbolo a oscilar segundo um movimento em deslocação para a esquerda; mas poderia ser em deslocação para a direita que não haveria qualquer diferença. Essas deslocações traduzem-se em rotações do eixo central da câmara, situado na tampa, o qual é acionado pelo êmbolo.

Na prática, em função do que for optado pelo respectivo fabricante, poderá haver contadores com câmaras a rodar à esquerda ou à direita; modelos diferentes que, usando a mesma câmara, poderão uns rodar à esquerda e outros à direita. Também a água poderá entrar pelas janelas inferiores da câmara e sair pelas janelas superiores (situadas na tampa), ou vice-versa.

Significa isto que um contador volumétrico é completamente reversível, podendo funcionar nos dois sentidos, sem que, em princípio, haja diferenças metrológicas sensíveis entre os dois sentidos de movimento.

A figura seguinte retoma a representação esquemática anterior, mas evidencia a movimentação da água no interior da câmara através de cores diferentes.

Como se pode constatar, nunca existe qualquer comunicação directa entre as janelas de entrada de água e as de saída; nos instantes 1 e 3, existe um volume de água (assinalado a amarelo) que não está nem em comunicação com a entrada nem com a saída.

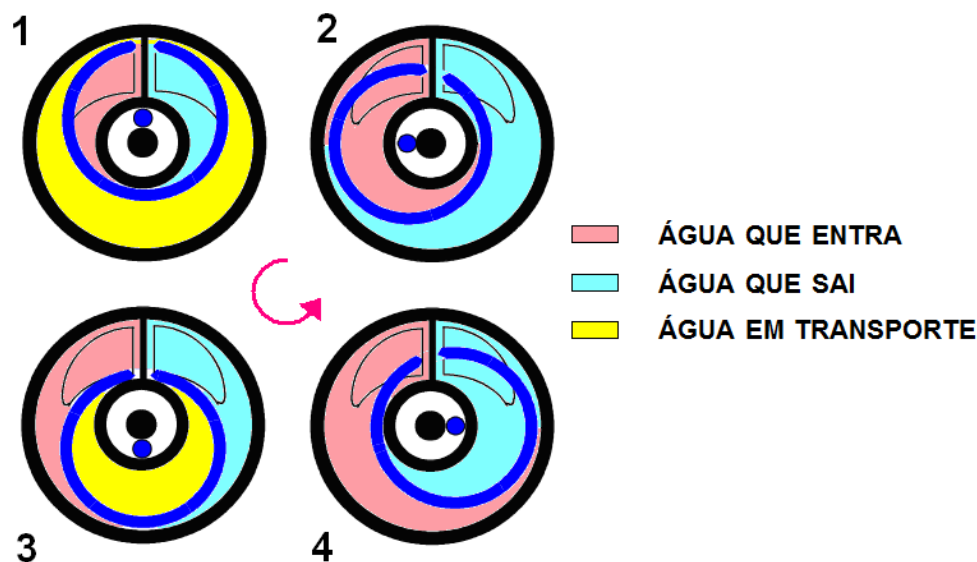
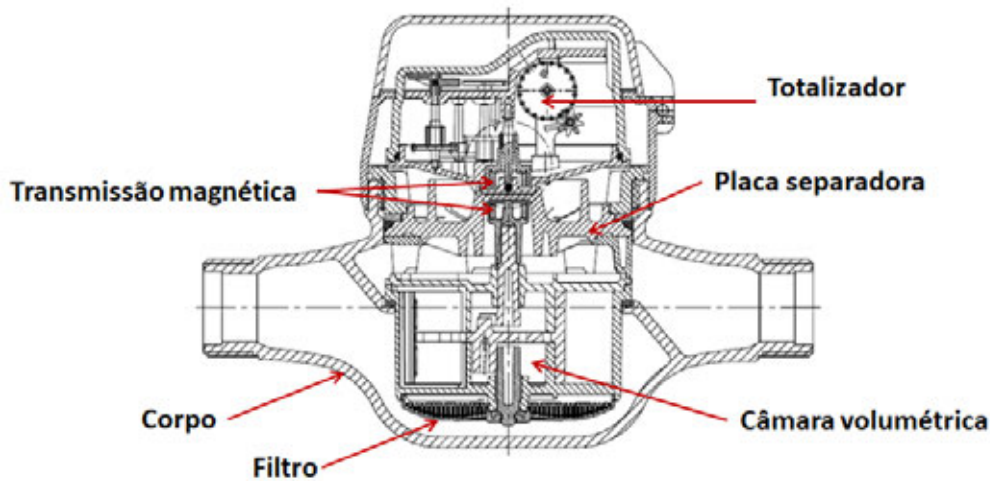


Figura 5-14 – Representação da movimentação da água no interior da câmara volumétrica

Também se faz notar que um contador volumétrico não possui qualquer órgão de regulação. Aquando do seu projecto, o “volume cíclico” de água, transportado por uma oscilação completa do êmbolo, foi calculado de forma a que, multiplicado por um determinado número de vezes (“constante do contador”), perfaça o valor de  $1 \text{ m}^3$  de água passada. A constante do contador é materializada pela relação das rodas de engrenagem do totalizador do mostrador.



*Figura 5-15 – Desenho em corte representando a organização interna de um contador volumétrico*

A organização interna dos contadores volumétricos é muito similar entre os vários modelos existentes no mercado (ver Figura 5-15).

Existe um “corpo de contador” que, nos modelos mais pequenos (residenciais), é habitualmente em latão e com as tubuladuras de ligação roscadas. No interior do corpo, existe uma zona circular, denominada “sede da câmara”, onde se insere a “câmara volumétrica” e que divide o corpo do contador em duas zonas – a de entrada e a de saída da água.

Nos contadores modernos, a câmara volumétrica tem, na extremidade do seu eixo, um “ímã de transmissão” o qual, por arrasto magnético, transmite o movimento a um outro ímã colocado no interior do totalizador.

A zona dita “molhada” do contador é fechada por uma “placa separadora”, a qual possui uma área de menor espessura que se encontra intercalada entre o ímã da câmara volumétrica e o ímã do totalizador. O totalizador encontra-se na zona dita “seca” do contador, sendo, neste caso, dito “totalizador seco”.

Alguns contadores têm o totalizador apenas parcialmente seco, estando uma parte das engrenagens na zona molhada. Outros casos existem em que o totalizador poderá ser completamente “molhado”, sendo a vedação do contador feita pelo vidro do visor, o qual terá de ser suficientemente espesso para resistir à pressão de funcionamento.

Faz-se também notar que a câmara volumétrica assenta na sua sede, comprimindo um vedante. Esta vedação interna é muito importante para garantir que toda a água que passa da zona de entrada para a de saída atravessa a câmara volumétrica – caso contrário haveria parte da água que não seria medida.



*Figura 5-16 – Diversos modelos de contadores volumétricos, do tipo residencial (DN 15 ou DN 20)*



*Figura 5-17 – Dois modelos de contadores volumétricos de calibre elevado (DN 25 a DN 65)*

### 5.3.2 Contadores velocimétricos ou “de velocidade”

Como introdução a este princípio de medição, faz-se notar que, contrariamente ao que acontece com os contadores volumétricos, todos os contadores de velocidade têm necessidade de ter um regulador do seu sensor de avaliação da velocidade, seja este um molinete, uma turbina helicoidal ou qualquer outro.

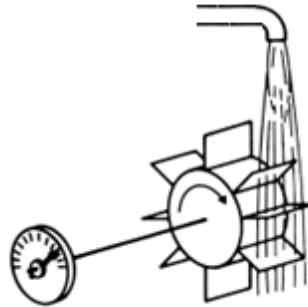
Com efeito, dada a complexidade dos fenómenos que se passam num escoamento hidráulico, não é possível projetar um contador de velocidade sem órgãos de regulação.

Assim, diferentes soluções de regulador têm sido utilizadas, pelo que, de seguida, serão referidas, caso a caso, as mais vulgarmente utilizadas em cada tipo de contador.

### 5.3.2.1 Contadores monojacto

Um contador monojacto é a forma mais simples de obter uma avaliação da velocidade de passagem da água e converter essa avaliação numa medição (indireta) do valor do volume passado.

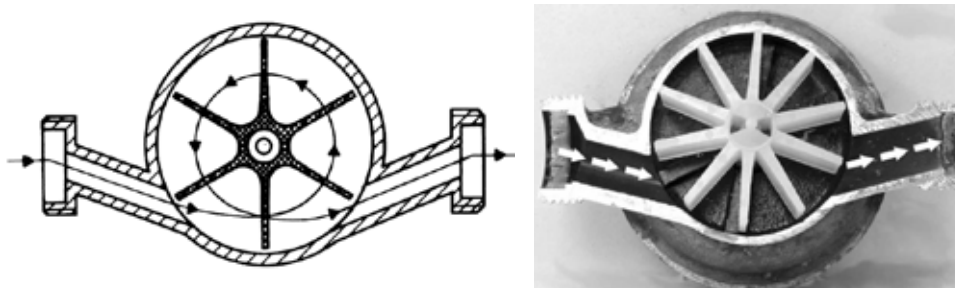
A sua representação simbólica poderá ser a que se observa na figura seguinte.



*Figura 5-18 – Representação simbólica do conceito de medição com um contador monojacto: água que incide tangencialmente num molinete*

Construtivamente, um contador monojacto consiste basicamente numa simples turbina de pás planas (molinete), colocada num sistema de apoios, directamente no interior do corpo do contador, o qual tem as tubuladuras de entrada e de saída dispostas obliquamente, de forma a que a água incida tangencialmente num único ponto da periferia da turbina.

A regulação de velocidade é geralmente conseguida mediante uma “aleta” que induz uma perturbação no escoamento, a qual afeta a velocidade da turbina. No entanto, outras soluções existem, de modo a conseguir a mesma finalidade.



*Figura 5-19 – Representação esquemática de um contador monojacto e, ao lado, a visualização de um corte real efectuado num contador*





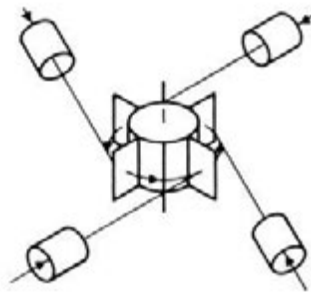
*Figura 5-20 – Diversos modelos de contadores monojecto, do tipo residencial (DN 15 ou DN 20)*

#### 5.3.2.2 Contadores multijacto

Os contadores multijacto funcionam de modo similar aos monojecto, com a água incidindo tangencialmente sobre uma turbina molinete. A grande diferença é que em vez de essa incidência acontecer num único ponto, faz-se em vários pontos ao redor da turbina.

A sua representação simbólica será a seguinte:

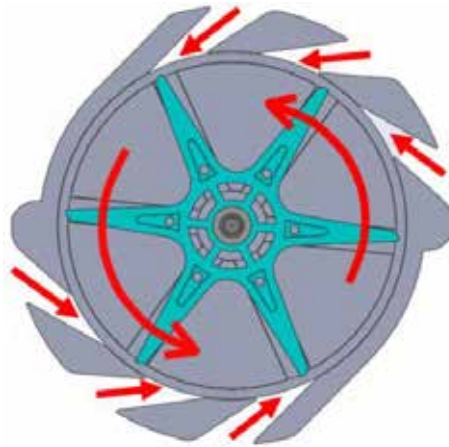
86



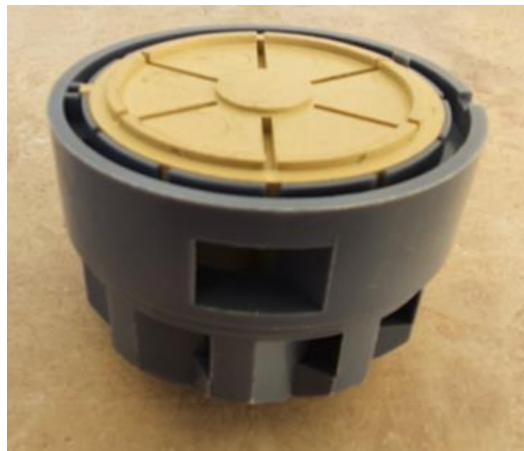
*Figura 5-21 – Representação simbólica do conceito de contador multijacto: a água incide tangencialmente em vários pontos ao redor da turbina*

Construtivamente, um contador multijacto tem uma organização interna muito similar à de um contador volumétrico; no lugar onde estaria uma câmara volumétrica, encontra-se uma câmara de turbina (também chamada “câmara velocimétrica”), a qual possui várias tubeiras de incidência e outras tantas de saída.





*Figura 5-22 – Representação esquemática do funcionamento de uma câmara velocimétrica*



*Figura 5-23 – Câmara velocimétrica (também vulgarmente chamada câmara da turbina)*

Nos contadores multijacto, é muito comum que a regulação de velocidade seja efetuada com recurso a um regulador constituído por um canal lateral, denominado “by-pass”, o qual permite desviar alguma água, evitando que ela passe pela turbina. Esta situação permite reduzir a velocidade da turbina, que teria sido originalmente dimensionada por excesso.

Esse canal é controlado por um parafuso de regulação, que permite ajustar o contador (em banco de ensaio), sendo depois selado por um bujão externo, o qual é muito característico no aspecto visual deste tipo de contadores, conforme se pode observar nas figuras seguintes.

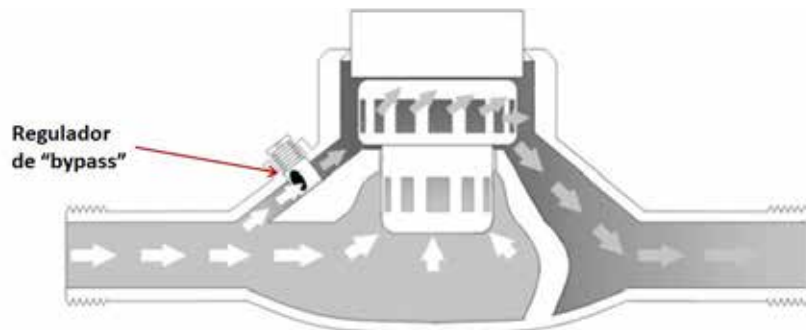


Figura 5-24 – Esquema do sistema de regulação por canal de "by-pass"

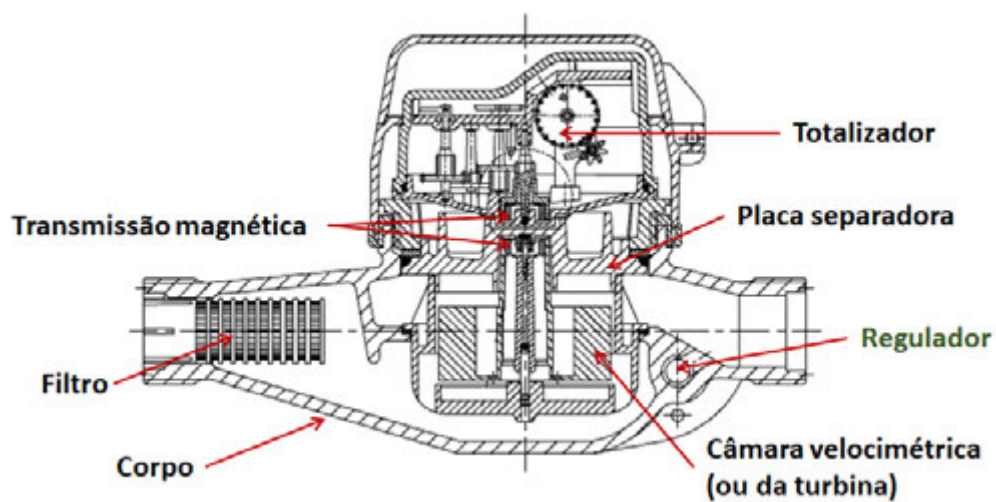


Figura 5-25 – Desenho em corte representando a organização interna de um contador multijacto



Figura 5-26 – Dois modelos de contadores multijacto, do tipo residencial (DN 15 ou DN 20)



*Figura 5-27 – Dois modelos de contadores multijacto, de calibre elevado (DN 50)*

Importa salientar que os contadores também costumam ser divididos em “pequeno calibre” e “grande calibre”. A classificação de contadores em “pequeno calibre” vai geralmente até DN 50, sendo habitual que esses contadores se apresentem num corpo em latão, com as tubuladuras roscadas; a classificação em “grande calibre”, começa, portanto, acima de DN 50, correspondendo geralmente a contadores com corpos em ferro fundido ou aço vazado, com as ligações por flange. Esta fronteira de DN 50 não é absoluta, havendo no mercado alguns contadores DN 40 com ligações flangeadas e, por outro lado, contadores DN 50 com ligações roscadas.

89

#### 5.3.2.3 Contadores de turbina helicoidal (“woltmann”)

Os contadores ditos “de turbina”, monojecto ou multijacto, têm em comum o facto de o seu sensor de medição ser constituído por uma turbina “molinete”, entendida como sendo uma turbina de pás planas, de eixo vertical e onde o escoamento da água se faz segundo uma direcção perpendicular ao eixo da turbina.

Os contadores de tipo “Woltmann” possuem turbinas helicoidais, ou seja, as suas pás têm evolução helicoidal, enquanto o escoamento da água se faz numa direcção colinear com o eixo da turbina.



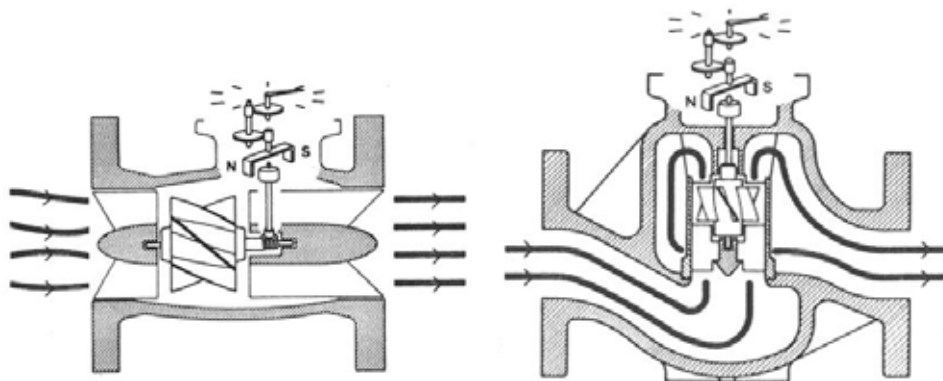
*Figura 5-28 – À esquerda, uma turbina de pás planas (molinete); à direita, uma turbina helicoidal, que equipa os contadores do tipo “woltmann”*

Estes contadores podem apresentar-se em duas soluções construtivas, sendo geralmente contadores do grupo “grande calibre”:

- contadores “woltmann” de eixo horizontal;
- contadores “woltmann” de eixo vertical.

No primeiro caso, o contador é constituído por pouco mais que um tubo de medição, no interior do qual se encontram suportes para uma turbina helicoidal alinhada com o eixo do contador. No segundo caso, o contador tem um corpo com uma forma de voluta, similar aos volumétricos e multijacto, com uma zona de entrada e outra de saída da água, contendo uma câmara velocimétrica, encontrando-se no seu interior uma turbina helicoidal.

Nestes contadores, a regulação de velocidade é habitualmente conseguida por uma “aleta” situada imediatamente a montante da turbina.

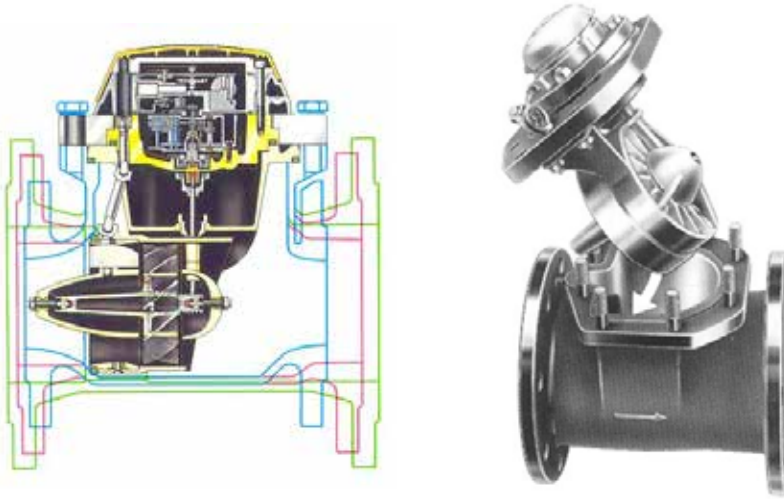


*Figura 5-29 – Representação esquemática de contadores “Woltmann”; à esquerda, de rotor horizontal; à direita, de rotor vertical*



*Figura 5-30 – Aspecto visual dos contadores de tipo “Woltmann” sendo possível identificar facilmente os de rotor horizontal e os de rotor vertical*

Já foi referido noutro ponto deste documento que os contadores de velocidade fazem medição indireta. Esse aspecto é bem evidente no caso particular dos “Woltmann”, onde corpos de diferente dimensão podem receber mecanismos de turbina dimensionalmente idênticos que apenas diferem pela sua “constante”, isto é, pela relação de transmissão de uma parte das engrenagens do totalizador, que irá fazer a distinção em função do DN a que se destina aquele mecanismo.



*Figura 5-31 – O mesmo mecanismo medidor, pode ser instalado em diferentes contadores de vários DN. A única diferença entre eles está na “constante de transmissão”.*

Na figura seguinte, que ilustra um contador “Woltmann” de muito grande dimensão, fica bem evidenciado o cariz indireto da medição. Efetivamente, a turbina apenas analisa uma zona restrita da secção da conduta, admitindo que, na restante secção, o regime de escoamento será idêntico.

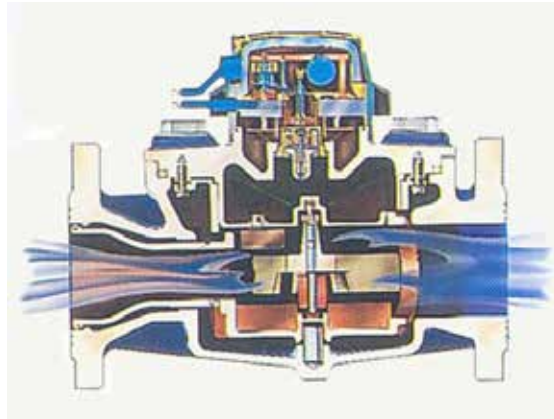


*Figura 5-32 – Contador “Woltmann” de muito grande dimensão (DN 400 a DN 800)*

#### 5.3.2.4 Contadores monojacto (grande calibre)

Do ponto de vista de concepção de base, estes contadores monojacto em nada diferem dos seus homónimos de calibre residencial; do ponto de vista construtivo, são contadores com soluções mais sofisticadas, quer ao nível dos apoios da turbina, da concepção da própria turbina e também da incidência do jacto de água, o qual é habitualmente conduzido por uma tubeira em forma de “venturi”.

A regulação de velocidade também é habitualmente conseguida pela incidência de uma “aleta” colocada junto da turbina, a qual, como em qualquer monojacto, é do tipo molinete.



*Figura 5-33 – Representação esquemática de um contador monojacto de grande calibre (DN 40 a DN 150)*



*Figura 5-34 – Aspecto visual de contadores monojacto de grande calibre*

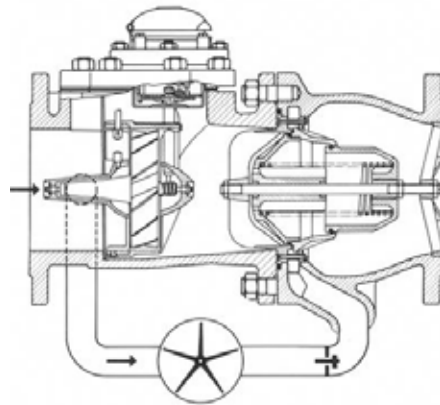


### 5.3.2.5 Contadores conjugados

Uma solução encontrada para o dilema de uma instalação que, nuns períodos de tempo, tem consumos muito elevados (necessitando de um grande contador), enquanto, noutros períodos de tempo, tem consumos do tipo residencial (necessitando de um contador de pequeno calibre), foi a de juntar dois contadores (um grande e um pequeno) num único equipamento.

Nesta associação de contadores, existe um terceiro órgão, que é uma válvula comutadora, a qual irá enviar o escoamento para um ou outro contador, conforme o caudal instantâneo do momento.

A solução construtiva original era mesmo uma associação de dois contadores de tipo normal, ligados entre si pela válvula comutadora.



*Figura 5-35 – Representação esquemática de um contador conjugado com válvula acionada por mola*

A válvula comutadora é do tipo “normalmente fechado”. Os contadores constituintes podem ser de qualquer tipo e dimensão, que tenham sido considerados adequados para formar o conjunto.

Num primeiro momento de escoamento, a baixo caudal, a água encontra a válvula fechada e é desviada para o canal lateral que contém o “contador secundário”, sendo contada por este e saindo para o destino pela parte traseira da válvula.

Face ao incremento do caudal pedido, vai aumentando a perda de carga no contador secundário, o que se traduz por um aumento da pressão dinâmica sobre a válvula, a qual abrirá quando atingido o valor de caudal pré-estabelecido para o efeito.

Após a abertura da válvula, a maioria do escoamento faz-se pelo “contador principal”, restando apenas um escoamento residual no “contador secundário”.

A leitura de contagem é obtida pela soma dos totalizadores de cada um dos dois contadores, sendo irrelevante para o utilizador saber em que regime a água passou por qual dos contadores.



*Figura 5-36 – Contador conjugado, de modelo antigo, constituído por um contador principal “woltmann”, um contador secundário multijacto (ambos “normais”), associados a uma válvula comutadora*

Como se pode constatar, esta solução construtiva ocupa mais comprimento do que um contador simples.

Em tempos mais recentes, surgiram soluções construtivas em que o contador principal está alojado num corpo de formato especial que forma a derivação para o contador secundário e incorpora a válvula comutadora. Tudo isto no mesmo comprimento normalizado de um contador simples, dito normal.

Foi esta solução que ficou popularmente conhecida por “3 em 1” e que se encontra representada na figura seguinte.



*Figura 5-37 – Contador conjugado compacto do tipo “3 em 1”*



Alguns fabricantes oferecem atualmente uma solução construtiva completamente integrada, onde o contador secundário é constituído por um “cartucho” que é inserido num alojamento do corpo comum, mantendo-se o comprimento total normalizado.

Nada havendo em contrário, é normal que o elemento que constitui o contador principal seja uma turbina “woltmann”, enquanto o “cartucho” do contador secundário poderá ser um elemento volumétrico, monojecto ou multijacto.



*Figura 5-38 – Aspecto visual de contadores conjugados atuais de tipo compacto*

#### 5.3.2.6 Considerações genéricas sobre contadores mecânicos

Para além do que já foi atrás exposto sobre contadores que usam princípios mecânicos de funcionamento, convém fazer-se uma breve passagem sobre dois órgãos, comuns a todos eles:

- Transmissão magnética;
- Totalizador.

“Transmissão magnética” é a designação genericamente atribuída ao modo, que nos dias de hoje, se pode considerar universal, de transmitir o movimento de rotação do sensor de medição, situado no interior da zona dita “molhada” do contador, para o alojamento onde se encontra o totalizador, na zona dita “seca” da cabeça do contador.

Esta transmissão é conseguida mediante um par de ímanes, encontrando-se um deles na zona molhada e o outro na zona seca. Não só com o intuito de garantir a necessária atração para o arrasto magnético, mas também para evitar que haja dispersão de linhas de campo, os referidos ímanes devem ficar tão próximos quanto possível um do outro. Isso consegue-se colocando os ímanes em zona onde as espessuras da placa de fecho do contador e da caixa do totalizador sejam reduzidas, de modo a que a distância entre os ímanes (espaço denominado “entre-ferro”) seja a menor possível.

Normalmente utilizam-se ímanes redondos de quatro polos (por vezes, apenas dois polos, nalguns casos, seis polos) de alta coercividade – portanto muito resistentes a eventual desmagnetização – e de campo magnético muito intenso. Por outro lado, a magnetização dos polos é feita à face, isto é, os ímanes têm “frente” e “costas”, sendo montados virados um para o outro.

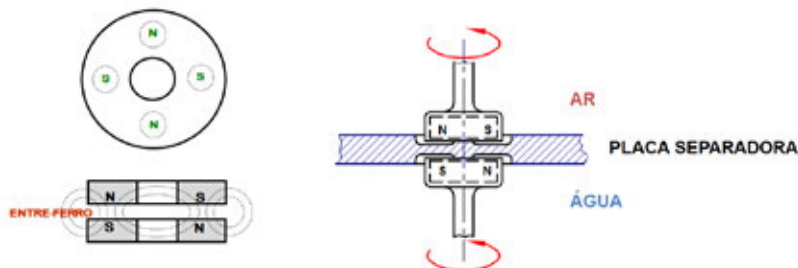


Figura 5-39 – Representação esquemática de uma transmissão magnética com ímanes redondos de 4 polos

Estas disposições, aliadas a um entre-ferro diminuto, conseguem uma composição com um mínimo de dispersão de linhas de campo e, portanto, com poucas probabilidades de ser interferida a partir do exterior.

Sobretudo, nos casos dos contadores de maior dimensão, a transmissão magnética fica localizada muito no interior do contador<sup>15</sup>, pelo que a capacidade de interferência a partir do exterior é muito diminuta. Em qualquer dos casos, sempre que necessário, podem ser providenciadas blindagens magnéticas em torno da zona onde se localiza a transmissão magnética.

“Totalizador” (ou “calculador”) é a designação atribuída a todo o conjunto de engrenagens que vai desde a recepção do movimento do sensor até ao mostrador do contador, incluindo o íman seco, as rodas dentadas e os rolos e ponteiros do mostrador.

A zona de leitura do mostrador poderá, no limite, ser constituída apenas por ponteiros (solução completamente em desuso, subsistindo ainda nalguns contadores em serviço, muito antigos) ou exclusivamente por rolos (nalguns tipos de contadores). No entanto, a solução construtiva mais correntemente utilizada consiste num misto de rolos e ponteiros.



Figura 5-40 – Diversos tipos de mostrador: Só ponteiros; só rolos; mistos de rolos e ponteiros

<sup>15</sup> Convém recordar que as forças atrativas são inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre as massas magnéticas.

Faz-se notar que, por imposição normativa, a zona dos “inteiros” é sempre apresentada com a cor preta (algarismos pretos em fundo branco ou algarismos brancos em fundo preto); já a zona decimal é apresentada a vermelho (algarismos vermelhos em fundo branco ou algarismos brancos em fundo vermelho), quer seja em rolos ou em ponteiros.

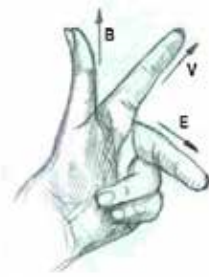
A resolução metrológica da indicação decimal é muito importante, para efeitos de ensaios laboratoriais, sendo desejável que se apresente em 5 casas decimais (relativamente ao metro cúbico).

### 5.3.2.7 Contadores (caudalímetros) eletromagnéticos

Os contadores eletromagnéticos são equipamentos estáticos, sem órgãos mecânicos móveis, e funcionam segundo a Lei de Faraday da indução eletromagnética.

Esta lei da Física diz que, se um corpo eletricamente condutor se mover no seio de um campo magnético, surgirá nele uma força eletromotriz (f.e.m.) induzida, cujo valor será proporcional à intensidade do campo magnético e à velocidade de deslocamento do condutor. Naturalmente que o valor dessas correntes induzidas também dependerá da massa e da condutividade do corpo em movimento.

Mais diz a Lei de Faraday que, se o campo magnético tiver uma dada direção e o deslocamento do condutor se fizer segundo uma direção perpendicular ao eixo do campo magnético, a direção das correntes induzidas será segundo um terceiro eixo, perpendicular aos outros dois. Esta constatação ficou conhecida pela “regra dos três dedos da mão esquerda”<sup>16</sup>.



Polegar: Sentido do campo magnético (B)

Indicador: Sentido do deslocamento (V)

Médio: Sentido da força eletromotriz induzida (E)

Figura 5-41 – Aplicação da “regra dos três dedos da mão esquerda”

Construtivamente, um caudalímetro eletromagnético é constituído por um tubo de medição, normalmente em material ferroso, com uma flange de cada lado. Exteriormente ao tubo, existem as bobinas geradoras do campo magnético, que têm de ser alimentadas por corrente da rede elétrica ou por baterias.

Como o tubo de medição é de material condutor tem de ser isolado por uma camisa interior de material isolante (“lining”), a fim de evitar que as correntes induzidas, geradas no instrumento, se dispersassem pelo tubo.

Em pontos diametralmente opostos do centro do tubo de medição existem duas (ou mais) inserções metálicas que constituem os eléctrodos que vão recolher as correntes geradas, as quais vão ser conduzidas desta zona (elemento primário ou sensor) para o local onde os sinais elétricos analógicos vão ser tratados digitalmente (elemento secundário ou conversor).

<sup>16</sup> Nas tecnologias elétricas, também existe a “regra dos três dedos da mão direita”, mas é aplicada noutro contexto, fora do âmbito deste documento.

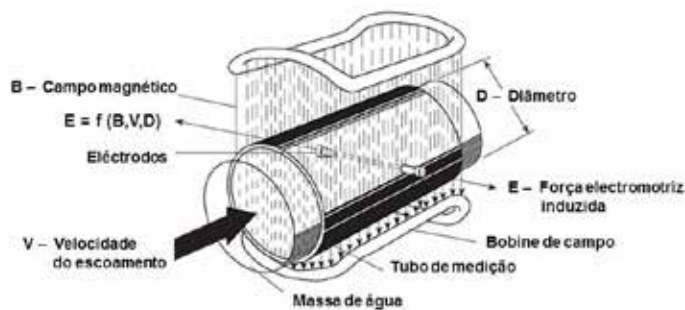


Figura 5-42 – Representação esquemática de um caudalímetro eletromagnético

Os caudalímetros eletromagnéticos podem apresentar-se fisicamente sob duas formas: os caudalímetros ditos “in line”, que são montados de forma intercalada na conduta, como qualquer outro contador, ou os caudalímetros ditos “de inserção”, que são inseridos numa perfuração na conduta.

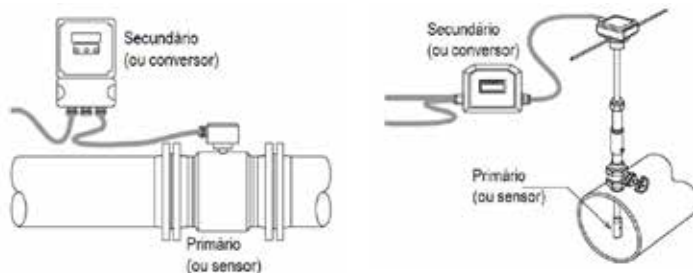


Figura 5-43 – Representação de um caudalímetro “in line” (à esquerda) e de um “de inserção” (à direita) <sup>17</sup>



Figura 5-44 – Aspecto visual de um caudalímetro “in line” (à esquerda) e de um “de inserção” (à direita)

Sublinha-se que, uma vez que as forças eletromotrizes geradas nos caudalímetros eletromagnéticos também dependem da condutividade do fluido, estes dispositivos não

<sup>17</sup> Desenho obtido no Guia Técnico n.º 9 (ERSAR)

podem, obviamente, ser utilizados em fluidos não condutores. Por essa razão, a sua instalação não poderia ser considerada numa hipotética utilização em água destilada, uma vez que esta não é condutora. Também numa hipotética utilização com água do mar (com maior condutividade que a água potável), a sua calibração teria de ser especial.

Para as aplicações correntes em água de abastecimento, o seu erro admissível estará dentro dos parâmetros normais de variação da água potável.

#### 5.3.2.8 Contadores (caudalímetros) ultrassónicos (Doppler)

Este tipo de caudalímetros ultrassónicos utilizam o Efeito Doppler. O seu funcionamento consiste num dispositivo que envia, para o interior da conduta, um feixe de ondas sonoras (ultrassónicas), com uma dada frequência elevada, e que vai rececionar as ondas sonoras refletidas pelas partículas e bolhas de ar presentes na água em movimento.

Existindo movimento, a frequência da onda refletida é diferente da frequência da onda que foi enviada; da diferença das duas frequências, infere-se a velocidade e o sentido do escoamento. Como se compreende, na realidade não se está a medir a velocidade do escoamento, mas sim a das partículas arrastadas nesse escoamento. Por outro lado, é conhecido da Hidráulica que a velocidade do escoamento não é uniforme, sendo maior no eixo da conduta e menor na proximidade das paredes desta.

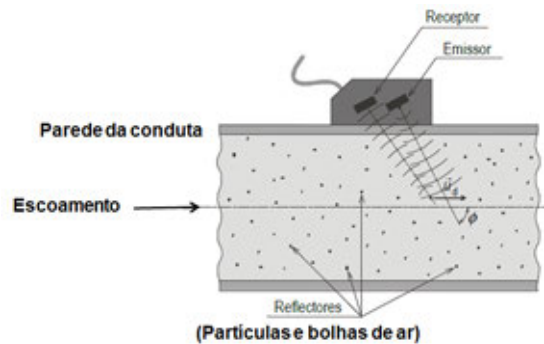


Figura 5-45 – Representação esquemática de um caudalímetro ultrassónico Doppler <sup>18</sup>

Estes medidores, uma vez que são aplicados no exterior da conduta, são uma excelente ferramenta móvel de avaliação de caudais, num dado local ou noutra, mas a sua exactidão não será adequada para efeitos de facturação.

