ISSN 2182 - 5424 • Número 15 • Janeiro de 2019

Revista
MEDIÇÕES E ENSAIOS

www.spmet.pt

SPMet

Sociedade Portuguesa de Metrologia

SPMet
Sociedade Portuguesa de Metrologia

Índice

EDITORIAL 2

UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE ONDA ACÚSTICA SUPERFICIAL (SAW) NA INDÚSTRIA TRANSPORTADORA
Joana Catarina Mendes[1,2], Luís Nero Alves[1,3], António B. Pereira[2]

[1] Instituto de Telecomunicações, Aveiro

[2] Centro de Tecnologia Mecânica e Automação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro

[3] Departamento de Engenharia Eletrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro 3

QUALIDADE DA MEDIÇÃO DE DEFLEXÕES EM ENSAIOS DINÂMICOS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS E AEROPORTUÁRIOS COM DEFLETÓMETRO DE IMPACTO

Luís Lages Martins[1], Álvaro Silva Ribeiro[1], João Alves e Sousa[2], Ricardo Mendes[1]

[1]LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil,

[2]IPQ - Instituto Português da Qualidade 15

A REGULAMENTAÇÃO DA METROLOGIA NO TEMPO DOS PREGÕES E TRASLADOS

António Neves

IPQ - Instituto Português da Qualidade, Museu de Metrologia 25

METROLOGIA NO QUOTIDIANO
Luís Ribeiro 38

A QUÍMICA DAS MEDIÇÕES
Ricardo Bettencourt da Silva 39

***CLICKS* METROLÓGICOS**
Luís Ribeiro 41

CARTA AO EDITOR
José Luis Prieto Calviño 42

NOTÍCIAS, EVENTOS, PUBLICAÇÕES 43

Conselho Editorial

Eduarda Filipe
Paulo Cabral
Isabel Godinho
Olivier Pellegrino

Propriedade e Redação
Sociedade Portuguesa de Metrologia

Contactos
Estrada do Paço do Lumiar
Campus do Lumiar - Edifício D,
1.º andar, 1649-038 Lisboa
Portugal
N.I.F. 506 461 696
geral@spmet.pt
www.spmet.pt

Secretariado:
spmet.contabilidade@sapo.pt
TLM: +351 965 030 950

Periodicidade
Quadrimestral
Distribuição
Eletrónica

ISSN 2182-5424
Os artigos assinados são da responsabilidade dos seus autores.

Imagem de Capa

Representação simplificada de um dispositivo SAW

Editorial

Caro/a leitor/a,

Votos de um excelente ano de 2019! Por motivos vários, para os quais pedimos desculpa, a revista não foi publicada em 2018. Retomamos a publicação da "Revista Medições e Ensaios" no início deste novo ano, com trabalhos efetuados pela nossa comunidade da Metrologia nomeadamente os apresentados no 7.º Encontro Nacional da SPMet "As Medições para os Transportes", realizado em Lisboa, na sede da Ordem dos Engenheiros no dia 17 de novembro de 2017.

Chamo a atenção para a secção de "Notícias e Eventos da Metrologia" que inclui notícias, pequenas notas sobre os próximos eventos e a publicação de documentos de interesse para a nossa comunidade.

A Comissão Redatora agradece aos autores que nos facultaram os seus trabalhos e à Comissão Científica que desde sempre tem zelado pela qualidade dos trabalhos apresentados nos eventos da SPMet.

Desejamos uma leitura proveitosa deste número cheio de interesse da "Revista Medições e Ensaios".

Eduarda Filipe
Presidente do Conselho Diretivo da SPMet

SPMet
Sociedade Portuguesa de Metrologia
SPMet
ISSN 2182-5424
| n.º 15 | Janeiro de 2019

FAÇA-SE SÓCIO

A SPMet tem quatro categorias de associados:

- **ASSOCIADOS HONORÁRIOS** - pessoas singulares ou coletivas às quais, pela sua categoria científica, a SPMet entenda dever conferir este testemunho de consideração.
- **ASSOCIADOS EFETIVOS** - pessoas singulares cuja atividade se processe no domínio da Metrologia ou das Ciências.
- **ASSOCIADOS INSTITUCIONAIS** - as entidades com atividade no domínio do ensino, da investigação, da indústria ou outros de algum modo relacionados com a Metrologia
- **ASSOCIADOS ESTUDANTES** - as pessoas singulares que frequentam o ensino superior e se interessam pelo estudo da Metrologia ou das Ciências afins

O número de associados de qualquer das categorias mencionadas nos números anteriores não será limitado.

Estão disponíveis no seguinte endereço http://www.spmet.pt/inscricao_1024.htm

As respetivas fichas de inscrição que, depois de devidamente preenchidas e enviadas para o secretariado de direção, serão analisadas para validação.

UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE ONDA ACÚSTICA SUPERFICIAL (SAW) NA INDÚSTRIA TRANSPORTADORA

Joana Catarina Mendes[1,2,*], Luís Nero Alves[1,3], António B. Pereira[2]

[1] Instituto de Telecomunicações, Campo Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro
[2] Centro de Tecnologia Mecânica e Automação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro
[3] Departamento de Engenharia Eletrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro
* joanacatarina.mendes@av.it.pt

RESUMO

Os dispositivos de onda acústica superficial ou *surface acoustic wave devices* (SAW) têm uma aplicação generalizada na substituição de filtros convencionais nos circuitos elétricos há várias décadas. A sua aplicação como sensores é relativamente mais recente. Com efeito, mediante a utilização destes dispositivos, tudo o que afete a velocidade de propagação das ondas acústicas num sólido é suscetível de ser convertido num sinal elétrico, pelo que têm sido desenvolvidos sensores de onda acústica superficial, por exemplo, de temperatura, pressão, binário, aceleração, densidade mássica, humidade e muitas outras grandezas.

Estes dispositivos podem também ser utilizados como sensores sem fios (*transponders* SAW) desde que a fonte de sinal que lhes é aplicada (e a deteção de um sinal de resposta) seja feita em radiofrequência (RF), mediante a utilização de uma antena adequada. Com efeito, podem ser interrogados por um sinal de RF ao qual o dispositivo responderá, se tiver um refletor adequado, com outro sinal de RF com um tempo de atraso ou frequência relacionados com a grandeza a detetar. Como é evidente, esta tecnologia envolve a utilização de uma unidade eletrónica de interrogação, exterior ao sensor propriamente dito. Como facilmente se depreende, esta tecnologia permite a medição de grandezas físicas em lugares dificilmente acessíveis, em peças em movimento, ou ainda em ambientes agressivos ou tóxicos, pelo que abre inúmeras possibilidades para a indústria dos transportes.

Com uma utilização inteligente de refletores, os SAW podem também ser utilizados como identificadores passivos, substituindo com vantagem dispositivos equivalentes que dependem de uma fonte de energia. Os SAW possuem neste momento algumas limitações, nomeadamente quanto à exatidão (1 %, no melhor dos casos) e ao alcance da comunicação por RF (3 a 4 metros, quando muito) que são de certo modo compensadas pelas caraterísticas únicas que acabamos de descrever.

Para dar apenas três exemplos, a pressão no interior dos pneus dos automóveis é hoje rotineiramente medida (e transmitida para o painel dos instrumentos) utilizando SAW. Nos caminhos-de-ferro, os dispositivos SAW têm sido utilizados, por exemplo, na medição da temperatura dos freios e na identificação de carruagens.

Neste artigo, descrevem-se possíveis aplicações desta tecnologia, entre as quais uma, desenvolvida pelos autores, para medição de binário em caixas de velocidades.

Palavras-Chave: Onda Acústica Superficial; SAW; IDT; Sensor Sem Fios; *Wireless*.

1. Introdução

Um dos desafios que se colocaram, desde o início do desenvolvimento da eletrónica e da instrumentação, foi a necessidade de atrasar sinais de forma significativa, dezenas de microssegundos (µs) ou mais, sem lhes alterar significativamente a forma. Esta necessidade surge em muitas situações com interesse prático. Historicamente, a primeira aplicação surgiu na televisão a cores, uma vez que o sistema PAL (*Phase Alternation Line*) original exigia a geração de um atraso entre linhas consecutivas de cerca de 64 µs, mas há aplicações noutros domínios. Por exemplo, nos osciloscópios analógicos, a visualização do início de um sinal envolve o seu atrasado relativamente ao sinal de disparo da base de tempo. A primeira solução para este tipo de problema foi a utilização de linhas de atraso eletromagnéticas convencionais. No entanto, a velocidade de propagação nas linhas de transmissão é próxima da velocidade da luz, *c*, (tipicamente 0,8*c*) o que conduz a dimensões e custos incomportáveis para a maioria das aplicações. Numa fase deste processo, desenvolveram-se inclusivamente linhas de transmissão com as quais, mediante artifícios construtivos tais como a utilização de condutores helicoidais bobinadas sobre um núcleo ferromagnético, se conseguiram linhas com atrasos tipicamente de 1 µs/m. Tais linhas, no entanto, além de caras e com atravancamentos ainda bastante significativos, introduziam uma distorção intolerável para um grande número de aplicações. A segunda alternativa foi utilizar linhas de componentes concentrados (indutâncias e condensadores) que simulassem o comportamento de uma linha de transmissão convencional. Esta solução também não solucionou completamente o problema, porque as dimensões e as perdas decorrentes da não-idealidade dos componentes continuaram a ser um problema por resolver. A maneira encontrada para contornar este problema foi converter o sinal elétrico numa onda acústica superficial (*Surface Acoustic Wave* ou SAW), fazer essa onda percorrer uma certa distância e depois converter de novo a vibração mecânica num sinal elétrico. A geração e transdução destas ondas superficiais envolvem duas condições; em primeiro lugar, o sólido a utilizar deve ser piezoelétrico e, em segundo lugar, é necessário um transdutor capaz de converter um sinal elétrico numa vibração mecânica, e vice-versa. Este transdutor, conhecido como IDT (*interdigital transducer*), foi desenvolvido em 1965 por White e Voltmer [1]. A Figura 1 representa de forma muito simplificada um SAW simples. Os IDT geram um campo elétrico alternado tangencial à superfície que, devido às propriedades piezoelétricas do substrato, induz neste um tipo de onda superficial (onda de Rayleigh [2]) que se propaga a uma velocidade que é, para a maioria dos sólidos, cerca de 105 vezes menor que a velocidade da luz no vazio, permitindo obter atrasos significativos com dimensões razoáveis. Por exemplo, para o niobato de lítio, $LiNbO_3$, um material piezoelétrico omnipresente nos dispositivos mais habituais, a velocidade de propagação é de cerca de 4000 m/s, o que conduz a um atraso de cerca de 2,5 µs/cm, o que contrasta com o atraso de típico de 4 ns/m, numa linha eletromagnética convencional.

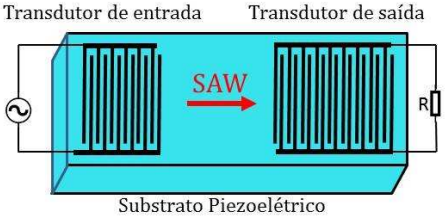


Figura 1 – Representação simplificada de um dispositivo SAW

Os dispositivos SAW são utilizados entre 70 MHz e 4 GHz. Utilizando como exemplo a frequência de 1 GHz, o comprimento da onda de Rayleigh correspondente é

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{4 \cdot 10^3}{10^9} = 4\ \mu\text{m}$$

este valor corresponde ao período espacial entre condutores ("franjas") do IDT, pelo que, mesmo a esta frequência relativamente elevada, a resolução espacial necessária para a execução destes dispositivos anda à volta de 1 µm, uma dimensão perfeitamente atingível com litografia convencional, sem necessidade de recorrer a técnicas mais "finas", como as tecnologias modernas de circuitos integrados. Outros tipos de IDT podem funcionar como refletores das ondas acústicas, quando fechados sobre uma resistência adequada, nomeadamente em curto-circuito ou em circuito aberto.