<sup>18</sup> Desenho obtido no Guia Técnico n.º 9 (ERSAR)



Figura 5-46 – Aspecto visual de um caudalímetro Doppler

### 5.3.2.9 Contadores (caudalímetros) ultrassónicos (por medição do tempo de trânsito)

Estes caudalímetros avaliam a velocidade do escoamento através da medição da velocidade de propagação de uma onda sonora no seio do fluido que se escoia na conduta. O seu funcionamento consiste em dois dispositivos, geralmente colocados em posições opostas, diagonalmente ao eixo da conduta, que trocam, entre si, um feixe de ondas sonoras (ultrassónicas), com uma dada frequência, que se vai propagar no fluido à velocidade do som.

Uma vez que o som se propaga em suporte físico, as ondas são um pouco arrastadas pelo movimento do escoamento. Como os dispositivos emissores/recetores dos feixes sonoros se encontram numa posição diagonal, há um feixe que tem uma componente segundo o eixo da conduta, no sentido favorável ao movimento. Na inversa, o feixe que é emitido no sentido oposto, terá uma componente segundo o eixo da conduta desfavorecida pelo movimento.

Através da medição das diferenças de tempo no trânsito dos dois feixes, é possível inferir a velocidade do escoamento.

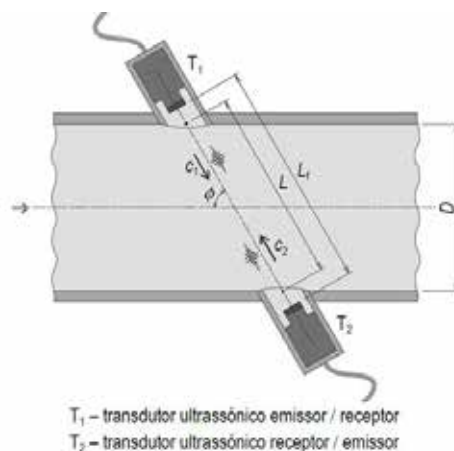


Figura 5-47 – Representação esquemática de um caudalímetro ultrassónico “por medição do tempo de trânsito”<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Desenho obtido no Guia Técnico n.º 9 (ERSAR)



Figura 5-48 – Aspecto visual de caudalímetros ultrassónicos “por medição do tempo de trânsito”

Estes caudalímetros também existem numa versão portátil, baseada na reflexão na parede oposta da conduta.

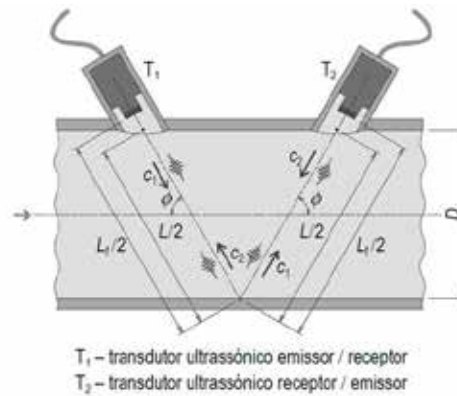


Figura 5-49 – Representação esquemática de um caudalímetro ultrassónico “por medição do tempo de trânsito”, baseado na reflexão<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Desenho obtido no Guia Técnico n.º 9 (ERSAR)



*Figura 5-50 – Aspecto visual de um caudalímetro ultrassónico “por medição do tempo de trânsito”, portátil, baseado na reflexão*



*Figura 5-51 – Aspecto visual de um contador ultrassónico “por medição do tempo de trânsito” (DN 50)*

#### 5.3.2.10 Novas gerações de contadores residenciais

Em tempos recentes, tem-se assistido ao aparecimento, no mercado, de contadores residenciais utilizando tecnologias com suporte eletrónico.

Não faz sentido neste documento explicitar determinadas marcas, e seria difícil referir objetivamente estes novos contadores sem o fazer, já que a variedade de modelos disponível não é assim tão grande, pelo que será difícil referi-los de forma razoavelmente anónima.

Fica apenas a menção que têm aparecido recentemente alguns contadores dos seguintes tipos:



- Modelos do tipo chamado “híbrido”, isto é, contadores de elemento medidor mecânico (volumétrico ou de velocidade), mas equipados com totalizadores electrónicos;
- Modelos completamente estáticos, usando princípios físicos bem estabelecidos nas aplicações da Indústria da Água, como sejam os de tipo electromagnético ou ultrassónico, mas com tecnologias que permitem a miniaturização dos seus componentes.

Numa primeira abordagem, poderá ser dito que, à data da redação deste documento, nenhum desses contadores – enquanto apenas contador – é competitivo, em custos, em relação aos tradicionais correspondentes modelos mecânicos. Medem o mesmo, com o mesmo grau de exactidão, já que todos eles têm de cumprir os requisitos normativos e legais.

Estes novos contadores apenas poderão ser considerados financeiramente interessantes numa perspectiva de telemetria residencial generalizada, já que todos eles serão capazes de fornecer “output” de dados sem qualquer custo adicional, o que não acontece com os contadores mecânicos correntes, os quais, para serem utilizados em telemetria, necessitam de um equipamento suplementar.

Na utilização desses novos contadores, existe ainda uma incógnita relevante por resolver: o tempo real de duração da bateria que os alimenta. Os fabricantes prometem que o mesmo poderá atingir 15 ou mais anos, sendo crível que esta duração se limite aos casos em que apenas se proceda a uma leitura “clássica” (mensal).

Não restam dúvidas de que a duração da bateria dependerá muito do tipo e frequência de solicitações em telemetria e não existe ainda experiência real no terreno que permita ter certezas.



*Figura 5-52 – Aspecto visual de contadores ultrassónicos residenciais*

## 5.4 Tipos de medidores para condutas com escoamento em superfície livre <sup>21</sup>

### 5.4.1 Aspectos gerais

Nos escoamentos em superfície livre (canais abertos) são naturalmente válidos os dois princípios de medição atrás referidos (“volumétrico” e de “velocidade”). No entanto, não existem aplicações práticas do princípio volumétrico, pelo que os medidores existentes para canal aberto são todos baseados em medições, directas ou indirectas, de velocidade.

Assim, serão de considerar os seguintes tipos correntemente utilizados <sup>22</sup>:

- Medidores com descarregadores de soleira delgada
  - Retangular
  - Bazin
  - Triangular
- Medidores com caleiras (ou calhas)
  - Venturi
  - Parshall
- Medidores por multissensorização
  - Ultrassónico / Radar
  - Electromagnético / Capacitivo
  - Etc. (qualquer outra combinação das tecnologias “área/velocidade”)

Todos estes medidores de caudal têm em comum o facto de considerarem dois sistemas de medição combinados:

- Medição da velocidade de escoamento do líquido
- Medição da altura que o líquido ocupa na conduta

*Nota: em alguns tipos de medidor, é suficiente fazer a simples medição da altura do líquido, pois isso pressupõe que também se está a medir a velocidade.*

### 5.4.2 Medidores com descarregadores de soleira delgada (“thin plate weirs”)

Os medidores deste tipo são constituídos por:

- Uma soleira em chapa fina; caso a chapa seja muito espessa deverá estar munida de um chanfro;
- Um sistema medidor do nível da superfície livre do escoamento.

---

<sup>21</sup> Todos os desenhos e tabelas desta secção foram obtidos no Guia Técnico n.º 9 – Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas” (ERSAR)

<sup>22</sup> Havendo algumas divergências correntes de terminologia nesta matéria, a terminologia seguida nesta secção é a correspondente do documento “Guia Técnico n.º 9 (ERSAR)

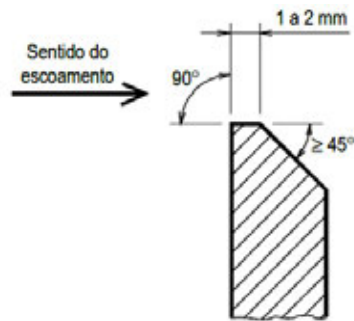


Figura 5-53 – Vista em corte da espessura de uma soleira

*delgada* Características comuns a este tipo de descarregadores:

- Fundo plano e horizontal;
- Paredes verticais e paralelas;
- Comprimento suficiente para que o escoamento, eventualmente condicionado por meio de dispositivos de tranquilização e/ou regularização, instalados a montante da sua secção inicial, seja uniforme;
- $L_h$ : distância à soleira (para montante) onde é lida a altura,  $h$ , do líquido.

Nas figuras seguintes ilustram-se os tipos de descarregadores de soleira delgada mais comuns:

- a) Descarregador de soleira retangular

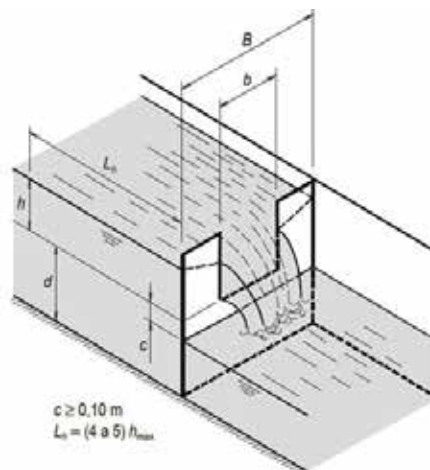


Figura 5-54 – Descarregador de soleira retangular (apresenta contração lateral)

b) Descarregador Basin

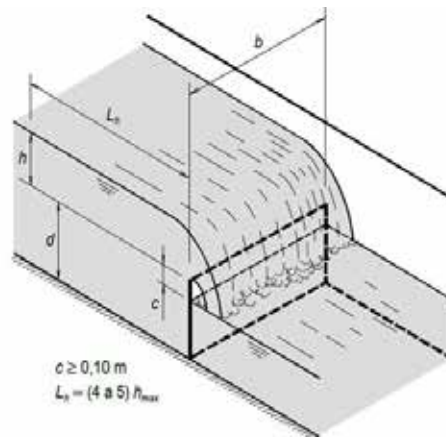


Figura 5-55 – Descarregador Basin (sem contração lateral)

c) Descarregador triangular

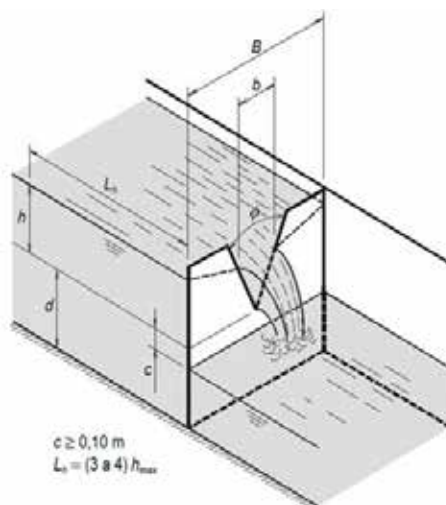


Figura 5-56 – Descarregador de soleira triangular (apresenta contração lateral)

As formas habituais de medição do nível da superfície livre do escoamento neste tipo de descarregadores são:

- Simples régua (montagem imersa);
- Medidor do nível por radar (montagem emersa);
- Medidor de nível ultrassónico (montagem emersa);
- Medidor de pressão hidrostática (montagem imersa).

A medição do nível da superfície livre do escoamento pode ser feita directamente sobre a superfície ou indirectamente num poço de medição lateral, o qual se encontra em regime de

vaso comunicante com o escoamento. A medição em poço tem a vantagem de reduzir eventuais flutuações de medição, decorrentes da turbulência superficial do escoamento.



Figura 5-57 – Modelo didático, transparente, que mostra como funciona o poço de medição

#### 5.4.3 Medidores com caleiras ou calhas (“flumes”)

Os medidores deste tipo são constituídos por:

- Uma caleira ou calha de medição;
- Um sistema medidor do nível da superfície livre do escoamento.

Os descarregadores deste tipo apresentam as seguintes características comuns:

- Caleira de medição, com um colo de estreitamento;
- Paredes verticais, mas não paralelas;
- Sobre-elevação existente (ou não) no fundo – soleira;
- Comprimento suficiente para que o escoamento, eventualmente condicionado por meio de dispositivos de tranquilização e/ou regularização, instalados a montante da sua secção inicial, seja uniforme.

107

##### 5.4.3.1 Caleira Venturi (com ou sem soleira)

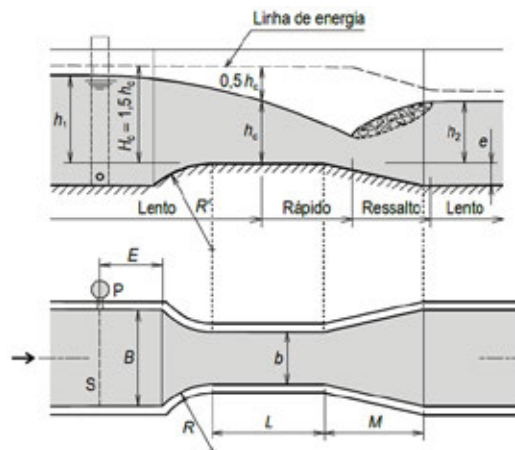


Figura 5-58 – Planta e corte de uma caleira Venturi. Nota-se o poço de medição P

5.4.3.2 Caleira Parshall (sempre com soleira)

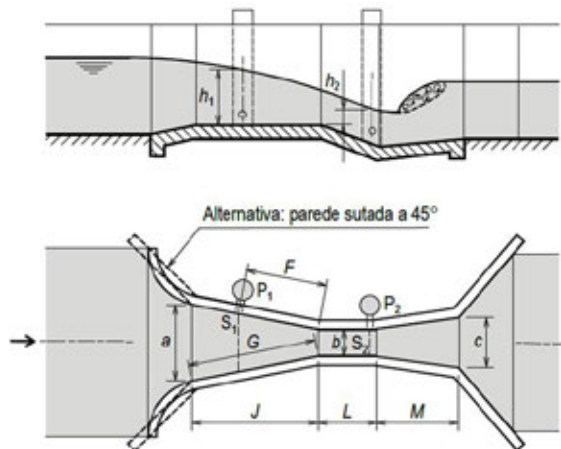


Figura 5-59 – Planta e corte de uma caleira Parshall. Notam-se os poços de medição  $P_1$  e  $P_2$

Numa caleira Parshal, o caudal é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$Q = K h_1^w$$

em que:

$K$ ;  $w$  – parâmetros característicos da caleira em causa

$h_1$  – altura do escoamento na secção transversal  $S_1$  do convergente de entrada na caleira, identificado pela cota  $F$

Nota: Todos os parâmetros acima são retirados de tabelas normalizadas

Tamanho nominal $b$		Outras dimensões relevantes* (mm)						
("), (')	(mm)	$a$	$c$	$F$	$G$	$J$	$L$	$M$
1"	25,4	167	93	242	363	356	76	203
2"	50,8	214	135	276	414	406	114	254
3"	76,2	259	178	311	467	457	152	305
6"	152,4	397	394	414	621	610	305	610
9"	228,6	575	381	587	879	864	305	457
1'	304,8	845	610	914	1373	1343	610	914
1½'	457,2	1026	762	965	1448	1419	610	914
2'	609,6	1206	914	1016	1524	1495	610	914
3'	914,4	1572	1219	1118	1676	1645	610	914
4'	1219,2	1937	1524	1219	1829	1794	610	914
5'	1524,0	2302	1829	1321	1981	1943	610	914

Figura 5-60 – Dimensões normalizadas de caleiras Parshall  
(a tabela prossegue para tamanhos maiores)

Tamanho nominal <i>b</i>		Parâmetros da equação de vazão		Limites de aplicabilidade da equação de vazão					
				Limites de $h_1$ (m)		Limites de $Q$ ( $m^3 s^{-1}$ )		Valor máximo de $s'$	
(")	(')	(mm)	<i>K</i>	<i>w</i>	Mínimo	Máximo	Mínimo		Máximo
1"		25,4	0,0604	1,55	0,015	0,21	0,00009	0,0054	0,50
2"		50,8	0,1207	1,55	0,015	0,24	0,00018	0,0132	0,50
3"		76,2	0,1771	1,55	0,030	0,33	0,00077	0,0321	0,50
6"		152,4	0,3812	1,58	0,030	0,45	0,00150	0,111	0,60
9"		228,6	0,5354	1,53	0,030	0,61	0,00250	0,251	0,60
1'		304,8	0,6909	1,522	0,030	0,76	0,00332	0,457	0,70
1½'		457,2	1,056	1,538	0,030	0,76	0,00480	0,695	0,70
2'		609,6	1,428	1,550	0,046	0,76	0,0121	0,937	0,70
3'		914,4	2,184	1,566	0,046	0,76	0,0176	1,427	0,70
4'		1219,2	2,953	1,578	0,060	0,76	0,0358	1,923	0,70
5'		1524,0	3,732	1,587	0,060	0,76	0,0441	2,424	0,70

Figura 5-61 – Parâmetros e limites de caeiras Parshall  
(a tabela prossegue para tamanhos maiores)

Nas caeiras são utilizados os mesmos tipos de instrumentos para medir a altura do nível já referidos para o caso dos descarregadores, ou seja:

- Simples régua (montagem imersa);
- Medidor do nível por radar (montagem emersa);
- Medidor de nível ultrassónico (montagem emersa);
- Medidor de pressão hidrostática (montagem imersa).

Também neste caso, a medição do nível pode ser feita directamente na superfície ou indirectamente num poço de medição.

Diversas soluções construtivas podem ser utilizadas para as caeiras “Parshall”, como, por exemplo, em betão armado, aplicado directamente no local ou caeiras pré-fabricadas em diversos materiais, para montagem no local.



Figura 5-62 – Caeiras “Parshall” em betão armado  
no local. Na da direita nota-se o poço de medição





*Figura 5-63 – Caleiras “Parshall” pré-fabricadas para montagem no local. Na da direita observa-se o poço de medição acoplado*



*Figura 5-64 – Caleiras “Parshall” pré-fabricadas depois de montadas no local. (observam-se os tirantes que ficaram mesmo após a montagem)*

*Nota importante: As caleiras pré-fabricadas podem ser executadas em aço inox ou em materiais compósitos e devem ser sempre fornecidas com os tirantes de estabilização colocados, a fim de poderem manter a sua forma durante o transporte e a montagem. Será de boa prática deixar ficar os tirantes depois da montagem, pois estes vão ajudar a evitar deformações posteriores.*

#### 5.4.4 Medidores multissensoriais

Salvo algumas exceções, os medidores desta classificação não são normalmente constituídos por um só equipamento, mas são antes constituídos por associações de dispositivos, das mais diversas tecnologias, havendo normalmente:

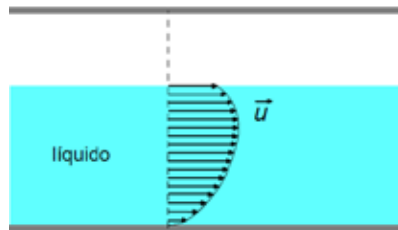
- Um dispositivo medidor capaz de avaliar a velocidade de escoamento da água;
- Um dispositivo medidor do nível da superfície livre do escoamento.

A maior parte das vezes, estes equipamentos estão simplesmente instalados numa zona normal da conduta ou, nos casos de condutas enterradas, em caixas de visita.

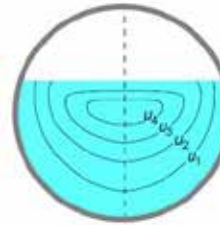
Seguidamente apresentam-se alguns exemplos dos dispositivos mais vulgarmente utilizados nestas aplicações.

#### 5.4.4.1 Equipamentos para medição da velocidade do escoamento

Como já referido noutra parte deste documento, um escoamento numa conduta apresenta diferentes velocidades ao longo da secção transversal da conduta, ocorrendo as maiores velocidades no eixo da conduta e as menores junto às paredes da mesma. Isto tanto acontece nos escoamentos em condutas fechadas cheias, como nos escoamentos em superfície livre.



Perfil de velocidades, segundo o sentido longitudinal do escoamento



Padrão da distribuição do campo de velocidades, visto numa secção reta

Figura 5-65 – Distribuição das velocidades num escoamento em superfície livre

Os métodos mais comuns para avaliar a velocidade do escoamento recorrem à medição por efeito Doppler (ultrassónico ou radar), sendo ilustrados nas figuras seguintes:

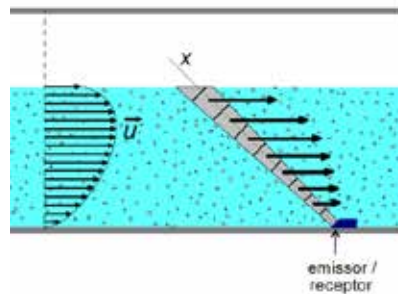


Figura 5-66 – Aplicação de um sensor ultrassónico (imerso) de efeito Doppler, usando feixes múltiplos para avaliação do campo de velocidades

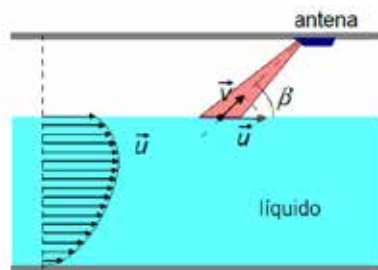


Figura 5-67 – Aplicação de um sensor de radar (emerso) de efeito Doppler, o qual apenas avalia a velocidade superficial

#### 5.4.4.2 Equipamentos para medição da altura do nível do líquido

Como anteriormente referido, o tipo de medições que tem vindo a ser analisado baseia-se no método “área/velocidade”, pelo que, dispondo-se de meios para avaliação da velocidade, torna-se necessário determinar a altura do nível do líquido para que, em função da forma da secção reta da conduta, se possa determinar o valor da “área molhada”, ou seja a contida no “perímetro molhado”.

Para isso, e pondo de lado, nestes casos, o recurso a medições manuais (com réguas), os métodos mais correntemente usados são os seguintes:

- Medição por sensores ultrassónicos

Neste método, podem ser usados sensores colocados no fundo da conduta (imersos) ou colocados no tecto da conduta (caso esta seja coberta) ou num suporte sobre o canal.

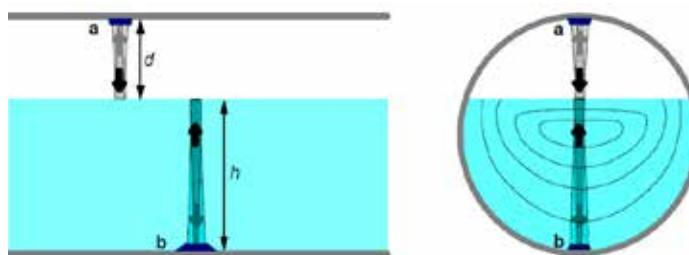


Figura 5-68 – Duas formas possíveis de colocação de transdutores ultrassónicos de distância para medir o nível de líquido: a – fora do líquido; b – dentro do líquido

- Medição por pressão hidrostática

Neste método, a altura do nível do líquido é determinada por um sensor de pressão colocado no fundo da conduta:

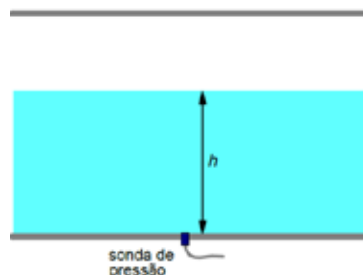


Figura 5-69 – Medição da pressão hidrostática para determinação do nível de líquido

#### 5.4.4.3 Equipamentos integrados para medição das velocidades e da altura do nível do escoamento

Os equipamentos deste tipo, mais correntemente utilizados atualmente são os que utilizam a indução electromagnética para avaliação das velocidades, podendo a altura do nível ser determinada por mais do que um método. Naturalmente, ainda que tratando-se de

escoamentos em superfície livre, estes equipamentos estão vocacionados para ser instalados em condutas redondas, fisicamente fechadas.

- Caudalímetros electromagnéticos para condutas parcialmente cheias

Existem correntemente duas soluções construtivas de caudalímetros deste tipo:

- Numa, as diferentes alturas de nível que o líquido possa apresentar são avaliadas por “camadas”, à custa de diferentes pares de eléctrodos colocados em diferentes alturas do tubo de medição;
- Noutra, a altura do nível do líquido é avaliada continuamente mediante a variação capacitiva de um sistema de condensador eléctrico.

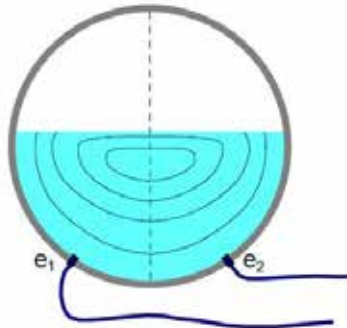


Figura 5-70 – Medição electromagnética de velocidade e altura em condutas parcialmente cheias: Localização de vários pares de eléctrodos ( $e_1$  ;  $e_2$ ) em diferentes alturas

113

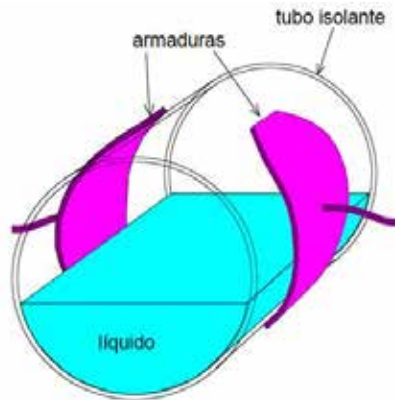


Figura 5-71 – Medição electromagnética de velocidade e altura em condutas parcialmente cheias: Aplicação do efeito capacitivo para avaliação do grau de enchimento da conduta



*Figura 5-72 – Caudalímetro electromagnético para condutas parcialmente cheias, utilizando o efeito capacitivo, instalado à entrada de uma pequena ETAR <sup>23</sup>*

---

<sup>23</sup> Foto do Autor

- Página em branco -





## 6 Condições de instalação e critérios de seleção de medidores

### 6.1 Escoamentos em condutas fechadas cheias

#### 6.1.1 Considerações gerais

Excetuando os contadores volumétricos, os quais são considerados como praticamente insensíveis às condições do escoamento, todos os restantes contadores de água e medidores de caudal, que usam princípios velocimétricos, são afetados pelas eventuais perturbações que possam surgir nos escoamentos; uns mais do que outros, dependendo da tecnologia de medição que utilizam.

Assim, é extremamente importante que sejam respeitadas regras básicas de boas práticas ao nível das condições dos locais onde os contadores vão ser instalados, de modo a que não sejam introduzidas perturbações nos escoamentos, na vizinhança imediata dos contadores. Também as zonas adjacentes devem ser objecto dos mesmos cuidados, para que elementos das canalizações potencialmente perturbadores se encontrem suficientemente distanciados.

Com a recente normalização pós-MID <sup>24</sup> (“nova abordagem”), os contadores, nos seus ensaios de aprovação de modelo (exame de tipo), são sujeitos a determinados tipos de perturbação, padronizados para o efeito, o que assegura alguma confiança quando os equipamentos são colocados em serviço. No entanto, a grande maioria dos contadores em serviço, à data deste documento, são oriundos de aprovações anteriores (“antiga abordagem”), onde esse tipo de exigência não existia. Como resultado, esses contadores poderão ter excelentes desempenhos, cumprindo as exigências metrológicas normativas ou legais, no ambiente “asséptico” dos bancos de ensaio, mas, uma vez instalados no terreno e potencialmente sujeitos a deficientes condições de instalação, não é possível ter suficiente confiança sobre o grau de exatidão das suas medições.

Não só por causa do desempenho dos contadores, mas também porque devem ser evitadas certas incorreções na exploração hidráulica das condutas, convém elencar os tipos de perturbação mais frequentes de acontecer nas condutas.

O que anteriormente se referiu é não só válido para os escoamentos nas condutas fechadas cheias (a situação normal de águas de abastecimento), mas também para os escoamentos em superfície livre (situação usual nas águas residuais). Por vezes, as águas residuais também são transportadas em condutas fechadas cheias, como acontece no caso das estações elevatórias de águas residuais (EEAR); nesses casos, do ponto de vista de comportamento hidráulico, nada distingue esses escoamentos dos de abastecimento de água.

#### 6.1.2 Principais tipos de perturbação de escoamento e suas causas

São dois os principais tipos de perturbação suscetíveis de acontecer num escoamento:

- Distorção do perfil de velocidades;
- Rotação do escoamento.

As causas destas perturbações podem ser várias, procedendo-se à sua análise nos pontos seguintes.

---

<sup>24</sup> Directiva 2014/32/UE, de 26 de fevereiro de 2014, também conhecida por MID (Measuring Instruments Directive)

### 6.1.2.1 Variações súbitas da secção da conduta

Conforme já referido noutra parte deste documento, as variações súbitas de secção, para além de induzirem perdas de carga, originam distorções no perfil de velocidades.

Assim, qualquer variação de secção, seja por redução seja por aumento, deve ser de transição suave, mediante a instalação de um elemento cónico. Segundo as regras de boas práticas habituais, o ângulo de cone ideal deve ser da ordem de 8 a 12º

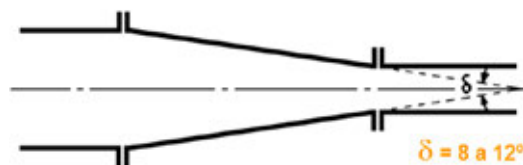


Figura 6-1 – Variação de secção por transição cónica



Caso onde o contador a instalar é de DN inferior ao da conduta (situação normal)

Caso onde o contador a instalar é de DN superior ao da conduta (situação invulgar)

Figura 6-2 – Variações de secção na instalação de um contador

### 6.1.2.2 Diâmetros internos das juntas de vedação entre flanges incorretos

São bastante frequentes as situações em que os diâmetros internos das juntas de vedação entre flanges são incorretos e são indetetáveis do exterior, acabando por constituir uma variante da situação anterior, com as mesmas consequências nocivas, nomeadamente se for o caso das juntas de vedação das ligações do próprio medidor.

### 6.1.2.3 Válvulas de corte semifechadas

A existência de válvulas de corte semifechadas é uma prática incorreta, já que as válvulas de corte são para estarem numa de duas situações: abertas ou fechadas.

Se é pretendido regular a pressão, devem ser usadas válvulas reguladoras de pressão. Quando as válvulas não estão completamente abertas, são induzidas perdas de carga e também são originadas distorções do perfil de velocidades.

### 6.1.2.4 Curvas e contracurvas em planos diferentes

Configurações das condutas envolvendo curvas e contracurvas em planos diferentes, muito frequentes em situações onde a conduta é subterrânea e o alojamento do equipamento de medição está à superfície, são suscetíveis de induzir rotação no escoamento. Essa rotação é proporcional ao caudal e pode ser muito significativa, com efeitos perniciosos na maior parte das tecnologias de medição.



Figura 6-3 – Curva e contracurva em planos diferentes induzem rotação no escoamento

#### 6.1.2.5 Grupos de bombagem

A maior parte dos grupos de bombagem induzem rotações no escoamento suscetíveis de perturbar o funcionamento dos medidores.

#### 6.1.3 Medidas corretoras das perturbações de escoamento

As principais medidas corretoras das perturbações de escoamento são os troços retos e os estabilizadores de escoamento.

##### 6.1.3.1 Troços retos

A aplicação de troços retos, a montante e também a jusante dos medidores, constitui uma das principais medidas de correção contra perturbações no perfil de velocidades do escoamento. As boas práticas recomendam comprimentos correspondentes a cerca de 10 diâmetros, a montante do medidor, e de 5 diâmetros a jusante daquele, salvo indicação de outros valores por parte do fabricante do medidor <sup>25</sup>.

##### 6.1.3.2 Estabilizadores de escoamento

Os estabilizadores de escoamento, na sua forma mais clássica, são formados por um feixe de tubos de modo a conseguir a relação  $L = 10 \times DN$  num curto comprimento. Ou seja, o objectivo é transformar a conduta numa série de pequenas condutas, de modo a que a citada relação  $L/DN$  se obtenha num curto espaço.

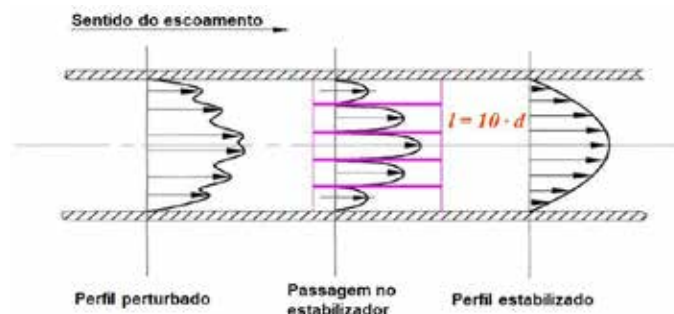


Figura 6-4 – Exemplificação de como atua um estabilizador tubular na correcção do perfil de velocidades

<sup>25</sup> Tem sido prática corrente, especialmente por parte dos fabricantes de caudalímetros eletromagnéticos, a recomendação U5/D3, ou seja, 5 diâmetros a montante (“Upstream”) e 3 diâmetros a jusante (“Downstream”).

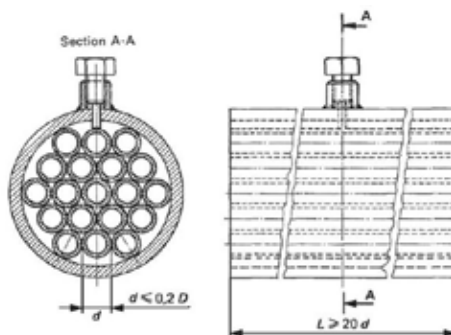
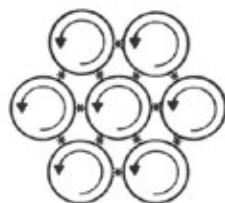


Figura 6-5 – Representação de um possível estabilizador tubular

A ação de um estabilizador tubular não se limita à correção da forma do perfil de velocidades. Este dispositivo é também muito eficaz na travagem da rotação do escoamento.

Efetivamente, à saída do feixe tubular, em cada ponto de tangência dos escoamentos parcelares, as velocidades relativas de rotação são de sentidos contrários, pelo que se dá um efeito de auto-frenagem.



\* - Simboliza o ponto de tangência

Figura 6-6 – Representação do efeito de auto-frenagem numa vista de uma secção reta a jusante de um estabilizador tubular

No entanto, outros desenvolvimentos trouxeram novos tipos de estabilizadores, dos quais se mostram seguidamente alguns esquemas possíveis.

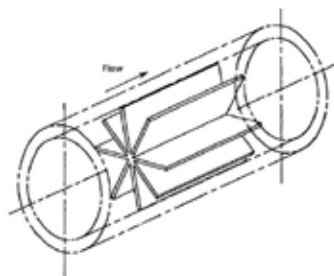
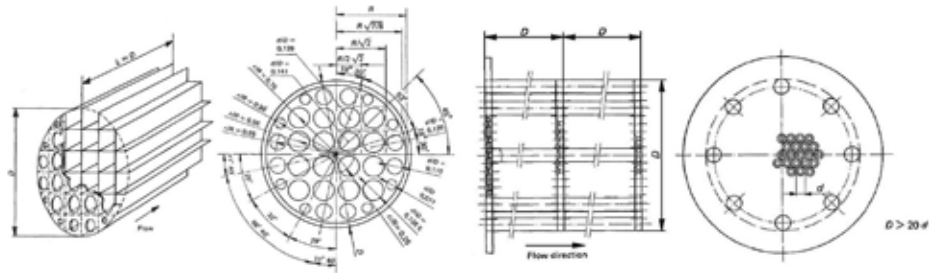


Figura 6-7 – Estabilizador em “estrela”

Alguns destes estabilizadores, não se limitam a “estabilizar”, no sentido hidráulico do termo, isto é, a recuperar a forma natural do perfil de escoamento, permitindo, para além disso, criar uma forma específica de perfil, considerada pelo fabricante do medidor como mais conveniente para o seu funcionamento. Estes novos dispositivos têm também sido designados por “condicionadores”.



Estabilizador tipo “Zanker”

Estabilizador tipo “Sprenkle”

Figura 6-8 – Outros tipos de estabilizadores/condicionadores



a)

b)

c)

d)

Figura 6-9 – Diferentes tipos de estabilizador, disponíveis no mercado. O da subfigura d) tem a particularidade curiosa de ser também uma redução cônica.

A Figura 6-10 exemplifica situações onde a inclusão de um estabilizador permite eliminar a necessidade de troço reto ou, pelo menos, de a reduzir substancialmente, permitindo, assim, ganhar espaço no interior dos alojamentos das unidades de medição.

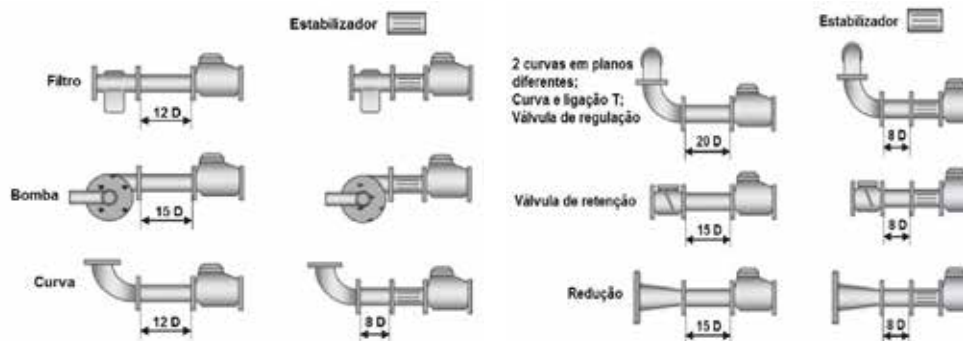


Figura 6-10 – Diferentes situações onde a aplicação de um estabilizador permite reduzir ou eliminar troços retos.

Nos tempos mais recentes, e por via da necessidade de cumprir as novas exigências de ensaios sob condições específicas de perturbações padronizadas, os fabricantes de medidores e contadores têm vindo a introduzir, nas entradas dos seus equipamentos, dispositivos capazes de estabilizar/condicionar as eventuais perturbações de escoamento.

A Figura 6-11 mostra um contador de água ultrassónico onde se vê claramente a presença de um dispositivo condicionador aplicado na entrada.

122



Figura 6-11 – Contador de água ultrassónico equipado com um dispositivo condicionador na boca de montante

#### 6.1.4 Efeitos da rotação induzida em ensaios de exploração do fenómeno

A Figura 6-12 ilustra um dispositivo (DN 100) concebido para visualizar a eventual rotação de escoamento em banco de ensaio. Por detrás de um visor de vidro acrílico, está uma turbina de pás planas e de eixo colinear com o eixo do escoamento; a turbina foi construída em material de cor preta e as bordas das pás estão pintadas de prateado para poderem ser bem visualizadas [a seta na subfigura a) indica uma borda de uma pá da turbina]. Em situação de escoamento sem rotação, a turbina permanecerá imóvel.

Na subfigura b), encontra-se aplicado um perturbador helicoidal, do lado montante (o escoamento processa-se da esquerda para a direita da imagem).

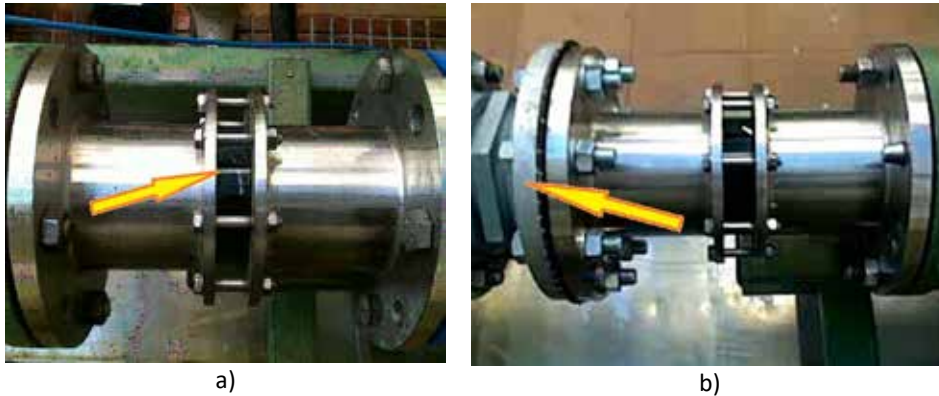


Figura 6-12 – Montagem em banco de ensaio para visualização de rotação de escoamento  
 a) Dispositivo visualizador de rotação de escoamento  
 b) O mesmo dispositivo, incorporando a montante um perturbador helicoidal  
 (Imagens obtidas no Laboratório de Contadores de Água da EPAL) <sup>26</sup>

Aos contadores de DN 100, corresponde um caudal nominal de 60 m<sup>3</sup>/h (antiga abordagem), tendo sido realizados diversos ensaios na presença do perturbador indicado na imagem.

Observações efectuadas (existe um vídeo que foi então realizado):

- a apenas 1,5 m<sup>3</sup>/h, já é bem evidente a rotação da turbina;
- a 4 m<sup>3</sup>/h, observa-se uma rotação da turbina muito significativa;
- a 15 m<sup>3</sup>/h, a rotação é já muito intensa, mas ainda bem visível;
- a 30 m<sup>3</sup>/h, isto é, ainda a metade do caudal nominal, a rotação deixa de ser visível.

Conforme já referido, o perturbador que foi instalado é do tipo helicoidal e foram ensaiados dois contadores “woltmann” de rotor horizontal, oriundos de dois fabricantes diferentes, sendo que um deles tinha turbina de hélice esquerda e outro tinha turbina de hélice direita.

- ao caudal máximo, um dos contadores “woltmann”, acusou um erro (positivo) de cerca de +10%;
- nas mesmas condições, o outro contador “woltmann”, acusou um erro (negativo) de cerca de -10%.

Como é evidente, o contador que tinha a turbina no mesmo sentido da rotação induzida, sofreu um incremento de medição, enquanto o outro contador, com turbina contrariando a rotação induzida, sofreu um atraso que, como seria de esperar, foi simétrico do outro.

A figura seguinte procura dar uma ideia de uma certa “hierarquização” dos contadores mecânicos, quanto ao seu grau de perturbabilidade, conforme o seu princípio de medição.

<sup>26</sup> Fotos do Autor



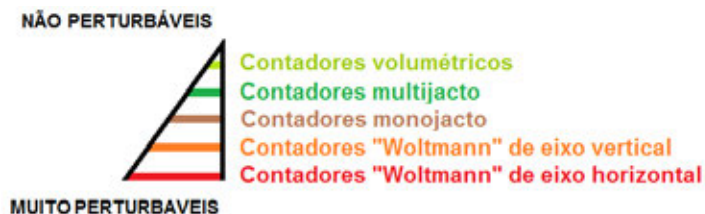


Figura 6-13 – Ordenação (indicativa) dos contadores mecânicos segundo o seu grau de perturbabilidade

Quanto aos contadores estáticos (eletromagnéticos e ultrassónicos), o seu grau de perturbabilidade depende muito dos artifícios colocados em jogo pelos respetivos fabricantes, podendo dizer-se genericamente que os eletromagnéticos são menos sensíveis à rotação induzida no escoamento do que os ultrassónicos, sendo ambos sensíveis às distorções do perfil de velocidades.

#### 6.1.5 Balanço dos cuidados a observar nas instalações de contadores

Atendendo ao anteriormente exposto, será possível sintetizar as medidas que devem ser evitadas e as que devem ser implementadas nas instalações de medidores de caudal.

- A evitar:
  - reduções ou expansões bruscas das condutas, principalmente a montante;
  - órgãos de manobra a montante na posição de "meio-aberto";
  - curvas ou joelhos em dois planos diferentes;
  - instalar o contador em pontos altos da conduta (para evitar a aglomeração de bolhas de ar).
- A promover:
  - troços retos imediatamente antes do contador (a montante) e, se possível, também depois (a jusante);
  - o comprimento ideal dos troços retos será, a montante, de cerca de 5 a 10 vezes o diâmetro da conduta e, a jusante, de 3 a 5 vezes o referido diâmetro;
  - se necessário, recorrer a estabilizadores;
  - recomendável a instalação de ventosa (a montante);
  - recomendável a instalação de filtro (a montante).

As duas últimas recomendações são também muito importantes. Com efeito, neste documento já foi referido o facto de a acumulação de bolsas de ar no interior de um medidor de caudal/contador ser muito pernicioso, pois colocará o mesmo em situação de "conduta parcialmente cheia". A instalação de filtro é sempre recomendável, como forma de proteção do contador (caso este seja mecânico) contra areias (ou até mesmo pedras!) transportadas nas condutas. Naturalmente que a instalação de filtros em contadores estáticos é perfeitamente desnecessária (do ponto de vista do contador) uma vez que estes equipamentos são constituídos por tubos lisos, não possuindo órgãos internos.

### 6.1.6 Erros comuns observados nas instalações de contadores

As figuras que se seguem são suficientemente elucidativas, exemplificando erros comumente observados em instalações de contadores.



*Figura 6-14 – Contador colocado num ponto alto (sem ventosa), instalado diretamente entre duas válvulas angulares, sem troços retos.*



*Figura 6-15 – Contador colocado em ponto alto, sem ventosa; embora disponha de troços retos, trata-se de um DN 50, montado forçadamente numa conduta DN 65, sem cones de redução (notam-se os parafusos inclinados).*



*Figura 6-16 – Contador intercalado num “comboio” de acessórios sem qualquer troço reto.*



*Figura 6-17 – Por vezes, os níveis freáticos da zona não deixam alternativa, mas um caudalímetro electromagnético (ainda que IP 68) dentro de água não é recomendável ... <sup>27</sup>*



*Figura 6-18 – Estacionamento de um Centro Comercial. Contadores monojacto de uso interno, dos serviços das lojas, colocados suficientemente alto para não se lhes chegar e virados para baixo para fácil leitura. <sup>28</sup>*

126

O caso da Figura 6-18 só pode ser explicado por desconhecimento técnico por parte dos intervenientes no processo (dono da obra, instalador, fornecedor de equipamentos, etc.). Percebe-se o interesse de ter os contadores naquela posição – suficientemente altos para os utentes do estacionamento não os alcançarem – e virados para baixo, para fácil leitura por parte de quem os controla.

O erro está no tipo de contadores; se fossem contadores volumétricos, nada contra. Tratando-se de contadores de turbina não poderiam ser colocados naquela posição! Independentemente das variantes construtivas dos diversos fabricantes, as turbinas são normalmente apoiadas como se pode ver na Figura 6-19 (à esquerda); quando a turbina está inclinada (imagem da direita), os apoios ficam sujeitos a um maior atrito (pior metrologia) e, conseqüentemente, a um desgaste anormal (menor tempo de vida do contador).

<sup>27</sup> Fotos do Autor

<sup>28</sup> Fotos do Autor

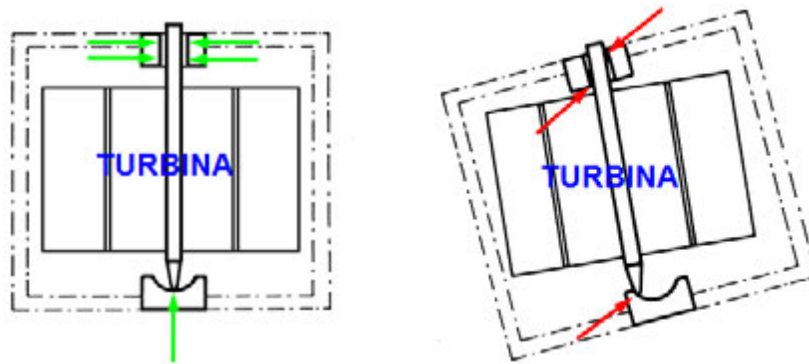


Figura 6-19 – À esquerda, uma turbina correctamente apoiada; à direita uma turbina inclinada, em situação de esforço nos seus apoios

#### 6.1.7 Boas práticas na instalação de contadores

Depois do que já foi referido neste documento, resta sistematizar as boas práticas na conceção dos compartimentos para alojamento dos contadores. A primeira de todas as regras será que os compartimentos tenham dimensões adequadas para alojar todos os órgãos que possam ser necessários como acessórios de uma unidade de contagem.

A figura que se segue indica – eventualmente por excesso – tudo o que poderá ser necessário para a instalação de um contador. Naturalmente que nem sempre todos os acessórios indicados serão necessários, dependendo das condições locais e do tipo de contador.

127

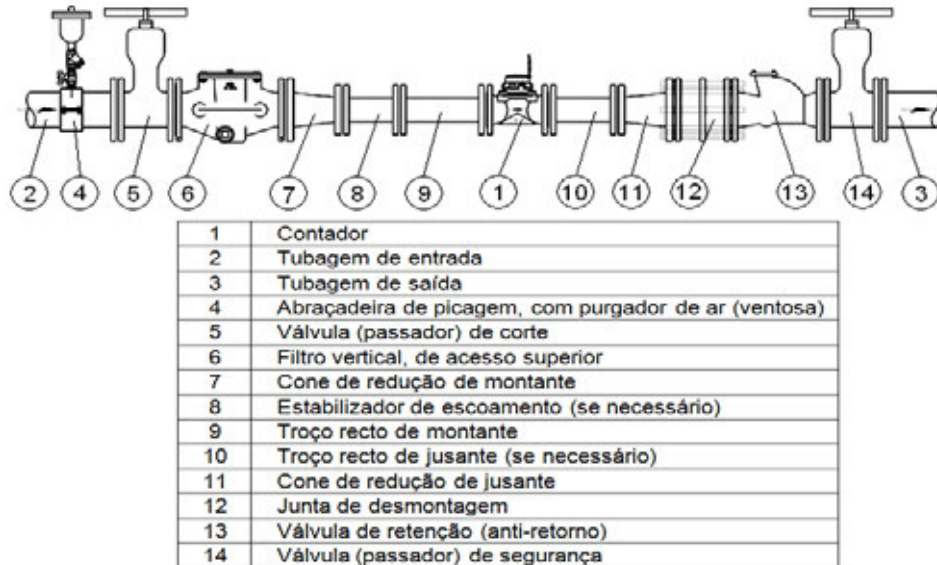


Figura 6-20 – Condições que poderão ser necessárias para a instalação de um grande contador

De modo algum, as condições da Figura 6-20 poderão ser consideradas teóricas; a figura que se segue é um exemplo de uma situação existente.

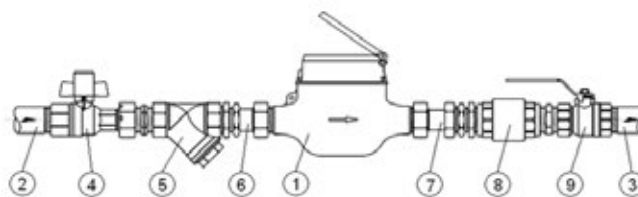


Figura 6-21 – Condições reais de instalação de um grande contador <sup>29</sup>

No caso de contadores residenciais, será de boa prática a instalação de filtros e de válvulas de retenção:

- *Filtros*: porque será sempre mais fácil a Entidade Gestora promover limpezas (no local) de filtros, do que ter de retirar – e reparar – contadores entupidos por areias;
- *Válvulas de retenção*: porque são um elemento básico de segurança da rede de abastecimento contra admissões indevidas, seja porque existem captações privadas que podem injetar na rede água sem os requisitos necessários de potabilidade, seja porque, em caso de suspensão de abastecimento, pode ocorrer sucção de fluidos “estranhos” para a rede. Essa função de segurança não pode (não deve) estar cometida a um duvidoso acessório que tradicionalmente costuma equipar os contadores residenciais – e que, não raramente, os instaladores retiram.

128



1	Contador
2	Tubagem de entrada
3	Tubagem de saída
4	Válvula (passador) de corte, com chave
5	Filtro (tipo Y)
6	Casquilho de ligação simples
7	Casquilho de ligação telescópico
8	Válvula de retenção
9	Válvula (passador) de segurança

Figura 6-22 – Condições adequadas para a instalação de contadores residenciais

<sup>29</sup> Foto do Autor

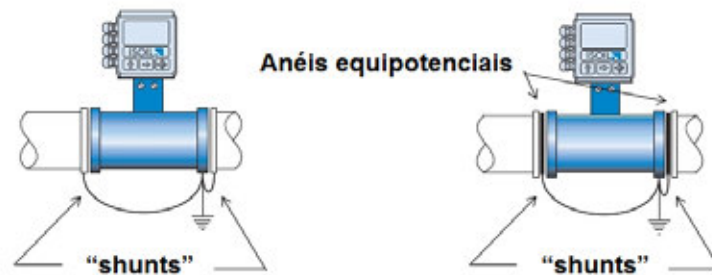


No caso particular dos medidores electromagnéticos, é importante assegurar a sua correcta equipotencialidade. Com efeito, na actual civilização, o solo é percorrido por inúmeras correntes elétricas, ditas “vagabundas”, que advêm das muitas ligações de terra de centrais e subestações elétricas, dos carris dos comboios de tração eléctrica, etc..

Essas correntes elétricas penetram nas condutas e são conduzidas pela água. Se se vai utilizar um medidor que funciona à custa de correntes elétricas geradas no seu interior, é indispensável que, a essas, não se misturem outras correntes que são conduzidas pela conduta.

Assim, estes medidores devem ser providos de ligações elétricas (“shunts”), destinadas a desviar essas correntes para fora do corpo do medidor, devendo, por sua vez, o conjunto ser ligado à terra.

Os “shunts” devem ser ligados às flanges, quando estas são metálicas e soldadas a condutas condutoras. No caso de condutas em material isolante ou de material ferroso, mas revestido ou, ainda, com aplicação de flanges postiças, que usam vedantes, os “shunts” têm de estabelecer ligação directa com a água, o que pode ser conseguido mediante o uso de anéis, ditos “equipotenciais” (geralmente realizados em aço inox), que são intercalados nas flanges de ligação do medidor.



129

Figura 6-23 – À esquerda, ligações equipotenciais em condutas metálicas; à direita, ligações equipotenciais em condutas isolantes, utilizando anéis equipotenciais

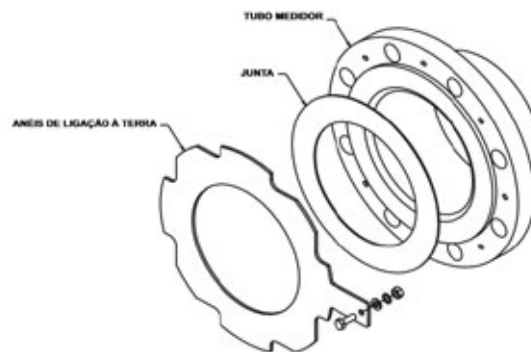


Figura 6-24 – Exemplo de anel equipotencial e sua aplicação

Na Figura 6-25 podem ser observadas ligações equipotenciais correctamente executadas, utilizando anéis equipotenciais.



*Figura 6-25 – Ligação equipotencial e à terra de um caudalímetro electromagnético, utilizando anéis equipotenciais <sup>30</sup>*

A questão das ligações equipotenciais terá sido a causa principal dos fracassos ocorridos com os modelos de contadores electromagnéticos que têm aparecido para uso residencial. Com efeito, será sempre difícil garantir ligações equipotenciais corretas em instalações de montagens em grande série e que, mais tarde, os próprios consumidores possam adulterar, ainda que inadvertidamente.

130

#### 6.1.8 Critérios de selecção de contadores

Contrariamente ao que, muitas vezes, tem sido prática instituída, o único critério que não deve ser seguido para a escolha de um contador é o diâmetro da conduta onde ele irá ser inserido. E isto tanto se aplica a grandes contadores como a contadores residenciais.

Efectivamente, não colocando em causa o projecto da conduta em questão, a qual terá sido dimensionada para um determinado horizonte de utilização, a realidade do momento da aplicação do contador não serão os regimes de caudais previstos no projecto, mas os caudais reais que estão a ser ou irão ser solicitados.

Assim, para uma correcta selecção de um contador devem ser tidos em conta os seguintes parâmetros:

- Caudais
  - Valor
  - Frequência
  - Duração
  - Limites (caudal mínimo e máximo)
- Abundância ou carência de água
- Características da água
  - Químicas
  - Físicas
- Pressão da rede
- Condições de exploração
  - Existência de sobrepessores
  - Probabilidade de “golpes de ariete”, etc.

<sup>30</sup> Fotos do Autor

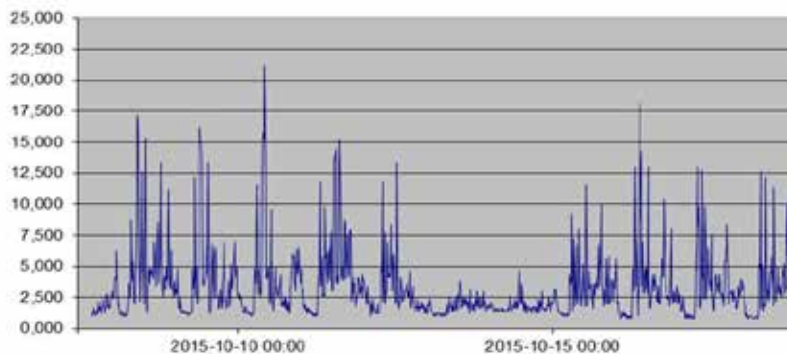


- Condições de instalação
  - Necessidade de troços retos
  - Necessidade de estabilizadores
- Condições de perda de pressão
  - No contador
  - Nos acessórios

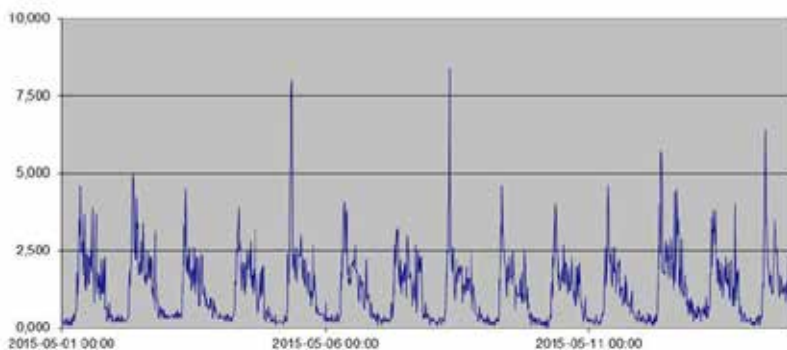
Todos ou parte destes parâmetros são essenciais para o dimensionamento (Q<sub>3</sub> e valor de R) e escolha da tecnologia mais adequada para o contador que se pretenda instalar.

De todos estes parâmetros, sem dúvida que o principal será o regime de caudais a que o contador irá ser submetido.

As figuras seguintes correspondem a exemplos de perfis de consumo de clientes típicos <sup>31</sup>.

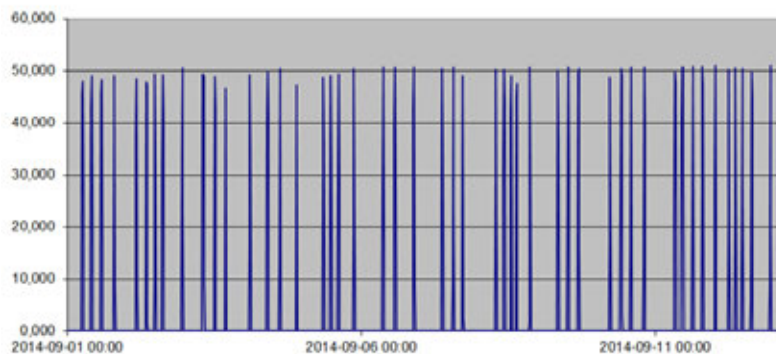


*Figura 6-26 – Perfil de consumo típico de um cliente industrial, com grandes variações de caudal. Identifica-se o ciclo semanal, com cinco dias úteis e dois dias de fim-de-semana. É também possível identificar que provavelmente existe uma fuga significativa, uma vez que o caudal nunca assume valores inferiores a cerca de 1 m<sup>3</sup>/h*



*Figura 6-27 – Perfil de consumo de um centro comercial, com todos os dias da semana idênticos. Provavelmente algumas regas, em período estival. Também é possível que exista uma pequena fuga.*

<sup>31</sup> Dados coligidos pelo Autor com garantia do sigilo profissional



*Figura 6-28 – Típico perfil de consumo de um cliente que tem um reservatório de serviço, equipado com uma válvula com sensores de nível. Nestes casos, o contador só tem dois regimes de funcionamento: ou está em pleno ou está parado.*

Sobre esta matéria, importa destacar as seguintes considerações:

- Nos casos das Figuras 6-26 e 6-27, temos uma grande variação dos caudais solicitados. Assim, devem ser escolhidos contadores que possam simultaneamente reagir aos baixos caudais e aos caudais mais elevados.

Deve-se, portanto, evitar que haja sobredimensionamento dos contadores, para ser possível medir os caudais mais baixos. Evidentemente que, nos dois casos apresentados, há diferenças grandes dos valores de regime e dos valores de “ponta”, pelo que nunca seria utilizado o mesmo contador nas duas situações, ainda que, hipoteticamente, a conduta tivesse o mesmo diâmetro em ambos os casos.

- No caso da Figura 6-28, seria, por exemplo, adequado um contador “woltmann” horizontal, pois é o contador típico para regimes elevados, comportando-se mal nos baixos caudais. Por essa mesma razão, esse tipo de contador não deverá ser utilizado nos dois primeiros casos, onde será mais adequada a utilização de um contador monojecto de grande calibre ou de um ultrassónico.

Não será possível entrar em mais pormenores de selecção, sem recorrer a dados de catálogos de fabricantes, o que evidentemente fica fora do âmbito deste documento. Recomenda-se simplesmente que os contadores sejam escolhidos apenas com base nos valores de  $Q_3$  e de  $R$  que os fabricantes exponham nos seus catálogos, o que, por sua vez, condiciona a tecnologia a utilizar.

Repete-se que o DN da conduta nunca deve influenciar a escolha. Depois do contador seleccionado, ele terá o DN que o fabricante oferecer (normalmente menor que o da conduta onde irá ser inserido) e serão aplicadas as adequadas reduções cónicas e demais acessórios atrás recomendados.

### 6.1.9 Boas práticas na instalação e colocação em serviço dos contadores<sup>32</sup>

#### 6.1.9.1 Condições dos locais de instalação

Os contadores devem estar acessíveis para leitura (por exemplo, sem ser necessário recorrer a um espelho ou escada), instalação, manutenção, remoção, e se necessário para desmontar o elemento de medida.

Adicionalmente, para contadores com peso superior a 25 kg, deverá haver livre acesso ao local de instalação, de modo a permitir a colocação ou remoção do contador e deverá haver, na área circundante, espaço suficiente para colocação de equipamento de elevação.

Devem ser tidas em consideração as necessidades de iluminação no local da instalação e de o piso ser regular, rígido, antiderrapante e livre de obstáculos.

Devem ser tomadas medidas para evitar contaminações, especialmente se o contador estiver instalado numa caixa enterrada, colocando este e os acessórios a uma adequada altura do chão. Se necessário, a caixa enterrada deverá ser equipada com um sistema de drenagem para remoção da água.

#### 6.1.9.2 Proteção do contador

Para um correto funcionamento, o contador deverá estar sempre cheio de água. Se existir o risco de acumulação de ar no contador, deverá ser instalado um purgador de ar/ventosa num ponto mais elevado.

O contador deve ser protegido contra o risco de dano por choque ou vibração.

O contador não deve estar sujeito a esforços, causados pelas tubagens ou pelos acessórios. Se necessário, deverá ser instalado num maciço ou num suporte. A tubagem de água e os acessórios deverão estar devidamente fixados para garantir que nenhuma parte da instalação ceda devido à pressão da água, quando o contador é retirado ou desligada uma das extremidades.

O contador deverá ser protegido contra o risco de danos causados por temperatura excessiva da água ou do ar.

Quando possível, a caixa enterrada deverá estar protegida contra inundações e água da chuva.

Se, pelas condições específicas da instalação, a exatidão da medição do volume passado pelo contador possa ser afetada pela presença de partículas em suspensão na água, deverá ser instalado um filtro. O filtro deverá ser instalado na entrada do contador ou na tubagem a montante.

Devem ser colocados dispositivos de proteção para impedir o escoamento inverso de água sempre que o contador instalado esteja aprovado para medir água num só sentido, ou nos contadores onde o escoamento inverso possa provocar um erro de medição superior ao erro máximo admissível ou levar à deterioração do contador.

Sempre que o contador estiver concebido para medir a água nos dois sentidos, deve possuir um dispositivo indicador de escoamento inverso, por exemplo, como no caso dos contadores eletromagnéticos bidirecionais.

---

<sup>32</sup> Recomendações da Norma EN ISO 4064-5:2014

Caso a medição seja utilizada para transação comercial, onde o escoamento de água deva ser unidirecional, a protecção deverá consistir num dispositivo de retenção, aprovado para utilização em contacto com a água, que pode ser incorporado na tubuladura do contador ou noutra acessório existente. A protecção contra o escoamento inverso pode ser incorporada no contador na sua concepção.

#### 6.1.9.3 Protecção contra o gelo

Devem ser tomadas medidas para evitar o congelamento do contador de água, que não restrinjam o acesso ao mesmo. Caso sejam utilizados materiais de isolamento, estes devem ser à prova de decomposição.

#### 6.1.9.4 Colocação em serviço

Antes de se instalar o contador, deve-se proceder a uma descarga de água, para limpeza da tubagem. Deverão ser tomadas precauções para evitar a entrada de detritos para o contador ou para o sistema de abastecimento de água.

Após a instalação do contador, a água deverá ser aberta lentamente, para que a purga do ar existente na tubagem e no contador não provoque um excesso de velocidade e consequentemente o danifique.

### 6.2 Escoamentos em condutas de saneamento (secção cheia ou superfície livre)

#### 6.2.1 Considerações gerais

As motivações para medir caudal em saneamento são essencialmente de duas naturezas: operacional ou faturação.

Assim, quando se avança para a implementação de um ou mais pontos de medição de caudal, pretende-se conseguir um ou mais dos seguintes objetivos:

- Operacional
  - Otimização da gestão operacional dos sistemas integrados;
  - Recolha de informação essencial à definição de estratégias de planeamento e gestão global dos sistemas;
  - Avaliação das aflúências indevidas aos sistemas (pluviais, maré, infiltração e industrial);
  - Indicadores da actividade.
- Faturação
  - Avaliação das contribuições dos municípios/clientes, de acordo com o estabelecido contratualmente (p.e. Contrato de concessão).

Considerando as características/tipologia da maior parte dos sistemas de saneamento do país, a maioria dos medidores faz parte dos sistemas de medição dos caudais afluentes às ETAR. Assim, em termos de localização, a generalidade dos medidores de águas residuais encontram-se nas ETAR, nas EEAR e nas Rede de drenagem.

No que respeita à tipologia, os medidores mais comuns nos sistemas de saneamento são os Eletromagnéticos, os medidores Ultrasónicos de Nível e os Multissensoriais.

### 6.2.2 Tipologias de medição

No que diz respeito à tipologia, o medidor ultrassónico de nível é frequentemente utilizado à entrada das ETAR, para a medição de nível em canal Parshall ou descarregadores. Esta solução é a mais frequente em ETAR de pequena dimensão. Para ETAR de maior dimensão, a solução de medição passa frequentemente por colocação de medidores eletromagnéticos (de secção cheia ou parcialmente cheia).

Nas EE, a tecnologia comumente utilizada é a eletromagnética de secção cheia. Contudo, em estações elevatórias já construídas e onde não existe comprimento suficiente na tubagem de compressão para a colocação do medidor eletromagnético nas adequadas condições de instalação, poderá ser utilizado um medidor com tecnologia ultrassónica por tempo de trânsito. Esta tecnologia permite reduzir os comprimentos dos troços retos a montante e a jusante recomendados para a medição de caudal em pressão; contudo, é sempre necessário respeitar as condições de instalação recomendadas pelo fabricante.

Dada a grande diversidade de condições e caudais a medir nas redes de drenagem, são várias as tipologias possíveis de serem selecionadas. O medidor eletromagnético do tipo cachimbo funciona em pressão e é utilizado em redes de pequena dimensão onde frequentemente não são atingidos os níveis mínimos de escoamento e velocidade exigidos para a aplicação de qualquer outra tecnologia. A principal desvantagem deste tipo de instalação prende-se com a entrada em carga da rede de coletores a montante do ponto de medição, assim como a acumulação significativa de sólidos. Contudo, tem a vantagem de conseguir registar tanto durante o dia como durante a noite com menor caudal. É uma boa opção para campanhas de medição de caudal de curta duração.

Outra opção disponível para a medição de caudal na rede são os medidores portáteis, com medição de velocidade por radar e medição de nível por sensor ultrassónico ou por radar. Estes medidores são extremamente robustos e com a vantagem de não estarem em contacto direto com o escoamento, do que resulta menor necessidade de manutenção. Adicionalmente, são equipamentos que se ajustam tanto a redes de pequena dimensão como a redes de maior dimensão.

Como equipamento multissensorial, temos ainda a possibilidade de medição de velocidade por tecnologia ultrassónica.

No que diz respeito aos métodos multissensoriais <sup>33</sup>, são várias as tecnologias disponíveis e são diversas as combinações possíveis de efetuar para medir caudal, através da velocidade e do nível. Estas combinações estão dependentes dos limites de velocidade e altura de escoamento registados no local ao longo do dia e das características físicas da própria rede de drenagem.

Nas figuras seguintes, apresentam-se exemplos de medidores de caudal, agrupados pelo tipo das principais infraestruturas dos sistemas de saneamento <sup>34</sup>.

- Em instalações de ETAR:

---

<sup>33</sup> Quando se faz referência a sistemas “multissensoriais”, costumam ser indicados métodos de medição com sensores separados (um para velocidade e outro para o nível de enchimento da conduta). No entanto, um caudalímetro electromagnético para conduta parcialmente cheia, em rigor, é também um sistema multissensorial, em que os dois tipos de sensores coabitam num mesmo invólucro de equipamento (ver 5.4.4).

<sup>34</sup> Fotos das Autoras



*Caudalímetro electromagnético de secção cheia*



*Medidor ultrassónico de nível aplicado num descarregador*



*Medidor ultrassónico de nível aplicado num canal Parshall*

*Figura 6-30 – Tipos de medidores de caudal mais correntemente utilizados em ETAR*

- Em instalações de EE:



*Caudalímetro electromagnético de secção cheia*



*Caudalímetro ultrassónico por medição do tempo de trânsito*

*Figura 6-31 – Tipos de medidores de caudal mais correntemente utilizados em EE*



- Em instalações da rede de drenagem:



*Caudalímetro electromagnético do tipo cachimbo*



*Caudalímetro electromagnético de secção parcialmente cheia*



*Caudalímetros multissensoriais por radar*



*Caudalímetros multissensoriais ultrassónicos*

*Figura 6-32 – Tipos de medidores de caudal utilizados em redes de drenagem*



### 6.2.3 Condicionantes

A medição de caudal, particularmente em saneamento, constitui um desafio e as grandes dificuldades prendem-se com as seguintes condicionantes:

- Tipo de fluido a quantificar;
- escoamento em superfície livre e em regime de escoamento variável;
- Características das redes de drenagem;
- Comportamento unitário das redes de drenagem;
- Elevada necessidade de manutenção dos equipamentos e dos locais de instalação;
- Limitações tecnológicas dos equipamentos;
- Díficeis condições de trabalho.

As águas residuais transportam um elevado número de sólidos grosseiros, areias e gorduras. Estes resíduos impedem frequentemente o correto funcionamento dos sensores de medição, quer por colmatção quer por colisão direta. Adicionalmente, estes sólidos ficam recorrentemente presos ao suporte dos sensores, o que implica a necessidade de frequente manutenção.



*Acumulação de lixo no suporte do sensor*

*Acumulação de pedras debaixo do sensor*

*Figura 6-33 – Exemplo das acumulações de detritos nos sensores*

Por outro lado, a existência de diversas singularidades nos coletores provoca um escoamento irregular, situação que constitui um condicionamento à medição em superfície livre. Assim, a seleção de um local na rede de drenagem que disponha de com boas condições de instalação de um medidor constitui mais uma dificuldade adicional, quer devido à existência de irregularidades na caleira, decorrente da acumulação de sedimentos, da existência de quedas ou de outras ligações que interferem no escoamento.



*Escoamento irregular decorrente de uma caleira irregular*

*Câmara de visita com queda*

*Figura 6-34 – Escoamentos irregulares devidos a singularidades das caleiras*

O próprio comportamento das redes de drenagem, maioritariamente unitário, conduz a um aumento significativo de caudal, com arrastamento de sólidos grosseiros durante eventos de precipitação. Este comportamento leva frequentemente a falhas de medição, quer por entrada em carga dos coletores, quer por mau funcionamento ou arrastamento dos sensores do local. O controlo de aflúências indevidas a montante destes pontos de medição permite, para além da melhoria do desempenho técnico dos sistemas de drenagem, uma medição de caudal com maior fiabilidade, mesmo em tempo de chuva.

Por outro lado, existe uma limitação de todas as tecnologias de medição de caudal no que diz respeito às gamas de velocidades e níveis para as quais a leitura é possível. Em locais onde a variação destes parâmetros (nível e velocidade) é elevada, haverá certamente períodos onde não será possível o correto funcionamento dos sensores. Em redes de pequena dimensão, esta variação ocorre frequentemente durante períodos noturnos onde o nível e velocidade de escoamento são muito baixos.

As difíceis condições de trabalho no interior de infraestruturas de saneamento são outra condicionante na correta instalação dos medidores de caudal. É sempre obrigatório o cumprimento de todas as regras de segurança e o recurso aos equipamentos de proteção necessários para trabalhos em espaços confinados.



*Instalação em câmara com profundidade e caudal elevados*

*Instalação em câmara com difícil acesso*

*Figura 6-35 – Instalações em condições de acesso e trabalho difíceis*

#### 6.2.4 Seleção da solução

Após a escolha do local indicado para a medição de caudal, há que ter em consideração os seguintes fatores para a correta escolha da tecnologia:

- *Tipo de escoamento (em pressão ou em superfície livre):*  
As tecnologias disponíveis são diferentes para os diferentes tipos de escoamento.
- *Objetivo da medição (medição permanente/temporária/operacional/faturação):*  
A medição permanente deverá ser efetuada com recurso a tecnologias com necessidades reduzidas de manutenção. Por exemplo, um medidor eletromagnético do tipo cachimbo não deverá ser usado como medição permanente, uma vez que coloca a rede de coletores em carga a montante.
- *Custo de investimento e necessidades de manutenção:*  
Existem tecnologias que conduzem a um investimento elevado, como é o caso dos caudalímetros eletromagnéticos de secção parcialmente cheia, que implicam uma elevada componente de construção civil para a sua instalação. Em situações de campanhas temporárias, esta tecnologia nunca deverá ser equacionada.
- *Variabilidade diária dos níveis de escoamento (níveis mínimos e máximos):*  
Todas as tecnologias estão limitadas para um registo de nível de escoamento mínimo e máximo.
- *Variabilidade diária das velocidades de escoamento (velocidades mínimas e máximas):*  
Todas as tecnologias estão limitadas para um registo de velocidade mínima e máxima.