1.1 Dispositivos SAW como ressoadores e filtros

A Figura 2 representa um dispositivo SAW alimentado com dois refletores colocados lateralmente. Dependendo da distância a que estão colocados os refletores, a onda refletida vai interferir destrutivamente com a onda incidente a determinadas frequências e construtivamente a outras. Isto faz com que a impedância do dispositivo, tal como medida nos terminais do elemento ativo, tenha um máximo a uma determinada frequência, pelo que o dispositivo se comporta como um circuito ressonante ou ressoador. A frequência de ressonância de um ressoador SAW é controlável através do período espacial das franjas do IDT e do espaçamento entre o IDT e os refletores; uma vez mais, a baixa velocidade de propagação das ondas de Rayleigh permite obter frequências de ressonância bastante mais baixas em ressoadores com dimensões na ordem dos milímetros Duas aplicações atuais típicas de ressoadores baseados em SAW são a da indústria dos relógios, em que a frequência de ressonância normalmente utilizada é de 16 384 (2^{14}) Hz, e também nos comandos à distância utilizados em portões e em automóveis, em que uma frequência muito utilizada é a de 433 MHz.

Quando o comprimento das franjas dos IDT de entrada e saída é variável ou quando franjas consecutivas são ligadas entre si, os SAW podem apresentar um comportamento seletivo na frequência. Esta é a maior utilização de dispositivos SAW na indústria, uma vez que os dispositivos eletrónicos portáteis (sobretudo os telemóveis e smartphones) fazem deles uma utilização extensiva. De facto, não seria possível a miniaturização deste tipo de equipamentos se os filtros, extensamente utilizados, fossem implementados com elementos reativos convencionais. Graças a esta aplicação, estima-se que a produção anual de filtros SAW ultrapasse, de longe, as 10^9 unidades.

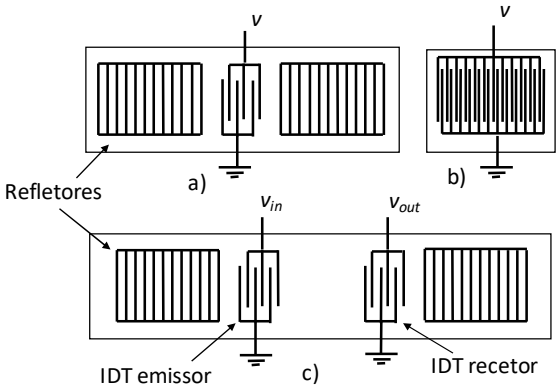


Figura 2 – Diferentes tipos de ressoadores com SAW. (a), (b) ressoadores com um porto; (c) ressoador com dois portos.

1.2 Dispositivos SAW sem fios (*wireless*)

No dispositivo representado na Figura 1, o gerador que ataca o porto de entrada pode ser substituído por uma antena, transformando-o num dispositivo sem fios (*wireless*). Se, por outro lado, o porto de saída for substituído por um elemento refletor, temos um dispositivo que pode ser interrogado por radiofrequência (RF). De facto, após a emissão de um trem de onda (um *burst*) de RF, é gerada uma onda mecânica no IDT de entrada, onda essa que, após percorrer o caminho até ao refletor, regressa ao IDT de entrada, pelo que a antena responderá com um novo *burst* de RF cujo atraso depende das caraterísticas do meio onde se propagou a onda (Figura 3). Um tal dispositivo necessita ainda, para a extração da informação, de um circuito de leitura adequado além, evidentemente dos necessários circuitos de adaptação de impedâncias entre a antena e o IDT de entrada.

A principal vantagem dos dispositivos SAW sem fios é o facto de serem dispositivos passivos, ou seja, de não dependerem de uma fonte de energia local para o seu funcionamento, ao contrário dos dispositivos baseados em circuitos integrados utilizados noutras situações. De facto, os dispositivos de onda acústica superficial recebem a energia necessária ao seu funcionamento do próprio feixe de RF que os interroga.

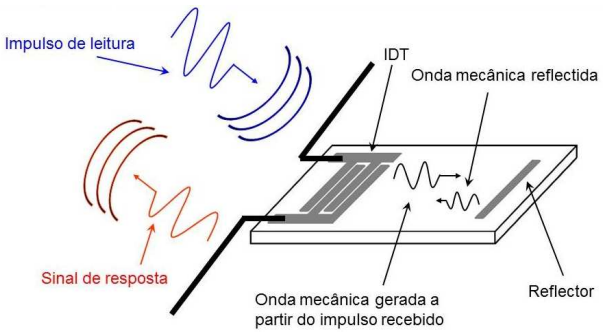
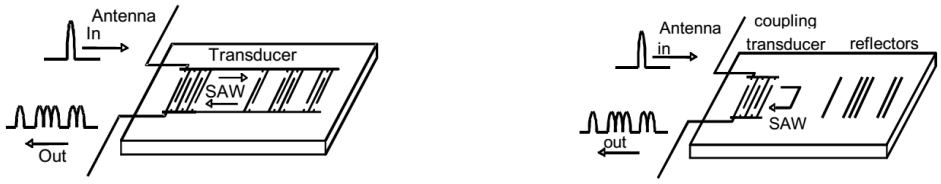


Figura 3 – Uma linha de atraso SAW sem fios, simplificada.

1.3 Dispositivos SAW como identificadores e sensores

Qualquer grandeza física que afete a velocidade de propagação das ondas de Rayleigh pode ser transduzida por um dispositivo SAW. Têm, por isso, sido utilizados como sensores de temperatura, de deformação/solicitação, de massa, de aceleração ou de humidade, além de outras grandezas derivadas.

Ao mesmo tempo, se dotado de refletores a distâncias convenientes, a resposta de um dispositivo SAW gera um código binário semelhante a um código de barras, pelo que estes podem também ser utilizados como identificadores RF. A Figura 4 representa dispositivos que se comportam simultaneamente como sensores e identificadores.



(a) (b)

Figura 4 – Um dispositivo SAW utilizado como (a) sensor e (b) identificador [3].

A combinação de sensores e identificadores possibilita a implementação de redes de sensores que podem ser endereçados individualmente. Como exemplo, poderá obter-se, em tempo real, um mapa da deformação em diferentes pontos de uma peça em movimento, sem ser necessária a ligação física entre o dispositivo de leitura e a peça mecânica em teste.

1.4 Vantagens e limitações dos dispositivos SAW

O facto de o contacto físico entre o IDT e a unidade de leitura não ser necessário possibilita a interrogação remota deste tipo de sensores. Sendo ainda, como já foi referindo, dispositivos pequenos e de fabrico simples sem necessidade de alimentação, os sensores SAW assumem um lugar de destaque em certo tipo de aplicações, como em peças em movimento, ou ainda em locais de difícil acesso ou em ambientes agressivos ou tóxicos

Os dispositivos SAW não deixam, no entanto, de apresentar algumas limitações, pelo menos no seu estado de desenvolvimento atual:

- O alcance do feixe de RF interrogador é relativamente reduzido, sobretudo pelas limitações que existem em relação à potência emitida pela unidade de leitura. Medições a distâncias inferiores a 1 m são realisticamente possíveis, embora haja resultados experimentais que apontam para alcances da ordem dos 10 m.
- A exatidão das leituras é tipicamente da ordem de 1 %, o que é de alguma forma compensado pelo facto de esta técnica ter um domínio de aplicação não acessível a técnicas de transdução, porventura, mais exatas.

2. Aplicações dos dispositivos SAW

O facto de os dispositivos de onda superficial poderem ser utilizados como sensores sem fios confere-lhes caraterísticas muito úteis em vários setores, uma vez que dispensam o contacto elétrico entre a grandeza a medir e o observador. Devido à sua elevada resiliência, os sensores SAW foram já usados para medir temperatura em condições extremas, como o interior de vasos metalúrgicos [4], turbinas de motores a jato [5] ou em para-raios [6]. Existem soluções comerciais que permitem a monitorização contínua e em tempo real da temperatura em locais críticos em sistemas de produção e distribuição de energia elétrica [7]. Os sensores SAW podem também ser utilizados para medir as forças de corte em maquinação numericamente controlada por computador (CNC) [8, 9] e a deformação em veios em rotação [10]. Na indústria automóvel, os dispositivos SAW podem ser utilizados para medição de binário [11, 12], em sistemas de recuperação de energia cinética [13] e para medição em tempo real da pressão dos pneus em veículos comerciais [14] e desportivos [15]. As elevadas taxas de aquisição das unidades de leitura comerciais possibilitam ainda a utilização destes dispositivos para medir as vibrações em estruturas mecânicas [16]. Para além de serem usados como sensores, os SAW são também usados em aplicações de identificação RF nos setores ferroviário [17] e metalúrgico [18].

3. Medição de temperatura e binário num veio em rotação

No presente momento, há algumas empresas a nível internacional que fornecem sistemas comerciais para a medição da temperatura e da deformação. Estes sistemas COTS (*Comercial Off-The-Shelf*) constituem uma solução imediata para a medição destas grandezas em condições estáticas. No entanto, a adequação destes para a monitorização de peças em movimento, como o veio de uma caixa redutora, é algo que carece de estudo prévio para cada aplicação concreta. Neste sentido, foi adquirido à empresa francesa SENSeOR um kit de sensores de temperatura (TSE F162) e deformação (extensómetros SSE E015 e SSE E017), antenas respetivas e unidade de interrogação correspondente (transceiver de banda larga SENSeOR WR D005, que funciona na gama de frequências [430,5; 449,5] MHz e que pode ser ligado a um computador externo através de portas RS232/USB. Os sensores foram montados numa célula de carga composta por um cilindro oco em alumínio Al7075-T6 com 90 mm de comprimento e diâmetros interno e externo de 74 mm e 80 mm, respetivamente. Para tal, foi maquinada uma área plana com 24 × 50 mm^2 na superfície da célula. Os sensores montados na célula de carga foram calibrados com a temperatura e o fator de conversão da célula de carga foi determinado a 25 °C. As antenas foram substituídas por um acoplador RF desenvolvido para o efeito e o comportamento do sistema completo foi avaliado a diferentes temperaturas e velocidades de rotação [19]. Nesta seção, descreve-se o sistema de testes, o processo de calibração da célula de carga e os resultados obtidos em rotação.

3.1 Descrição do sistema de testes

O sensor de temperatura TSE F162 é um componente SMD (*Surface-Mount Device*) com 5 × 5 mm^2 de área encapsulado numa caixa de alumínio de 26 × 16 × 54.7 mm^3 que pode ser colada ou aparafusada diretamente na superfície da peça a ser monitorizada; o sensor e caixa correspondente pesam cerca de 7 g. O sensor é composto por dois ressoadores SAW com frequências de ressonância e respetivos coeficientes de temperatura

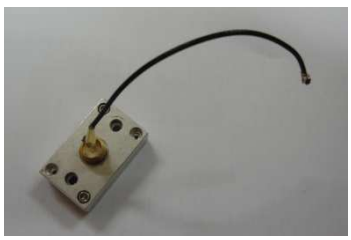
distintos, como apresentado na Tabela 1. O conjunto vem inserido numa redoma de PTFE com 54,8 mm de altura e com uma base cilíndrica de 35,5 mm de diâmetro, apresentado na Figura 5a; no seu total, o conjunto tem uma massa de 35 g. No interior da redoma, encontra-se uma antena omnidirecional ligada ao sensor através de conetores W.FL. Como esta solução não é adequada para a utilização num veio em rotação, a redoma foi removida e a ficha SMA ligada aos terminais do sensor foi ligada diretamente a um cabo coaxial W.FL (Figura 5b). O conjunto sensor e caixa de alumínio foi colado na superfície plana da célula com cola e catalisador M-Bond 200; o contacto térmico foi garantido através da utilização de uma pasta condutora térmica. O cabo coaxial foi ligado a um acoplador RF solidário com o veio em rotação.

Quadro 1 – Frequências de ressonância a 25 °C e coeficientes de temperatura e primeira e segunda ordem [19].

sensor	f_{R_0} / MHz	C_1 / (10^{-6} / °C)	C_2 / (10^{-9} / °C^2)
TSE F162	435,90 ± 0,15	4,8	-24,6
	436,80 ± 0,15	-1,4	-33,1
SSE E015	433,97 ± 0,15	0,9	-24,8
SSE E017	433,32 ± 0,15	0,9	-24,8

O binário foi medido com os extensómetros SSE E015 e SSE E017 (ressoadores SAW com diferentes frequências de ressonância, mas com os mesmos coeficientes de temperatura, apresentados no Quadro 1), de 350 µm de espessura, com 9,0 × 5,5 mm^2 de área e uma massa aproximada de 0,04 g (Figura 5c). Os extensómetros foram colados na superfície plana da célula com cola e catalisador M-Bond 200. Para a medição do binário sofrido pela célula, os extensómetros foram montados em configuração meia-ponte (Figura 5d). Tal como no caso do sensor de temperatura, os extensómetros foram ligados ao acoplador RF (Figuras 5e e 5f) através de cabos W.FL.

(a)



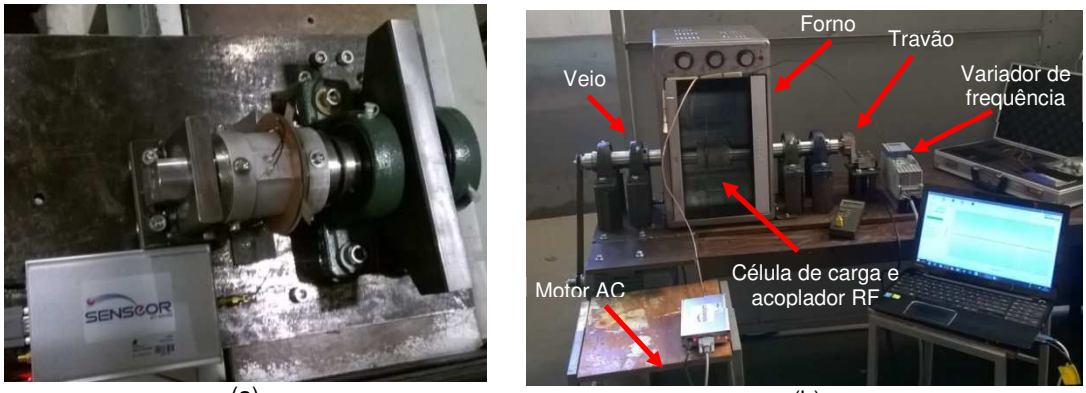
(b)

(c)

(d) (e) (f)

Figura 5: (a) Sensor de temperatura e caixa de alumínio dentro da redoma com a antena; o cabo coaxial permite a ligação direta à unidade de leitura; (b) Cabo W.FL soldado diretamente ao conetor SMA ligado ao sensor; (c) extensómetros SAW com o conetor W.FL claramente visível; (d) extensómetros SAW montados na célula de carga em configuração meia-ponte; (e,f) acopladores RF [19].

O sensor de temperatura foi calibrado numa câmara térmica FITOTERM 22E. Para tal, a célula de carga foi exposta a um varrimento de temperatura com uma resolução de 5 °C entre 20 °C e 80 °C; entre cada temperatura decorreu um intervalo de 45 minutos para garantir um aquecimento uniforme. A temperatura na superfície da célula foi medida com um termopar digital tipo J. A frequência de ressonância de cada um dos ressoadores foi medida para cada temperatura. Para a determinação do fator de conversão dos extensómetros, a célula de carga foi acoplada a um eixo de aço assente em dois rolamentos aparafusados a uma mesa. Um dos extremos do veio foi também aparafusado à mesa e o outro extremo foi acoplado a um braço metálico móvel rígido, como apresentado na Figura 6a. Com uma máquina de ensaios universal Shimadzu Autograph AGS-10 kN *Universal Testing Machine* (UTM), foi aplicada uma deformação vertical entre 0 e 47 µm/m, com um passo de 4,7 µm/m, no extremo do braço. A resposta dos sensores foi medida para cada valor de deformação aplicada. Para a aplicação do binário na célula de carga em rotação, foi desenvolvido um sistema de testes com um motor AC ligado a um veio em aço assente em dois rolamentos através de um par de polias e uma correia dentada. A célula de carga foi acoplada a este veio que, por sua vez, atravessava um forno para controlo de temperatura. No lado livre do veio, um travão permitia a aplicação de uma força paralela ao veio, apresentado em Figura 6b.



(a) (b)

Figura 6: (a) Sistema para calibração dos extensómetros; (b) Sistema de testes [19].

3.2 Calibração dos sensores

No caso do sensor de temperatura, a dependência da diferença das frequências de ressonância relativas de cada ressoador com a temperatura é dada por [19]:

$$\Delta f_r = C_1 \cdot \Delta T + C_2 \cdot \Delta T^2 \quad (1)$$

onde $\Delta T = T$-25 °C e C_1 e C_2 são os coeficientes de calibração do sensor. As medições da resposta do sensor a diferentes temperaturas, efetuadas na câmara térmica, permitiram a extração dos coeficientes de calibração de primeira e segunda ordem

$$C_1 = 5{,}06 \times 10^{-6}/°\mathrm{C}$$

e

$$C_2 = 18{,}9 \times 10^{-9}/(°\mathrm{C})^2$$

.

No caso dos extensómetros, a diferença entre as frequências de ressonância relativas de cada sensor Δf_r está relacionada com a temperatura e com o fator de conversão S_G através da expressão:

$$\Delta f_r = C_2 \cdot \Delta T^2 + C_1 \cdot \Delta T + 2 \cdot S_G \cdot \varepsilon \quad (2)$$

A resposta de cada um dos extensómetros foi medida a diferentes temperaturas na ausência de carga aplicada, o que permitiu a determinação de

$$C_1 = 2{,}31 \times 10^{-6}$$

e

$$C_2 = -1{,}38 \times 10^{-8}$$

Como estes coeficientes não são nulos, a existência de um sensor de temperatura melhora a qualidade das medições de deformação / binário, uma vez que permite fazer a compensação das mesmas. Por sua vez, o fator de conversão foi determinado a uma temperatura de 25 °C através da medição da resposta dos extensómetros para diferentes cargas aplicadas, chegando-se ao valor S_G=3,30. Dado que o fator de conversão dos extensómetros é tipicamente 2, a utilização de extensómetros SAW pode levar a medições com resolução superior.

3.3 Medição do binário em rotação

A Figura 7 mostra o binário medido pela ponte de extensómetros SAW em função do binário aplicado à célula de carga pelo travão. As medições foram feitas à temperatura ambiente e a uma velocidade de rotação de ≈150 rpm. Para valores de binário superiores a 15 N m, o desvio entre os binários medido e aplicado aumentou; este efeito pode ter origem no aquecimento do disco do travão, o que provocou o desvio do valor do coeficiente de atrito do valor teórico.

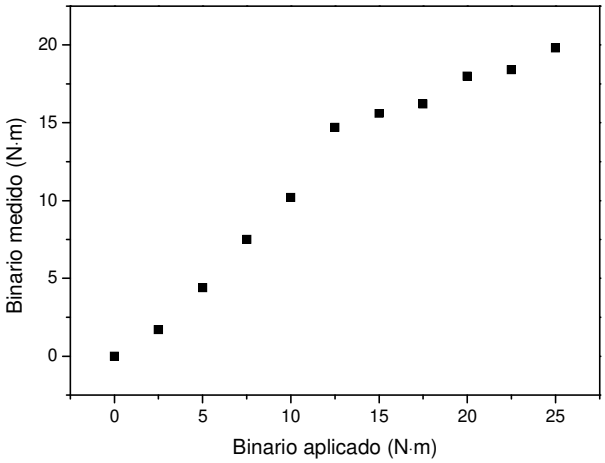


Figura 7 – Binário medido pelos sensores como resposta ao binário aplicado pelo travão na célula de carga [19].

4. Conclusões

O *kit* comercial foi testado exaustivamente pelos autores em [19]. Os testes efetuados permitem concluir que, na generalidade, o sistema comprado à empresa SENSeOR é adequado para a medição da temperatura e da deformação / binário de uma peça em repouso – desde que a peça em questão possua uma área plana onde os sensores possam ser colados. Caso contrário, a superfície da peça deverá ser processada previamente. Em alternativa, os sensores poderão ser montados num transdutor com forma adequada. No entanto, no caso de a peça em questão se encontrar em rotação, foram detetadas algumas limitações quer ao nível dos sensores quer ao nível da própria unidade de leitura. O desenvolvimento de uma solução COTS passível de ser utilizada para monitorizar uma peça em rotação envolverá os seguintes passos:

- Otimização do procedimento de interrogação de maneira a aumentar a taxa de aquisição do sistema;
- Desenvolvimento de algoritmos de interrogação mais eficazes de maneira a aumentar a precisão das leituras da frequência;
- Fabrico de extensómetros e sensores de temperatura sem conetores; isto possibilitará a utilização de uma pequena placa de circuito impresso com os conetores necessários e de fios elétricos com um diâmetro de 25 µm para fazer a ligação elétrica do sensor à placa; isto minimizaria a força centrífuga e a influência da rotação nas medições.

Como conclusão, pode afirmar-se que o domínio de aplicação dos dispositivos SAW está em expansão muito rápida, sendo previsíveis avanços significativos no curto / médio prazo. No momento presente, e do ponto de vista dos autores deste texto, está a ser desenvolvido trabalho quer ao nível do dispositivo (utilização de novos materiais), quer ao nível das unidades de leitura. Os melhoramentos expetáveis consistem no aumento das taxas de interrogação e da qualidade das medições, bem como o desenvolvimento de dispositivos operacionais a temperaturas elevadas.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi copatrocinado pelo projeto Clean Sky RTMGear 641593. A autora J.C. Mendes agradece à FCT a bolsa de pós-doutoramento POPH (Programa Operacional Potencial Humano) SFRH/BPD/90306/2012, cofinanciada por fundos europeus (FSE—Fundo Social Europeu) e nacionais (MCTES—Ministério da Ciência, Tecnologia E Ensino Superior).

6. Referências

[1] R.M. White, F.W. Voltmer, Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves, Appl. Phys. Lett., 7 (1965) 314-316.

[2] L. Rayleigh, On Waves Propagated along the Plane Surface of an Elastic Solid, Proceedings of the London Mathematical Society, s1-17 (1885) 4-11.

[3] L. Reindl, G. Scholl, T. Ostertag, A. Pohl, R. Weigel, Wireless Remote Identification and Sensing with SAW Devices, Proc. IEEE 1998 MMT/AP International Workshop on Commercial Radio Sensor and Communication Techniques, 1998, pp. 83-96.

[4] R. Fachberger, A. Erlacher, Applications of wireless SAW sensing in the steel industry, Procedia Engineering, 5 (2010) 224-227.

[5] M.P.d. Cunha, R.J. Lad, T. Moonlight, S. Moulzolf, A. Canabal, R. Behanan, P.M. Davulis, D. Frankel, G. Bernhardt, T. Pollard, D.F. McCann, Recent advances in harsh environment acoustic wave sensors for contemporary applications, 2011 IEEE SENSORS Proceedings, 2011, pp. 614-617.

[6] C. Heinrich, V. Hinrichsen, Diagnostics and monitoring of metal-oxide surge arresters in high-voltage networks-comparison of existing and newly developed procedures, IEEE Transactions on Power Delivery, 16 (2001) 138-143.

[7] http://www.intellisaw.com/, Advanced Monitoring Solutions for Critical Electric Power Transmission & Distribution Assets, 2013.

[8] R. Stoney, B. Donohoe, D. Geraghty, G.E. O'Donnell, The development of surface acoustic wave sensors (SAWs) for process monitoring, Procedia CIRP, 2012, pp. 569-574.

[9] R. Stoney, G.E. O'Donnell, D. Geraghty, Dynamic wireless passive strain measurement in CNC turning using surface acoustic wave sensors, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 69 (2013) 1421-1430.

[10] V. Kalinin, G. Bown, A. Leigh, Contactless Torque and Temperature Sensor Based on SAW Resonators, 2006 IEEE Ultrasonics Symposium, 2006, pp. 1490-1493.

[11] J. Beckley, V. Kalinin, M. Lee, K. Voliansky, Non-contact torque sensors based on SAW resonators, Proceedings of the 2002 IEEE International Frequency Control Symposium and PDA Exhibition (Cat. No.02CH37234), 2002, pp. 202-213.

[12] V. Kalinin, High-speed torque sensing in car engines by means of SAW resonators, SAW Symposium, 2012.

[13] V. Kalinin, R. Lohr, A. Leigh, J. Beckley, G. Bown, High-speed high dynamic range resonant SAW torque sensor for kinetic energy recovery system, EFTF-2010 24th European Frequency and Time Forum, 2010, pp. 1-8.

[14] http://www.trans-logik.com/, iTruck TPMS, 2017.

[15] http://www.stackltd.com/tpms.html, Tyre Pressure Monitoring Systems, 2017.

[16] J.-M. Friedt, C. Droit, S. Ballandras, S. Alzuaga, G. Martin, P. Sandoz, Remote vibration measurement: A wireless passive surface acoustic wave resonator fast probing strategy, Rev. Sci. Instrum., 83 (2012) 055001.