De forma a perceber-se qual a tecnologia que melhor se adequa a um determinado local, no que diz respeito a velocidades e níveis de escoamento, é recomendável que se faça uma campanha pontual, com medição portátil, para ambos os parâmetros. Esta campanha deve decorrer tanto na altura de pico de caudal, como na altura do caudal mínimo noturno.



*Medição de velocidade com vara portátil*



*Medição de nível com régua*

*Figura 6-36 – Avaliações preliminares dos possíveis locais de medição permanente*

- *Acumulação de sedimentos:*  
Em locais onde se registem frequentes acumulações de sedimentos não se deverá recorrer a tecnologias com posicionamento de sensores na base do coletor. Apesar de ser possível parametrizar a altura de sedimentos no medidor de caudal, este valor nunca

será uma constante, pelo que estará sempre a ser introduzido um erro adicional à medição. Por outro lado, a acumulação de sedimentos conduz a uma alteração do comportamento do escoamento, dificultando a medição de caudal.

- *Acessibilidade ao equipamento:*

Em situações de difícil acessibilidade ao ponto de medição de caudal, deverá ser selecionada uma tecnologia com necessidade reduzida de manutenção. Embora devam ser evitadas, poderão ter de ser consideradas situações de difícil acessibilidade, como sejam pontos localizados em propriedades privadas, de difícil acesso físico, ou com necessidade de condicionamento de trânsito e policiamento.



*Figura 6-37 – Instalação na faixa de rodagem (implica policiamento e desvio de trânsito)*

- *Alimentação de energia elétrica ao equipamento:*

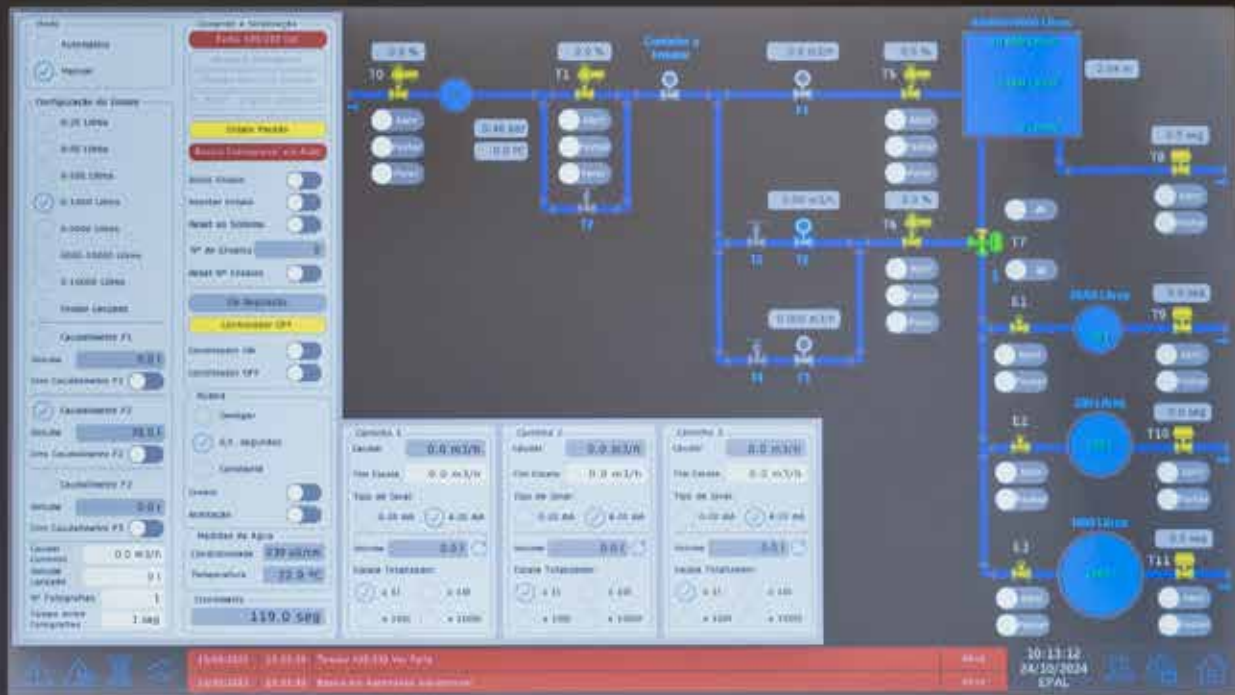
A alimentação do equipamento poderá ser feita através da rede elétrica, baterias ou painéis solares. As alternativas de alimentação poderão variar consoante a instalação perspetivada seja uma medição temporária ou permanente.

- *Capacidade técnica dos recursos humanos:*

Existem tecnologias com maior necessidade de intervenção de recursos humanos do que outras. Esta intervenção é necessária quer para a manutenção do medidor quer para parametrização e análise de resultados.

# BANCO DE ENSAIOS - F

Harmony



Schneider Electric



## 7 Comunicação e tratamento de dados

### 7.1 Generalidades

Qualquer tipo de comunicação tem de se basear numa “linguagem”, a qual, se for suficientemente desenvolvida para envolver conceitos quantitativos, terá de conter uma “base de numeração”.

#### 7.1.1 Bases de numeração

Dizem as lendas que a maioria das populações humanas usa a base 10 pela simples razão de que os humanos têm 10 dedos nas duas mãos; isto é, contam “pelos dedos”! No entanto, ainda recentemente era comum a utilização da base da “dúzia” (12), sendo que uma “grosa” era constituída por 12 dúzias (144). Portanto, as bases de numeração mais não são do que convenções.

Para expressar e escrever quantidades representadas numericamente, empregam-se símbolos denominados “algarismos” (ou “dígitos”). No sistema de numeração decimal, ou de base 10, que é o mais utilizado na prática, utilizam-se 10 símbolos diferentes (e daí o seu nome de “decimal”): 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Assim:

- Base decimal (10) – usa 10 “algarismos”, identificados pelos símbolos 0 a 9.
- Base binária (2) – usa apenas 2 “algarismos”, identificados pelos símbolos 0 e 1.
- Base octal (8) – usa 8 “algarismos”, identificados pelos símbolos 0 a 7.
- Base hexadecimal (16) – usa 16 “algarismos”, identificados pelos símbolos 0 a 9 e A a F.

143

Decimal	Binário	Octal	Hexadecimal
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

Figura 7-1 – Equivalências entre as diferentes bases

Assim, o significado da escrita na base 10 é o seguinte:

Considerando, por exemplo, o número 3527, o seu valor é dado por:

$$3 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 7 \times 10^0, \text{ ou seja, } 3527 = 3000 + 500 + 20 + 7.$$

Seguindo um processo idêntico, é possível escrever números em bases de numeração diferentes da base 10.

Na base 2, que apenas usa os algarismos 0 e 1, o número 101101 deverá ser entendido como sendo:

$$1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

ou seja, 45, se escrito na base 10.

A tabela da Figura 7-2 exemplifica a metodologia de conversão.

CONVERSÃO DE BINÁRIO PARA DECIMAL								
	Coluna 8	Coluna 7	Coluna 6	Coluna 5	Coluna 4	Coluna 3	Coluna 2	Coluna 1
<b>Base</b> expoente	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
<b>Valor</b>	128	64	32	16	8	4	2	1
<b>Exemplo 1</b>	1	1	0	1	1	0	1	0
	$128 + 64 + 16 + 8 + 2 = 218$							
<b>Exemplo 2</b>	1	0	0	1	1	1	0	1
	$128 + 16 + 8 + 4 + 1 = 157$							

Figura 7-2 – Metodologia de conversão de base binária para decimal

Exemplo de conversão em sentido inverso:

Converter o número 12, representado na base decimal, para outro número, na base binária (base 2):

$$12 : 2 = 6 \text{ (resto 0)}; 6 : 2 = 3 \text{ (resto 0)}; 3 : 2 = 1 \text{ (resto 1)}$$

Então:  $12 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$  ou seja, 1100 na base binária

Outra forma mais expedita, recorre ao algoritmo da divisão, em cadeia, conforme exemplificado na Figura 7-3, tomando no sentido inverso o valor do último quociente e os demais restos:

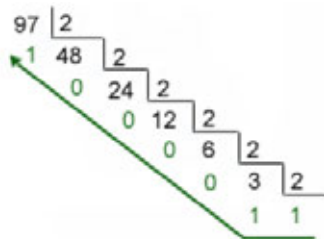


Figura 7-3 – Metodologia de conversão de base decimal para binária

Assim, o número 97, na base decimal, corresponde ao número 1100001, na base binária.

**Nota:** Na base 2, não fará qualquer sentido tentar ler o número 1100001 como “um milhão, cem mil e um”; deverá ser lido simplesmente como “um, um, zero, zero, zero, zero, um”



LSB → MSB↓	_0	_1	_2	_3	_4	_5	_6	_7	_8	_9	_A	_B	_C	_D	_E	_F
0_	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1_	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2_	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
3_	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
4_	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
5_	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
6_	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
7_	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
8_	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
9_	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
A_	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
B_	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
C_	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
D_	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223
E_	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
F_	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

Figura 7-4 – Tabela de conversão de base hexadecimal para decimal

Na base hexadecimal, uma matriz  $F \times F$  corresponde a 256 posições (255 mais a do 0), tal como uma matriz de  $10 \times 10$  terá 100 posições na base decimal.

145

Assim, por exemplo, o número hexadecimal 8D terá o valor 141 na base decimal (ver tabela da Figura 7-3).

#### 7.1.2 Nomenclatura dos grandes números

A escrita dos grandes números obedece às regras aprovadas na 9.ª Conferência Geral dos Pesos e Medidas (CGPM), realizada em 1948, e reconfirmadas pela 22.ª CGPM, em 2003.

Estas regras foram adotadas em Portugal pela Portaria n.º 14 608, de 1953-11-11 (que aprovou a NP-18, para a área da economia), pela Portaria n.º 17 052, de 1959-03-04 (para a área do ensino), e ainda pela Portaria n.º 17 640, de 1960-03-19 (para as colónias).

Desde então, definiu-se que:

- O separador decimal pode ser a vírgula ou o ponto, adotados respetivamente pelos países de língua ou tradição francesa ou inglesa (Portugal sempre seguiu a tradição francesa).
- Os grandes números devem ser agrupados em grupos de três dígitos, para facilitar a leitura, sem que se separem por qualquer sinal de pontuação, seja vírgula ou ponto.
- A terminologia “milhões”, “biliões”, etc. é formada de acordo com a regra “n”:

$$10^{6n} = (n) \text{ ilião}$$

Da aplicação da regra “n” (para “n” > 1), resulta a seguinte tabela de terminologia:

n	Potência 10 <sup>6n</sup>	Nome	Valor por extenso
1	10 <sup>6</sup>	Milhão	1 000 000
2	10 <sup>12</sup>	Bilhão	1 000 000 000 000
3	10 <sup>18</sup>	Trilhão	1 000 000 000 000 000 000
4	10 <sup>24</sup>	Quatrilhão	1 000 000 000 000 000 000 000 000
5	10 <sup>30</sup>	Quintilhão	1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000
6	10 <sup>36</sup>	Sextilhão	1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000
7	10 <sup>42</sup>	Septilhão	1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000
8	10 <sup>48</sup>	Octilhão	1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000
9	10 <sup>54</sup>	Nonilhão	1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

Figura 7-5 – Nomenclatura dos grandes números

Importa expor algumas considerações sobre a terminologia dos grandes números, a qual é causa habitual de confusões, consoante a utilização dos termos tem origem em línguas latinas ou saxónicas:

Começando pelo Português:

1 milhão = 1 000 000 = 10<sup>6</sup> (este caso não oferece dúvidas).

Também se pode dizer 1 Mega ...

1 000 milhões = 1 000 000 000 = 10<sup>9</sup>. Também se pode dizer 1 Giga ...

1 000 000 milhões (1 milhão de milhões) = 1 000 000 000 000 = 10<sup>12</sup>.

Também se pode dizer 1 Tera ... Neste caso diz-se 1 bilhão.

Agora que o conceito ficou assente, passa-se à língua Francesa, usando logo a notação matemática:

1 million = 10<sup>6</sup>

1 milliard = 10<sup>9</sup>

**Nota:** Em Português, não existe palavra equivalente; diz-se simplesmente "mil milhões" ou "1 milhar de milhões".

1 billion = 10<sup>12</sup>

Neste caso, a raiz latina é idêntica, em Francês ou Português.

**Nota:** Estes termos, em Francês, escrevem-se sempre com 2 LL.

Mas, quando se passa à língua Inglesa, surge a discrepância. Os povos de língua inglesa dizem:

1 billion = 10<sup>9</sup>

Atrás, foi referido que Portugal segue a tradição francesa. Com a mistura de influências que hoje existe, nomeadamente no campo das tecnologias, onde a cultura anglo-saxónica tem vindo a ganhar preponderância, esta diferença de terminologia já tem originado grandes confusões, pois, por cá, quando existe uma referência a “um bilião” nunca se sabe se se trata de 10<sup>9</sup> ou de 10<sup>12</sup>. Resta acrescentar que no Brasil se usa o termo “bilhão” e que, dada a forte influência dos EUA no país, fica também sempre a dúvida se se estão a referir a 10<sup>9</sup> ou a 10<sup>12</sup>.

### 7.1.3 Nomenclatura dos números informáticos

**Bit (b)** – Menor unidade de medida na transmissão de dados, usada nas tecnologias informáticas. O nome deriva do inglês “*binary digit*”.

Um “bit” tem um único valor, 1 ou 0, (verdadeiro ou falso), sendo que, neste contexto, qualquer um dos dois valores se excluem mutuamente.

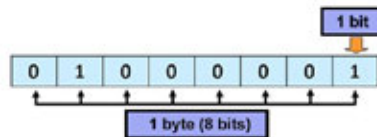
Resulta daqui que toda a informação que é processada nos computadores é fundamentada na base de numeração 2, diversamente da numeração humana que se fundamenta geralmente na base 10.

**Byte (B)** – também designado “octeto”, é formado por um conjunto de 8 bits. Como todo o processamento informático é feito na base 2, foi convencionado que esse processamento seria baseado em blocos de informação (“bytes”) constituídos por 8 bits.

**Nota:** Nos primórdios do desenvolvimento das técnicas computacionais, os blocos de informação já foram constituídos por 4 e também por 6 bits. A partir de 1961, por influência da ASCII<sup>35</sup>, foi adotada a uniformização de 8 bits.

Assim, um bloco ASCII:  $1\text{ B} = 8\text{ b}$  ( $2^3\text{ b}$ )

Permutações possíveis:  $2^8 = 256$



147

Múltiplos do byte			
Nome	Simbolo	Múltiplo	Extenso
byte	B	$2^0$	
quiloobyte	kB	$2^{10}$	1 024
megabyte	MB	$2^{20}$	1 048 576
gigabyte	GB	$2^{30}$	1 073 741 824
terabyte	TB	$2^{40}$	1 099 511 627 776
petabyte	PB	$2^{50}$	1 125 899 906 842 620
exabyte	EB	$2^{60}$	1 152 921 504 606 840 000
zettabyte	ZB	$2^{70}$	1 180 591 620 717 410 000 000
yottabyte	YB	$2^{80}$	1 208 925 819 614 620 000 000 000

Figura 7-6 – Nomenclatura dos números informáticos

<sup>35</sup> ASCII (American Standard Code for Information Interchange): Conjunto de códigos capazes de representarem praticamente quaisquer números, letras, pontuação e outros caracteres. O código ASCII é formado por todas as permutações possíveis de 8 bits

A tabela ASCII é constituída pelos 256 (0 a 255) códigos hexadecimais, dividida em duas páginas. A primeira página vai de 0 a 127 e contém os principais comandos e caracteres utilizados (ver Figura 7-7). A segunda página (128 a 255) contém os restantes caracteres especiais das diversas línguas – como, por exemplo, o “Ç” ou o “ã” da língua Portuguesa, ou o símbolo monetário do Euro “€”.

Decimal - Binary - Octal - Hex - ASCII Conversion Chart																			
Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII
0	00000000	000	00	NUL	32	00100000	040	20	SP	64	01000000	100	40	@	96	01100000	140	60	ˆ
1	00000001	001	01	SOH	33	00100001	041	21	!	65	01000001	101	41	A	97	01100001	141	61	a
2	00000010	002	02	STX	34	00100010	042	22	"	66	01000010	102	42	B	98	01100010	142	62	b
3	00000011	003	03	ETX	35	00100011	043	23	#	67	01000011	103	43	C	99	01100011	143	63	c
4	00000100	004	04	EOT	36	00100100	044	24	\$	68	01000100	104	44	D	100	01100100	144	64	d
5	00000101	005	05	ENQ	37	00100101	045	25	%	69	01000101	105	45	E	101	01100101	145	65	e
6	00000110	006	06	ACK	38	00100110	046	26	&	70	01000110	106	46	F	102	01100110	146	66	f
7	00000111	007	07	BEL	39	00100111	047	27	'	71	01000111	107	47	G	103	01100111	147	67	g
8	00001000	010	08	BS	40	00101000	050	28	(	72	01001000	110	48	H	104	01101000	150	68	h
9	00001001	011	09	HT	41	00101001	051	29	)	73	01001001	111	49	I	105	01101001	151	69	i
10	00001010	012	0A	LF	42	00101010	052	2A	*	74	01001010	112	4A	J	106	01101010	152	6A	j
11	00001011	013	0B	VT	43	00101011	053	2B	+	75	01001011	113	4B	K	107	01101011	153	6B	k
12	00001100	014	0C	FF	44	00101100	054	2C	,	76	01001100	114	4C	L	108	01101100	154	6C	l
13	00001101	015	0D	CR	45	00101101	055	2D	-	77	01001101	115	4D	M	109	01101101	155	6D	m
14	00001110	016	0E	SO	46	00101110	056	2E	.	78	01001110	116	4E	N	110	01101110	156	6E	n
15	00001111	017	0F	SI	47	00101111	057	2F	/	79	01001111	117	4F	O	111	01101111	157	6F	o
16	00010000	020	10	DLE	48	00110000	060	30	0	80	01010000	120	50	P	112	01110000	160	70	p
17	00010001	021	11	DC1	49	00110001	061	31	1	81	01010001	121	51	Q	113	01110001	161	71	q
18	00010010	022	12	DC2	50	00110010	062	32	2	82	01010010	122	52	R	114	01110010	162	72	r
19	00010011	023	13	DC3	51	00110011	063	33	3	83	01010011	123	53	S	115	01110011	163	73	s
20	00010100	024	14	DC4	52	00110100	064	34	4	84	01010100	124	54	T	116	01110100	164	74	t
21	00010101	025	15	NAK	53	00110101	065	35	5	85	01010101	125	55	U	117	01110101	165	75	u
22	00010110	026	16	SYN	54	00110110	066	36	6	86	01010110	126	56	V	118	01110110	166	76	v
23	00010111	027	17	ETB	55	00110111	067	37	7	87	01010111	127	57	W	119	01110111	167	77	w
24	00011000	030	18	CAN	56	00111000	070	38	8	88	01011000	130	58	X	120	01111000	170	78	x
25	00011001	031	19	EM	57	00111001	071	39	9	89	01011001	131	59	Y	121	01111001	171	79	y
26	00011010	032	1A	SUB	58	00111010	072	3A	:	90	01011010	132	5A	Z	122	01111010	172	7A	z
27	00011011	033	1B	ESC	59	00111011	073	3B	;	91	01011011	133	5B	[	123	01111011	173	7B	{
28	00011100	034	1C	FS	60	00111100	074	3C	<	92	01011100	134	5C	\	124	01111100	174	7C	
29	00011101	035	1D	GS	61	00111101	075	3D	=	93	01011101	135	5D	]	125	01111101	175	7D	}
30	00011110	036	1E	RS	62	00111110	076	3E	>	94	01011110	136	5E	^	126	01111110	176	7E	~
31	00011111	037	1F	US	63	00111111	077	3F	?	95	01011111	137	5F	_	127	01111111	177	7F	DEL

Figura 7-7 – Primeira página (0 a 127) da tabela ASCII

<b>m</b>	<b>e</b>	<b>t</b>	<b>r</b>	<b>o</b>	<b>l</b>	<b>o</b>	<b>g</b>	<b>i</b>	<b>a</b>
0110 1101	0110 0101	0111 0100	0111 0010	0110 1111	0110 1100	0110 1111	0110 0111	0110 1001	0110 0001

<b>M</b>	<b>E</b>	<b>T</b>	<b>R</b>	<b>O</b>	<b>L</b>	<b>O</b>	<b>G</b>	<b>I</b>	<b>A</b>
0100 1101	0100 0101	0101 0100	0101 0010	0100 1111	0100 1100	0100 1111	0100 0111	0100 1001	0100 0001

Figura 7-8 – Exemplo das palavras “metrologia” e “METROLOGIA”, escritas nos seus correspondentes caracteres binários da tabela ASCII

#### 7.1.4 Arquitetura de uma máquina de processamento

Uma vez estabelecidas as regras e os códigos de comunicação, é necessário o indispensável suporte físico para o processamento dos dados.

Os elementos básicos de uma máquina de processamento são:

- CPU – Unidade central de processamento (cérebro)
- RAM – Memória de leitura/escrita (acesso aleatório)
- ROM – Memória só de leitura
- Módulo de entradas
- Módulo de saídas
- Módulo de comunicações
- Memória secundária (de massa)

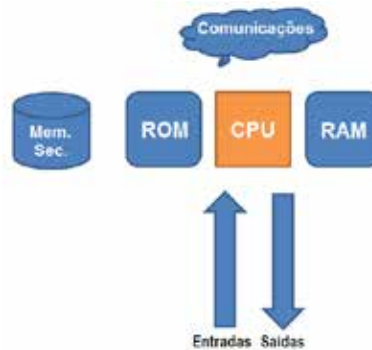


Figura 7-9 – Elementos básicos de uma máquina de processamento

No mercado, existem diversos tipos de CPU, identificados por designações dos respectivos fabricantes, as quais representam sucessivas gerações destes componentes.

Por ex.: INTEL Pentium, INTEL Core i7, AMD Turion 64, AMD Athlon 64 X2, etc..

As memórias podem ser só de leitura (ROM – Read Only Memory) ou de leitura/escrita (RAM – Random Access Memory). Cada uma destas famílias tem as suas variantes específicas:

- RAM
  - DRAM – Dinamic Random Access Memory (necessita de refrescamento e é mais lenta);
  - SRAM – Static Random Access Memory (mais rápida e consome menos energia);
  - RDRAM – Rambus Dinamic Random Access Memory (extremamente rápida).
- ROM
  - PROM – Memórias que só podem ser gravadas uma vez em dispositivos especiais;
  - EPROM – Equivalentes às PROM mas podem ser apagadas e escritas através de processos especiais;
  - EEPROM – Podem ser escritas e gravadas através de processos eléctricos fora do local de funcionamento;

- EARAM – Podem ser reescritas total ou parcialmente e no local onde estão instaladas;
- FLASH – Podem ser reescritas, são muito rápidas e permitem grande volumes de informação;
- Discos/CD.

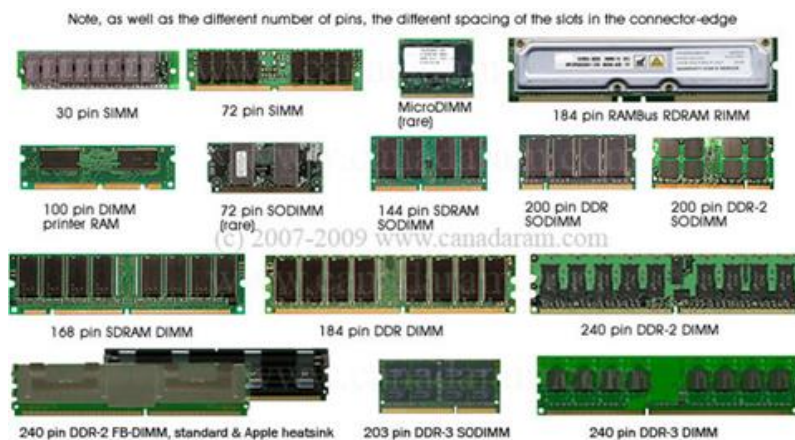


Figura 7-10 – Aspecto visual de vários tipos de RAM, quando montadas numa placa

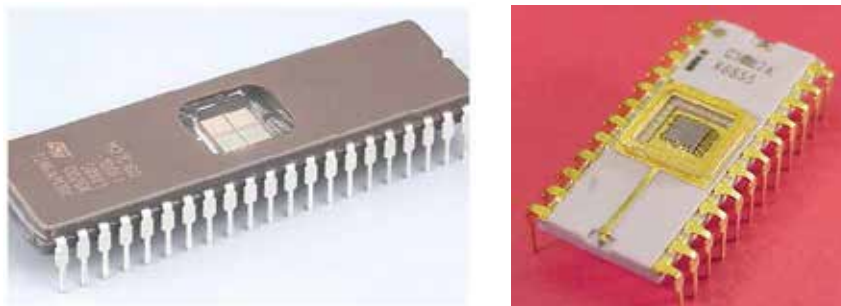


Figura 7-11 – Aspecto visual de tipos de EPROM

### 7.2 Comunicações aplicadas aos contadores de água (telemetria)

Como anteriormente referido, qualquer comunicação pressupõe um dado tipo de linguagem. Além disso, uma comunicação pressupõe sempre um “emissor” e um “recetor”. Se cada um destes elementos se limitar ao seu papel pré-definido, tem-se uma comunicação “unidirecional” (“simplex”); se o emissor e o recetor trocarem de papéis alternadamente, tem-se uma comunicação “bidirecional alternada” (“half duplex”). No caso de ambos, emissor e recetor, comunicarem entre si nos dois sentidos permanentemente, tem-se uma comunicação “bidirecional total” (“full duplex”).

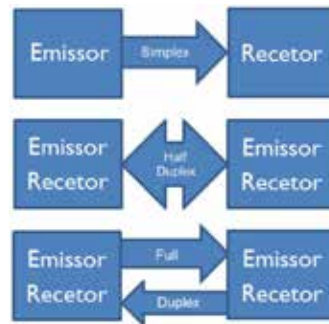


Figura 7-12 – Representação esquemática dos processos de comunicação

Para que uma comunicação se possa processar, são necessários os seguintes elementos:

- Transmissor
- Mensagem (pacote de dados)
- Formato de comunicação (série ou paralelo)
- Canal de transmissão (cabo, fibra, wireless, etc.)
- Formato de dados (ASCII ou outro)
- Protocolo de comunicação (regras de transmissão)
- Recetor

151

Neste texto, será usado o termo “telemetria” no seu sentido mais lato, tanto referindo a simples leitura de contadores à distância, unidirecional (“AMR – Automatic Meter Reading”), como também outras formas de comunicação e até de interação bidirecional mais complexas (“RMM – Remote Monitoring and Management” ou “AMM – Advanced Metering Management”).

Importa, desde logo, referir que qualquer das soluções seguidamente descritas corre o risco de ficar rapidamente desatualizada, uma vez que a evolução dos meios de comunicação tem sido tão rápida que, ou não se faz nada, sempre esperando a última e mais evoluída solução, ou, então, acaba-se por ter de manter em coabitação soluções mais antigas, anteriormente implementadas, com outras mais recentes, que, entretanto, vão surgindo.

Independentemente da tecnologia de comunicação utilizada, os sistemas de telemetria de contadores de água baseiam-se no seguinte esquema:



Figura 7-13 – Diagrama base de comunicação em telemetria

Também importa sublinhar que a tipificação de sistemas de comunicação que seguidamente se apresenta não passa de uma classificação por conceitos fundamentais. Nada impede que se encontrem aplicações onde várias das tecnologias se encontrem misturadas, complementando-se.



7.2.1 Tecnologia de comunicação por fios baseada na emissão de impulsos

A tecnologia de comunicação por fios, baseada na emissão de impulsos, tem sido cada vez menos utilizada na telemetria residencial.

No entanto, no âmbito dos sistemas de redes (em “alta”) e reservatórios de distribuição de água, é ainda uma tecnologia atual e predominante, compatível com a maioria dos equipamentos de “data-logging” os quais, devido ao seu custo de aquisição mais elevado, não são utilizados de forma massiva no segmento residencial.

7.2.2 Tecnologia de comunicação por fios, com base no protocolo “M-Bus”

A tecnologia por fios, baseada no protocolo “M-Bus”, sendo já relativamente antiga, tem sido sobretudo utilizada em locais onde existe grande concentração de contadores, como por exemplo em prédios. O esquema de ligação deste sistema requer apenas que os contadores estejam ligados através de um cabo a um concentrador que irá recolher toda a informação de leitura e armazenar e/ou enviar (via GPRS, por exemplo) para o sistema central de recolha de dados da Entidade Gestora.

Nas situações em que os contadores não estão em bateria, mas sim em diversos andares, torna-se necessário prever a instalação de tubagens que permitam mais tarde a passagem de cabos de comunicação de andar para andar, de forma a otimizar a ligação dos contadores ao concentrador. Junto ao concentrador é necessário existir uma alimentação de energia elétrica. A figura seguinte ilustra a arquitetura típica de um sistema “M-Bus”.

152



Figura 7-14 – Esquema de uma solução “M-Bus” com leitura integrada de contadores de água, gás, calor e energia elétrica

Sendo o sistema “M-Bus” um dos mais antigos e especificamente orientado para a comunicação por cabos até ao concentrador, e deste para a central de dados por linha telefónica (PSTN), nos tempos mais recentes também recorre a soluções sem fios, em alguns dos trajetos da comunicação.



Figura 7-15 – Logotipos do sistema “M-Bus”, tradicional ou com inclusão de ligações sem fios

### 7.2.3 Sistema de comunicações por radiofrequência

O sistema por radiofrequência, tal como o nome indica, não necessita de qualquer ligação física por fios. É recomendável, por exemplo, para vivendas ou outros pontos isolados ou de difícil acesso, como clientes que têm o contador dentro de casa, edifícios que não tenham infraestrutura para passagem de cabos, contadores que estão instalados em poços/valas, que por vezes estão submersos, etc.

Os sistemas por radiofrequência podem ser de dois tipos:

- rádio móvel;
- rádio fixo.

#### 7.2.3.1 Sistema de rádio móvel

Entende-se por sistema de rádio móvel, uma solução de radiofrequência em que a leitura dos dados é realizada através de um PDA ou de um computador, dentro do raio de alcance do sistema. Nestas situações, para se realizar a leitura é necessária a deslocação de um operador às imediações do local onde o sistema está instalado (*“walk by”* ou *“drive by”*). Com a recente eclosão dos sistemas de rádio fixo aplicados à telemetria, esta solução terá tendência a ser instalada só em situações de grande dispersão geográfica, ou seja, de muito baixa concentração de contadores, onde o custo por ponto para criação de um sistema de rádio fixo seria extremamente elevado.



Figura 7-16 – Esquema de uma solução de rádio móvel (*“walk by”*)

#### 7.2.3.2 Sistema de rádio fixo

Entende-se por sistema de rádio fixo, uma solução de radiofrequência cuja leitura de dados é realizada a partir de um computador na Entidade Gestora, através de um sistema de rede de repetidores e concentradores ou coletores e pontos de acesso. Nestas situações, nas soluções mais conhecidas no mercado, a comunicação entre contador e repetidor e entre repetidor e concentrador é realizada por radiofrequência, utilizando um protocolo de comunicação fornecido pelo fabricante do sistema. A comunicação entre o concentrador e o servidor ou o computador da central de dados é feita normalmente via GPRS.

Estes sistemas têm aplicação preferencial em locais de média a grande densidade de contadores, pois só desta forma será possível minimizar o custo do sistema por ponto de medição. Há que ter em atenção que, quer os repetidores, quer os concentradores têm normalmente associado um limite máximo admissível de pontos de leitura.

Estes sistemas trouxeram algumas novas funcionalidades de relevo. Permitem, por exemplo, a realização de leituras com frequências elevadas (por exemplo, com frequência diária), possibilitando normalmente, em situações pontuais, efetuar leituras com intervalos substancialmente mais curtos. Permitem ainda efetuar uma leitura em tempo real a um contador específico. Com este tipo de funcionalidades, é possível identificar situações de fuga no cliente ou de refluxo num curto espaço de tempo, o que anteriormente era impossível obter com sistemas de telemetria residencial.

A figura seguinte representa esquematicamente um sistema de rádio fixo:

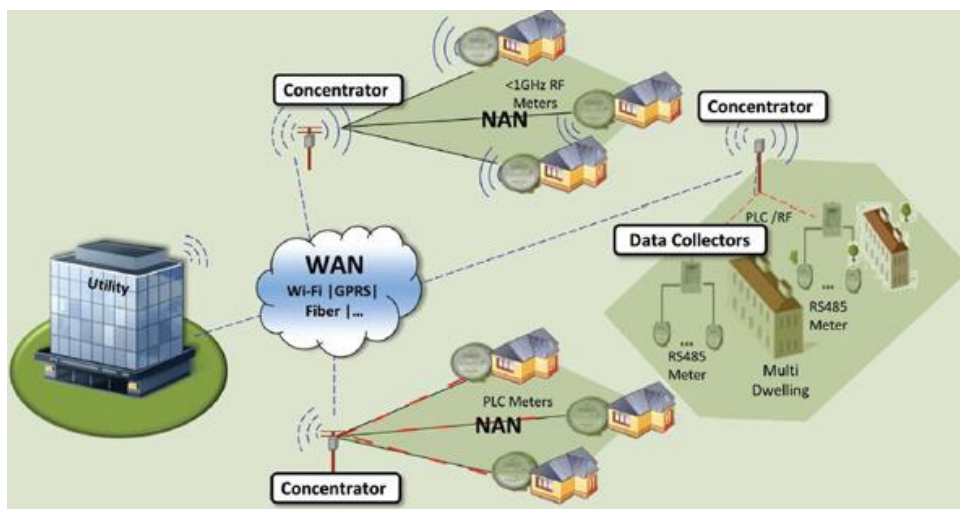


Figura 7-17 – Esquema de uma solução de rádio fixo

#### 7.2.4 Sistemas em “nuvem”

Em si mesmo, e do ponto de vista da telemetria de contadores de água, o sistema em “nuvem” mais não é do que uma variante do sistema de rádio fixo.

A diferença fundamental é que, em vez de existir uma cadeia ramificada e exclusiva de diversos pontos de acesso, ligados em rede até um servidor central, os coletores, ou até mesmo cada um dos contadores de “per si”, comunicam diretamente com uma “nuvem”.

Por outro lado, os diversos sistemas de rádio fixo, que os vários fabricantes foram desenvolvendo eram sistemas ditos “fechados”, isto é, desenvolvidos especificamente para aquela aplicação e que dificilmente seriam compatíveis com os sistemas concorrentes. Aliás, isso também seria uma estratégia no sentido de “prender” o cliente a uma dada marca ou fabricante.

A grande revolução dos sistemas em “nuvem” é que são sistemas “abertos” e que, sobretudo, não foram criados para fazer telemetria de contadores, mas sim para dar lugar à chamada “Internet das Coisas” (“IoT - Internet of Things”), baseada em “nuvens” públicas. A outra grande vantagem é que, sendo sistemas mais abrangentes, para muitas aplicações,

beneficiam de economia de escala na sua implementação, em termos de cobertura de grandes zonas, o que seria manifestamente menos viável se se limitassem a ser sistemas apenas dedicados a contadores.



Figura 7-18 – Ligação em “nuvem” dos mais diversos dispositivos, incluindo contadores

Dependendo das tecnologias de comunicação que, como já referido, estão constantemente a evoluir, as metodologias e os protocolos de comunicação com as “nuvens” vão variando. Alguns dos mais recentes, à data deste documento, dão pelos nomes de “ZigBee”, “SigFox”, “LoRa”, “Neul”, etc., cada um deles tentando ser mais competitivo em capacidade e velocidade de transmissão de dados.

Na seleção de um dado sistema é muito importante o respetivo nível de exigência de consumos de energia para as transmissões, o que, obviamente, está diretamente relacionado com o tempo de vida das pilhas ou baterias dos equipamentos.

155



Figura 7-19 – Comunicações e “Internet das Coisas”; alguns logotipos que já são ou irão, em breve, ser familiares

### 7.3 Principais vantagens e funcionalidades da telemetria nos contadores

Depois desta breve referência a alguns aspetos técnicos relevantes, é pertinente referenciar também as mais-valias que advêm da utilização da telemetria, entre as quais se poderá destacar:

- fiabilidade dos dados recolhidos;
- redução de faturas por estimativa e correta faturação pelos escalões preconizados;
- redução de perdas;
- aumento de produtividade, por maior número possível de leituras;
- deteção/alarme de fugas, com definição da data e hora da ocorrência;
- deteção/alarme de refluxos, com definição da data e hora da ocorrência;
- identificação do perfil de consumo horário do cliente;
- caudais de alarme (maior/menor), com definição da data e hora da ocorrência;
- programação de mais que uma data de fecho do mês;
- possibilidade de tarifas bi-horárias ou sazonais;
- leitura de caudal instantâneo;

- “*data-logging*” com intervalos programáveis, que poderão ser inferiores a uma hora;
- detecção de fraudes;
- detecção de contador parado;
- maior transparência dos dados de consumo e de faturação e melhoria da relação com o cliente;
- aumento da capacidade para uma adequada gestão da procura;
- etc.

Resta referir que, face aos custos atuais dos equipamentos, nenhum sistema de telemetria será amortizado na perspetiva da poupança dos encargos de leitura manual, se o objetivo for apenas a leitura pura e simples dos contadores. Só a exploração das potencialidades acima indicadas poderá rentabilizar estes sistemas.

#### 7.4 Tratamento de dados associados à medição

A existência de um sistema de comunicação destinado à transmissão da informação associada à medição de caudal e volumes implica a disponibilidade de um enorme volume de dados que importa transformar em informação útil, de forma a contribuir para a efetiva melhoria da eficiência da Entidade Gestora.