[17] https://www.siemens.com/global/en/home/products/mobility.html, Sofis – Surface acoustic wave identification system, in: Siemens (Ed.), 2017.

[18] http://www.sawcomponents.de/en/products/saw-sensors-and-rfid/saw-ident/, SAW IDENT RFID for roughest applications, 2017.

[19] D. Silva, J.C. Mendes, A.B. Pereira, F. Gégot, L.N. Alves, Measuring Torque and Temperature in a Rotating Shaft Using Commercial SAW Sensors, Sensors, 17 (2017) 1547.

QUALIDADE DA MEDIÇÃO DE DEFLEXÕES EM ENSAIOS DINÂMICOS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS E AEROPORTUÁRIOS COM DEFLETÓMETRO DE IMPACTO

Luís Lages Martins[1], Álvaro Silva Ribeiro[1], João Alves e Sousa[2], Ricardo Mendes[1]

[1]LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P.

[2]IPQ - Instituto Português da Qualidade, I. P.

RESUMO

Esta comunicação descreve a análise efetuada sobre a qualidade da medição de deflexões em ensaios dinâmicos de pavimentos rodoviários e aeroportuários com recurso a defletómetro de impacto. Neste ensaio normalizado [1 2], um impulso de força é aplicado na superfície do pavimento, sendo promovida a medição da consequente deflexão vertical em vários pontos radialmente afastados entre si a partir do eixo de aplicação de carga.

O estudo da avaliação de incertezas de medição apresentado segue, numa primeira abordagem, o método convencional GUM [3], desenvolvido para a análise de grandezas constantes no tempo. Numa segunda abordagem, é aplicado um método alternativo desenvolvido recentemente [4-8] para o caso específico de grandezas variáveis no tempo, efetuando-se uma comparação entre os resultados obtidos por vias distintas.

1. Introdução

As atividades de ensaio de pavimentos rodoviários e aeroportuários contribuem significativamente para a garantia da segurança de pessoas e bens em redes de transportes, apoiando os processos de decisão das entidades associadas ao seu projeto, construção, manutenção e gestão. Neste contexto, destaca-se a existência de vários métodos de ensaio com enquadramento normativo internacional, os quais contribuem para a melhoria do conhecimento sobre os pavimentos ensaiados, nomeadamente, do seu desempenho estrutural e da sua caracterização experimental.

A medição de deflexões com recurso a um defletómetro de impacto [1-2] corresponde a um método normalizado de ensaio, realizado pelo LNEC no seu contexto de atividade experimental em campo, onde um impulso de força é aplicado na superfície do pavimento e cuja consequente deflexão vertical é medida em vários pontos radialmente afastados entre si, a partir do eixo de aplicação de carga. O impulso de força é gerado pela queda de um peso sobre um sistema de amortecimento, sendo transmitido através de uma placa em repouso sobre a superfície do pavimento. Em regra, o dispositivo de ensaio é instalado num veículo ou rebocado por este [9], conforme se mostra na Figura 1.

Figura 1 – Ensaio de pavimento aeroportuário com defletómetro de impacto

A principal mensuranda deste ensaio é a deflexão seguindo-se, de forma complementar, a força, as quais constituem grandezas dinâmicas cuja exatidão de medição constitui um requisito normativo [1], em acréscimo à medição de grandezas de influência como a temperatura do ar e do pavimento.

A qualidade da medição, entendida como a garantia de que a exatidão da medição cumpre os requisitos e exigências do processo, determina a necessidade de se garantir a rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI) mediante a calibração das cadeias de medição envolvidas neste ensaio, bem como, uma avaliação das respetivas fontes de incerteza de medição.

Neste âmbito, o enquadramento internacional estabelecido pelo GUM [3] é dedicado à avaliação de grandezas constantes no tempo, o que se considera satisfatório para um número elevado de aplicações de medição. Contudo, persistem situações onde as características e a complexidade dos modelos não admite as aproximações do GUM como suficientemente rigorosas, criando novos desafios para a investigação metrológica, é o que acontece no estabelecimento da rastreabilidade das medições e na avaliação de incertezas de medição de grandezas dinâmicas [4-8].

O estudo desenvolvido teve por objetivo a avaliação da incerteza de medição da deflexão, de modo a ser possível evidenciar o cumprimento do requisito normativo de exatidão associado a esta grandeza dinâmica. Neste âmbito, promoveu-se uma análise comparativa entre os resultados obtidos por duas vias distintas – abordagem convencional do GUM [3] e abordagem alternativa dinâmica [4-8] – as quais permitiram quantificar, para este método, a qualidade da medição da deflexão em pavimentos.

Esta comunicação é iniciada com uma descrição sumária do ensaio estudado, nomeadamente, no que se refere ao seu objetivo, método e procedimento, dando-se particular destaque à caraterização metrológica do equipamento de ensaio. Seguem-se as secções dedicadas à avaliação da incerteza de medição da deflexão segundo o método convencional GUM [3] e pelo método alternativo com recurso a abordagem para grandezas dinâmicas. Por último, são apresentadas as conclusões relativas ao cumprimento do requisito normativo de exatidão da medição de deflexão e à análise comparativa entre resultados obtidos por vias distintas de avaliação de incerteza de medição.

2. Ensaio para medição de deflexões em pavimentos com o defletómetro de impacto

A realização do ensaio para medição de deflexões em pavimentos implica o recurso a um defletómetro de impacto, o qual é colocado sobre o pavimento a ensaiar, definindo-se a direção e o sentido de circulação, bem como o número de pontos de ensaio e o seu distanciamento mútuo. Em cada ponto de ensaio é efetuada a descida de uma placa de carga e dos sensores de deflexão sobre a superfície de ensaio, a qual se deve apresentar livre de quaisquer partículas ou detritos rochosos. A estabilidade e firmeza da superfície de ensaio são essenciais para uma adequada repetibilidade do ensaio. Pelo menos três sequências de carga são aplicadas, uma para assegurar um contacto adequado da placa sobre a superfície do pavimento e as restantes duas para avaliar a repetibilidade do ensaio.

No caso do defletómetro de impacto do LNEC (marca Carl Bro, modelo PRI 2100 FWD, versão *trailer* [10]) são utilizados nove geofones, distribuídos radialmente em torno do eixo de aplicação de carga, que resulta da elevação e posterior queda de um peso. Esta ação mecânica sobre o pavimento origina um impulso de força com uma forma aproximada de uma onda ½ de seno e um valor de pico de força compreendido entre 45 kN e 250 kN (medido com célula de carga instalada na placa), dependendo das caraterísticas do pavimento ensaiado, em regra, mais reduzida em pavimentos rodoviários e mais elevada em pavimento aeroportuários [9].

Quando ocorre a queda do peso sobre a superfície ensaiada, os sensores de deflexão do equipamento de ensaio medem o movimento vertical resultante, conforme exemplificado na Figura 2, na qual se apresenta o registo temporal das medições de deflexão no intervalo de amostragem. De acordo com a norma de ensaio [1], a caraterização experimental do pavimento é efetuada com base nos valores de pico obtidos para as várias posições radiais consideradas no ensaio.

No contexto da qualidade da medição, a caraterização metrológica do defletómetro de impacto visa a obtenção de conhecimento acerca do seu desempenho na observação das mensurandas, no caso em estudo, da grandeza deflexão. O conhecimento adquirido é essencial para a avaliação da incerteza de medição, determinando a adequação do equipamento ao uso pretendido. De facto, de acordo com a norma de ensaio [1], o defletómetro de impacto utilizado deverá cumprir os seguintes requisitos metrológicos: (i) exatidão: 2 %; (ii) resolução: 1 µm; (iii) repetibilidade: 2 µm.

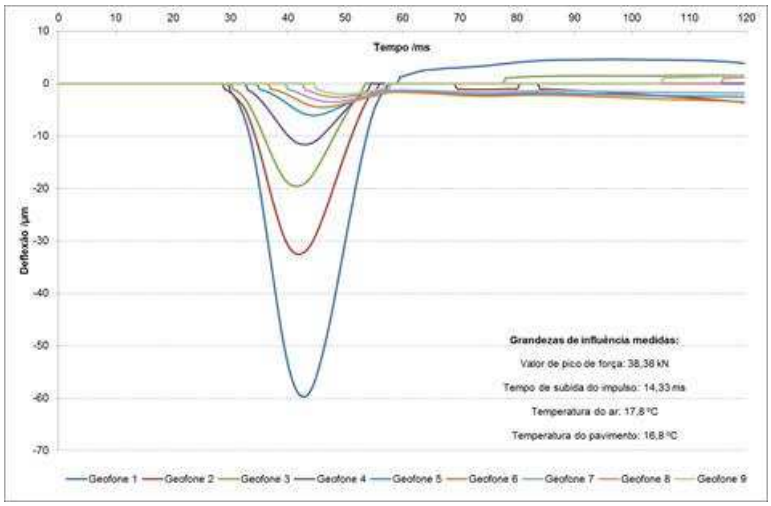


Figura 2 – Exemplo de registo temporal das medições de deflexão num pavimento rodoviário

A calibração periódica das cadeias de medição do defletómetro de impacto contribui significativamente para o conhecimento do seu desempenho metrológico e a consequente avaliação do cumprimento dos requisitos normativos acima mencionados. Em acréscimo, é igualmente possível estabelecer a rastreabilidade ao SI, sendo quantificados os desvios e as incertezas de medição do equipamento assegurando, deste modo, a confiança e a comparabilidade dos resultados das medições com outras entidades que promovam a medição de deflexões em pavimentos rodoviários e aeroportuários.

Figura 3 – Geofone do defletómetro de impacto do LNEC

A calibração individual das cadeias de medição de deflexão, tendo o geofone (*vide* Figura 3) [11] como elemento sensorial no caso do defletómetro de impacto do LNEC, decorre num gerador de vibrações ou *shaker*, o qual inclui um padrão de medição de deslocamento (em regra, um sensor de posicionamento linear do tipo LVDT), rastreado ao SI. Este dispositivo de ensaio dinâmico permite excitar, por acoplamento, o geofone e o padrão de medição de deslocamento no intervalo de medição (entre 0 µm e 2 200 µm) e na frequência de interesse (entre 0,2 Hz e 450 Hz).

Faz-se notar que a resposta em frequência dos geofones é não-linear num intervalo reduzido compreendido, aproximadamente, entre 0,2 Hz e 7 Hz [12]. Este facto justifica o desenvolvimento de um processo de compensação por filtragem, com a adição de filtros dedicados, os quais apresentam uma frequência natural igual à frequência de corte individual de cada geofone e uma resposta dinâmica simétrica à resposta do

geofone não-compensado [12]. Torna-se assim possível obter uma resposta dinâmica linear na totalidade do intervalo de frequência de interesse contribuindo, desta forma, para a melhoria da exatidão da medição da deflexão. De acordo com [12], um desvio de 0,5 Hz na frequência de corte do filtro de compensação pode originar um desvio próximo de 5 % no valor de pico da deflexão. O conhecimento das frequências de corte individuais dos geofones é de tal forma crucial para a exatidão da medição de deflexão que o ensaio de calibração prevê a determinação experimental desta grandeza dinâmica.

Em acréscimo à análise da resposta em frequência de cada geofone, para avaliação do efeito de linearização resultante do filtro de compensação aplicado, o ensaio de calibração inclui também:

i. a quantificação da relação linear entre o sinal digital de saída do geofone e o valor de referência de deslocamento, baseada na sincronização entre valores de pico;

ii. o ensaio de linearidade, em que os desvios de calibração são avaliados para um intervalo alargado de impulsos dinâmicos no que respeita ao tempo de subida e amplitude.

3. Avaliação da incerteza de medição da deflexão – abordagem convencional GUM

Nesta seção, é descrito o processo de avaliação das incertezas de medição seguindo o método convencional do GUM [3], neste caso, aplicado à medição dinâmica da deflexão em pavimentos com recurso ao defletómetro de impacto. A descrição apresentada abrange, por um lado, a formulação probabilística de cada uma das componentes de incerteza identificadas no processo de medição estudado e, por outro lado, a sua propagação para a grandeza de saída.

A incerteza instrumental do padrão de referência associado ao gerador de vibrações utilizado na calibração dos geofones constitui uma componente de incerteza para a medição da deflexão. Este tipo de padrão de referência dimensional apresenta tipicamente uma incerteza expandida (com nível de confiança de 95 %) instrumental próxima de 0,33 µm o que, em termos relativos e tendo em consideração o intervalo de medição de interesse no caso em estudo (compreendido entre 0 µm e 2 200 µm), corresponde a uma incerteza-padrão relativa, $u_{r\,cal}(d)$, igual a 0,007 5 %, a que se associa uma distribuição normal com 50 graus de liberdade.

Tendo em conta o registo histórico de calibrações do equipamento de ensaio [13-14], foi possível analisar a deriva instrumental dos nove geofones do defletómetro de impacto do LNEC. Em particular, foi avaliada a evolução da estimativa do parâmetro declive. Considerando uma periodicidade de calibração igual a 36 meses, o valor máximo de deriva instrumental obtido correspondeu a 0,079 µm (geofone n.º 3), ao qual se pode associar a esta componente de incerteza, $u_{r\,der}(d)$, uma distribuição de probabilidade uniforme com semi-amplitude igual ao valor mencionado.

Igualmente com base no registo histórico de calibrações do equipamento de ensaio [13-14], foi quantificada a componente de incerteza $u_{r\,rep}(d)$ associada à repetibilidade a curto prazo. A amostra de valores medidos de deflexão, por cada geofone e em condições de repetibilidade, apresenta uma dimensão igual a 12, tendo sido

determinados os respetivos desvios-padrão experimentais. Por sua vez, com base na amostra de desvios-padrão experimentais apresentada (com dimensão igual a 18) foi determinado um valor médio de dispersão (0,5 %) representativo da repetibilidade a curto prazo, considerando-se adequada a adoção de uma distribuição de probabilidade normal.

Imediatamente após a calibração do defletómetro de ensaio e em acréscimo ao ensaio de repetibilidade de curto prazo, é realizado um ensaio adicional – o ensaio da torre de empilhamento – onde todos os geofones do defletómetro de impacto são instalados numa estrutura dedicada que permite a medição simultânea da mesma deflexão, o que permite quantificar os desvios relativos entre geofones. Com base nos desvios-padrão experimentais obtidos nos ensaios da torre de empilhamento efetuados com deflectómetro de impacto do LNEC [13-14], a componente de incerteza associada aos desvios relativos entre geofones, $u_{r\ dev}$ (d), foi quantificada mediante a adoção de uma distribuição normal com o valor máximo de dispersão observado nos dois ensaios, ou seja, 0,7 µm ou 0,2 %.

A componente de incerteza da linearidade, $u_{r\ lin}$ (d), foi quantificada com base na informação disponível do fabricante do equipamento de ensaio [12] sobre o seu desempenho típico na realização de ensaios de linearidade. A sua quantificação foi suportada no valor máximo de desvio de linearidade (0,87 %) obtido, tendo em consideração a adoção de uma distribuição uniforme com semi-amplitude igual ao valor máximo do desvio mencionado, a qual representa a dispersão associada à variação do tempo de subida e amplitude do impulso de força entre ensaios de pavimentos.

Na calibração do defletómetro de impacto são observados desvios sistemáticos entre os valores lidos no equipamento de ensaio e os valores de referência obtidos do padrão de medição, cuja magnitude está dependente da utilização de um filtro de compensação ajustado à frequência de corte individual de cada geofone. No caso do defletómetro de impacto do LNEC, os certificados de calibração [12-13] não apresentam informação sobre a magnitude dos desvios sistemáticos associados aos valores de pico da deflexão, pelo que se teve em conta os valores típicos de desvio. Considerando o valor máximo típico de desvio mencionado por [12], esta componente de incerteza, $u_{r\ sis}$ (d), foi quantificada com base na adoção de uma distribuição uniforme com uma semi-amplitude igual a 0,18 %.

De acordo com a norma de ensaio [1], as estimativas dos valores de pico das deflexões medidas pelos geofones devem ser arredondados ao micrometro, o que efetivamente se verifica no ficheiro de registo de dados na aplicação computacional utilizada pelo LNEC. Com efeito, a componente de incerteza relativa associada ao arredondamento, $u_{r\ arr}$ (d), foi quantificada com base na adoção de uma distribuição uniforme com limites de variação relativa igual a $\pm$ [(0,5 µm)/d]·100.

A linearidade do modelo matemático associado à medição da deflexão, d, com o defletómetro de impacto permite que seja utilizada a Lei de Propagação da Incerteza (LPI) na determinação da incerteza de medição desta grandeza. Tendo em conta as componentes de incerteza mencionadas anteriormente, a incerteza-padrão de medição relativa da deflexão, u_r (d), é dada pela seguinte expressão:

$$u_{r}(d) = \sqrt{u_{r\,cal}^2(d) + u_{r\,der}^2(d) + u_{r\,rep}^2(d) + u_{r\,dev}^2(d) + u_{r\,lin}^2(d) + u_{r\,sis}^2(d) + u_{r\,arr}^2(d)} \quad (1)$$

Esta expressão traduz-se no balanço da incerteza de medição da deflexão com recurso ao defletómetro de impacto do LNEC, que se encontra no Quadro 1.

Quadro 1 – Balanço de incertezas de medição da deflexão com recurso ao defletómetro de impacto do LNEC

Componente de incerteza-padrão $u(x_i)$	Fonte de incerteza	Função distribuição de probabilidade	Incerteza-padrão de medição relativa $ur(x_i)$	Graus de liberdade
$u_{r\,cal}(d)$	Calibração	Normal	0,007 5 %	50
$u_{r\,der}(d)$	Deriva instrumental	Uniforme	0,003 6 % / √3 = 0,002 1 %	50
$u_{r\,rep}(d)$	Repetibilidade a curto prazo	Normal	0,50 %	17
$u_{r\,dev}(d)$	Desvios relativos	Normal	0,32 %	8
$u_{r\,lin}(d)$	Linearidade	Uniforme	0,87 % / √3 = 0,50 %	50
$u_{r\,sis}(d)$	Desvios sistemáticos	Uniforme	0,18 % / √3 = 0,10 %	50
$u_{r\,arr}(d)$	Arredondamento	Uniforme	0,002 3 % / √3 = 0,013 %	50
Incerteza padrão combinada relativa, $u_{c\,r}(d)$: 0,78 %				
Graus de liberdade efetivos, v_{ef}: 60				
Fator de expansão, k: 2,00				
Incerteza expandida (nível de confiança de 95 %) relativa, $U_{95\,\%}(d)$: 1,6 %				

A propagação das incertezas de medição para a grandeza deflexão resulta na incerteza expandida relativa de 1,6 %, com 60 graus de liberdade efetivos e um fator de expansão de 2,00 (para um nível de confiança de 95 %).

Uma análise de sensibilidade às contribuições para a incerteza mostra que, a repetibilidade a curto prazo e a linearidade apresentam a maior influência para o valor de incerteza combinado, seguindo-se os desvios relativos entre geofones e os desvios sistemáticos obtidos em calibração.

4. Avaliação da incerteza de medição da deflexão – abordagem dinâmica

Nos últimos anos, tem sido possível observar uma evolução do conhecimento dos fundamentos que suportam a avaliação de incertezas de medição de grandezas em regime dinâmico [4-8] em calibração e ensaios, como é o caso de estudo da medição dinâmica de deflexões com defletómetro de impacto.

Na análise de uma medição dinâmica (*vide* Figura 4) [8], o sistema de medição é considerado linear e invariante no tempo e com um comportamento dinâmico conhecido, onde a mensuranda se comporta como uma função contínua $x(t)$.

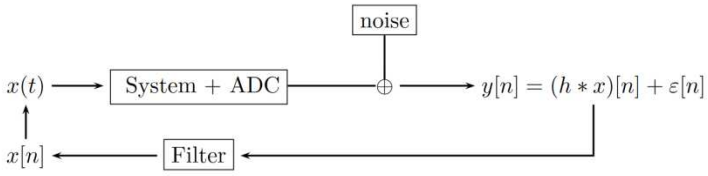


Figura 4 – Processo de análise de grandezas dinâmicas

As *n* observações discretas *y*[*n*] realizadas são consideradas como o resultado de uma conversão analógica-digital do sinal de saída do sistema, perturbadas pelo ruído ε[*n*]. Nesta abordagem, a estimativa linear no domínio temporal discreto, *x*[*n*], é efetuada através de uma filtragem digital com recurso a um filtro de desconvolução dedicado, sendo utilizado para uma posterior inferência da mensuranda no domínio temporal contínuo *x*(*t*). Esta abordagem e a correspondente avaliação de incerteza de medição foram concretizadas com recurso a um pacote computacional *Python 3.x* designado *PyDynamic*, cujas rotinas e funções de cálculo foram desenvolvidas e validadas pelo PTB e NPL [15].

A seguinte informação disponível foi utilizada na concretização da abordagem dinâmica:

- o registo temporal das estimativas de deflexão obtidas do geofone n.º 1 (*vide* Figura 2), onde um valor de pico de deflexão igual a 60 µm foi obtido numa largura de intervalo de medição igual a 120 ms com uma frequência de amostragem de 40 kHz;
- a contribuição da incerteza de medição da deflexão para o sinal de saída da deflexão (0,78 %), conforme o resultado da avaliação pelo método GUM descrita na secção 3;
- um filtro passa-baixo no processo de desconvolução com uma frequência de corte igual a 150 Hz, visto tratar-se de um problema de inversão numericamente instável, requerendo operação de regularização de modo a se obterem estimativas razoáveis;
- a resposta em frequência nominal do geofone (estimativas e incertezas de medição da amplitude e da fase), de acordo com as especificações do fabricante do sensor [16]; salienta-se que a correlação entre diferentes frequências assim como entre os valores de amplitude e fase é assumida como sem efeito significativo.

O processo sequencial de cálculo incluiu várias etapas na propagação da incerteza [15], nomeadamente, no domínio da frequência mediante aplicação da transformada de Fourier, nas componentes real e imaginária da resposta em frequência do geofone, no sistema inverso, no filtro passa-baixo e no regresso ao domínio temporal.

A incerteza relativa expandida (para um nível de confiança de 95 %) obtida correspondeu a 0,25 %, o qual constitui um valor de dispersão bastante inferior ao obtido pela abordagem convencional do GUM (1,6 %), valor este que corresponde ao ponto inicial de propagação da incerteza pelo sistema dinâmico.

5. Conclusões

As avaliações de incerteza efetuadas revelam diferenças significativas entre os valores de dispersão obtidos por diferentes abordagens (convencional e dinâmica). Contudo, ambas apresentam uma magnitude inferior ao valor limite (2 %) associado ao requisito de exatidão mencionado na norma de ensaio.

No que se refere a trabalhos futuros, menciona-se a necessidade de concretizar a validação da abordagem dinâmica mediante o recurso a dados experimentais, nomeadamente, associada à resposta em frequência (real) do geofone em vez da resposta em frequência nominal declarada pelo fabricante do sensor, e também de valores de referência de deformação, de modo a estudar a ocorrência de desvios sistemáticos introduzidos pelo processo de regularização efetuado na abordagem dinâmica.

6. Agradecimentos

Os autores expressam o seu agradecimento ao Núcleo de Infraestruturas de Transportes do Departamento de Transportes do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, IP, em particular, às Engenheiras Ana Cristina Freire, Simona Fontul, Fátima Batista e Anabela Maia, pelo apoio prestado no estudo da temática apresentada nesta comunicação.

REFERÊNCIAS

[1] ASTM D4694-09 – Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Device, West Conshohocken: ASTM International, 2009.

[2] ASTM D4695-03 – Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements, West Conshohocken: ASTM International, 2003.

[3] JCGM 100 – Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections), Joint Committee for Guides in Metrology (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML), 2008.

[4] Eichstädt, S. e Wilkens, V., “GUM2DFT – a software tool for uncertainty evaluation of transient signals in the frequency domain”, Measurement Science Technology, 27 5 055001, pp. 1-12, 2016.

[5] Eichstädt, S., Wilkens, V., Dienstfrey, A., Hale, P., Hughes, B. e Jarvis, C. “On challenges in uncertainty evaluation for time dependent-measurements”, Metrologia, 53, pp. S125-35, 2016.

[6] Eichstädt, S., Link, A., Harris, P. M. e Elster, C. “Efficient implementation of a Monte Carlo method for uncertainty evaluation in dynamic measurements”, Metrologia, 49 3, pp. 401-10, 2012.