Para o conseguir é necessário recorrer a ferramentas de cálculo automático, que permitam o armazenamento, tratamento e apresentação dos dados gerados, visando a sua adaptação aos objetivos definidos pela Entidade Gestora. É desejável que estas ferramentas sejam “abertas”, isto é, independentes dos fabricantes/fornecedores das tecnologias de comunicação, e que vão ao encontro das efetivas necessidades das Entidades Gestoras e das respetivas áreas utilizadoras.

O desenvolvimento e implementação de um sistema de informação que permita o tratamento dos dados inerentes à medição deve considerar a realização de balanços hídricos totais e parciais das redes a monitorizar, bem como permitir análises de sensibilidade (a partir de valores de referência), o cálculo de indicadores relevantes e a análise de tendências, tendo por base o histórico da informação. Por outro lado, é fundamental que este tipo de ferramentas disponha de alertas e alarmes que permitam informar o utilizador de situações potencialmente anómalas ou de eventos merecedores de atenção, conduzindo à subsequente tomada das medidas que se revelem mais adequadas.

Neste contexto, é importante que a implementação destas ferramentas se processe com o envolvimento direto dos seus futuros utilizadores, não só porque são eles os verdadeiros conhecedores das redes de abastecimento e/ou drenagem que operam, como a sua sensibilidade é fundamental para definir a “situação de referência” e ajustar os parâmetros da alarmística.

Em suma, os sistemas de informação para tratamento dos dados oriundos da medição devem responder às necessidades específicas da Entidade Gestora, devendo ainda ser flexíveis, parametrizáveis, simples de utilizar e, não menos relevante, compatíveis com os mais importantes sistemas de informação já utilizados por essa entidade.

- Página em branco -





## 8 Metrologia Legal

### 8.1 Considerações gerais

No Capítulo 3 foram abordados alguns aspetos históricos da metrologia. Naturalmente que os primeiros registos de preocupação, por parte dos diversos poderes (senhores feudais, conventos, estados), com a uniformização dos pesos e medidas, não estariam relacionados com intuítos científicos, mas sim com a cobrança de rendas e impostos. Estes procedimentos serviram também para disciplinar as trocas (compras e vendas) entre os diversos comerciantes e mercadores e entre estes e o povo.



Figura 8-1 – Réplica da marca de “um côvado”, na frontaria da Igreja do Sabugal <sup>36</sup>

159

Assim, com tradições firmemente implementadas no nosso País, a agora denominada Metrologia Legal é o sistema mais antigo e divulgado, sendo aplicável obrigatoriamente em diversos domínios. A Metrologia Legal, tendo ultrapassado a mera lógica das medições que envolviam transações comerciais, é hoje vista na óptica da defesa do consumidor, estendendo os seus domínios também às medições que envolvem saúde, segurança pública, protecção do consumidor e do ambiente.

Até à entrada de Portugal na então CEE, o, à época, denominado Serviço de Pesos e Medidas, dependente da Direção Geral da Qualidade <sup>37</sup> apenas se preocupava, como o nome o indicava, com os pesos e as medidas de comprimento e de volume bem como com os respectivos instrumentos de medição (balanças, fitas métricas, recipientes de volume, etc.).

Na prática, essa preocupação limitava-se às chamadas medidas materializadas e às medições estáticas. Sobre as medições dinâmicas, realizadas por instrumentos tais como contadores de água, contadores de energia eléctrica ou de gás, ou “bombas” de combustíveis (gasolina, gasóleo), não era exercido qualquer tipo de controlo nem havia legislação que o referisse. Na maior parte das situações, algum controlo que porventura existisse dependia de regulamentações municipais.

Somente com a aproximação da adesão à CEE, e por força das Diretivas referentes às medições, é que foi publicado o Decreto-Lei n.º 202/83 (que, na data, ficou conhecido como

<sup>36</sup> Museu de Metrologia (IPQ)

<sup>37</sup> Ao longo do Século XX, os Pesos e Medidas tiveram várias dependências, tendo sido integrados na então Direção Geral da Qualidade, em 1977.

a Lei de Bases da Metrologia) o qual constituiu o diploma preparatório da Metrologia Legal em Portugal.

Depois da adesão formal, e já no âmbito do Instituto Português da Qualidade, o Decreto-Lei n.º 291/90 fez a transposição para a ordem jurídica portuguesa da Diretiva 71/316/CEE, relativa à *“aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes às disposições comuns relativas aos instrumentos de medição e aos métodos de controlo metrológico”*.

Actualmente está em vigor a Diretiva vulgarmente conhecida por MID (Measuring Instruments Directive), a qual, em Portugal, se consubstancia, atualmente, no Decreto-Lei n.º 45/2017, de 27 de abril. Esta legislação é, por enquanto, apenas aplicável a um número restrito de tipos de instrumentos de medição, nela descritos – entre eles os “contadores de água” –, permanecendo os restantes instrumentos de medição sob a jurisdição do Decreto-Lei n.º 29/2022 de 7 de abril.

Para os efeitos legais, no âmbito desta atual legislação, comumente designada por “Nova Abordagem” (“New Approach”), os “contadores de água” são os *“instrumentos destinados a medir volumes de água potável, fria ou quente, para uso doméstico, comercial ou das indústrias ligeiras”* – independentemente das tecnologias que utilizam para o seu funcionamento.

Retira-se daqui – ainda que tal não seja expresso literalmente – que os instrumentos utilizados nas medições, por exemplo, entre as Entidades Gestoras “em alta” e “em baixa” estão fora do âmbito desta legislação. E também só se aplica à medição de volumes de água potável (de abastecimento), pelo que, por maioria de razão, os medidores utilizados na medição de águas residuais também não são abrangidos pela Metrologia Legal.

## 8.2 Organização da Metrologia Legal

Atualmente, a Metrologia Legal dos diversos Estados encontra-se subordinada a uma entidade de âmbito mundial – a Organização Internacional da Metrologia Legal (OIML) – da qual a grande maioria dos países do mundo são signatários. A OIML é, pois, uma organização intergovernamental responsável pela harmonização global da Metrologia Legal.

Na Europa, os organismos responsáveis pela Normalização – o “European Committee for Standardization” (CEN e CENELEC) – reconhecem a OIML como a entidade à qual é atribuída a responsabilidade de elaborar “documentos normativos”<sup>38</sup> relativos aos instrumentos de medição, denominados “Recomendações OIML”. É a partir destes documentos que se elaboram as respectivas Normas Europeias.



Figura 8-2 – Logotipos da OIML e do CEN / CENELEC

<sup>38</sup> Faz-se notar que um “documento normativo” da OIML não é uma norma, mas antes um documento de base para a elaboração de uma norma.

No caso concreto dos contadores de água, o documento normativo relevante da OIML é a Recomendação OIML R49.

### 8.3 Formas de atuação da Metrologia Legal

#### 8.3.1 Generalidades

A Metrologia Legal atua através das chamadas Operações de Controlo Metrológico.

O controlo metrológico dos instrumentos de medição compreende uma ou mais das seguintes operações:

- Aprovação de Modelo
- Primeira Verificação
- Verificação Periódica
- Verificação Extraordinária

#### 8.3.2 Aprovação de Modelo

A Aprovação de Modelo é a primeira de todas as operações de controlo metrológico, sendo efetuada, em muitos casos, ainda numa fase de projeto e de protótipos dos instrumentos a serem submetidos.

*“Aprovação de Modelo – decisão com implicação legal, baseada no relatório de avaliação, segundo a qual o modelo de instrumento de medição satisfaz as exigências regulamentares aplicáveis e pode ser utilizado no domínio regulamentar, fornecendo resultados de medição fiáveis durante um período de tempo definido” (VIML<sup>39</sup> 2.6).*

Esta operação constitui um acto formal da Metrologia Legal, documentado com o inerente certificado, e que resulta de um Exame de Tipo bem-sucedido:

*“Exame de Tipo – exames e ensaios sistemáticos do desempenho de um ou de vários exemplares de um tipo (modelo) identificado de instrumento de medição em relação a requisitos documentados e cujos resultados constam de um relatório de avaliação, a fim de determinar se o tipo pode ser aprovado” (VIML 2.5).*

As aprovações de modelo são concedidas aos fabricantes por entidades devidamente acreditadas para o efeito (Organismos Notificados) e por um tempo limitado (normalmente 10 anos), sendo suscetíveis de renovação.

Em termos europeus, um Organismo Notificado (“Notified Body”) é uma entidade independente que leva a cabo uma ou várias atividades de avaliação da conformidade no âmbito das diretivas ou regulamentos europeus, relativos à marcação CE.

Estas entidades constam de uma base de dados da Comissão Europeia, denominada base NANDO (New Approach Notified and Designated Organisations), cujo endereço eletrónico é o seguinte:

<http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/> (e depois procurar por “Body”).

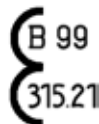
Para além dos certificados de aprovação de modelo que o Fabricante deve exibir, quando solicitado, os instrumentos de medição não abrangidos pela MID, ou os que obtiveram aprovações de modelo antes da entrada em vigor da MID, vulgarmente designados como

<sup>39</sup> VIML – Vocabulário Internacional da Metrologia Legal

instrumentos pertencentes à “Antiga Abordagem” (“Old Approach”), devem apresentar, de modo bem visível, sobre o seu mostrador ou placa de características, os símbolos oficiais desse estado, designados como “marcas da aprovação de modelo”.



Marca de aprovação de modelo portuguesa



Marca de aprovação de modelo CEE

Figura 8-3 – Marcas de Aprovação de Modelo (antiga abordagem)

As aprovações de modelo, realizadas no contexto da “antiga abordagem” podiam ser apenas de âmbito nacional do país onde foram realizadas e, nesse caso, com a circulação comercial restringida ao território desse país, ou de âmbito CEE, com livre comercialização em todo o espaço da União Europeia.

Os instrumentos de medição inseridos no âmbito da “nova abordagem” não estão sujeitos a esta distinção territorial e apresentam a marca de conformidade respetiva:

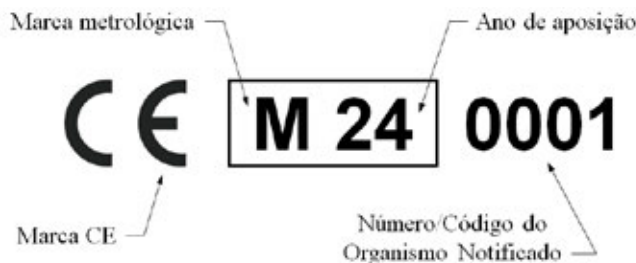


Figura 8-4 – Marca de Conformidade “Nova Abordagem”

**Nota:** O código de 4 dígitos identifica o Organismo Notificado responsável, o qual pode ser encontrado na base de dados NANDO.



Marca de aprovação de modelo CEE num contador de água



Marca de Conformidade CE num contador de água

Figura 8-5 – Marcas de Aprovação de Modelo

### 8.3.3 Primeira Verificação

Como a sua própria designação deixa antever, a Primeira Verificação corresponde ao conjunto dos primeiros ensaios realizados em fábrica, antes da colocação do instrumento em serviço:

*“Primeira Verificação – verificação de um instrumento de medição que não foi verificado previamente” (VIML 2.15).*

Esta operação é realizada pelo Fabricante, de acordo com os procedimentos do seu próprio Sistema da Qualidade, as normas e a legislação aplicável, sendo supervisionada pelo Organismo Notificado responsável por aquele produto e fabricante. Só depois disso, o Fabricante pode emitir a Declaração de Conformidade e colocar o produto no mercado.



Marca de primeira verificação Portuguesa



Marca de primeira verificação de âmbito CEE

Figura 8-6 – Marcas de Primeira Verificação (antiga abordagem)

As marcas de Primeira Verificação (antiga abordagem) eram essencialmente marcas de selagem, tradicionalmente apostas em selos que garantissem a inviolabilidade do instrumento de medição, tendo, de um dos lados do selo, a indicação do ano de fabrico e, no outro lado, a marca da entidade que procedeu a essa selagem (Figura 8-6).

No contexto da “Nova Abordagem”, a marcação de conformidade (Figura 8-4) inclui a indicação do ano do fabrico. A inviolabilidade é atestada por um qualquer tipo de selagem com as marcas próprias do Fabricante.

Na antiga abordagem, o selo de primeira verificação constituía ele próprio uma certificação, pelo simples facto de lá estar; na nova abordagem, os instrumentos devem ser acompanhados de uma “Declaração de Conformidade”, emitida pelo Fabricante e atestada pelo Organismo Notificado.

### 8.3.4 Verificação Periódica (obrigatória)

A Verificação Periódica constitui uma obrigação do proprietário do instrumento de medição:

*“Verificação Periódica – verificação ulterior de um instrumento de medição, efetuada periodicamente em prazos especificados segundo um procedimento fixado na regulamentação” (VIML 2.17).*

De acordo com a regulamentação respetiva, existem prazos máximos para se proceder a este tipo de verificações.

As regulamentações europeias estão centradas na filosofia da “livre circulação de pessoas e bens”, pelo que não abrangem as verificações periódicas, as quais são consideradas assunto doméstico de cada um dos Estados Membros.

Em Portugal, após efetuada uma verificação periódica, o instrumento é selado ou marcado com as seguintes marcações, as quais identificam o ano da verificação e a entidade que a efetuou:



Figura 8-7 – Marcas de Verificação Periódica

Em muitos casos, os selos da verificação periódica ficam em locais das instalações não facilmente acessíveis ao observador. Como essa informação é importante para o consumidor, são colocadas vinhetas informativas em locais visíveis, como, por exemplo, no caso das “bombas” de combustível.



Figura 8-8 – Vinhetas de Verificação Periódica aplicadas numa “bomba” de combustível

164

### 8.3.5 Verificação Extraordinária

A Verificação Extraordinária é uma operação de controlo metrológico que, embora não necessariamente, está quase sempre associada a uma situação de litígio, decorrente de alguém – consumidor ou não – ter apresentado uma queixa junto da entidade competente, o que conduz ao desencadeamento do procedimento.

Nestes casos, o instrumento sob suspeita é verificado mediante os ensaios adequados. Caso cumpra os requisitos dos ensaios, pode ser recolocado em serviço, sendo-lhe aposto um selo com a marca identificadora da Verificação Extraordinária; caso contrário, o selo da verificação anterior é obliterado e o instrumento colocado fora de serviço.



Marca de Verificação Extraordinária bem sucedida

Selo de verificação obliterado em consequência de rejeição

Figura 8-9 – Marcas de Verificação Extraordinária

### 8.3.6 Considerações específicas relativamente a contadores de água

Os contadores de água estão atualmente abrangidos pela Portaria n.º 321/2019, de 19 de setembro.

Entre outras disposições, a portaria contém uma tabela com os prazos da Verificação Periódica aplicáveis aos contadores de água. Esses prazos variam com o tamanho do contador, no caso da nova abordagem expresso pelo seu “caudal permanente”,  $Q_3$  <sup>40</sup>.

Instrumentos de medição	Prazo (anos) (*)
Contadores de água (caudal permanente em m <sup>3</sup> /h):	
≤ 4 .....	12
De 6,3 a 16 .....	8
De 25 a 63 .....	6
De 100 a 160 .....	4

(\*) Prazo a contar do ano da declaração de conformidade.

Figura 8-10 – Prazos de verificação periódica para contadores de água

No entanto, em muitos casos de aplicações de contadores de água, sobretudo no caso dos residenciais, que têm prazos mais longos, não faz sentido prático levantar o contador, ao fim de 12 anos para o verificar – quase sempre para concluir que está rejeitado – e voltar a coloca-lo na rede, caso esteja ainda em condições metrológicas aceitáveis.

A prática que tem sido correntemente seguida é utilizar o prazo legal da verificação periódica como indicador do limite de vida útil do contador e substituí-lo nessa altura. O contador retirado ou é abatido ou é reparado.

Os contadores reparados são submetidos à operação de “Primeira Verificação” e podem voltar a ser instalados em pé de igualdade metrológica com os contadores novos, já que não existe qualquer distinção na exigência dos ensaios a que são submetidos.

***Nota:** A Metrologia Legal não se interessa pelos valores numéricos dos erros de indicação, considerados em si mesmos. Para efeitos de validação, a única coisa que conta para a Metrologia Legal, é se os instrumentos apresentam valores de erros que estejam contidos dentro dos limites legais do Erro Máximo Admissível (EMA).*

Resta referir que esta mesma Portaria n.º 321/2019, indica que, nos casos da Verificação Periódica ou da Verificação Extraordinária dos contadores de água, os erros máximos admissíveis são o “**dobro dos valores estabelecidos nos requisitos específicos**”.

### 8.3.7 Instrumentos de medição não legalmente abrangidos pela Metrologia Legal

Conforme já mencionado anteriormente, a Metrologia Legal não é aplicável impositivamente aos contadores de água e medidores de caudal utilizados nas medições que envolvem relacionamentos comerciais entre as Entidades “em alta” e as “em baixa”.

<sup>40</sup> Para o caso dos contadores da antiga abordagem, que eram referenciados pelo seu DN, a Norma Portuguesa NP 2938:2023, estabeleceu uma tabela comparativa para efeitos da possível equivalência.



No entanto, é legítimo que, nesse relacionamento, as partes se questionem sobre a qualidade da medição desses equipamentos. Assim, se as partes acordarem voluntariamente que, também nestes casos, serão de seguir as regras da Metrologia Legal, nomeadamente no que se refere a aprovações e prazos de verificações, obviamente nada obsta a que tal se aplique.

Aliás, sendo as Entidades de “em alta” normalmente empresas certificadas segundo a Norma ISO 9001, o seu Sistema da Qualidade tem obrigação de zelar pelo estado de calibração ou verificação dos seus Dispositivos de Medição e Monitorização (DMM), segundo planos que devem estar estabelecidos. Os prazos adotados poderão ser os da Metrologia Legal ou outros, tidos por mais adequados e aceites contratualmente pelas partes.

No sentido de orientar estas situações, a ERSAR publicou uma Recomendação, n.º 07/2018, na qual os prazos sugeridos para a verificação periódica dos medidores são os mesmos da Metrologia Legal.

- Página em branco -



## 9 Gestão do parque de contadores de água e de medidores de caudal

### 9.1 Considerações gerais

O primeiro aspeto a considerar para uma correta gestão do parque de contadores e de medidores de caudal está relacionado com a respetiva seleção e aquisição, sendo que, nesta fase, o seu adequado dimensionamento assume uma importância primordial.

Existe uma enraizada tradição de tratar os contadores e medidores como se fossem apenas mais um acessório da conduta, o que, considerando a “regra” de que todos os acessórios de uma conduta devem ter o mesmo diâmetro nominal (DN), conduz, frequentemente, ao inadequado dimensionamento dos contadores/medidores aplicados. Com efeito, os contadores (ou os medidores) não são acessórios de condutas: são instrumentos de medição e devem ser escolhidos, não pelo DN da conduta, mas de acordo com o perfil de consumos que se pretende medir, o que determina as suas características metrológicas e a tecnologia mais adequada para as atingir.

Não está em causa a adequação do projeto que dimensionou a conduta, o qual certamente se baseou no que vulgarmente se designa por “horizonte de projeto”, ou seja, os regimes de caudal que é suposto a conduta venha a atingir em determinado período da sua vida útil. Mas os contadores destinam-se a medir, “aqui e agora”, os regimes de caudal que efetivamente estão a passar pela conduta, asserção que é tanto verdadeira quer se trate de grandes contadores ou de simples contadores residenciais, pelo que não devem ser dimensionados pelos mesmos critérios que suportaram o dimensionamento das condutas em que se inserem.

Num passado recente – que abrange uma percentagem ainda muito significativa dos contadores atualmente em serviço –, a própria norma dos contadores promovia uma relação biunívoca entre a medida do contador (o seu DN) e o seu caudal nominal ( $Q_n$ ). A mais recente normalização, que entrou em vigor em consequência da MID <sup>41</sup>, quebrou essa relação, pelo que os contadores são atualmente definidos apenas pelo seu “caudal permanente” ( $Q_3$ ) e a amplitude do seu “intervalo de medição” (R), independentemente das suas dimensões físicas (DN e comprimento), que não passam de parâmetros geométricos, já que é necessário ligar o contador à conduta.

De qualquer forma, e independentemente das normas e dos progressos tecnológicos, que têm sido realizados no domínio da medição de caudais, não deixa de haver uma certa relação, imposta pelas leis da Física, entre as características metrológicas e a dimensão do contador. Em consequência do anteriormente referido, um contador que tenha sido exclusivamente aplicado com base no DN da conduta, estará quase sempre sobredimensionado, situação que assumirá particular relevância se a conduta tiver um regime muito variado de caudais, em que os caudais de valor mais baixo tenderão a ser deficientemente medidos – ou nem sequer medidos –, dependendo da tecnologia do contador.

O segundo aspeto crucial para uma correta gestão do parque de contadores consiste na sua adequada supervisão em termos de manutenção geral, verificações periódicas e substituição por avaria ou envelhecimento, quando for caso disso.

Neste âmbito, e como a vertente das “perdas aparentes” tem vindo a assumir uma crescente importância, inerente ao próprio valor económico e ambiental da água, importa ter em conta alguns fatores complementares associados à gestão do parque de contadores/medidores,

<sup>41</sup> Ver referência em 8.1.

entre os quais se destacam: a idade dos instrumentos, a curva de erro de medição em função dessa idade, o volume medido, os tarifários (de aquisição e venda da água) e o custo dos medidores.

Em função da análise ponderada e do equilíbrio entre os diversos fatores mencionados será possível otimizar o modelo de gestão do parque de medidores, cumprindo, assim, os passos fundamentais para um adequado controlo das perdas aparentes, as quais decorrem fundamentalmente dos erros de medição.

Um outro aspeto importante, mas muitas vezes desprezado ou pouco relevado, prende-se com a desativação dos medidores. Com efeito, questões como o reaproveitamento de componentes dos contadores e a valorização económica e ambiental dos equipamentos de medição quando estes atingem o final da sua vida útil devem ser consideradas na fase de seleção dos mesmos.

O anteriormente exposto é particularmente relevante no caso da medição de água para abastecimento, mas muito também se aplica aos medidores de águas residuais, embora estes careçam de normalização e regulamentação que melhor os caracterizem e enquadrem.

## 9.2 Medição de caudal e de volume em água de abastecimento

### 9.2.1 Balanço hídrico

Habitualmente, designa-se por “balanço hídrico” a relação entre o volume de água que entra num sistema e o que dele sai.

170

Em termos financeiros, a água que entra no sistema de uma Entidade Gestora poderá ser (ou não) paga a uma entidade fornecedora, dependendo se essa água é adquirida a terceiros ou se provem de captações próprias da entidade em causa; em qualquer dos casos, terá sempre um custo associado.

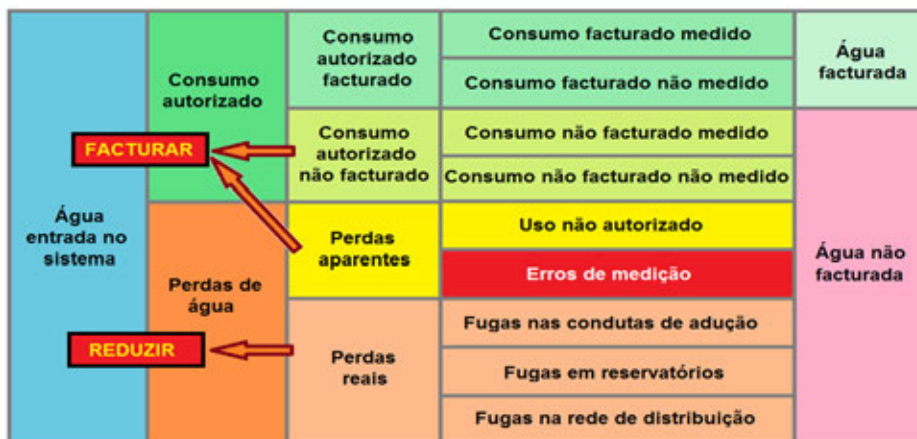


Figura 9-1 – Balanço hídrico (os erros de medição constituem o alvo principal da acção deste documento)

A água que sai do sistema poderá ser ou não facturada. Idealmente todos os volumes deveriam ser facturados, mas na prática corrente, tal não sucede, pelo que interessa averiguar as razões dessa “não eficiência”. Uma das formas mais utilizadas para o fazer consiste na decomposição do balanço hídrico global nas suas várias parcelas e na subsequente análise de cada uma dessas parcelas.

O esquema apresentado na Figura 9-1 é uma variante da proposta de balanço hídrico da IWA (International Water Association) e da ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos).

Como se pode observar, no balanço hídrico existem duas parcelas dedicadas à problemática das perdas aparentes. Sendo os usos não autorizados uma componente fora do âmbito deste documento, os erros de medição serão o alvo de todas as ações no sentido de melhorar o dimensionamento e a gestão do parque de contadores e medidores de caudal.

### 9.2.2 Medição nos grandes clientes

No subcapítulo 6.1 foi exposto o fundamental sobre o dimensionamento, condições de instalação e seleção dos contadores mais adequados aos diversos perfis de consumo, sobretudo na óptica dos grandes clientes.

Resta apenas reforçar a importância de prevenir os erros de sobredimensionamento, evitando instalar contadores de DN igual ao da conduta. Na maioria dos casos, tal prática conduz a contadores sobredimensionados, uma vez que o atual perfil de caudais não será aquele que levou ao dimensionamento da referida conduta.

Assim, para um correto dimensionamento, será necessário avaliar qual o perfil real de consumos, o que, por sua vez, determinará a seleção do contador adequado à situação concreta. Isso implica, quase sempre, uma redução no diâmetro, pelo que será necessário dispor de previsão de espaço, nas caixas de alojamento das unidades de contagem, para a instalação dos necessários cones de redução – e eventual posterior alteração, se tal se vier a revelar necessário.

Não havendo histórico do cliente em análise, ter-se-á de proceder por tentativas. Uma das regras das boas práticas recomendadas passará por, numa primeira aproximação, utilizar um contador com um DN inferior ao da conduta em dois escalões dos diâmetros normalizados (p. ex.: em conduta DN 100, aplicar um contador DN 65). Depois, face ao comportamento do contador nas leituras de alguns meses, decidir se a opção foi satisfatória ou se, pelo contrário, se torna necessário um novo redimensionamento; naturalmente que dispor de elementos de telemetria ou *datalogger*, que permitam traçar um perfil de consumo, será uma ajuda muito importante nesta fase de análise.

### 9.2.3 Medição nos clientes residenciais

Tradicionalmente, em Portugal, nas instalações residenciais comuns (apartamentos, pequenas vivendas), têm vindo a ser utilizados contadores de tipo volumétrico de DN 15 ou DN 20.

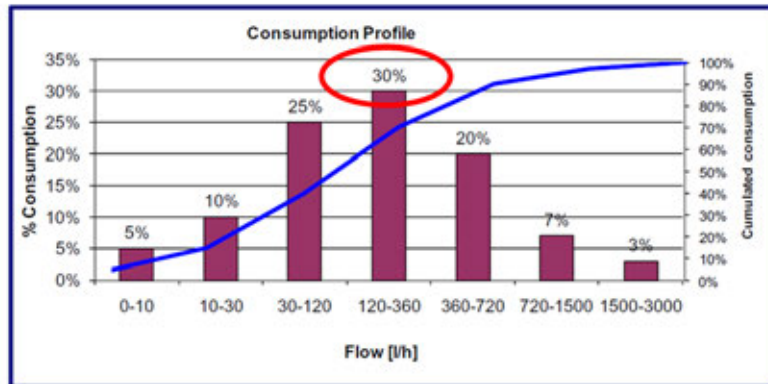
Os primeiros têm associado um caudal nominal ( $Q_n$ ) de  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$  e um caudal máximo ( $Q_{\text{max}}$ ) de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , enquanto os segundos apresentam um  $Q_n$  de  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  e, conseqüentemente,  $Q_{\text{max}}$  de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Significa isto que, considerando que estes contadores são da Classe C metrológica (antiga abordagem), os primeiros terão um caudal mínimo ( $Q_{\text{min}}$ ) de  $15 \text{ dm}^3/\text{h}$ , enquanto os segundos terão um  $Q_{\text{min}}$  de  $25 \text{ dm}^3/\text{h}$ .

Em consequência, sob estes valores de caudal, a medição será feita com um erro máximo admissível (EMA) de  $\pm 5\%$ . Estes contadores só passarão a medir com um EMA de  $\pm 2\%$  a partir do valor do caudal de transição ( $Q_t$ ) de  $22,5 \text{ dm}^3/\text{h}$ , no primeiro caso, e de  $37,5 \text{ dm}^3/\text{h}$ , no segundo caso.







Consumption profile according to flow rate category for a residential consumer

Figura 9-4 – Perfil de consumo de consumidores residenciais urbanos (estudo com referência às percentagens de utilização dos caudais)

Pattern of consumption of a residential consumer in flow bands

Flow Range (l/h)	% of Customer Consumption	Flow Band	Weight for flow band
0-10	5%	Qmin (Q1)	15%
10-30	10%	Qmin (Q1)	
30-120	25%	Qt (Q2)	55%
120-360	30%	Qt (Q2)	
360-720	20%	0,3 Qn (0,3 Q3)	20%
720-1500	7%	Qn (Q3)	10%
1500-3000	3%	Qn (Q3)	

Figura 9-5 – Perfil de consumo de consumidores residenciais urbanos (outro estudo com referência às percentagens de utilização dos caudais)

Conforme se pode observar, todas as fontes referem duas zonas de caudais onde é relevante a incidência de consumos:

- Uma zona de caudais entre 5 a 10 L/h (ou 15 a 30 L/h, segundo outros);
- Outra zona de caudais entre 200 a 400 L/h (até 500 L/h, segundo outros).

Note-se que estando a ser comparados consumos com dados oriundos de diferentes partes do mundo e embora existam naturais diferenças de hábitos de consumo, é significativo observar que não são identificados consumos relevantes acima de 1000 L/h e, noutros casos, nem sequer isso.

A primeira zona de caudais baixos é certamente atribuível a pequenas fugas (torneiras que gotejam, autoclismos que vertem, etc.). A segunda zona corresponde à utilização corrente da água numa residência (usos dos lavatórios ou lava-loiças, banhos, máquinas de lavar, etc.), sendo que, independentemente do número de pontos de utilização, a maior parte destes usos raramente tem simultaneidades significativas.

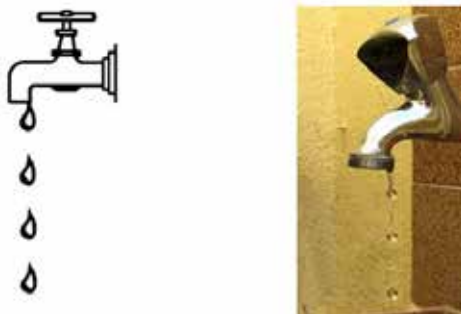


Figura 9-6 – Uma torneira que goteja: 2 a 3 L/h

Considere-se uma pequena aplicação numérica exemplificativa:

- uma torneira que goteja: 2 a 3 L/h
- um autoclismo que verte: 3 a 4 L/h

$$\text{Total: } 5 \text{ a } 7 \text{ L/h} \rightarrow 7 \text{ L/h} \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ dias} \approx 5 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Ou seja, com uma fuga permanente, que muitos contadores não detetarão, haverá um consumo “parasita” equivalente ao escalão social.

Havendo outros pontos de fuga (torneiras mal fechadas, mais autoclismos a verter noutras casas de banho), facilmente se percebe de onde vem o consumo detetado de 5 a 10 L/h, (por contadores de elevada sensibilidade a muito baixo caudal) ou de 15 a 30 L/h - estes caudais já na zona de medição da maior parte dos contadores residenciais.

Nesta altura, será caso para se perguntar: E o que se passa em Portugal?

Curiosamente, na pequena pesquisa efetuada, surge, pela mão de um autor brasileiro, uma referência a um estudo português, realizado em 1998:

Ao levantar o perfil de consumo em trinta usuários, Taborda (1998) monitorou com *data loggers* o consumo semanal, durante as 24 horas do dia. Verificou que, para 85% dos consumidores, os domésticos, que as vazões mais significativas estão na faixa de 100 L/h a 600 L/h, representando 55 a 60% do consumo, embora essas vazões permaneçam no máximo 2,5% do tempo real de consumo, enquanto que em cerca de 90% do tempo permanecem as vazões inferiores a 15 L/h equivalentes a 10% do consumo total.

Figura 9-7 – Referência brasileira a um estudo português (da EPAL) <sup>42</sup>

Face aos elementos recolhidos, pode-se concluir que, independentemente da latitude ou longitude, os consumos residenciais urbanos obedecem a um padrão que, na ausência de medições específicas, poderá ser sintetizado da seguinte forma, tomando como referência o estudo da EPAL, “avalizado” pelos dados recolhidos noutros locais:

<sup>42</sup> A referência “Taborda”, corresponde ao Eng.º Carlos Taborda, ao tempo responsável pelo Departamento de Contadores da EPAL

- Consumos a caudais inferiores a 15 L/h – 10% do total;
- Consumos a caudais entre 100 a 600 L/h – 55 a 60% do total.

Esta realidade poderá ser constatada da forma mais expedita, por qualquer consumidor já que, em quase todos os contadores residenciais, existe um ponteiro que dá uma volta por cada litro do volume de água passado.

O maior consumo possível de obter num apartamento consistirá em abrir em pleno todas as torneiras; nessas condições, pode-se cronometrar, por exemplo, 10 voltas (a que corresponderá o volume passado de 10 litros de água) do referido ponteiro. Face ao tempo cronometrado (em segundos), uma simples “regra de 3” permitirá calcular o caudal que estará a passar.

Difícilmente, nas condições de pressão normal na distribuição (3 a 4 bar), alguém medirá mais do que 1000 L/h <sup>43</sup>; na maior parte dos casos, nem sequer esse valor será atingido.

Estará na altura de se fazer a segunda pergunta: “Qual a necessidade de se instalar contadores capazes de atingir 5 m<sup>3</sup>/h? (sabendo que estes, em contrapartida, são incapazes de medir abaixo de 25 L/h e, mesmo assim, na zona de erro de ±5%!)”.

Fica, pois, evidenciado como, mesmo na área residencial, são inevitáveis as perturbações metrológicas associadas aos contadores sobredimensionados. Nalguns casos, do ponto de vista financeiro, os efeitos desse sobredimensionamento poderão ser atenuados por um benefício de faturação inerente a taxas fixas dependentes do calibre do contador, em detrimento da determinação correta das perdas aparentes no setor residencial.

#### 9.2.5 A problemática das perdas de carga

Como se demonstrou, a utilização de contadores DN 20/Qn 2,5 (antiga abordagem), no sector residencial de apartamentos ou pequenas vivendas, resulta inevitavelmente em perdas aparentes por submedição nos baixos caudais.

Um dos principais argumentos que tem sido utilizado – até pelos próprios consumidores – é de que, a troco de uma taxa fixa mais elevada, seria disponibilizado um contador com uma perda de carga mais baixa. Não deixando de ser teoricamente verdade, convém quantificar se essa menor perda de carga poderá, ou não, ser relevante.

Por imposição da respectiva norma e das condições de aprovação de modelo, os contadores deste tipo não podem apresentar uma perda de carga superior a 1 bar, ao seu respectivo caudal máximo. Significa isto que um contador de DN 15, ao seu caudal máximo de 3 m<sup>3</sup>/h, não poderá ter uma perda de carga superior a 1 bar. Do mesmo modo, um contador de DN 20, ao seu caudal máximo de 5 m<sup>3</sup>/h, também não poderá exceder a perda de carga de 1 bar.

Assim, sendo a perda de carga uma função quadrática do caudal, a sua curva representativa será uma parábola do tipo que se apresenta na Figura 9.8.

<sup>43</sup> Excluem-se, naturalmente, situações onde existam instalados fluxómetros de sanita, o que actualmente parece ser uma “moda” ultrapassada.

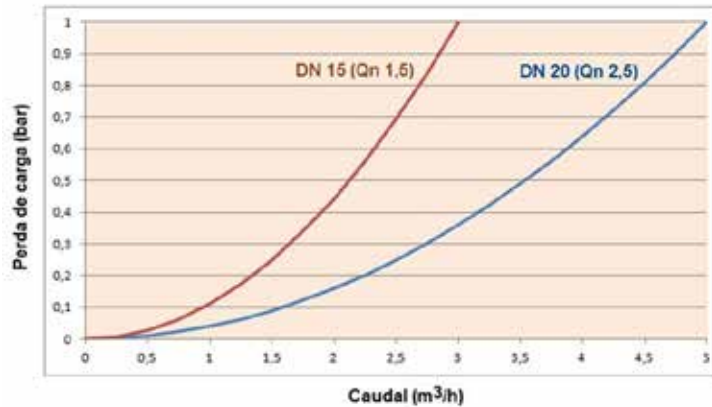


Figura 9-8 – Diagrama comparativo das perdas de carga em contadores DN 15 e DN 20

Geralmente os fabricantes, nos seus catálogos ou outros documentos técnicos, apresentam os seus diagramas de perda de carga em gráficos com as abcissas em escala logarítmica, o que faz com que as respectivas curvas apareçam sob a forma de retas, sendo mais fácil fazer interpolações.

A Figura 9-9 evidencia que, ao caudal de 1000 L/h (praticamente inatingível em regime residencial, como já atrás referido), a perda de carga de um contador DN 20 será de, no máximo, cerca de 0,06 bar, enquanto num contador DN 15 ela corresponderá a cerca de 0,09 bar. Como se pode constatar, uma diferença irrelevante, face às restantes perdas de carga do resto da instalação predial de abastecimento de água.