[7] Eichstädt, S., Elster, C., Esward, T. J. e Hessling, J. P. “Deconvolution filters for the analysis of dynamic measurement processes: a tutorial”, Metrologia, 47 5, pp. 522-33, 2010.

[8] Eichstädt, S., Analysis of Dynamic Measurements Measurements. Evaluation of dynamic measurement uncertainty, Informationstechnik PTB-IT-16, Braunschweig: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2012.

[9] Fontul, S., Structural Evaluation of Flexible Pavements Using Non-Destructive Tests, Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2004.

[10] Technical Specifications – PRI 2100 FWD trailer version, Carl Bro, April 2004.

[11] Irwin, L., Orr, D., Atkins, D., Falling Weight Defectometer Calibration Center and Operational Improvements: Redevelopment of the Calibration Protocol and Equipment, Publication no. FHWA-RT-07-040, October 2011.

[12] Clemen, R., Guidelines for calibration of Falling Weight Deflectometers, Proceedings of the 5th International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Throndheim (Norway), 6-8 July, 1998.

[13] Calibration Certificate of the FWD PRI 2100 (SN 0608-125), Grontmij Pavement Consultants A/S, September 2012.

[14] Calibration Certificate of the FWD PRI 2100 (SN 0608-125), Grontmij Pavement Consultants A/S, March 2015.

[15] PyDynamic, https://github.com/eichstaedtPTB/PyDynamic (2017-05-11).

[16] SM-6 Geophone, Specification ref. 121026C, Input/Output Sensor Nederland BV, 1999.

A REGULAMENTAÇÃO DA METROLOGIA NO TEMPO DOS PREGÕES E TRASLADOS

António Neves

IPQ - Instituto Português da Qualidade, Museu de Metrologia

RESUMO

Desde há muito tempo, a legislação que temos que cumprir (sobre qualquer assunto, incluindo a metrologia) é conhecida através da publicação impressa diária das leis, decretos e outros documentos de caráter legislativo, estando atualmente até disponível na internet, para facilidade de acesso. Contudo, quando Portugal se afirmou como um estado independente e durante séculos, tal não acontecia. A imprensa ainda não era conhecida (pelo menos no mundo europeu) e as leis eram divulgadas de forma diferente. No mundo medieval, assente numa estrutura senhorial e feudal, havia regulamentação local, principalmente nos concelhos, e legislação de âmbito nacional, determinada pelo poder real. As formas de fazer chegar o conhecimento da lei a quem tinha que a aplicar, num mundo de iliteracia generalizada, baseavam-se no registo das leis a nível central/local e redação de cópias (traslados) para se distribuírem onde quer que fosse necessário/possível. Além do se guardarem as leis a nível central e local, em livros próprios, era necessário apregoá-las e lê-las com regularidade, para que ninguém pudesse argumentar o seu desconhecimento. A "publicação" de uma lei, ou seja, o ato de a tornar de conhecimento público tinha, nesta época, um significado muito diferente do que a imprensa veio, posteriormente, trazer.

1. Introdução

O sistema de unidades de medida legais aplicável em Portugal é o Sistema Internacional de Unidades (SI), estando a sua aplicação definida pelo Decreto-Lei n.º 128/2010, de 3 de dezembro.

As competências no que respeita à realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões nacionais das unidades de medida e a sua rastreabilidade ao SI, a gestão do sistema de controlo metrológico legal dos instrumentos de medição e as outras missões do Instituto Português da Qualidade (IPQ), enquanto Instituição Nacional de Metrologia, estão definidas na sua Lei Orgânica [1]. Do mesmo modo, todas as restantes questões que são objeto de regulamentação no que respeita à metrologia em Portugal estão também definidas em legislação publicada em Diário da República.

A última grande reforma metrológica anterior ao SI foi a adoção do Sistema Métrico Decimal. Também a introdução deste novo sistema foi objeto de legislação impressa. Desde logo, e em primeiro lugar, o Decreto de D. Maria II, de 13 de dezembro de 1852, que adotou oficialmente o "metro legal de França como base do sistema legal de medidas no continente do reino e ilhas adjacentes" [2] a que se seguiu diversa outra legislação publicada, principalmente, no terceiro quartel do século XIX, destinada a garantir a aplicação real do novo sistema em todo o país.

Antes do Sistema Métrico Decimal, a metrologia estava regulada a nível municipal (nos forais e em posturas municipais) e no âmbito nacional, numa compilação de legislação a que chamamos Ordenações Filipinas. Estas Ordenações sucederam a uma versão anterior, mandada imprimir por D. Manuel I, publicada em 1521 (que conhecemos pela designação de Ordenações Manuelinas) e incorpora legislação posterior não constante dessa compilação (Leis Extravagantes).

No que respeita à legislação, nomeadamente sobre a metrologia, D. Manuel I foi um rei inovador, tanto na forma de divulgação como no conteúdo: foi o primeiro monarca a recorrer à imprensa para divulgar as leis do reino e foi também o primeiro a criar padrões nacionais únicos, que deveriam ser aplicáveis a todo o país, numa reforma metrológica que está incluída nestas Ordenações.

No entanto, desde há muito, a determinação de quais os pesos e medidas que os povos deveriam utilizar, assim como o respetivo "controlo metrológico" eram objeto de regulamentação que só poderia ser minimamente eficaz se fosse conhecida, pelo menos, por quem tivesse responsabilidade nessa área, ou seja, oficiais com jurisdição local, regional ou de âmbito nacional.

Como se regulava a metrologia numa época em que não havia imprensa? E antes de existirem compilações de legislação?

2. A regulamentação da metrologia na Idade Média

Em primeiro lugar, sabemos que muita documentação desapareceu, é apenas parcialmente conhecida, ou chegou até nós apenas por via indireta, através de eventuais cópias, transcrições ou citações, cuja fiabilidade nem sempre é inquestionável. Como lembra Gama Barros, "basta dizer que de muitas leis até o fim do reinado de Affonso III, 1270, não restam senão fragmentos, alguns dos quaes só dubitavelmente (…) se podem atribuir áquele reinado, e do maior numero d'essas leis não ficaram senão versões ou copias, a que também não é possível sempre assignar uma data precisa (...)." [3]

Tradicionalmente considera-se que a compilação legislativa mais antiga seriam as Ordenações Afonsinas, embora haja indícios de compilações anteriores, de que não chegaram exemplares aos nossos dias: "A mais antiga compilação oficial, que se conhece, de leis portuguezas, podendo merecer o titulo de código geral, é a que foi publicada na menoridade de Affonso V, em 1446 ou 1447, e que se costuma denominar ordenações affonsinas. Não se póde, porém, duvidar de que já existia um registro oficial das leis do reino. É o próprio D. João I que o declara, referindo-se a duas leis, uma de Affonso III, outra de Affonso IV, contheudas em este nosso Livro das Ordenações do regno." [4] [5]

A iniciativa de compilar a legislação não se pode circunscrever a uma data específica, mas a um período de evolução que durou, pelo menos, algumas décadas que se prolongaram por vários reinados.

Desde o início da nacionalidade, a regulamentação das várias matérias relevantes para a vida das pessoas e/ou para a coroa, incluindo a que se referia aos pesos e medidas, apareceu sob diversas formas e em âmbitos de aplicação diferentes: local, (por vezes regional) e nacional.

3. A regulamentação de âmbito local

No âmbito local, a regulamentação aparece, principalmente, em dois tipos de documentos. Em primeiro lugar, temos notícia dos pesos e medidas utilizados pelas populações de diversos concelhos através dos forais a eles atribuídos, principalmente pelo rei, ou, no caso do território que veio a ser Portugal, ainda no tempo do Condado Portucalense.

A autonomia dos concelhos e as formas de compromisso e relação entre as comunidades e o direito feudal era variável [6], em função do tipo e origem do concelho, sendo o grau e forma de autonomia definidos na carta de foral. Esta carta, que definia os deveres e direitos dos vizinhos, indicava os pesos e medidas que deveriam utilizar, pois, em regra, os impostos eram pagos em géneros e a quantidade a pagar dependia da sua medição.

Segundo Seabra Lopes "A mais antiga referência portuguesa ao alqueire é a do foral de Coimbra de 1111" [1][7], ainda anterior à nacionalidade. Aparentemente várias outras povoações que receberam foral por esta altura seguiam "o modelo expresso no foral de Coimbra de 1111. É o caso dos forais de Sátão (1111), Azurara da Beira (1109-1112), Tavares (1112), Ferreira d'Aves (1113-1120) e Seia (1136)" [7]. Vários outros forais que chegaram aos nossos dias indicam as medidas usadas, sugerindo que a nova nação começou por usar as medidas existentes no Condado Portucalense, baseadas no moio de 64 alqueires.

Figura 1 – Carta de Foral de Lisboa, confirmação de D. Afonso III, 1214. Pergaminho existente no Arquivo Histórico da Câmara Municipal de Lisboa

A alteração nas medidas era, muitas vezes, definida na atribuição do foral. Assim, "A partir de 1179, ano em que Dom Afonso Henriques deu foral à capital de então, Coimbra, e ainda a Santarém e Lisboa, o alqueire legal, usado para o pagamento da jugada, passou a ser bastante maior…" [8], embora a estrutura do sistema se mantivesse semelhante.

Se os forais indicavam quais as medidas, importava saber como se controlava a sua correta utilização e quem era responsável por essa tarefa.

Desde cedo, os concelhos tiveram que regular esta matéria, em posturas municipais[2] [9].

[1] Este foral refere outras medidas, como o almude, podendo ser consultada transcrição em Portugaliae Monumenta Historica, Leges, p. 356.

[2] "A primeira referência que permite calcular a capacidade de um alqueire é também de Coimbra. Aparece nas posturas municipais desta cidade, de 1145", em [9]

Relativamente a estas posturas, é relativamente diminuta a documentação que chegou até nós. Conhecemos algumas, mas poucas estão registadas em Atas de vereações, principalmente antes do séc. XIV, porque, em alguns casos, se terão perdido e, principalmente, porque só por esta altura passou a haver uma regularidade no registo escrito das decisões dos órgãos do concelho.

A análise das posturas municipais de Lisboa do século XIV demonstra que os almotacés tinham um papel muito importante "(…) no que toca à aferição dos pesos e medidas (…). [10][3], [11][4]

Apesar de não existirem muitos trabalhos de análise e sistematização desta informação, temos alguns elementos sobre a relevância das deliberações sobre metrologia, no contexto das posturas municipais. Assim, por exemplo, em Lisboa, o Livro das Posturas Antigas (que inclui 264 posturas dos séculos XV e XVI) inclui 34 posturas sobre pesos e medidas, o que corresponde a quase 13 % do total [12].

As posturas abrangiam as mais diversas questões metrológicas, como, por exemplo, a determinação dos pesos e medidas, a utilização de novos tipos de peso, o prazo para a apresentação dos pesos de ferro, a proibição de utilizar medidas particulares, ou o prazo de afinação das medidas e o valor monetário que os afinadores deveriam levar [13]. Em muitos destes casos incluíam-se penas pelo não cumprimento.

As questões relacionadas com a utilização de medidas certas e sua afinação estão entre as mais regulamentadas [14] [5].

No entanto, o país, feudal e senhorial, não se circunscrevia à realidade local dos concelhos, com a sua regulamentação local. Por outro lado, mesmo aí, esta realidade diversa, com uma autonomia variável, integrava-se num todo nacional, sobre o qual o rei exercia o seu poder. "Em termos gerais, a autoridade régia aparece como uma ténue supervisão sobre todo o reino" [15].

É natural que os forais e as posturas fossem relativamente conhecidos pelas populações que viviam nas áreas em que se aplicavam. Mas o que acontecia com as determinações que provinham da corte?

4. A regulamentação emanada do poder central

Nesta época inicial do país em formação, há que contar com o facto de que muitas leis não tinham aplicação a nível nacional, mas apenas local ou regional e, por outro lado, as decisões régias eram divulgadas sob diversas formas, cuja natureza jurídica variava: "Lei, decreto, postura, carta, eram os vocábulos com que se designavam commummente, por toda esta epocha, os diplomas contendo

[3] Mas a tarefa podia envolver outros "oficiais".