176

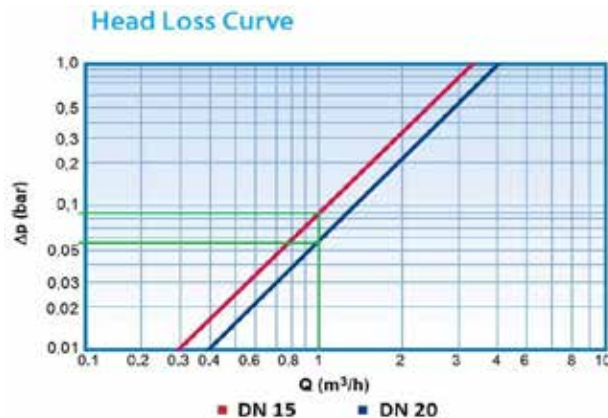


Figura 9-9 – Diagrama comparativo das perdas de carga em contadores DN 15 e DN 20 mostrando os valores estimados ao caudal de 1000 L/h

Em qualquer dos casos, nos contadores ditos MID (nova abordagem) esta polémica da perda de carga perdeu sentido, uma vez que o tipo de contador que já está instituído no mercado será um Q<sub>3</sub> 2,5 / R 315 (com um Q<sub>4</sub> de 3125 L/h e Q<sub>1</sub> de 7,94 L/h) ou, em alternativa, para menores caudais, Q<sub>3</sub> 1,6 / R 315 (com um Q<sub>4</sub> de 2000 L/h e Q<sub>1</sub> de 5,08 L/h). Qualquer destes contadores poderá ser fornecido dentro de um corpo DN 15 ou DN 20, conforme as conveniências da instalação.

Naturalmente que as tarifas fixas terão de ser ajustadas para essa realidade. A Recomendação ERSAR n.º 2/2010 preconiza tarifas fixas “planas” até DN 25, no sector residencial. O Regulamento Tarifário que, nesta data, está em discussão, prevê relacionar a tarifa fixa com o  $Q_3$  do contador (e não com o DN), o que permitirá resolver, de vez, a questão da perda de carga.

#### 9.2.6 Substituição programada de contadores

Para além do sobredimensionamento, a outra causa relevante das perdas aparentes, sobretudo no sector residencial, é o envelhecimento dos contadores.

Já foi referido no Capítulo 8 que a figura jurídica da verificação periódica, no caso particular dos contadores residenciais, acaba por se tornar num procedimento de substituição programada. Substituição essa que, do ponto de vista legislativo, tem um determinado prazo máximo (12 anos para os contadores de  $Q_3 \leq 4 \text{ m}^3/\text{h}$ , independentemente da sua tecnologia de funcionamento).

A questão que se poderá colocar é se esse prazo máximo estará estabelecido por excesso ou por defeito?

A resposta a esta pergunta passa pelas seguintes considerações:

- Perdas de facturação devidas à submedição:

Não oferecerá qualquer dúvida que, quanto mais tempo os contadores envelhecidos permanecerem na rede, em serviço, tendencialmente maiores serão as perdas por submedição. Essas perdas estão associadas aos seguintes encargos, não recuperados em consequência da perda de faturação:

- Custo da água adquirida a terceiros;
- Custos de extração (se próprios) e de transporte;
- Custos energéticos diversos (bombagens, tratamentos, etc.);
- Custos de tratamentos (se aplicável);
- Amortização dos equipamentos;
- Outros eventualmente a considerar.

- Encargos devidos à substituição dos contadores:

Os encargos de substituição tenderão a crescer muito se a substituição for feita em prazos muito curtos. Esses encargos incidem, sobretudo, em:

- Custo dos contadores novos a adquirir;
- Custo da reparação dos contadores retirados (dos que forem reparáveis);
- Encargos de mão-de-obra (reparação dos contadores, substituição);
- Transportes e armazenagem;
- Reparação de danos que a substituição possa causar nas instalações dos clientes;
- Custos administrativos do controlo do processo;
- Outros eventualmente a considerar.

O total e rigoroso levantamento destes parâmetros não é tarefa fácil. O balanço dos custos envolvidos, se expresso de forma gráfica, conduz a um diagrama do tipo do ilustrado na Figura 9-10, onde a curva [c], obtida por adição, ponto a ponto, das curvas de perdas [a] e de custos

[b]), terá necessariamente um ponto mínimo [d]): esse será o ponto ideal (prazo) de substituição dos contadores.

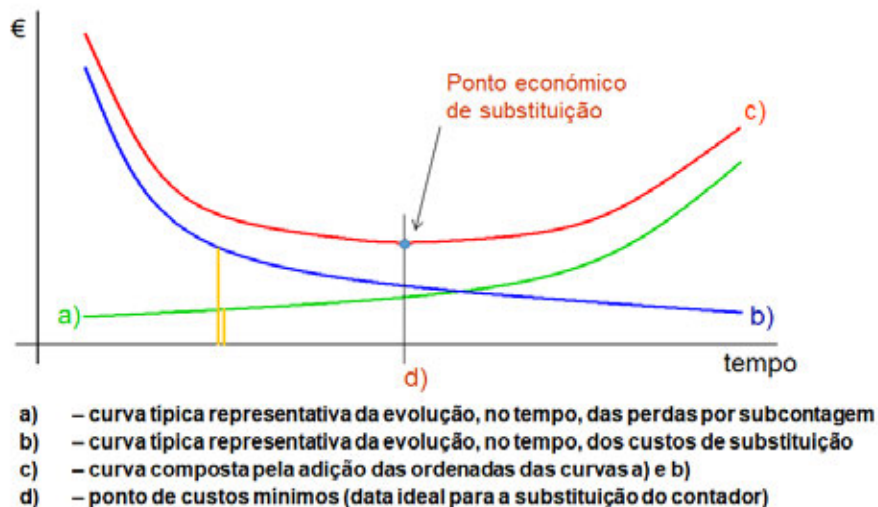


Figura 9-10 – Determinação gráfica do prazo ideal de substituição dos contadores

178

Naturalmente que, dentro do contexto geral apresentado na Figura 9-10, estes diagramas podem apresentar diversas configurações, dependendo dos dados obtidos e das condições tarifárias da entidade gestora em análise. As figuras seguintes ilustram dois exemplos:

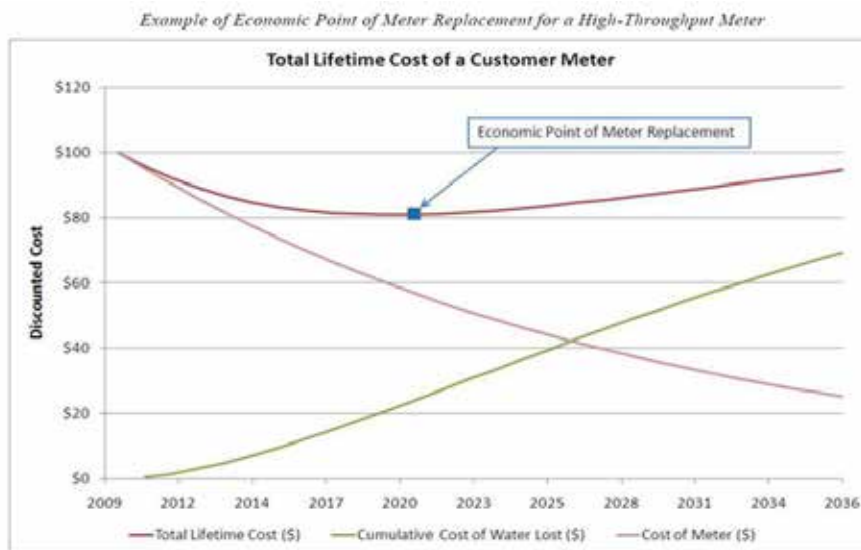


Figura 9-11 – Outro exemplo de determinação de prazos de substituição

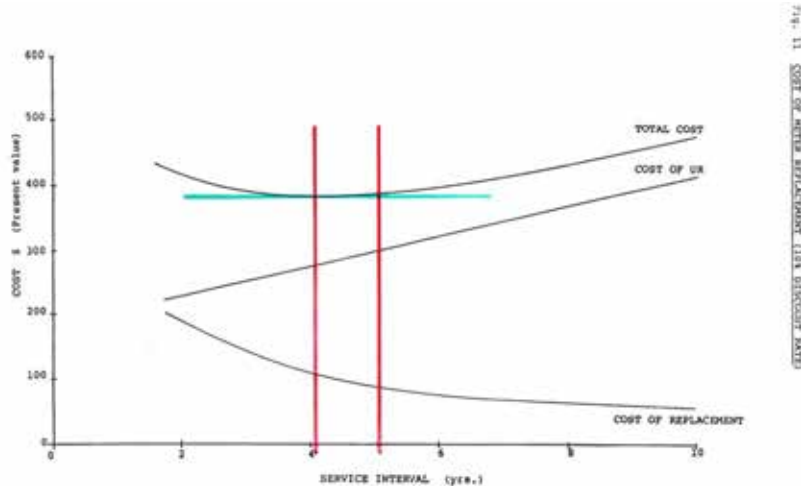


Figura 9-12 – Outro exemplo de determinação de prazos de substituição (Malásia, em 1998)

#### 9.2.7 Influência financeira da substituição programada de contadores

A influência da renovação dos contadores envelhecidos na faturação das entidades gestoras poderá ser explicada com o diagrama exemplificado na Figura 9-13.

Efetivamente, os contadores envelhecidos estarão normalmente a medir em condições de submedição, com a conseqüente perda de faturação.

Após a substituição do contador, o valor do volume medido vai aumentar, com o conseqüente aumento do valor da fatura, só perceptível no período de facturação seguinte.

Frequentemente, o cliente cujo contador foi alvo da substituição virá reclamar – é célebre a frase “...o contador novo está avariado, pois está a contar demais”. Nestas situações, os serviços comerciais das Entidades Gestoras terão de gerir a situação e elucidar o cliente das verdadeiras razões do que se estará a passar.

Passada essa fase, o cliente certamente irá implementar medidas restritivas do consumo, no sentido de reduzir o valor da sua fatura mensal. Ao fim de um certo tempo, a situação tenderá a estabilizar, com um certo incremento na faturação – relativamente ao período anterior –, correspondente a um volume medido efetivamente maior, mas que corresponde a menos água perdida.



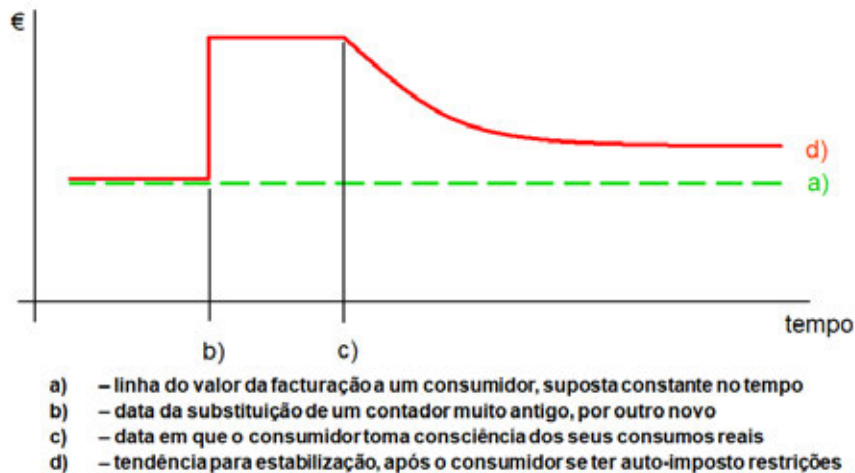


Figura 9-13 – Diagrama exemplificativo da influência da substituição dos contadores na faturação

A situação acima descrita, ainda que possa aparentar uma condição teórica, corresponde efetivamente a situações encontradas no terreno.

180

O exemplo seguinte evidencia os resultados de um estudo realizado numa zona da cidade de São Paulo (Brasil), onde 21 734 contadores foram alvo de substituição:



Figura 9-14 – Estudo realizado num bairro da cidade de São Paulo, comparando os consumos antes e depois da substituição dos contadores

O diagrama mostra os níveis de consumos medidos nos 36 meses anteriores ao início do programa de substituição e o que se passou nos 36 meses seguintes. Observa-se exatamente o que seria esperado: um incremento imediato dos valores medidos dos consumos, na época

em que as substituições foram implementadas, a que se seguiu uma atenuação nos meses seguintes.

Sublinha-se ainda um pormenor importante, que reporta ao que foi mencionado em 9.2.4, associado ao facto de os contadores anteriormente instalados serem Qn 1,5 e terem sido substituídos por contadores Qn 0,75, isto é, por contadores que, com menor caudal nominal, terão consequentemente menor caudal mínimo, o que permite medições mais exatas dos baixos caudais.

Em suma, atendendo a que o envelhecimento dos contadores é incontornável, importa definir e implementar programas de substituição sistemática de contadores, numa lógica contínua e coerente. Qualquer abrandamento neste programa traduzir-se-á, de imediato, na acumulação de contadores não substituídos, o que, num futuro próximo, implicará um esforço financeiro acrescido, eventualmente in comportável, quando se decidir retomar o programa de substituição.

Um programa de substituição programada, bem estruturado, é “para a vida”. É necessário não esquecer que, como diria o Senhor De Lapalisse: “Os contadores fazem anos todos os anos ...”

#### 9.2.8 Caso de estudo numa Entidade Gestora

O parque de contadores da EPAL, S.A. integra cerca de 340 000 contadores aplicados à medição de consumos domésticos de água, maioritariamente mecânicos, baseados no princípio de funcionamento volumétrico.

O planeamento da manutenção preventiva dos contadores que constituem este parque baseou-se, durante muito tempo, fundamentalmente no critério “tempo de serviço” em que se aplica ao contador de um determinado diâmetro nominal ou caudal permanente o prazo de verificação periódica correspondente estabelecido no Regulamento de Controlo Metroológico de Contadores de Água em vigor. A adoção desta metodologia visava fundamentalmente o cumprimento dos requisitos legais ditados por este referencial legislativo, de âmbito nacional.

Para que a manutenção do parque de contadores possa contribuir de forma ativa para a minimização das perdas aparentes com origem em erros de medição, procurou-se ir mais além do que a mera aplicação da referência legal para a definição do critério “tempo de serviço”, complementando-a com uma outra referência específica à realidade do parque de contadores da EPAL. Nesse sentido, foi desenvolvido um algoritmo visando determinar, com base numa análise custo/benefício, o tempo ótimo de serviço ao fim do qual qualquer contador deverá ser substituído, para que não constitua uma perda económica para a Entidade Gestora. Com efeito, é reconhecido que, para prevenir eventuais riscos de sobrefaturação que possam lesar os clientes, os contadores volumétricos terão sempre tendência em medir um volume de água inferior ao realmente consumido, à medida que o respetivo tempo de serviço vai aumentando.

Para que no planeamento da manutenção se aplique esta nova referência, foi necessário relacionar, para além dos dados que caracterizam o contador, igualmente os dados relativos ao consumo medido, ao tipo de cliente a que o contador está afeto, ao tarifário de venda da água e dos serviços faturados em função desta venda, aos custos de substituição do contador e aos erros de medição. Estes parâmetros, variáveis em função do tempo de serviço do contador, são característicos tanto da tipologia dos contadores, como da tipologia de consumos dos clientes.

Na EPAL, a gestão do parque de contadores é apoiada num Sistema de Gestão (Aquamatrix), no qual se encontram registados os contadores em serviço, sendo possível identificar as respetivas marcas, modelo, diâmetro nominal e caudais que os caracterizam, bem como apurar o tempo decorrido e o consumo lido desde a respetiva entrada em serviço.

Neste sistema está também associado um ponto de medição ao contador em serviço, relacionando-o com um dado cliente. Por sua vez, este cliente enquadra-se numa determinada tipologia de consumo, para as quais foram determinados, com base nos registos da telemetria, os correspondentes padrões de consumo. Em cada um destes padrões, o consumo medido encontra-se distribuído percentualmente pelas diversas faixas que compõem o intervalo de caudais solicitados pelo cliente, para que, na determinação do volume de perdas aparentes, seja ponderada a contribuição do erro do contador em cada uma dessas faixas de caudais para o consumo total medido.

Os erros de medição a aplicar na determinação da periodicidade ótima de substituição são obtidos através do ensaio em laboratório de amostras representativas do parque de contadores em serviço num determinado período. Os contadores da amostra são ensaiados para a determinação dos erros de medição nos caudais que caracterizam as diversas faixas em que o consumo se divide nos padrões em que se enquadram a maioria dos clientes.

Estes dados são objeto de atualização com a regularidade necessária ao acompanhamento da evolução dos valores das variáveis que contribuem para a análise custo/benefício em que assenta este referencial de análise.

Considerou-se que a implementação desta metodologia de controlo ativo das perdas por redução dos erros de medição seria mais eficaz caso fosse possível individualizar o contador, tratando-o como unidade concreta e não meramente estatística. Assim, foram desenvolvidos um algoritmo e uma aplicação informática associada que, mediante a relação entre os dados inerentes às diversas variáveis, permitem identificar os contadores em que se justifica antecipar a respetiva substituição, de modo a maximizar o potencial de recuperação da água não faturada devido a erros de medição.

Desta forma, a EPAL dispõe atualmente de uma ferramenta que permite definir o critério “tempo de serviço” com base em duas referências que se complementam e que permitem ir mais além no que respeita à gestão otimizada de parques de contadores (do seu ou de qualquer outro), tendo em vista aumentar a eficiência do desempenho dos instrumentos e melhorar a rentabilidade do investimento na respetiva renovação.

Para além do relevante papel no apoio à gestão da manutenção do parque, identificando as prioridades de substituição dos contadores em função do ganho potencial económico, esta ferramenta permite estimar, quer global quer individualmente, o volume de água não faturada na componente de perdas aparentes devido a erros de medição – para integrar o Balanço Hídrico da Empresa –, bem como a respetiva valorização económica.



Figura 9-15 – Aplicação BillMeter - solução da EPAL para a gestão de parques de contadores e controlo das perdas aparentes

### 9.3 Medição de caudal em águas residuais

#### 9.3.1 Ciclo de vida da medição

Como referido em 2.3, uma das formas mais comuns e testadas para minimizar e controlar os erros de medição consiste na definição e implementação de um Sistema de Gestão da Medição, entendido como o conjunto de instrumentos de medição, recursos humanos e técnicos, operações e métodos usados para quantificar uma grandeza a medir.

Este Sistema de Gestão da Medição deve abranger as diferentes fases do ciclo de vida da medição e procurar dar resposta às principais questões que se colocam em cada uma delas, conforme se ilustra na Figura 2-1.

#### 9.3.2 Planeamento

A fase de planeamento, considerada como a fase de arranque do ciclo de vida da medição, é fundamental para se determinar o que se pretende medir, onde medir, qual o período de medição e como irá ser efetuada a medição.

Como já referido anteriormente, existem duas questões essenciais a ter em consideração durante esta fase. Em primeiro lugar, é necessário conhecer as dificuldades que se irão apresentar quando a medição é aplicada à água residual. As principais condicionantes são:

- Tipo de fluido a quantificar;
- escoamento em superfície livre e em regime de escoamento variável;
- Características das redes de drenagem;
- Comportamento unitário das redes de drenagem;
- Elevada necessidade de manutenção dos equipamentos/locais de instalação;
- Limitações tecnológicas dos equipamentos;
- Díficeis condições de trabalho.

Em segundo lugar, e após a seleção do local onde se irá realizar a medição de caudal, é necessário identificar qual a melhor solução disponível para aquele local. Para isso, importa ter em consideração os seguintes aspetos:

- Tipo de escoamento (em pressão ou em superfície livre);

- Objetivo da medição (medição permanente/temporária/operacional/faturação);
- Custo de investimento e necessidades de manutenção;
- Variabilidade diária dos níveis de escoamento (níveis mínimos e máximos);
- Variabilidade diária das velocidades de escoamento (velocidades mínimas e máximas);
- Acumulação de sedimentos;
- Acessibilidade ao equipamento;
- Alimentação do equipamento (quadro elétrico, baterias, painéis solares);
- Capacidade técnica dos recursos humanos.

Sublinha-se, mais uma vez, ser recomendável a realização de uma campanha pontual com medição portátil para determinação das velocidades e níveis de escoamento mínimos e máximo, de forma a perceber qual a tecnologia que melhor se adequa ao local em análise.

Após uma pré-seleção da tecnologia a adquirir, é possível ainda solicitar ao fornecedor uma campanha temporária no local, com o tipo de tecnologia selecionada, de forma a garantir a adequação do equipamento ao local.

### 9.3.3 Aquisição

Após ter sido selecionada a tecnologia pretendida, há que ter em atenção vários fatores inerentes ao respetivo local, nomeadamente garantir que as condições de velocidade e nível de escoamento identificadas no terreno são abrangidas pela gama de medição do instrumento de medição - no caso dos medidores multissensoriais, para ambos os parâmetros. Estas condições podem ser verificadas através da folha de especificações do equipamento.

184

	<b>TEC-SPEC</b> <b>FLO-DAR™</b> <b>Model 4000</b> <b>Combined Radar</b> <b>Area/Velocity Flow Sensor</b>	 <small>Date: 13-10-2003                  Rev: 02                  PAGE: PAGE 1 OF 2</small>
 FLO-DAR™ Model 4000 SR	 FLO-DAR™ Model 4000 LR	
The FLO-DAR™ is the universal NON-CONTACT Flow Sensor to be connected to any MMI-Europe Open Channel Flow Logger and Transmitter like FLO-LOGGER™ and FLO-STATION™.		
→	<b>Velocity Measurement</b> Method: Radar Range: 0.2 to +6 meters per second Accuracy: ±0.5% of reading, zero stability Zero Stability: ±0.03 m/s Resolution: 0.001 m/s	
→	<b>Level Measurement</b> Method: Ultrasonic pulse echo Range: 0.01 to 1.5 meters (Model 4000-SR). 0.01 to 6 meters (Model 4000-LR) Accuracy: +/- 1% reading, zero stability. Includes non-linearity, hysteresis, and temperature effects. Zero Stability: +/- 0.005 m Resolution: 0.001 m	

Figura 9-16 – Exemplo de especificações de um equipamento de medição de caudal

Para além do limite de medição da velocidade de escoamento e do nível de escoamento, deverá ainda ser tido em conta o erro associado à leitura do medidor.

É de salientar que um equipamento que apresente um baixo erro de medição não garante necessariamente uma boa medição. Com efeito, uma incorreta instalação do equipamento irá produzir um erro elevado na medição, independentemente do erro introduzido pela tecnologia usada.

Outros fatores a ter em consideração na fase de aquisição do equipamento são os seguintes:

- Possibilidade de comunicação remota dos dados;
- Autonomia (no caso de baterias);
- Investimento associado à aquisição de todos os componentes relacionados com a medição (equipamento + peças de reserva + construção civil + comunicações + manutenção + recursos humanos + energia);
- “Idade da tecnologia” (tecnologias recentes, pouco testadas, podem prometer muito, mas vir a revelar-se um fracasso);
- Possibilidade de testar o equipamento no local antes da aquisição (realização de uma pré-campanha com o equipamento);
- Assistência técnica;
- Certificado de calibração no ato de entrega:
 

*Um caudalímetro com multissensorização novo deve ser fornecido ao adquirente com certificado da primeira calibração, fornecido pelo fabricante.*
- Considerar ou não a instalação do equipamento:
 

*Não havendo experiência na instalação do equipamento, é necessário garantir que os custos apresentados na proposta incluem a instalação do equipamento no local.*
- Considerar ou não a formação sobre a instalação:
 

*Quando existem equipas dedicadas à instalação de medidores de caudal, é de todo vantajoso a aquisição do conhecimento necessário de forma a garantir a aplicação das especificações fornecidas pelo fabricante.*

185



Figura 9-17 – Formação em sala sobre o equipamento de medição



Figura 9-18 – Formação no terreno sobre a instalação do equipamento de medição

### 9.3.4 Instalação

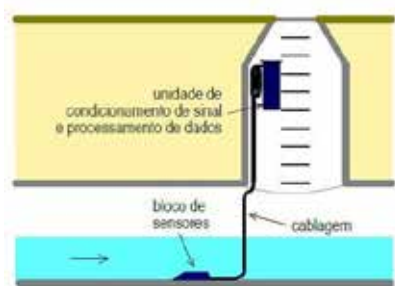
A operação de instalação de um equipamento de medição de caudal pressupõe a realização de 3 tarefas fundamentais:

- Instalação do medidor no interior do coletor ou câmara de visita;
- Verificação do funcionamento do medidor (verificação dos registos de nível e velocidade);
- Programação do “datalogger”.

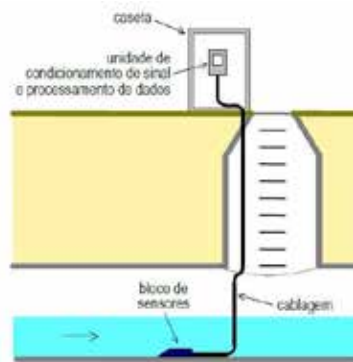
Independentemente da entidade que irá instalar o equipamento de medição (fornecedor ou a própria Entidade Gestora), há regras básicas de instalação que deverão ser cumpridas, algumas das quais constam como recomendações apresentadas pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) <sup>44</sup>.

Uma vez que, no Capítulo 6, já foram apresentadas as regras para instalação de medidores em pressão, enumeram-se, de seguida, apenas as recomendações para instalações em superfície livre (multissensoriais), destacando-se as seguintes regras a ter em consideração:

- Afastamento de zonas de alteração de secção e de escoamento, por forma a garantir um escoamento uniforme;
- Troço reto (pouco) inclinado: ter em atenção que troços com inclinações demasiado baixas poderão trazer problemas a nível de acumulação de sedimentos;
- Instalação do medidor no coletor de montante (preferencialmente);



*Figura 9-19 – Instalação de equipamento com alimentação por baterias*



*Figura 9-20 – Instalação de equipamento com alimentação por energia elétrica*

- Troço uniforme a jusante com um comprimento não inferior a três vezes o diâmetro interior;
- Troço uniforme a montante com um comprimento não inferior a cinco vezes o diâmetro interior;

<sup>44</sup> ERSAR – Guia Técnico n.º 9



- Alinhamento dos sensores ao eixo do coletor.

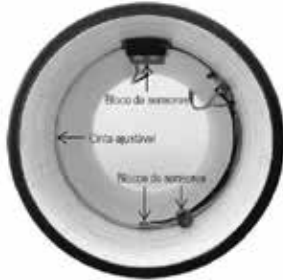


Figura 9-21 – Instalação dos sensores no interior do coletor

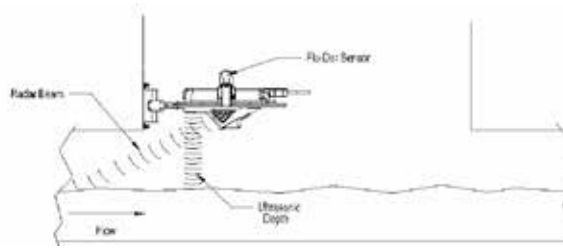


Figura 9-22 – Instalação do equipamento na câmara de visita

Existem equipamentos cuja instalação é feita na câmara de visita e não no interior do coletor, devendo, contudo, ser seguidas as mesmas regras básicas de instalação.

Não obstante as recomendações anteriormente descritas, deverão ser sempre respeitadas as indicações fornecidas pelo fabricante. O não cumprimento destas indicações poderá comprometer a precisão da medição.

*Nota: para permitir o entendimento da importância da medição de nível e velocidade na medição de caudal, é necessário recuar até à equação da continuidade, de forma a compreender-se como é obtido o valor de caudal:*

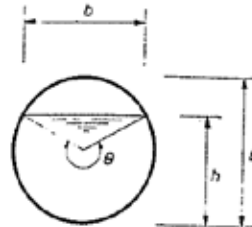
$$\text{Caudal (m}^3/\text{s)} = \text{Área (m}^2) \times \text{Velocidade (m/s)}$$

em que:

- a) Área de escoamento:

$$\theta = 2 \arccos\left(1 - 2\frac{h}{D}\right)$$

$$A = D^2 \left(\frac{\theta - \sin \theta}{8}\right)$$



A área do escoamento é calculada aplicando às fórmulas anteriormente apresentadas a altura (h) registada no medidor de caudal.

- b) Velocidade de escoamento:

Pretende-se a obtenção da velocidade média no escoamento, embora a velocidade medida seja, em norma, uma velocidade superficial ou de pico. Assim, é necessário determinar um coeficiente que traduza a velocidade média, que se denomina por "Gain".

Sabendo que a relação entre a velocidade superficial e a velocidade média varia com o diâmetro do coletor e a altura de água, resultam perfis de velocidade "tipo" que permitem a percepção do comportamento da velocidade consoante a altura de escoamento e, assim, determinar o "Gain".

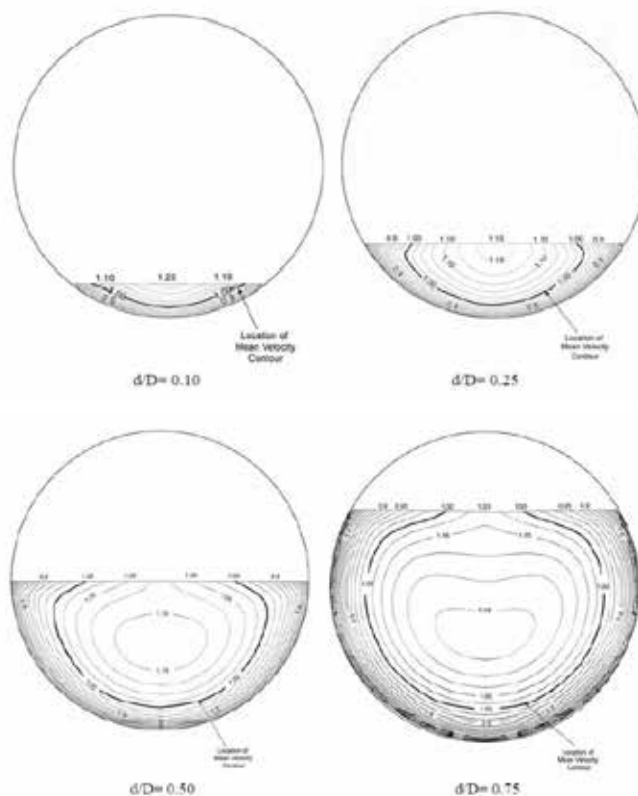


Figura 9-23 – Perfis de velocidade “tipo” para avaliação da velocidade média e do “Gain”

A confirmação da correta instalação do medidor de caudal implica a verificação do respetivo funcionamento; para esse efeito, é necessário:

- Verificar que o medidor está a registar;
- Verificar que o nível de escoamento registado é igual ao nível de escoamento no coletor.

A verificação pontual de nível é efetuada através do recurso a uma régua. Esta medição será comparada com o registo feito pelo medidor de caudal. Se houver desvio entre estes valores deverá ser feito um ajuste a este parâmetro.

Esta operação de verificação de nível é feita tanto durante a instalação do medidor como em verificações de rotina.

Nesta fase importa:

a) *Verificar se a velocidade de escoamento registada é igual à velocidade de escoamento no coletor:*

A verificação pontual da velocidade é efetuada através do recurso a uma vara de velocidade portátil. Esta medição será comparada com o registo feito pelo medidor de caudal.

Se houver desvio entre estes valores deverá ser feito um ajuste ao parâmetro “Gain”.

Esta operação de verificação da velocidade é realizada quer durante a instalação do medidor quer em verificações de rotina.



Figura 9-24 – Verificação de nível com régua



Figura 9-25 – Verificação de velocidade com vara portátil

Registo de verificações										
Hora	Nível - Range (mm)			Sensor	Velocidade (m/s)			Caudal (l/s)		
	Régua	Sensor Updepth	Sensor Pdepth		vara portátil	Sensor Peak Vel	Sensor	Sensor	Medidor	Medidor Redundante
9:52	520	521	510		1.43	1.34				
9:55	523	522	513		1.46	1.31				
9:59	531	533	528		1.41	1.35				
10:02	530	529	533		1.29	1.21				
10:03	530	528	533		1.32	1.26				
10:07	530	530	533		1.32	1.36				

Pontos			
A	B	C	D
1.30 1.43 1.29	1.30 1.42 1.23	1.14 1.32 1.16	
1.37 1.40 1.32	1.30 1.40 1.30	1.28 1.32 1.16	
1.23	1.21	1.18	

Figura 9-26 – Folha de registo de nível (a verde) e de velocidade (azul) de escoamento

b) Efetuar a programação do datalogger:

É necessária a definição dos parâmetros adequados à instalação, como o intervalo de amostras, a definição de alarmes e a interligação com os restantes módulos.



Figura 9-27 – Programação após instalação do medidor

Uma das tarefas que não deve falhar durante a programação do “datalogger”, para possibilitar uma análise comparativa de dados com outras fontes, é o acerto do fuso horário da medição (hora de verão/inverno). Na figura seguinte é possível constatar, através dos registos de medição de caudal no Caneiro de Alcântara (a azul no eixo inferior), que ocorreu um pico elevado de caudal antes de ter ocorrido o evento de precipitação (a cinzento e lilás no eixo superior), situação que indica que os registos das diferentes fontes de informação não se encontram no mesmo fuso horário.

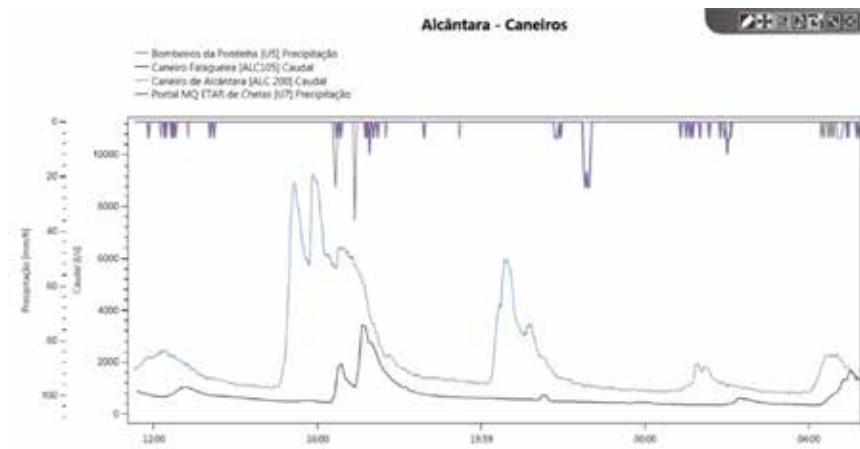


Figura 9-28 – Registo de precipitação e medição de caudal para a bacia do Caneiro de Alcântara

190

c) Realizar o levantamento topográfico (quando necessário):

A necessidade de levantamento topográfico deverá ocorrer principalmente em coletores de grande dimensão e secções fora do padrão normal. Em grandes secções e onde o caudal é elevado, os erros induzidos no cálculo do caudal devido à incorreta determinação da área molhada são elevados.

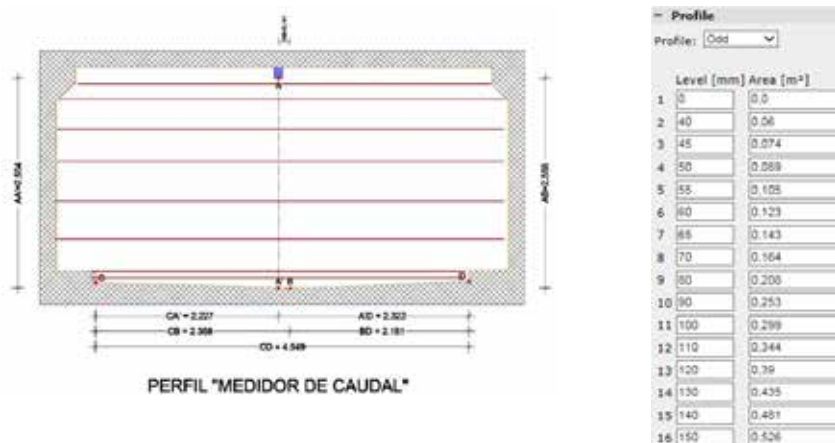


Figura 9-29 – Levantamento topográfico da secção de instalação do medidor de caudal instalado no Caneiro da Falagueira

Após a instalação do medidor e a verificação do seu funcionamento há que ter em conta o erro de medição. Este erro não corresponde apenas ao erro do equipamento, anteriormente referido, mas sim à conjugação de diversos erros, importando ter em conta que:

- O erro de medição associado a uma incorreta instalação poderá ser muito significativo (deverão ser cumpridas as indicações de instalação do fornecedor);
- O erro na medição de nível pode ser mais gravoso do que o erro na determinação da velocidade (decorre da equação da continuidade);
- É possível minimizar o erro de medição associado à definição da área de escoamento, principalmente em coletores de maior dimensão mediante recurso a levantamentos topográficos.

É importante relembrar a necessidade de cumprimento das regras de segurança para trabalhos em espaços confinados, como é o caso da instalação e manutenção de medidores de caudal. Existem correntemente riscos elevados inerentes a este tipo de trabalhos, destacando-se os seguintes casos:

- Tipo de atmosfera (monóxido de carbono, gás sulfídrico, ausência de oxigénio);
- Quedas em altura;
- Agentes patogénicos, vetores;
- Aumento brusco de caudal.



*Figura 9-30 – Descida na câmara de visita com recurso a arnês*



*Figura 9-31 – Recurso a um ponto de ancoragem durante os trabalhos no interior do coletor*

### 9.3.5 Operação

Na fase de operação de um sistema de medição de caudal o acompanhamento diário dos registos permite uma atuação célere a nível de manutenção e diminui o tempo despendido na edição mensal.



A visualização diária dos registos permite, em situações como a verificada na Figura 9-33 onde um evento de precipitação resultou na ocorrência de problemas de leitura no nível de escoamento, atuar o mais rápido possível através de uma manutenção corretiva, de forma a recuperar a fiabilidade dos registos.

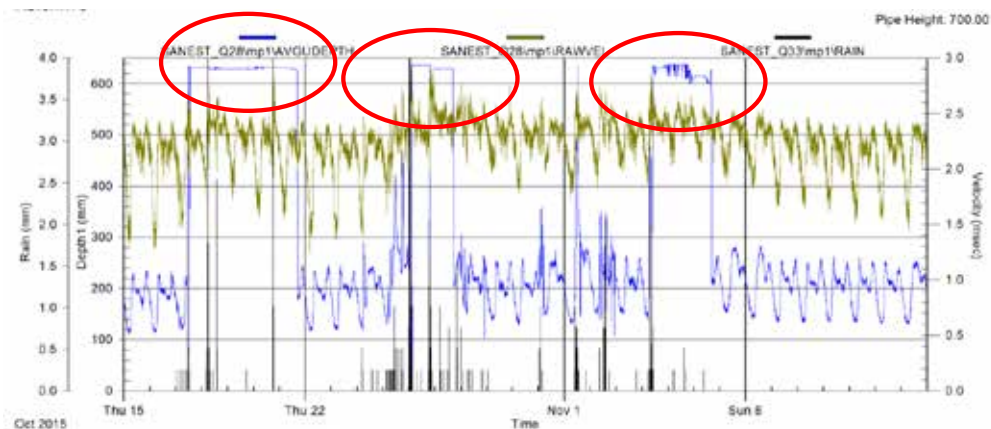


Figura 9-32 – Registos de nível (azul), velocidade de escoamento (verde) e precipitação (preto) para um determinado ponto de medição de caudal

192

Para além da qualidade dos registos, e em casos de medidores alimentados por baterias, o acompanhamento diário dos dados permite fazer uma verificação do nível da bateria, com o objetivo de prever a sua substituição sem risco de perda de dados.

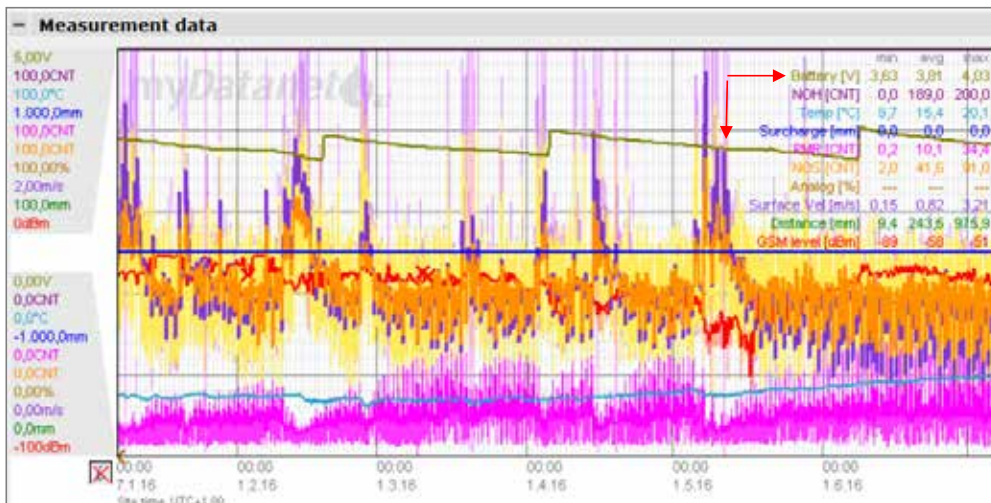


Figura 9-33 – Registo do nível de bateria de um determinado medidor de caudal

### 9.3.5.1 Manutenção

A manutenção contempla um conjunto de ações que visam assegurar o bom funcionamento dos medidores de caudal.

As recomendações emanadas pela ERSAR, no que diz respeito à calibração e verificação dos equipamentos, apontam para períodos entre as recalibrações dos caudalímetros multissensoriais de 18 meses, caso os instrumentos sejam utilizados para efeitos de faturação, e de 24 meses, caso sejam apenas de controlo.

Esta recomendação da ERSAR revela-se, na prática, difícil de cumprir face à realidade nacional. Com efeito, para além dos elevados custos que implicaria, não existem atualmente, no território nacional, laboratórios acreditados para realização de calibrações periódicas para equipamentos de medição de caudal multissensoriais em saneamento de águas residuais, situação que torna incomportável a realização de uma recalibração destes equipamentos em períodos compreendidos entre 18 a 24 meses.

Assim sendo, neste caso, apenas se dispõe de um certificado de calibração, fornecido pelo fabricante no momento de aquisição do equipamento.

Os caudalímetros utilizados em escoamentos com superfície livre devem ser objecto de verificações e acções periódicas de manutenção, cuja periodicidade é variável consoante o tipo de equipamento, o local de instalação e a altura do ano (tempo seco/tempo chuva), não devendo, em geral, exceder 6 meses.

Perante a necessidade destas verificações, é natural que as Entidades Gestoras, visando o estabelecimento de um plano de manutenção (periodicidades e trabalhos a desenvolver) para os respetivos sistemas de medição de caudal, equacionem se devem efetuar essa manutenção internamente ou se mediante recurso a prestação de serviços externos.

A tomada de decisão implica que sejam equacionados os seguintes fatores:

- Recursos Humanos (instrumentistas, operadores, etc.);
- Custos associados à contratação do serviço (é necessário assegurar acompanhamento de prestações de serviços de manutenção dos medidores);
- Medição para Controlo ou Faturação;
- Contratação do serviço – assegurar a articulação entre todas as etapas do processo (equipamentos de medição, transmissão de dados, servidores, plataformas de observação de dados).

A manutenção preventiva requer verificações e ações periódicas de forma a manter o correto funcionamento dos equipamentos de medição de caudal.

Nesse sentido, devem ser planeadas as seguintes tarefas no âmbito de uma estratégia de manutenção preventiva:

- *Verificação do nível, velocidade ou caudal no local (tarefa já descrita anteriormente).*  
A periodicidade deve ser adaptada à tecnologia ou ao local de acordo com o histórico. Poderá decorrer desta tarefa a alteração de parâmetros de configuração.



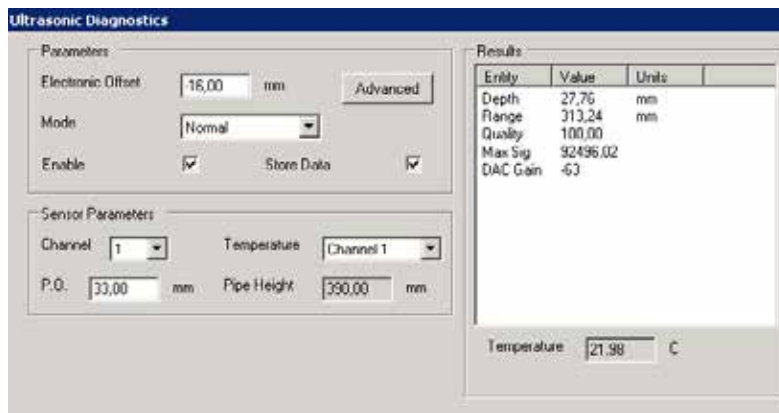


Figura 9-34 – Parametrização do nível (Offset)

194



Figura 9-35 – Descarregador graduado  
Verificação do caudal



Figura 9-36 – Descarregador graduado  
instalado no coletor

- Verificação do arquivamento de dados e da componente de transmissão.



Figura 9-37 – Verificação do arquivo de dados e da sua transmissão

- *Limpeza regular dos sensores, especialmente após a ocorrência de precipitação, e sempre que se verificar que o equipamento está sujo;*



*Figura 9-38 – Medidor de caudal antes da limpeza*



*Figura 9-39 – Medidor de caudal depois da limpeza*

- *Proteção das conexões entre equipamentos com fita isoladora*



*Figura 9-40 – Visita de campo para manutenção preventiva de um medidor de caudal*



*Figura 9-41 – Isolamento dos cabos de ligação do medidor ao "datalogger"*

- *Verificação dos níveis da bateria (caso essa indicação não seja dada remotamente) e a sua substituição deverá ter lugar caso se justifique;*
- *Substituição dos filtros de sílica associados aos sensores de pressão - que servem para impedir a entrada de humidade no cabo - quando se verificar que as pedras de sílica estão saturadas de água.*



Figura 9-42 – Substituição de baterias num medidor de caudal portátil



Figura 9-43 – Substituição dos filtros de sílica

A manutenção corretiva verifica-se sempre que se identifica alguma anomalia que carece de correção visando retomar a fiabilidade dos registos.

Os motivos mais frequentes para desencadear uma intervenção de manutenção corretiva são:

- O medidor não comunica;

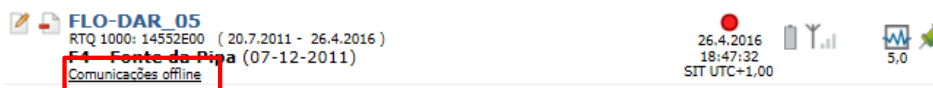


Figura 9-44 – Mensagem de erro de comunicação

- O medidor “não mede”;

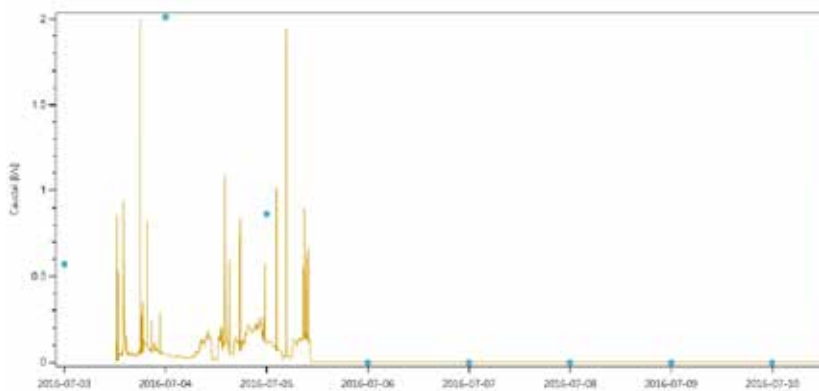


Figura 9-45 – O medidor deixou de medir

- Os dados de medição apresentam falhas (zeros, valores negativos, valores repetidos, períodos sem dados);
- Os dados de medição apresentam alteração inexplicável face ao comportamento habitual.

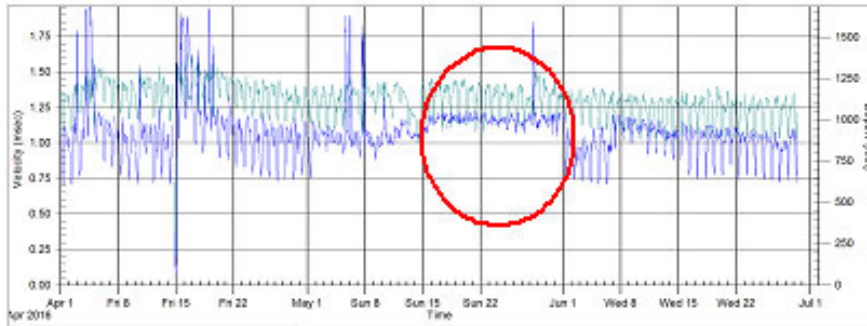


Figura 9-46 – Registos de medição com padrão anormal

No âmbito da manutenção corretiva, e considerando as anomalias apresentadas, as ações mais frequentes para a sua resolução são:

- “Reset” à instalação para restabelecimento das comunicações;
- Necessidade de limpeza/manutenção do local;
- Necessidade de reparação ou substituição do equipamento, por avaria;
- Reposicionamento dos acessórios de suporte do medidor;
- Intervenção nos autómatos das instalações de tratamento ou EE;
- Substituição da bateria;
- Desinstalar o equipamento temporariamente (ex: acumulação de humidade no interior dos equipamentos).

Após execução da manutenção corretiva, realizam-se os procedimentos já indicados para a manutenção preventiva, entre os quais se destacam:

- Limpeza dos sensores (manual ou através de jato de água);
- Verificação das conexões entre equipamentos e respetivo isolamento;
- Substituição de filtros de pressão;
- Verificação da medição (nível e velocidade);
- Verificação da comunicação entre módulos (sondas, transmissores, autómatos, equipamentos de transmissão de dados);
- Verificação da integridade das estruturas de suporte dos medidores.

#### 9.3.5.2 Comunicações/Bases de dados

Entre os aspetos que não devem ser negligenciados num sistema de medição de caudal destacam-se as bases de dados e as comunicações, nos casos em que os dados de medição sejam transmitidos remotamente. Para além de assegurar o adequado funcionamento dos equipamentos de medição de caudal, a receção dos dados de medição à distância deve ser idealmente garantida por forma a permitir uma intervenção célere em situação de falhas de medição. Os sistemas de comunicação podem ser diversos, sendo que os dados transmitidos devem ser armazenados em bases de dados e disponibilizados para os utilizadores.

Assim, deverá ser prevista a necessidade de manter em funcionamento, diferentes fontes de informação: bases de dados, servidores, plataformas, *softwares*, etc., alocando os recursos materiais e humanos necessários para o efeito. Diariamente deverá ser verificado o

funcionamento das aplicações e realizado o diagnóstico remoto de eventuais falhas de comunicação.

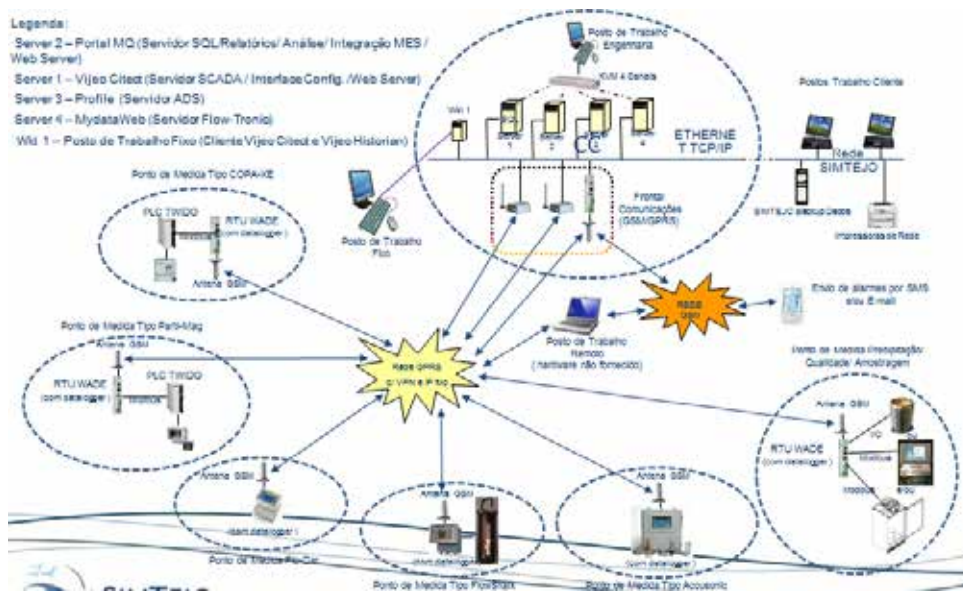


Figura 9-47 – Exemplo de funcionamento de um sistema de gestão de informação

198

### 9.3.5.3 Tratamento de dados

A edição e validação de dados exige tempo e recursos humanos, devendo ser devidamente considerada na fase de planeamento do sistema de medição de caudal.

As Figuras 9-48 e 9-49 evidenciam dados associados a um determinado ponto de medição, relativos ao mesmo período, com e sem edição de dados.

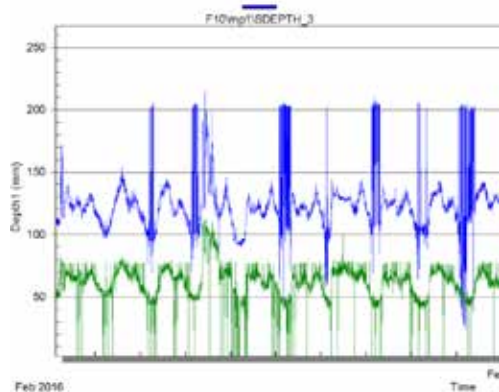


Figura 9-48 – Dados sem edição

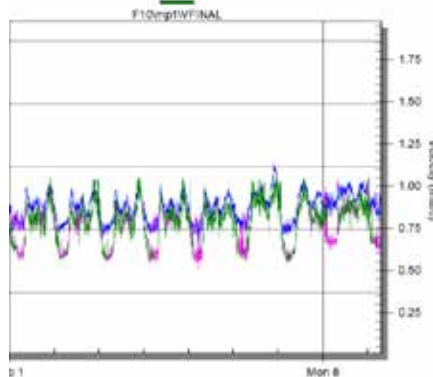


Figura 9-49 – Dados com edição

A edição e validação de dados poderá passar pelas seguintes etapas:

- a) Identificação e correção de falhas pontuais (zeros, ausências de dados);



b) *Determinação dos hidrogramas padrão (agrupamento de dados em dias de semana e fim de semana para validação das séries diárias de caudal):*

- i. Seleção das curvas de caudais diárias, separadas por semana e fim-de-semana. São retirados os dias onde se registou precipitação ou onde existem registos anómalos que não correspondem ao comportamento habitual do local em análise

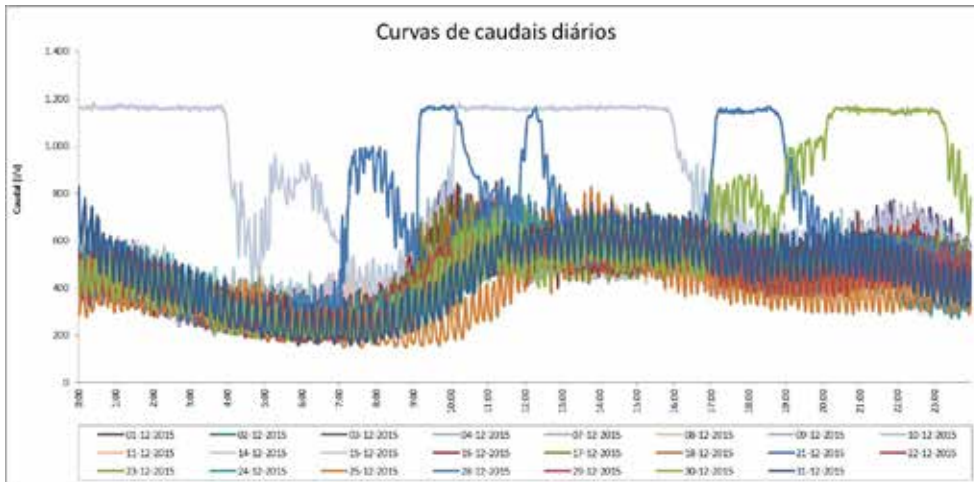


Figura 9-50 – Seleção das curvas de caudais diárias

Cálculo da média de todas as curvas de caudais diários selecionadas

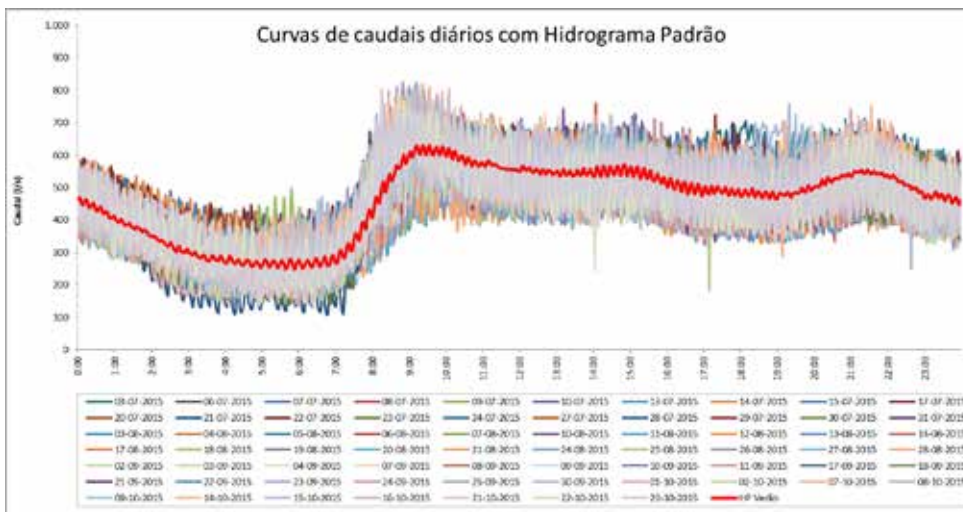


Figura 9-51 – Média das curvas de caudais diários

- ii. Este procedimento é repetido para os dias de semana e fins de semanas, para o período de Inverno e período de Verão

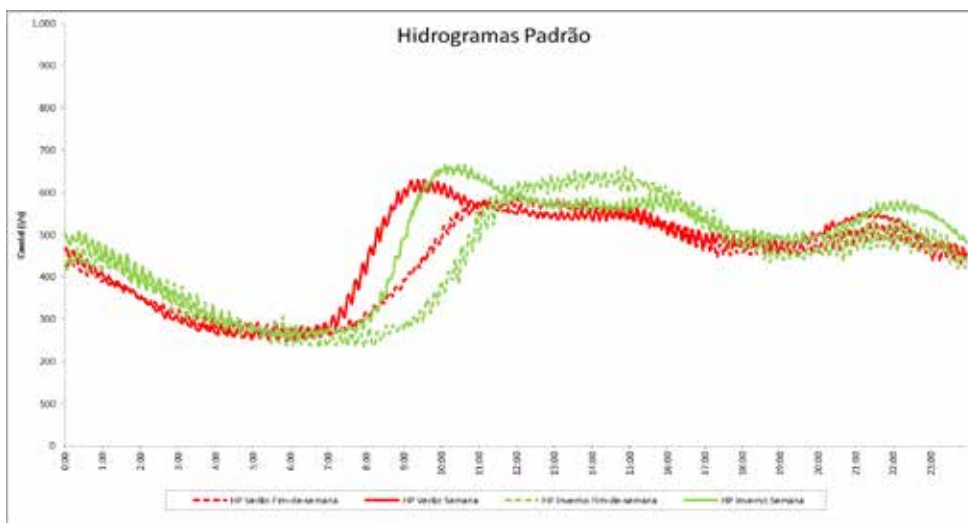


Figura 9-52 – Hidrogramas padrão

- c) Correção de séries não validadas com base nos hidrogramas padrão, na curva de vazão ou na média dos últimos n dias - o método de correção é selecionado em função do período da falha, do respetivo tipo e de a mesma ter ocorrido durante tempo seco ou húmido.

200

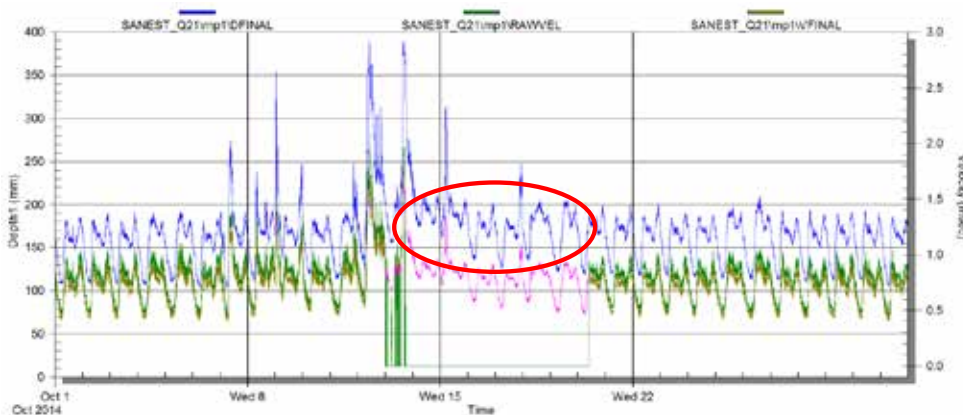


Figura 9-53 – Exemplo de correção de falha de dados com recurso à curva de vazão

### 9.3.5.4 Medição de caudal em tempo húmido

A existência de ligações pluviais nos sistemas de drenagem é facilmente detetável através da monitorização de caudais que evidencia a existência de picos de caudal associados a eventos de precipitação. Em muitos casos, estas ocorrências são agravadas com caudais de infiltração significativos.



As principais consequências da sobrecarga (Figura 9-54) são a degradação estrutural de coletores (devido à ocorrência de velocidades de escoamento excessivas ou à entrada de sedimentos nos coletores), as inundações (Figura 9-55) e o aumento do caudal afluente à estação de tratamento e às estações elevatórias. As implicações incluem o aumento dos custos de exploração (gastos energéticos, gastos com reagentes, etc.), a redução da eficiência do tratamento e a ocorrência de possível descarga de água residual não tratada, uma vez que o coletor deixa de ter capacidade hidráulica para receber entradas de caudal doméstico a jusante.

Assim, facilmente se entende a dimensão do desafio que se apresenta quando está em causa a medição de caudal em tempo húmido.



Figura 9-54 – Entrada em carga de coletores

Figura 9-55 – Descargas não controladas

As consequências do tempo húmido para a medição de caudal podem ser várias, mas a redução da fiabilidade dos dados é, sem dúvida, uma das principais. Na Figura 9-56, apresentam-se as relações existentes entre as consequências operacionais decorridas de eventos de precipitação e as consequências ocorridas ao nível da medição de caudal.



Figura 9-56 – Relação entre as consequências operacionais e as consequências a nível da medição

Na Figura 9-57 apresentam-se os registos de caudal num ponto de medição (ETAR com sonda ultrassónica instalada em canal Parshall) ao longo de 9 dias, período durante o qual ocorreu precipitação. É possível constatar que o caudal máximo registado durante um dos eventos de precipitação atingiu um incremento de 1114%, relativamente ao caudal máximo registado em tempo seco, realçando-se que a fiabilidade da medição para uma escala de registo de caudal

desta amplitude é claramente inferior comparativamente a uma escala reduzida de medição de caudal.

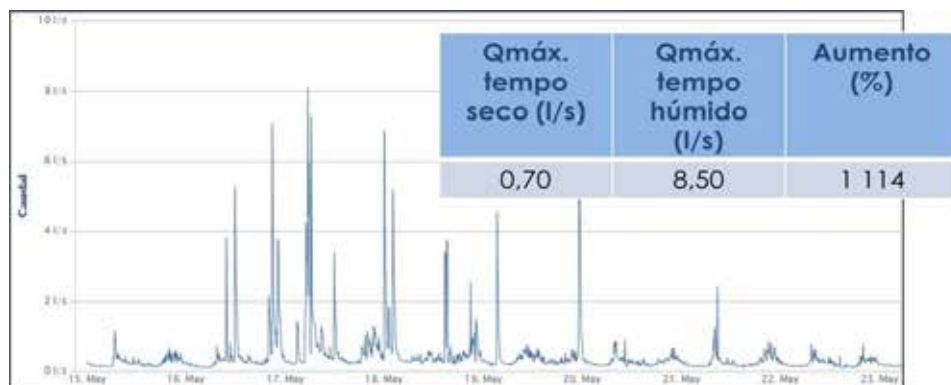


Figura 9-57 – Medição de caudal em tempo seco e em tempo húmido

#### 9.3.6 Período de funcionamento

Contrariamente ao que sucede em relação aos contadores associados ao abastecimento doméstico, enquadrados no âmbito da metrologia legal, não existe qualquer imperativo legal relativo à substituição dos medidores utilizados em sistemas de saneamento decorrente do respetivo tempo de utilização.

Na prática, a substituição dos equipamentos de medição de caudal verifica-se por avaria ou inadequação ao local, geralmente por alteração das condições hidráulicas.

## 9.4 Aquisição e Desativação

### 9.4.1 Generalidades

A fase de seleção e subsequente aquisição de contadores/medidores de caudal assume uma importância fundamental em qualquer sistema de medição, pois apenas com equipamentos adequados ao que se pretende medir e às condições da instalação será possível alcançar a necessária qualidade ao nível da medição.

As principais vertentes associadas à seleção do diâmetro, da tecnologia e da exigência de exatidão dos medidores já foram abordadas no Capítulo 6., importando nesta fase, e perante a diversidade de opções disponíveis no mercado, sublinhar a relevância de dispor de especificações de aquisição suficientemente claras e vocacionadas para os objetivos de medição estabelecidos.

Por seu lado, numa época em que sustentabilidade dos produtos e processos vem assumindo uma importância crescente, a desativação dos contadores/medidores constitui uma fase cuja relevância não pode ser descurada. Efetivamente, a análise e avaliação, “*a priori*”, do possível reaproveitamento de componentes dos contadores, da respetiva valorização económica e dos aspetos ambientais associados à retirada e condução a destino final dos instrumentos de medição poderá, inclusivamente, influenciar a própria seleção dos equipamentos.

Assim, a seleção e aquisição dos equipamentos de medição deverá ter em consideração todo o respetivo ciclo de vida e os objetivos inerentes a cada uma das suas fases, incluindo a desativação.

#### 9.4.2 Contadores de pequeno calibre (residenciais e comerciais ligeiros)

Sob esta designação, podem ser agrupados os contadores de DN 15 até DN 50, que se caracterizam por apresentarem tubuladuras para ligação roscada, podendo o seu corpo ser constituído por uma peça de latão ou bronze, obtida por fundição ou estampagem (soluções tradicionais) ou, mais recentemente, por injeção de polímeros (termoplásticos ou compósitos). No seu interior, quer se trate de contadores tradicionais mecânicos, quer se trate de contadores estáticos (eletrónicos), a maioria dos materiais encontrados são de natureza termoplástica, havendo ainda alguns pequenos componentes metálicos, sobretudo em aço inoxidável.

De salientar que, em muitas Entidades Gestoras e pelo menos nos calibres DN 15 e DN 20, as quantidades de aquisição e, conseqüentemente, de desativação são elevadas, da ordem de dezenas ou centenas de milhar, o que faz ponderar conceitos de economia de escala.

No momento da aquisição, tal como já foi exposto em 6.1.8, haverá que decidir a seleção da tecnologia e da exigência de exatidão mais adequadas às necessidades de medição, ponderados critérios conhecidos de durabilidade das diferentes tecnologias, “*versus*” os preços de aquisição oferecidos pelo mercado.

Um dos fatores relevantes a ponderar na análise do preço de aquisição será a perspetiva de durabilidade – em boas condições metrológicas – da tecnologia selecionada, tendo em conta que as necessidades de substituição devem contabilizar não só os custos de aquisição do contador mas também os encargos de substituição, os quais, muitas vezes, igualam ou mesmo superam os do próprio contador.

Outros aspetos a considerar no custo de aquisição serão considerações ambientais, relativamente à desativação, que também se traduzem por custos. Efetivamente, se o corpo do contador for em latão ou bronze, o contador em final de vida tem um determinado valor comercial de sucata desses metais, os quais podem ser ilimitadamente reutilizados por fundição. Já os contadores cujos corpos são fabricados em polímeros não só não têm qualquer valor de venda no final do seu ciclo de vida, como podem implicar custos adicionais para o seu adequado tratamento ambiental.

O facto de, recentemente em Portugal, se terem tornado frequentes situações de “furtos de metais não-nobres”, poderá influenciar o reforço da opção por corpos em polímeros, por esta constituir um forte dissuasor de furtos de contadores, especialmente quando situados em locais públicos ou de fácil acesso.

Nesta gama de contadores, era habitual proceder-se à sua reparação – em oficina qualificada para o efeito –, no final de cada ciclo de vida metrológica. No entanto, esta prática só será economicamente interessante em contadores mecânicos de corpo de latão ou bronze, enquanto esses corpos apresentarem um valor intrínseco que compense os custos dos componentes interiores (quase sempre integralmente substituídos) e os de mão-de-obra associados. Nas atuais condições, estará completamente fora de questão reparar contadores com corpo em polímero, constatando-se que mesmo a reparação de contadores com corpo metálico é cada vez menos comum.

#### 9.4.3 Contadores de grande calibre

Estão neste grupo os contadores de calibre igual ou superior a DN 50, mais concretamente os que são de ligação flangeada.

Os corpos destes contadores são normalmente de material ferroso, pelo que os aspetos relacionados com eventuais furtos, por via do seu eventual valor de sucata, não se colocam. Acresce que, uma vez que são de ligação flangeada, a que se adicionam as suas habituais localizações de instalação, também não são objeto de fácil furto.

No momento da aquisição, naturalmente que, também para este tipo de contadores, haverá que selecionar a tecnologia e a exigência de exatidão mais adequadas às necessidades de medição, bem como ponderar os critérios de durabilidade das diferentes tecnologias disponíveis no mercado e os respetivos preços de aquisição.

Também, neste caso, na análise do preço de aquisição deverá ser ponderada qual a perspectiva de durabilidade – em boas condições metrológicas – da tecnologia selecionada, tendo em conta as necessidades metrológicas, já que deverá ser ponderado o regime de caudais a que o contador poderá ser solicitado a funcionar.

No caso dos grandes contadores, atendendo a que as suas quantidades de aquisição não serão muito significativas e que o seu custo unitário será relativamente elevado, interessa sobretudo, para além das características metrológicas formais oferecidas pelo fabricante, ter em conta as perspectivas de futura assistência técnica, por parte dos respetivos fornecedores.

Estas considerações são particularmente importantes quando está em causa equipamento estático de medição de caudal, sobretudo eletromagnético, uma vez que as futuras verificações “*in situ*” terão de ser feitas por equipamento específico da marca e por pessoal especializado.

A desativação deste tipo de contadores não oferece maiores problemas ambientais ou económicos que qualquer outro tipo de maquinaria industrial.

No caso dos contadores mecânicos de grande calibre, a sua reparação – também em oficina qualificada – costuma ser economicamente interessante.

- Página em branco -



F3



KROHNE



## 10 Enquadramento normativo e legislativo

### 10.1 Medição de volume em água de abastecimento

#### 10.1.1 Aspectos gerais

Em Portugal, a estrutura normativa constitui um subsistema (Subsistema da Normalização) do Sistema Português da Qualidade (SPQ), cuja gestão é da competência do Instituto Português da Qualidade (IPQ), o qual se constitui como entidade de cúpula perante os organismos europeus e internacionais da normalização.



Figura 10-1 – Logótipo do Sistema Português da Qualidade

Os organismos europeus responsáveis pela normalização são:

- *CEN – European Committee for Standardization*  
Este organismo coordena os Organismos Nacionais para a Normalização de 33 países europeus, tratando tradicionalmente das normas relativas à “área não eléctrica”.
- *CENLEC – European Committee for Electrotechnical Standardization*  
Organismo com funções e responsabilidades similares ao CEN, mas para as normas da “área eléctrica”.
- *ETSI – European Telecommunications Standards Institute*  
Organismo responsável pela normalização europeia no âmbito das telecomunicações. Embora sendo um organismo europeu, já agrega participação de um total de 66 países.

Estes três Organismos são oficialmente reconhecidos pela União Europeia e pela EFTA como responsáveis pelo desenvolvimento e publicação das normas do âmbito europeu.

Normalmente estes Organismos elaboram normas sob a alçada das Directivas Europeias aplicáveis aos diversos produtos ou serviços.



Figura 10-2 – Logótipos do CEN, do CENEL e do ETSI

A nível internacional (mundial), interessam, para os efeitos deste documento, os seguintes organismos:

- *ISO – International Organization for Standardization*  
Organismo responsável pela normalização à escala mundial do desenvolvimento e publicação das normas, também tradicionalmente relativas à “área não eléctrica”.



- *IEC – International Electrotechnical Commission*

Organismo com funções e responsabilidades similares à ISO, mas para as normas da “área eléctrica”.

É muito frequente ser feita a harmonização técnica entre os documentos da ISO/IEC e os do CEN/CENELEC, sendo que, nalguns casos, é mesmo adoptado um documento comum, o qual é publicado sob a designação de EN ISO ou EN IEC ou até EN ISO IEC, conforme o respectivo âmbito. Esta harmonização é feita ao abrigo do chamado Acordo de Viena (*Vienna Agreement*).

Todos estes organismos de normalização funcionam com base nas respectivas Comissões Técnicas (*Technical Committees*) de especialidade, as quais são constituídas por representantes dos países membros interessados numa determinada matéria.



Figura 10-3 – Logótipos da ISO e da IEC

No plano nacional, os vários Estados Membros têm as suas próprias organizações internas, havendo uma diferença estrutural sobretudo entre a organização Europeia e a dos Estados Unidos da América.

Assim, enquanto nos EUA, para além da entidade nacional de normalização (ANSI), existem organismos de normalização organizados por áreas de atividade, na Europa, os Estados Membros possuem entidades de cúpula nacionais que coordenam todas as áreas de atividade.

- Exemplos nos EUA:
  - ANSI – American National Standards Institute
  - AISI – American Iron and Steel Institute
  - AWWA – American Water Works Association
- Exemplos na Europa:
  - BSI – British Standard Institution
  - AFNOR – Association Française de Normalisation
  - DIN – Deutsches Institut für Normung
  - IPQ – Instituto Português da Qualidade

Em Portugal, como já referido, a entidade de cúpula é o IPQ, o qual se relaciona com as entidades exteriores e as internas, como esquematizado na Figura 10-4.