[4] "Em Évora, nos fins do século XIV, decretou-se o aferimento mensal das medidas de cereais, sal, vinho, azeite e mel, das varas de tecidos e dos pesos dos metais, carne, sabão, etc. para estes últimos, seria o ourives afilador do concelho o encarregado de estabelecer os padrões de arroba, meia-arroba, quarta e arrátel" em [11]

[5] Tomemos como exemplo esta postura de Évora: "todos aquelles que venderem o dicto triigo e çevada e çenteo e milho e fariinha e outrosy os dictos panos de coor e de liinho e ssaall e outros panos que vaam afillar em cada huum mees as dictas mediidas e varras e allas ante trres dias andados do mees que achar que som certas e booas que lleve sseis dinheirros de cada huma das que dyrreitas nom forem pellas affillar e fazer certas. E outrosy mandarom que as mediidas do viinho e do azeiite e do mell que as /fl. 5 v./ vãao em cada huum mes afellar ao que tever as medidas do concelho arrendadas. Outrossi mandaram que todos os que vendem quaaesquer cousas que ssejam per pesos que os vãao afillar em cada huum mes a Estev'Eanes ourivez afilador do conçelho.",em [14]

resoluções do soberano. Portaria, sendo nome que tinha mais de uma significação, empregava-se também para indicar qualquer ordem do rei" [16].

A esta diversidade, há que somar o facto de que, não existindo imprensa, as leis eram escritas à mão. Cada transcrição é única e cada cópia implica uma nova redação, também manuscrita, o que condiciona a sua divulgação pelo país, ou pelos interessados, que poderiam ser particulares, os habitantes de uma determinada área geográfica, ou todo o país. Se um decreto de aplicação geral deveria ser conhecido em todos os recantos do país, uma carta poderia destinar-se a uma ou mais pessoas, ou poderia até ser uma circular para todos os concelhos. Fazê-la chegar aos diretamente interessados ou a quem o rei achava que deveria interessar era um desafio. Garantir que a transcrição não adulterava o conteúdo deveria ser outro.

Um exemplo interessante da existência de diferentes cópias do mesmo documento de origem régia, muito relevante para a História da metrologia em Portugal, é a famosa provisão de D. João II de 14 de outubro de 1488, proibindo o "marco de tria" (de Troys) e mandando que se passasse a usar o "marco de colonha" (de Colónia) [6].

Por outro lado, numa época em que "a acção das leis geraes não podia deixar de ser limitada pelas imunidades das classes e pelos privilégios locaes" [17], podia uma pessoa ou população de determinado local ou município estar isenta ou ter privilégios próprios que implicariam uma exceção à mesma lei, que só teria efeito se fosse conhecida e publicamente apresentada pelo(s) interessado(s).

Sendo assim, muitas vezes cabia a essas pessoas ou municípios o papel de providenciar para que a lei fosse conhecida: "existem casos concretos de concelhos, e até individualidades, a pedir cópia de ordenações. As cópias solicitadas pelos concelhos estão bem patentes nos exemplares que, ainda hoje, perseveram nos seus arquivos." [19]

Um outro bom exemplo deste registo municipal, com legislação fundamental no que concerne à metrologia, é o Regimento de pesos e medidas de Rui de Sousa, Almotacé-Mor, datado de 14 de dezembro de 1483 e que foi copiado no Livro de Vereações da Câmara do Porto de 1484-85 [20], pelo qual percebemos que a generalidade das atribuições sobre metrologia que antes (Ordenações Afonsinas) estavam no âmbito de atuação do Corregedor Mor eram agora da competência do Almotacé Mor, como irão ser durante vários séculos.

"Não havia sobre a publicação uma regra invariável. Os procuradores dos concelhos em côrtes costumavam pedir copia, que pagavam, d'aquellas resoluções em que tinham algum interesse. E esta pratica mostra ou que não era regular a publicação quando se deixava entregue somente á iniciativa dos officiaes da coroa, (…)" [21].

[6] Diversos autores, incluindo Gama Barros, Trigoso, Teixeira de Aragão e Costa Lobo repetiram sucessivamente a afirmação de que o nome do marco proibido por D. João II na cópia mais conhecida desta provisão, existente no Arquivo Histórico da Câmara Municipal do Porto, (Livro de Vereações, fol. 21) estaria ilegível (supostamente devido a um rasgão no documento), tendo sido apresentadas diversas hipóteses de leitura. Este documento está reproduzido por António Cruz, em Pesos e Medidas em Portugal [18], p.109 (figura n.º 59). Não existe rasgão nenhum, como já tinha referido Magalhães Basto, embora o texto visível possa suscitar diversas interpretações. Entretanto, a existência de outra transcrição, existente na Biblioteca de Évora, cuja leitura paleográfica parece indicar, claramente, que a palavra em causa é "Tria", permite esclarecer qualquer haver dúvida sobre o nome do marco que D. João II entendeu proibir.

Deveria existir um registo central e eventuais registos locais, embora nem sempre o procedimento fosse cumprido da mesma forma. As formas de divulgação das leis na época anterior às Ordenações são apresentadas de forma bastante clara e abundantemente documentada, por José Domingues. “Na Idade Média, a publicação ou primeiro instante da vida de uma lei é feita de duas formas – oral e escrita – e em dois espaços territoriais distintos – na corte e no resto do reino. Por outras palavras, a primeira formalidade era a publicação, oral e escrita, no âmbito da corte e, em seguida, a publicação, também oral e escrita, pelos diversos lugares do reino” [22].

5. Publicação na corte

“Em princípio, o primeiro momento de vida da ordenação régia parece ser a sua publicação em audiência de algum magistrado da Corte” [22]. Tal aconteceria, pelo menos desde D. Dinis, em que “as leis eram lidas em audiência para que depois se não alegasse ignorância” [22].

Este costume de dar a conhecer a legislação em audiências da corte, onde quer que esta se encontrasse no momento, desenvolveu-se, e o caráter formal do ato ganhou relevância, passando a ser testemunhada por oficiais superiores. Com “Afonso IV, intensifica-se a leitura em audiências da corte, mas agora presidida pelo seu chanceler, ou o Vezes Tenente de Chanceller, ou pelo escrivão da Chancelaria (…).” [23]

Nos reinados seguintes, continua a fazer-se esta “publicação” na corte, na presença de magistrados diversos. Com D. Pedro e, principalmente, D. João I, com o corregedor da corte. No reinado de D. Fernando, há um declínio deste magistrado, que coexiste com o renascimento dos meirinhos-mores. “De qualquer forma, parece que a tradição de publicar as leis nas audiências do corregedor da corte se prolonga pelos reinados sucessivos.” [24]

Aqui impõe-se uma clarificação. O que se entende, neste contexto, por “publicação”? Nos tempos medievais a que nos referimos, de iliteracia generalizada e com os constrangimentos decorrentes da inexistência de um meio fácil de reprodução dos documentos (inexistência de imprensa ou outros meios de cópia que não pelo traslado manuscrito) publicar significa apenas “tornar público” e a dimensão da transmissão oral deve ser assumida como predominante.

Seria a única? Certamente que não. Desde cedo, houve o cuidado de registar em livros próprios, as leis emitidas pelos nossos reis. “Em Portugal, a prática de registar os mais importantes diplomas régios nos livros da Chancelaria, inicia-se já com D. Afonso II, no final do primeiro quartel do século XIII, consolidando-se a partir de Afonso III.“ [25]

Apesar de esta prática parecer regular desde, pelo menos Afonso III, só muito tarde, em 1521, nas ordenações de D. Manuel I, aparece como dever e responsabilidade do chanceler mor.

Há diversos casos documentados de leis que vigoraram e das quais se passaram traslados sem terem sido previamente registadas em livro de Chancelaria. Por outro lado, parece não ser descabida e hipótese de que em “1391 já existia *Livro de Ordenações do Reino*” [26].

Conhecemos uma outra forma de registo das decisões reais que, podendo não ser propriamente leis ou assumir a forma de decretos, cartas ou outros documentos, como os atrás mencionados, se impunham como lei e careciam de divulgação: as decisões tomadas em Cortes reunidas pelo monarca. Não temos acesso a atas no sentido tradicional, mas conhecemos, na grande maioria, os chamados "capítulos" ou "artigos", apresentados ao rei e sobre os quais ele respondia com decisões régias que funcionavam como lei, a par de algumas leis que efetivamente saíram de Cortes.

Já Marcello Caetano indicava estas práticas: "A publicação das leis não estava regularmente assegurada. Se eram de iniciativa do rei, êle mesmo as fazia registar na sua chancelaria e nos livros dos tabeliães de todo o reino, a quem as enviava com o encargo de as ler em público, semanalmente, durante certo período, em geral um ano. Se a lei interessava em especial certa pessoa ou corporação (como sucedia com os capítulos especiais das côrtes), havia que pedir cópia dela na chancelaria, pagando-a." [27]

Terá sido, certamente, o caso das decisões tomadas por D. Afonso IV nas cortes de Lisboa de 1352, em que, no Artigo 6.º, decide que os tecidos se meçam pela alna de Lisboa, mas já no Artigo 15.º em que os povos solicitavam uniformização das medidas de volume e pesos, o rei protelou a questão justificando com a ausência de muitos concelhos [28]. O mesmo se aplica a D. Pedro, que efetuou a principal reforma metrológica da primeira dinastia, alterando as medidas de volume[7].

Certo é que, neste período, parecendo claro que não existia um procedimento rígido e uniforme de divulgação das leis, estas, além de publicação e registo na corte, para chegar aos destinatários finais, careciam de publicação no reino.

6. Publicação no reino

Uma das primeiras leis que refere explicitamente questões metrológicas, embora com aplicação a nível regional foi a chamada Lei da Almotaçaria, de 1253, na qual se prescreve que "em qualquer vila e em qualquer julgado seja lida esta minha carta pública de decreto estabelecida na minha cúria" [29] [8].

Segundo Gama Barros, "geralmente a publicação das leis e de quasquer ordens do soberano estava a cargo dos tabeliães que, depois de as registarem nos seus livros, as deviam ler no tribunal do concelho, ordinariamente uma vez em cada semana, durante um certo período que chegava não raro até um anno" [30]. Esta obrigação de os tabeliões registarem as leis em seus livros repete-se em várias leis, ao longo dos séculos XIII e parte do XIV,

[7] Considerando que algumas decisões tomadas em cortes e registadas na Chancelaria consistiam na resposta concreta a pedidos ou reclamações dos povos, é natural que estes pretendessem ficar com cópia da determinação real. Tal deveria ter acontecido, por exemplo, com as decisões de D. Pedro em resposta a artigos apresentados pelo concelho de Silves, relativas a medidas de sal e pão, nos quais o rei refere a recente alteração das medidas de pão (volume de sólidos) e manda que este se meça pela medida de Santarém, (Cf. Chancelaria de D. Pedro I, p. 246).

[8] O texto da lei pode ser consultado em "Portugaliae Monumenta Historica, Leges et Consuetudines, Volumen I, Fasciculus II", p. 191-196.

indicando-se em algumas que devem ser lidas mensalmente ou semanalmente ao longo de um ano. Algumas destas leis foram posteriormente incluídas nas Ordenações Afonsinas [9].

A partir de D. Afonso IV começam a rarear as imposições de registo e leitura aos tabeliães, eventualmente pelo desenvolvimento do papel dos corregedores, os quais passaram também a interferir "no direito local, aprovando posturas e ordenações, criando ou modificando outras, compilando costumes municipais, estatuindo regimentos, etc"[10] [31].

Figura 2 – Excerto da Lei da Almotaçaria, de 26 de dezembro de 1253. Pergaminho existente no Arquivo Nacional da Torre do Tombo.

Estes funcionários com jurisdição de âmbito regional vão aparecer como intermediários entre a corte e os destinatários da legislação. "(…) antes de chegarem aos tabeliães, as ordenações passam pelos corregedores da comarca" [32]. Isto tem implicações no tempo que as decisões do poder central demoram até serem conhecidas pelos destinatários, que poderiam ser vários meses[11].

Os deveres dos corregedores das comarcas na divulgação das leis vão aparecer definidos no Regimento dos Corregedores, transcrito nas Ordenações Afonsinas, no Título XXIII Dos Corregedores das Comarcas, e cousas que a seus Officios perteencem: "E façam pobricar estas Hordenaçõoes em as Cidades, e Villas, e Lugares maiores, honde forem Corregedores; e o Escripvão, que for da Camara nos lugares, honde assy pobricarem, trelade-as no livro do Concelho, e lea-as cada mez aos Juízes, e Vereadores na Camara, e quando esteverem na Audiencia, sob pena de pagar por cada vez que as nom poblicar, mil reis pera as obras do Concelho; e estas Hordenaçõoe assy poblicadas ponhão-nas na Arca da Chancellaria de cada huã Correiçom" [33].