Assim, foi criado o modelo funcional designado por ONS – Organismo de Normalização Sectorial, tendo as competências normativas sido deslocadas em entidades dos diversos sectores de atividade que para tal se candidataram, suportando as respetivas Comissões Técnicas de Normalização.

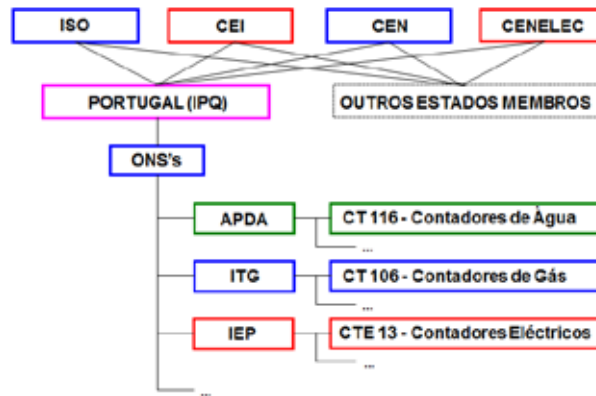


Figura 10-4 – Esquematização do funcionamento dos ONS junto do IPQ

No Sector da Água, a APDA – Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas candidatou-se e ficou qualificada como ONS para suportar a Comissão Técnica de Normalização CT 116 – “Medição do Escoamento de Água em Conduitas Fechadas”, vulgarmente conhecida como de “Contadores de Água”.

#### 10.1.2 A Normalização dos contadores de água (“Antiga Abordagem”)

A Normalização dos contadores de água, em Portugal, num passado ainda relativamente recente, teve origem numa norma ISO 4064:1983, à qual a CT 116 foi colher elementos para, após um conjunto de adaptações, publicar a primeira Norma Portuguesa NP 2468:1987 “Contadores de água potável fria”.

Entretanto, a ISO 4064 evoluiu para uma edição de 1995, tendo a CT 116 feito o respetivo acompanhamento, de que resultou a NP 2468:1997.

Note-se que, à época, não existia qualquer norma europeia, sendo os contadores de água exclusivamente regidos pela Diretiva 75/33/CEE, não havendo qualquer incompatibilidade entre esta diretiva e a NP 2468:1997.

Este enquadramento, que, mais tarde, viria a ficar conhecido pela designação de “Antiga Abordagem”, regeu a seleção e gestão de parte significativa dos contadores/medidores ainda em funcionamento atualmente, podendo ser resumido como se segue:

- Antiga Abordagem dos Contadores de Água

Suporte normativo e legislativo:

- Normas ISO 4064-1:1995, NP 2468:1997, Diretiva 75/33/CEE e Portaria 331/87

Parâmetros fixos:

- Caudal nominal,  $Q_n$
- Caudal máximo,  $Q_{max}$ , sendo  $Q_{max} = 2 \times Q_n$
- Diâmetro nominal (DN)
- Aplicável apenas a contadores mecânicos (em consequência do texto da definição de “contador”).

Parâmetros variáveis:

- Classes metrológicas (A, B, C e, posteriormente, D)
- Caudal mínimo,  $Q_{min}$
- Caudal de transição,  $Q_t$

Os valores de  $Q_{min}$  e  $Q_t$  eram calculados em função de  $Q_n$  e da classe metrológica do contador, segundo uma dada tabela de coeficientes (Figura 10-5). A opção pela classe metrológica era facultativa, por parte da Entidade Gestora.

Classes	Contadores de $Q_n$	
	<15 m <sup>3</sup> /h	≥15 m <sup>3</sup> /h
Classe A Valor de $Q_{min}$ Valor de $Q_t$	0,04 $Q_n$ 0,10 $Q_n$	0,08 $Q_n$ 0,30 $Q_n$
Classe B Valor de $Q_{min}$ Valor de $Q_t$	0,02 $Q_n$ 0,08 $Q_n$	0,03 $Q_n$ 0,20 $Q_n$
Classe C Valor de $Q_{min}$ Valor de $Q_t$	0,01 $Q_n$ 0,015 $Q_n$	0,006 $Q_n$ 0,015 $Q_n$
Classe D Valor de $Q_{min}$ Valor de $Q_t$	0,0075 $Q_n$ 0,0115 $Q_n$	—

Figura 10-5 – Coeficientes de cálculo dos valores de  $Q_{min}$  e  $Q_t$

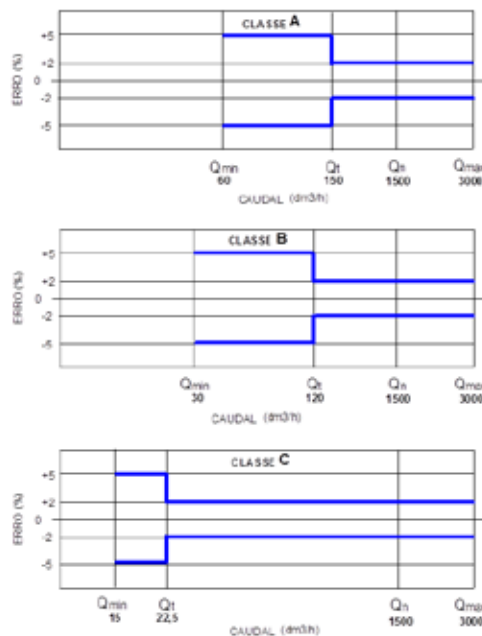


Figura 10-6 – Comparação dos Erros Máximos Admissíveis (EMA) nas diferentes classes metrológicas, no caso de um contador DN 15,  $Q_n$  1,5 da antiga abordagem

### 10.1.3 A Normalização dos contadores de água (“Nova Abordagem”)

Em 2004, com a publicação da Diretiva 2004/22/CE, que ficou correntemente conhecida como MID (Measurement Instruments Directive), teve início a chamada “Nova Abordagem”, assim designada porque introduzia um novo conceito na legislação: Em vez de uma diretiva que definia um contador de água ao mais ínfimo pormenor (como era o caso da 75/33/CEE), este novo conceito baseia-se no estabelecimento, pela legislação, apenas dos chamados “requisitos essenciais”, deixando que os pormenores técnicos fiquem ao cuidado das normas.

Deste modo, por mandato do CEN, foi criada uma comissão técnica para contadores de água (CEN/TC 92) – na qual representantes portugueses tiveram participação ativa –, para criar uma norma europeia. Ao mesmo tempo, esse mandato foi também dirigido à OIML para que criasse o respetivo documento normativo que desse suporte a essa norma.

Destes trabalhos, com a cobertura legal da MID, foi desenvolvida uma norma de contadores de água verdadeiramente inovadora, face ao que existia:

- Nova Abordagem dos Contadores de Água

Suporte normativo e legislativo:

- Norma EN 14154-1:2005, Diretiva 2004/22/CE, OIML R 49-1 e Portaria 321/2019
- Atualização para a Norma EN ISO 4064-1:2014, Diretiva 2014/32/UE

Parâmetros e rácios:

- Caudal permanente,  $Q_3$  (m<sup>3</sup>/h)

Valores bem determinados, tomados a partir da tabela:

1,0	1,6	2,5	4,0	6,3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300

- Caudal de sobrecarga,  $Q_4$

Definido pelo rácio  $Q_4/Q_3 = 1,25$

- Caudal de transição,  $Q_2$

Definido pelo rácio  $Q_2/Q_1 = 1,6$

- Caudal mínimo,  $Q_1$

Definido como o menor caudal ao qual o contador não deve exceder o erro máximo admissível (EMA).

- Intervalo de medição,  $Q_3/Q_1$  (também designado como R)

Valores bem determinados, tomados a partir da tabela:

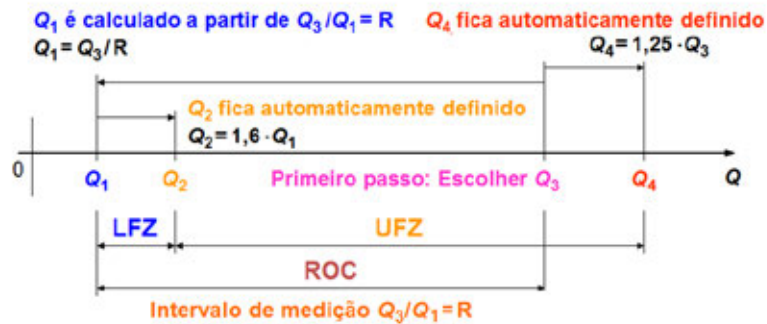
						40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800

Neste novo enquadramento normativo, as inovações mais relevantes são:

- Norma aplicável a contadores para água potável fria (30 °C) ou aquecida (até 180 °C);

- Norma aplicável a qualquer tecnologia de medição (contadores baseados em princípios mecânicos ou princípios elétricos ou eletrónicos);
- Contadores com características metroológicas completamente independentes do seu diâmetro nominal (DN), o qual, tal como o comprimento, mais não é do que uma característica geométrica para a necessária ligação à conduta;
- Um contador é definido metrologicamente apenas pelo seu  $Q_3$  e o seu valor de R.

Neste contexto, apresenta-se um exemplo de dimensionamento de um contador dito “MID”:



LFZ (Lower Flowrate Zone) – Zona baixa de caudal

UFZ (Upper Flowrate Zone) – Zona alta de caudal

ROC (Rated Operating Conditions) – Condições estipuladas de funcionamento

Figura 10-7 – Parâmetros metroológicos de um contador de água

A “nova abordagem” também trouxe outro conceito de classes metroológicas de exatidão. Assim:

- Contadores da Classe de Exatidão 1

O erro máximo admissível para a zona superior de caudal ( $Q_2 \leq Q \leq Q_4$ ) é de  $\pm 1\%$  para temperaturas de  $0,1^\circ\text{C}$  a  $30^\circ\text{C}$ , e  $\pm 2\%$  para temperaturas superiores a  $30^\circ\text{C}$ .

O erro máximo admissível para a zona inferior de caudal ( $Q_1 \leq Q < Q_2$ ) é de  $\pm 3\%$ , independentemente da temperatura.

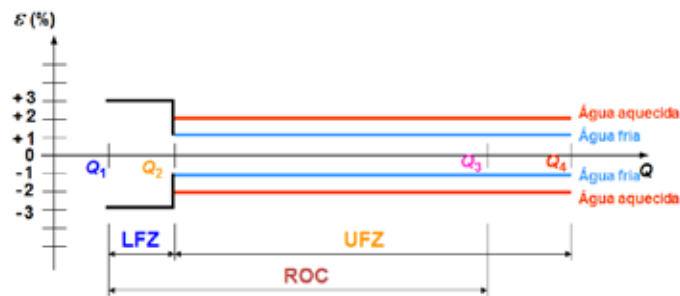


Figura 10-8 – Limites dos Erros Máximos Admissíveis da Classe de Exatidão 1

– Contadores da Classe de Exatidão 2 <sup>45</sup>

O erro máximo admissível para a zona superior de caudal ( $Q_2 \leq Q \leq Q_4$ ) é de  $\pm 2\%$  para temperaturas de  $0,1\text{ }^\circ\text{C}$  a  $30\text{ }^\circ\text{C}$ , e  $\pm 3\%$  para temperaturas superiores a  $30\text{ }^\circ\text{C}$ .

O erro máximo admissível para a zona inferior de caudal ( $Q_1 \leq Q < Q_2$ ) é de  $\pm 5\%$ , independentemente da temperatura.

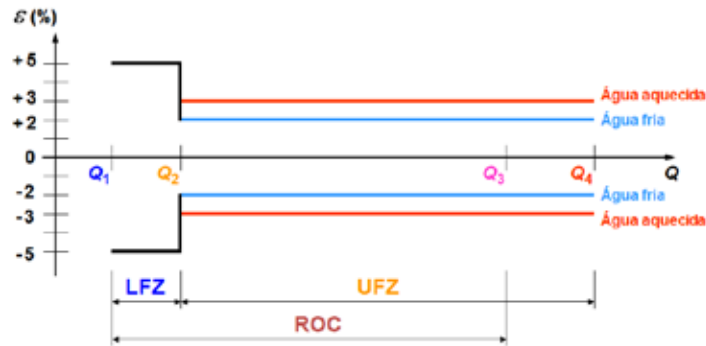


Figura 10-9 – Limites dos Erros Máximos Admissíveis da Classe de Exatidão 2

Outro aspeto altamente inovador consistiu no facto de a prova de Exame de Tipo passar a exigir que os contadores sejam submetidos a ensaios de perturbação, tanto a montante como a jusante, com perturbadores normalizados para o efeito e que simulam distorção do perfil de velocidades do escoamento e também rotação do escoamento (nos dois sentidos de rotação). Daqui resultou a classificação dos contadores em classes de comportamento às condições de escoamento.

- Sensibilidade à irregularidade dos campos de velocidade a montante – classes (U)

Classe	Comprimento dos troços rectos requeridos (× DN)	Necessidade de estabilizador
U0	0	Não
U3	3	Não
U5	5	Não
U10	10	Não
U15	15	Não
U0S	0	Sim
U3S	3	Sim
U5S	5	Sim
U10S	10	Sim

<sup>45</sup> Os contadores que não apresentem qualquer indicação de classe de exatidão são considerados da Classe 2 e constituem os contadores correntes de mercado. Os da Classe 1 devem ser claramente identificados.

- Sensibilidade à irregularidade dos campos de velocidade a jusante – classes (D)

Classe	Comprimento dos troços rectos requeridos (× DN)	Necessidade de estabilizador
D0	0	Não
D3	3	Não
D5	5	Não
D0S	0	Sim
D3S	3	Sim

Exemplos:

- Um contador que necessita de um troço reto com 5 diâmetros a montante e ainda outro troço com 3 diâmetros a jusante, será U5/D3;
  - Um contador similar, mas que, para além de um troço reto com 5 diâmetros a montante, ainda necessita de estabilizador, será U5S/D3;
  - Um que não necessite de qualquer troço reto nem estabilizador será U0/D0.
- Classes de perda de pressão

De acordo com a sua perda de pressão interna os contadores também são agrupados em classes de perda de pressão:

Classe	Perda de pressão máxima	
	(MPa)	(bar)
$\Delta p$ 63	0,063	0,63
$\Delta p$ 40	0,040	0,40
$\Delta p$ 25	0,025	0,25
$\Delta p$ 16	0,016	0,16
$\Delta p$ 10	0,010	0,10

- Marcações dos contadores

Os contadores devem ser marcados de modo claro e indelével com, pelo menos, a informação infra, de forma agrupada ou distribuída, sobre o invólucro, o mostrador, a placa de identificação ou a tampa do contador, caso esta não seja amovível:

- Unidade de medida ( $m^3$ );
- Classe de exatidão, caso não seja da classe de exatidão 2;
- Valor numérico de  $Q_3$  (ex.:  $Q_3$  2,5);
- Rácio  $Q_3/Q_1$ , precedido de R (ex.: R 200);
- Marcação metrológica CE;
- Nome ou marca registada do fabricante;
- Ano de fabrico ou os dois últimos dígitos do ano de fabrico ou o mês e o ano de fabrico;
- Número de série (inscrito o mais próximo possível do dispositivo indicador);
- Direção do escoamento, através de uma seta;
- Pressão máxima admissível, se exceder 1 MPa (10 bar);



- Letra V ou H, se o contador puder funcionar apenas na posição vertical ou horizontal;
- Classe de temperatura, quando esta difere de T30;
- Classe de perda de pressão, quando esta difere de  $\Delta p$  63;
- Classe de sensibilidade ao escoamento, quando esta difere de U0/D0.

#### 10.1.4 Enquadramento legislativo

A Nova Abordagem tinha um período de transição de 10 anos para entrar em vigor, período esse que expirou no passado dia 30 de outubro de 2016. Após essa data, a comercialização e a colocação em serviço de contadores baseados na Antiga Abordagem está interdita.

Naturalmente que todos os contadores existentes em serviço, provenientes de aprovações da Antiga Abordagem, permanecem legais até ao fim da sua vida útil, o que inclui as sucessivas reparações que forem viáveis. E esses são, nesta data, mais de 90% do parque instalado.

Os contadores da Nova Abordagem (contadores ditos MID) obedecem, nesta data, à Diretiva 2014/32/EU. Em termos da legislação portuguesa, nesta data, está em vigor o Decreto-Lei n.º 45/2017, o qual faz a transposição da Diretiva 2014/32/EU.

Em termos de regulamentação, os períodos para as verificações periódicas estão regidos pela Portaria n.º 321/2019 (v.d. 8.3.6, Figura 8-10).

A legislação acima referida apenas contempla “os contadores de água potável fria inseridos na rede de serviço público”, da classe de exatidão 2.

#### 10.2 Medição de volume em águas residuais

Os equipamentos utilizados na medição de caudal em águas residuais não estão abrangidos pela Metrologia Legal, nem existe nada nesta donde seja possível extrapolar quaisquer regras aplicáveis.

Também não existem, até ao momento, quaisquer normas, nacionais ou internacionais, ou regulamentações nacionais aplicáveis à medição de caudais em águas residuais. Assim, independentemente ter em conta as orientações normativas associadas à água de abastecimento, a medição de volume em águas residuais deverá reger-se pelas boas regras, sendo desejável que as entidades envolvidas possam estabelecer acordos e princípios procedimentais quanto à forma como essa medição se irá processar.



230Vca

24Vcc

TOTALIZADOR

CAUDAL INSTANTANEO

230Vca - 24 Vcc

PNP - MEC - MN

1 FDS - 2 FDS

230Vca

PNP

N

N

## 11 Certificação e ensaios

### 11.1 Generalidades

A credibilidade e a confiança são fatores essenciais em qualquer sistema de medição. Por conseguinte, é fundamental dispor de procedimentos, ferramentas e/ou indicadores que permitam transmitir essa confiança a todas as partes envolvidas – desde logo, relativamente aos próprios instrumentos de medição e, numa segunda fase, em relação às condições em que os mesmos se encontram instalados.

A certificação e os ensaios de medidores assumem, neste contexto, um papel fundamental já que constituem procedimentos formais, geralmente normalizados, para atestar a qualidade (ou, pelo menos, o cumprimento de algumas premissas) dos instrumentos de medição utilizados no abastecimento de água e na drenagem de águas residuais.

Com efeito, uma vez selecionado o medidor de caudal/volume para a realização da medição pretendida, é indispensável confirmar que o instrumento satisfaz o conjunto de requisitos definidos que o torna adequado à realização da medição da grandeza em análise e que essa mesma adequação se mantém durante a respetiva vida útil.

Essa confirmação normalmente tem lugar na fase de aquisição, podendo também vir a ocorrer ao longo do tempo em que o medidor se encontra em serviço. O procedimento de verificação em apreço poderá materializar-se de diversas formas, mais ou menos complexas, sempre com o objetivo de contribuir para atestar a adequabilidade do instrumento de medição aos requisitos especificados e a credibilidade dos resultados que o mesmo produz.

Assim, a certificação e ensaio dos instrumentos de medição constitui um dos aspetos mais relevantes de qualquer sistema de gestão da medição, sem o qual dificilmente se poderá assegurar a necessária confiança nos resultados da medição.

No que respeita às condições de instalação dos medidores, esta matéria já foi objeto de análise detalhada no Capítulo 6 do presente documento, sublinhando-se apenas que estas condições deverão ser alvo de inspeção e diagnóstico, em particular se existirem intervenções que impliquem a respetiva alteração.

### 11.2 Confirmação metrológica

Numa abordagem voltada para os sistemas de gestão baseados nas famílias de normas ISO 9000 e ISO 14000, na apresentação deste tema, para além da terminologia definida no VIM e VIML<sup>46</sup>, serão empregues conceitos presentes na norma NP EN ISO 10012<sup>47</sup>, a qual constituiu um importante apoio na implementação de sistemas de gestão da medição, nomeadamente no controlo do desempenho do equipamento de medição.

Assim:

*“Sistema de gestão de medição” – conjunto de elementos interrelacionados e interativos, necessários para obter a confirmação metrológica e o controlo contínuo dos processos de medição (3.1 da ISO 10012).*

<sup>46</sup> Respetivamente, “Vocabulário Internacional de Metrologia” e “Vocabulário Internacional de Metrologia Legal”, já referidos neste documento (ver também Bibliografia).

<sup>47</sup> ISO 10012:2003 – Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment

Por sua vez:

*“Confirmação metrológica” – conjunto de operações necessárias para assegurar a conformidade de um equipamento de medição com os requisitos da utilização pretendida (3.5 da ISO 10012).*

Os requisitos em apreço incluem a especificação do intervalo de medição em que o instrumento deverá funcionar e o erro máximo admissível ao longo do respetivo intervalo de medição. Este intervalo constitui, aliás, “uma característica diferenciadora que pode influenciar os resultados da medição”<sup>48</sup> e que permite efetuar a caracterização metrológica do instrumento.

Esta confirmação metrológica normalmente inclui calibração ou verificação, qualquer ajuste ou reparação necessária (e subsequente recalibração ou verificação), comparação com os requisitos metrológicos para o uso pretendido do equipamento, assim como qualquer tipo de etiquetagem ou selagem que se revele necessário.

#### 11.2.1 Calibração

Enquanto característica metrológica, o intervalo de medição pode ser objeto da calibração do instrumento. Esta é uma operação enquadrada na metrologia aplicada (ou industrial) que, “num primeiro passo, estabelece, sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas” (VIM 2.39).

No caso concreto da calibração de contadores de água, esta operação consiste numa comparação entre os valores lidos no instrumento e os indicados por um padrão, sendo possível determinar, para os caudais que compõem o intervalo de medição do instrumento, o erro médio de indicação do contador em cada um desses caudais e estimar a incerteza associada. A partir do conhecimento destes resultados, é possível avaliar a adequação do contador para, num dado intervalo, com a exatidão requerida e em condições específicas, obter por medição um valor da mensuranda e a estimativa da inexactidão que afeta a respetiva determinação.

A informação obtida na calibração de um instrumento permite “estabelecer uma relação visando a obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação”. Tome-se como exemplo a curva de calibração de um contador com tecnologia de base eletrónica cuja entrada é o valor medido pelo instrumento e a saída é o valor medido corrigido, que corresponderá ao valor indicado no dispositivo indicador do contador.

Tem-se observado que, em determinados contextos, tem havido algum “abuso” do uso – em muitos casos, indevido – do termo “calibração”.

Importa ter presente que “calibração” é uma operação que, na maior parte dos casos, apenas poderá ser feita em laboratório, em condições perfeitamente controladas, e que, a ser levada a efeito, terá dificuldades e consequências operacionais desse facto (custos, transporte dos medidores, medidores substitutos, etc.).

Na maior parte das situações, não serão necessárias “calibrações”, sendo perfeitamente suficiente a realização de simples “verificações”. O uso indevido do termo, não só na expressão corrente como também em documentação (procedimentos ou outros) poderá

---

<sup>48</sup> “Característica metrológica” (3.4 da ISO 10012)

aportar dificuldades de entendimento durante as auditorias, tendo como consequência evitáveis não-conformidades.

### 11.2.2 Verificação

Embora a calibração seja uma operação correntemente utilizada na caracterização metrológica de medidores de caudal, sobretudo à saída de fábrica, não é de aplicação usual em contadores de água para uso doméstico, comercial ou das indústrias ligeiras, que são empregues na medição de consumos faturados. Estes enquadram-se na Metrologia Legal, sendo a sua caracterização metrológica efetuada a partir dos resultados dos ensaios usados na determinação das propriedades metrológicas destes instrumentos.

É neste enquadramento que surge a “verificação” (VIM 2.44) que, à semelhança da calibração, com a qual não se deve confundir, é uma das operações abrangidas pela confirmação metrológica, tendo como propósito fundamental o fornecimento de evidência objetiva de que um dado instrumento de medição satisfaz requisitos especificados, tais como as especificações do fabricante ou os requisitos legais que lhe são aplicáveis.

Em Metrologia Legal, a verificação de um instrumento de medição, conforme definida no VIML, é um procedimento (que não a aprovação de modelo) que permite constatar e confirmar que o instrumento de medição satisfaz os requisitos regulamentares aplicáveis, na medida em que os valores que quantificam estas características não ultrapassam os limites legalmente definidos. Este procedimento inclui o exame de conformidade com o modelo aprovado, o ensaio de determinação de características metrológicas e funcionais (como é exemplo, a perda de pressão do contador verificada ao caudal permanente) e a marcação e/ou a emissão de um certificado de verificação ou relatório de ensaio com evidenciação da satisfação, ou não, dos requisitos.

No caso concreto de um contador de água, a verificação metrológica recorre a diversos ensaios para comprovar que o instrumento satisfaz os requisitos regulamentares. Por exemplo, o ensaio de determinação de erros de indicação, realizado em três caudais definidos a partir das características metrológicas do contador, serve para verificar se o valor medido, indicado pelo contador, apresenta um erro que não ultrapassa o valor máximo do erro legalmente admissível em cada um dos caudais de ensaio. Caso assim não aconteça, o contador é rejeitado, sendo interdita a sua utilização nas aplicações que exigem obrigatoriamente a verificação metrológica legal.

Fora da Metrologia Legal, como é o caso da relação das Entidades Gestoras “em Alta” com as “em Baixa”, devem ser levadas a efeito verificações – não calibrações, se estas não forem necessárias – com a periodicidade que tiver sido acordada entre as partes ou definida contratualmente. Também as características metrológicas, nomeadamente o valor dos erros máximos admissíveis, poderão ser negociadas, uma vez que os regulamentos existentes não são impositivamente aplicáveis; mas também nada impede que os regulamentos sejam seguidos como referência, por livre opção das partes.

Neste contexto, e no caso particular dos caudalímetros eletromagnéticos, será aceitável que sejam realizadas verificações “*in situ*”, recorrendo aos dispositivos de teste (da respetiva marca), providenciados pelos seus fabricantes e operados por técnicos qualificados, que irão verificar determinados parâmetros que permitem avaliar se as condições de funcionamento do medidor reproduzem os parâmetros originais de fábrica. Não sendo uma verdadeira verificação – com água e comparando os valores indicados com um padrão – constitui uma metodologia comumente aceite como suficiente. Naturalmente que, em caso de dúvida, a

única maneira metrologicamente incontestável consistirá em submeter o caudalímetro a um laboratório de ensaio.

Também neste contexto, não será demais deixar bem explícito que os caudalímetros eletromagnéticos são os únicos medidores de caudal/volume, de água de abastecimento, que poderão ser ensaiados “*in situ*” desta forma expedita. Qualquer outro tipo de medidor, nomeadamente contadores mecânicos, não podem ser ensaiados “*in situ*”, por comparação com outro tipo de medidor, uma vez que os instrumentos que, por vezes, têm sido utilizados para essa função não têm o grau de exatidão suficientemente elevado para poder ser usados como padrão de referência.

Fica assim bem explícito que, para a verificação de medidores de outras tecnologias, que não os eletromagnéticos, a única forma de os verificar será retirá-los e levá-los a um laboratório de ensaio. Naturalmente que será necessário dispor de outro medidor para instalar no ponto de medição, o que implica que seja organizado um “*stock*” de instrumentos destes, em rotação de aplicação.

#### 11.2.3 Rastreabilidade dos resultados da medição

Para que os resultados das medições sejam rastreáveis às unidades do S.I., tomando como referência o padrão fundamental, importa que o instrumento seja inserido numa cadeia de rastreabilidade que permite “transferir” a exatidão, por calibração ou comparação de forma ininterrupta, entre os diversos elos, desde a referência de qualidade superior até ao instrumento e à medição com este efetuada.

A rastreabilidade dos resultados da medição pode ser alcançada através da calibração ou verificação metrológica dos instrumentos, em laboratório metrológico acreditado segundo a norma NP EN ISO/IEC 17025, cujos padrões são calibrados por comparação com os padrões primários nacionais, estando inserido numa cadeia de rastreabilidade, como a da Figura 11-1.

220

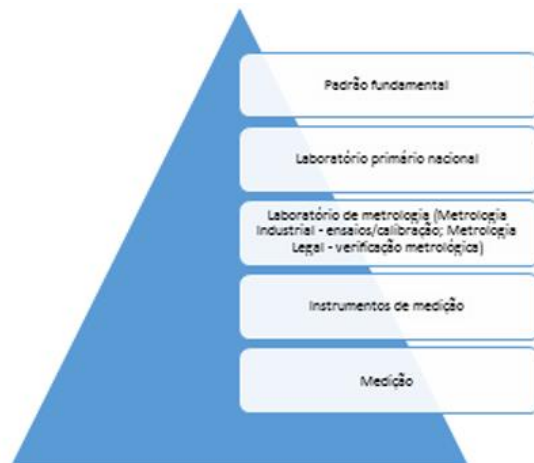


Figura 11-1 – Cadeia de rastreabilidade

#### 11.2.4 Ajuste e/ou reparação do instrumento

De acordo com os resultados obtidos na verificação ou calibração, pode revelar-se interessante efetuar o ajuste ou a reparação do instrumento para que este satisfaça os requisitos estabelecidos. Esta operação deve ser realizada por uma entidade com capacidade

e competência técnicas para o efeito e os respetivos resultados devem ser comprovados através da repetição da operação de verificação ou de calibração do instrumento.

#### 11.2.5 Evidência documental e visual

A confirmação da adequação do instrumento de medição para o uso pretendido deve ser demonstrada e documentada. Só assim será atingida a confirmação metrológica do instrumento.

A operação de verificação metrológica legal é registada em relatórios de ensaios que devem, no mínimo, conter informação relativa aos ensaios realizados, erros observados, grandezas de influência, etc.. Estes registos, quando elaborados na sequência da verificação inicial do instrumento, pese embora devam ser conservados em arquivo pelo laboratório, não são de disponibilização obrigatória no ato de comercialização do instrumento, uma vez que a respetiva conformidade legal pode ser comprovada mediante a marcação e a selagem do instrumento e a apresentação da declaração de conformidade do modelo com a Diretiva MID.

Nas restantes verificações, fora da Metrologia Legal, deverá ser emitido um certificado de verificação ou, em alternativa, disponibilizado o respetivo relatório de ensaio.

De modo similar, os resultados da calibração de fábrica de um instrumento devem ser disponibilizados através da emissão de certificado de calibração, o qual não só deve ser mantido em arquivo pelo fabricante, como deverá acompanhar o instrumento aquando da sua aquisição, para servir de comprovativo do processo de confirmação metrológica, em particular, de aceitação do instrumento para o uso pretendido. É recomendável a selagem do equipamento calibrado para salvaguardar eventuais alterações não autorizadas do estado de calibração.

#### 11.2.6 Intervalos entre confirmações metrológicas

Devem ser definidos intervalos de tempo entre as sucessivas confirmações metrológicas a que o instrumento deve ser submetido. No limite, a definição deste prazo deve corresponder ao estabelecido pela regulamentação em matéria de verificação periódica. No entanto, pode justificar-se a redução deste intervalo de acordo com o conhecimento de dados históricos do ciclo de vida do instrumento, do respetivo comportamento ao nível do desempenho metrológico, da alteração das condições ambientais ou de instalação suscetíveis de afetar o normal funcionamento do equipamento, conduzindo a uma prematura perda de qualidade metrológica.

Como já anteriormente referido, fora da área da Metrologia Legal, e na ausência de outros intervalos metrologicamente sustentáveis, será recomendável seguir os mesmos intervalos daquela.



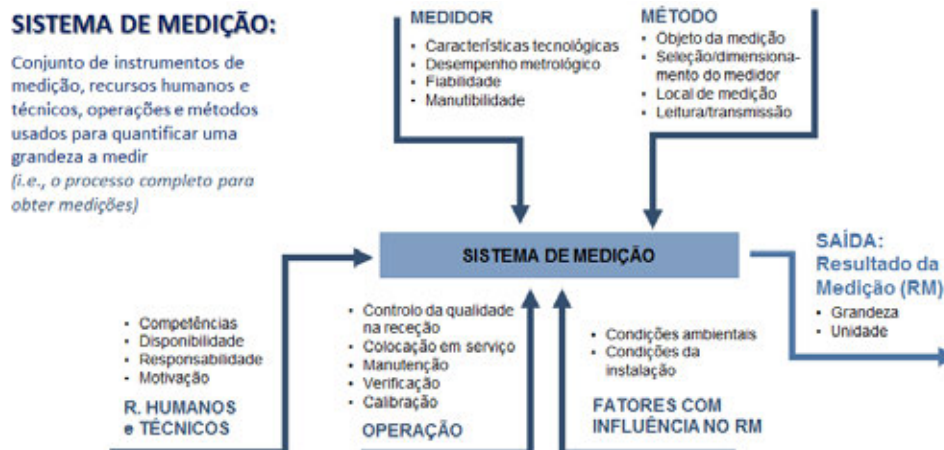
### Nota Final

O exposto no presente documento pretende contribuir para uma visão integrada e coerente da temática da medição de caudais e volumes nas atividades de abastecimento de água e de saneamento, visando ainda facultar ferramentas para uma correta e harmonizada disseminação dos conceitos associados à medição no âmbito das Entidades Gestoras. Tratando-se de objetivos fundamentais, importa, no entanto, complementá-los com a definição e implementação do que se designa por Sistema de Gestão da Medição, o qual, abrangendo as diferentes fases do ciclo de vida da medição, deverá cumprir os objetivos estabelecidos pela Entidade Gestora para a temática.

Este Sistema de Gestão da Medição, entendido como o conjunto de instrumentos de medição, recursos humanos e técnicos, operações e métodos usados para quantificar uma grandeza a medir (ou, por outras palavras, o processo completo para obter medições), deverá cumprir os objetivos estabelecidos pela Entidade Gestora para a temática e abranger as diferentes fases do ciclo de vida da medição. Deve também ser:

- Simples e inteligível;
- Sistemático;
- Adaptável;
- Transversal (garantindo a articulação entre as áreas funcionais da entidade gestora);
- Facilmente controlável e rastreável;
- Credível.

Na figura seguinte apresenta-se, de forma esquemática, as principais vertentes que devem ser consideradas na definição de um Sistema de Gestão da Medição, sendo óbvia a respetiva proximidade com os sistemas de gestão da qualidade associados às normas ISO mais correntes – que muitas das Entidades Gestoras de água e saneamento em Portugal já adotaram (em particular as empresas do Grupo AdP).



Representação esquemática de um Sistema de Gestão da Medição

Importa, pois, que cada Entidade Gestora, em função das suas necessidades e realidade específicas, possa definir e implementar o respetivo Sistema de Gestão da Medição, suportado em um documento com a explicitação das regras, objetivos e procedimentos que, em matéria de medição, deverão ser cumpridos por essa entidade.

A publicação do presente Guia por parte da EPAL e da Academia das Águas Livres insere-se no âmbito do respetivo papel ao nível da divulgação e partilha do conhecimento técnico e científico no setor da água, constituindo mais uma contribuição para a melhoria da medição de caudais e volumes de águas nos sistemas de abastecimento e de drenagem do país.

- Mário Viana, *Estudos de história metrológica - Medidas de capacidade portuguesas*. Universidade de Lisboa, 2015.
- *A reforma de D. João VI*. IPQ, Museu da Metrologia.
- *VIM - Vocabulário Internacional da Metrologia*. IPQ / INMETRO, 2012.
- *VIML - Vocabulário Internacional da Metrologia Legal*. IPQ, 2009.
- *GUM - Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement*. BIPM, 2008.
- *The International System of Units (S.I.)*. BIPM - 8th edition, 2006; updated in 2014.
- Armando Lencastre, *Hidráulica Geral*. 1996.
- António de Carvalho Quintela, *Hidráulica*. 13.ª edição, 2014.
- ERSAR., *Guia Técnico n.º 9 - Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas*. 2006.
- David, C.; Barroso, V.; Nobre, A.; Serranito, F.; Donnelly, A., *Afluências Indevidas, Parte I: Princípios Gerais*. DGA, EPAL, Lisboa, 2015.
- David, M.C., *Avaliação do desempenho técnico da bacia de drenagem urbana da Quinta do Borel - Concelho da Amadora. Relatório de estágio formal para a Ordem dos Engenheiros*. LNEC, Lisboa, 2004.
- Bénédittis, J., Bertrand-Krajewski, J. L., *Measurement of infiltration rates in urban sewer systems: use of oxygen isotopes. Proceedings of the 4th International Conference on Sewer Processes and Networks*, p.309- 316. Madeira, Portugal, 2004.
- Lencastre, A., Franco, F., *Lições de Hidrologia*. Fundação Armando Lencastre, Caparica, 2003.
- Matos, J.S., Cardoso, J.S., Vieira, I.P., *Avaliação de Caudais de Infiltração na Zona Alta de Alcântara, incluindo contribuições dos Caneiros da Falagueira e Damaia, na Amadora. Relatório Final*. ADIST - Associação para o Desenvolvimento do Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2014.
- White, M., Johnson, H., Anderson, G., Misstear, B., *Control of infiltration to sewers. Report*, p.175. CIRIA, UK, 1997.
- Directiva 2004/22/CE, MID - Measuring Instruments Directive.
- Directiva 2014/32/EU, actualização da MID.
- Norma EN ISO 4064-1:2018 - Contadores de água potável fria ou quente; Parte 1: Requisitos metrológicos e tecnológicos NP EN ISO 4064-1: 2018
- Norma EN ISO 4064-5:2018 - Contadores de água potável fria ou quente; Parte 5: Requisitos de instalação NP EN ISO 4064-5: 2018
- Norma NP EN ISO 10012:2003 - Sistemas de gestão de medição - Requisitos para os processos de medição e equipamento de medição
- Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto - Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais.
- Decreto-Lei n.º 45/2017 de 27 de abril - Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2014/32/UE (actualização da MID).
- Portaria n.º 321/2019 de 19 de setembro - Regulamento do Controlo Metrológico Legal dos Instrumentos de Medição.