Resumindo, depois da publicação central, com leitura nas audiências da corte e registo nos livros da Chancelaria, os treslados eram enviados para os corregedores das comarcas que deveriam guardar na sua Correição e mandar apregoar nas povoações, para que ninguém pudesse alegar ignorância, sendo feitos outros treslados para os registos locais, a cargo de tabeliães ou escrivães.

Concluímos assim que a difusão das leis nesta época era uma tarefa complexa e dispendiosa. Sem imprensa, com comunicações difíceis (estradas raras e más e serviço de correio inexistente), a chegada de uma lei era um evento e tinha consequências. Era necessário enviar pregoeiros convocando o povo para a ouvir ler e um exemplar (traslado) era afixado em local público. Havia ainda locais onde os funcionários régios não podiam entrar (honras, coutos), o que colocava problemas adicionais.

[9] Tomemos como exemplo uma lei de D. Dinis (de 1303) incluída nas Ordenações Afonsinas, "E Mando a todollos Taballiães que a registem em seus Livros, e que a leam cada domaa huma vez em Concelho ataa huum anno comprido", in Ordenações Afonsinas, Liv. V, Tít. 73, p. 285.

[10] A área de atuação dos corregedores eram as comarcas, cuja delimitação e número poderá ter variado, sendo objeto de diferentes teorias. Pelo menos em determinada altura no séc. XIV seriam 6: Entre-Douro-e-Minho, Trás-os-Montes, Beira, Extremadura, Entre-Tejo-e-Guadiana e Algarve.

[11] Em [32], José Domingues apresenta um exemplo em que uma ordenação foi dada a 30 de agosto de 1406 nas Cortes de Santarém, a carta para o corregedor da Beira foi assinada passados 28 dias, que só a apresentou na Lousã passados mais 39 dias, sendo aí publicada só 9 dias depois. No total, passaram 76 dias.

Sabendo que as questões relacionadas com pesos e medidas eram de relevância para a economia local e para os interessados (anónimos que compravam e pagavam impostos, mas também os mercadores, burgueses, senhores feudais e ordens religiosas, com privilégios e poder para os impor), haveria situações em que interessava, ou, pelo contrário, não interessava, que determinada ordenação fosse conhecida e aplicada, pelo que podemos conjeturar a existência de obstáculos claros ou dissimulados à divulgação dessa regulamentação que, invariavelmente, beneficiava, ou prejudicava alguém.

7. As Ordenações Afonsinas

O aparecimento de coletâneas de legislação, como as Ordenações Afonsinas, não mudou a prática, pois esta legislação não foi impressa. Assim, quaisquer determinações aí constantes careciam das formas de divulgação tradicionais atrás referidas, a nível central e local.

O Regimento dos Almotacés que vem a ser aí publicado confirma que a utilização de pesos e medidas corretas estava definida em posturas municipais[12].

As funções no que respeita ao controlo metrológico que, a partir de certa altura (como já vimos, pelo menos, no Regimento do Almotacé Mor Rui de Sousa, de 1483, mas, de forma "definitiva", nas Ordenações Manuelinas e Filipinas), vão ser da responsabilidade do Almotacé-mor, eram, ainda, atribuídas ao Corregedor-mor e descritas no seu Regimento. Assim, quando o rei se deslocava para determinada povoação, este oficial deveria verificar se os pesos e medidas de tal local estavam corretos, na presença de um tabelião ou escrivão da corte, a quem cabia registar os erros encontrados [34].

Figura 3 – Página decorada das Ordenações Afonsinas. Disponível em: http://www.ci.uc.pt/ihti/proj/afonsinas/

Quem fosse apanhado com pesos sem a marca do concelho ou não conformes com os padrões teria pena de multa (estabelecida no Regimento do Corregedor) e, eventualmente, castigos corporais. No caso das medidas miúdas, as Ordenações mencionam o cumprimento das penas referidas na "usança antigua, e a ordenança da Cidade, Villa, ou Lugar (…)" [35], o que, mais uma vez, atesta o facto de estas questões estarem complementarmente regidas a nível local.

[12] "todollos que teem medidas de pam, e de vinho, e d'azeite, que as mostrem pera as veerem se som direitas, sob a pena, que lhes he posta na postura do Concelho", Ordenações Afonsinas, Liv. I, Tít.28, §4, p. 181.

Resumindo, estas Ordenações refletem a realidade já descrita: trata-se de assunto regulado a nível central e local, nada trazendo de novo quanto à forma de fazer chegar esta informação às populações: é o tempo do pregão, do treslado afixado em local público e do registo em livros na corte e no concelho.

Só a imprensa veio permitir uma forma rápida de replicar a legislação, fazendo-a chegar aos vários pontos do país, muitas vezes em conjunto com os novos padrões que o rei mandou distribuir. Não é por acaso que o Regimento dos Pesos, que apresenta o novo sistema, venha a ser incluído no Regimento das Cidades, Villas e Lugares destes Reinos, (primeira coletânea legislativa impressa em Portugal, tanto quanto se sabe hoje) e que a definição de um padrão único para todo o país só venha a aparecer numa altura em que a distribuição da coletânea de legislação por via impressa já não fosse novidade (1521), o que viria a colocar um outro problema: como lidar com o facto de existirem versões impressas entretanto desatualizadas? Mas esta é uma questão tratada numa outra ocasião.

REFERÊNCIAS

[1] Lei Orgânica do IPQ, *Decreto-Lei* n.º 71/2012, de 21 de março de 2012, alterado pelo *Decreto-Lei* n.º 80/2014, de 15 de maio de 2014

[2] Artigo 1.º do Decreto de D. Maria II, de 13 de dezembro, Colecção Oficial da Legislação Portuguesa redigida por José Máximo de Castro Neto Leite e Vasconcelos do Conselho de Sua Majestade e Juiz da Relação de Lisboa. Lisboa, Imprensa Nacional, 1853, p. 741.

[3] BARROS, Henrique da Gama – História da Administração Pública em Portugal nos Seculos XII a XV por Henrique da Gama Barros, Tomo I, Lisboa: Imprensa Nacional, 1885, p. 69.

[4] BARROS, Henrique da Gama – História da Administração Pública em Portugal nos Seculos XII a XV por Henrique da Gama Barros, Tomo I, Lisboa: Imprensa Nacional, 1885, p. 70.

[5] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas – Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512], 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento.

[6] MATTOSO, José – Identificação de um país: ensaio sobre as origens de Portugal 1096-1325. Lisboa: Editorial Estampa, 1985. 2 vol.

[7] LOPES, Luís Seabra – Sistemas Legais de Medidas de Peso e Capacidade, do Condado Portucalense ao Século XVI. (Publicado em: Portugália, Nova Série, vol. XXIV, FL/Univ. Porto, 2003, p. 113-164). [Consult. 3 abril 2018]. Disponível em WWW: http://www.rotadoromanico.com/SiteCollectionDocuments/PerfilHistoriador/Sistemas_Legais_de_Medidas_de_Peso_e_Capacidade_do_Condado_Portucalense_ao_Sec_XVI.pdf, p. 129.

[8] LOPES, Luís Seabra – Sistemas Legais de Medidas de Peso e Capacidade, do Condado Portucalense ao Século XVI. (Publicado em: Portugália, Nova Série, vol. XXIV, FL/Univ. Porto, 2003, p. 113-164). [Consult. 3 abril 2018]. Disponível em WWW: <http://www.rotadoromanico.com/SiteCollectionDocuments/PerfilHistoriador/Sistemas_Legais_de_Medidas_de_Peso_e_Capacidade_do_Condado_Portucalense_ao_Sec_XVI.pdf>, p. 71.

[9] LOPES, Luís Seabra – Sistemas Legais de Medidas de Peso e Capacidade, do Condado Portucalense ao Século XVI. (Publicado em: Portugália, Nova Série, vol. XXIV, FL/Univ. Porto, 2003, p. 113-164). [Consult. 3 abril 2018]. Disponível em WWW: http://www.rotadoromanico.com/SiteCollectionDocuments/PerfilHistoriador/Sistemas_Legais_de_Medidas_de_Peso_e_Capacidade_do_Condado_Portucalense_ao_Sec_XVI.pdf, p. 129.

[10] MARTINS, Miguel Gomes – O Concelho de Lisboa durante a Idade Média: Homens e Organização Municipal (1179-1383). [Consult. 10 abril 2018]. Disponível em WWW:< http://arquivomunicipal.cm-lisboa.pt/fotos/editor2/72.pdf>, p. 73.

[11] MARQUES, A. H. de Oliveira - A sociedade medieval portuguesa, Livraria Sá da Costa Editora, Lisboa, 1987, p. 148.

[12] HOMEM, Armando Luís de Carvalho e HOMEM, Maria Isabel N. Miguéns Carvalho - Lei e poder concelhio: as posturas. O Exemplo de Lisboa (Sécs XIV-XV). (Primeira Abordagem), in Revista da Faculdade de Letras 35 LEI E PODER CONCELHIO: AS POSTURAS. HISTÓRIA Porto, III Série, vol. 7, 2006, p. 35-50. [Consult. 5 abril 2018]. Disponível em WWW: <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/3402.pdf>.

[13] PURIFICAÇÃO, Maria Manuela Lima da – A vivência do tempo na Idade Média, no Livro das Posturas Antigas de Lisboa. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2009. Tese de mestrado apresentada ao curso de História Medieval e do Renascimento.). [Consult. 3 abril 2018]. Disponível em WWW:< https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/28485/2/mestmariapurificacaovivencia000084634.pdf>.

[14] O Livro das Posturas Antigas da Cidade de Évora. Introdução e revisão de Maria Filomena Lopes de Barros e Maria Leonor F.O. Silva Santos, transcrição paleográfica de Ana Sesifredo, Fátima Farrica e Miguel Meira, Évora, CIDEHUS-UE, 2012, [Consult. 17 abril 2018]. Disponível em WWW: http://old.www.cidehus.uevora.pt/textos/fontesul/fsul_olivrodasposturasantigas.pdf, p. 20.

[15] MATTOSO, José – Identificação de um país: ensaio sobre as origens de Portugal 1096-1325, Lisboa: Editorial Estampa, 1985, Vol. II, p. 119.

[16] BARROS, Henrique da Gama – História da Administração Pública em Portugal nos Seculos XII a XV por Henrique da Gama Barros, Tomo I, Lisboa: Imprensa Nacional, 1885, p. 73.

[17] BARROS, Henrique da Gama – História da Administração Pública em Portugal nos Seculos XII a XV por Henrique da Gama Barros, Tomo I, Lisboa: Imprensa Nacional, 1885, p. 69.

[18] Cruz, António – Pesos e Medidas em Portugal, Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2007.

[19] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 129-130.

[20] BASTO, A. Magalhães – Livro Antigo de Cartas e Provisões dos Senhores Reis D. Afonso V., D. João II e D. Manuel do Arquivo Municipal do Porto (Documentos e Memórias para a História do Porto, V). Porto. Câmara Municipal do Porto, 1940, p. 175.

[21] BARROS, Henrique da Gama – História da Administração Pública em Portugal nos Seculos XII a XV por Henrique da Gama Barros, Tomo I, Lisboa: Imprensa Nacional, 1885, p. 73.

[22] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 131.

[23] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 132.

[24] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 135.

[25] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 136.

[26] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 137.

[27] CAETANO, Marcello - História do direito português: Súmula das lições proferidas pelo Prof. Doutor Marcelo Caetano no curso do 1.º ano jurídico de 1940-41 na Faculdade de Direito de Lisboa. Compilação de Ernesto Fernandes, Anibal Rêgo. - Lisboa: Imprensa Baroeth, 1941, p. 265.

[28] "Cortes Portuguesas. Reinado de D. Afonso IV (1325-1357)", edição preparada por A. H. de Oliveira Marques, Maria Teresa Campos Rodrigues e Nuno José Pizarro Pinto Dias; Transcrições de Ana Margarida Sousa Luz, Diogo Sassetti Ramada Curto, João José Alves Dias, Margarida Maria Gomes Quintão Lages, Nuno José Pizarro Pinto Dias; Revisão de A. H. de Oliveira Marques e Maria Teresa Campos Rodrigues. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica / Centro de Estudos Históricos da Universidade Nova de Lisboa, 1982, p.131-132.

[29] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007. Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 140.

[30] BARROS, Henrique da Gama – História da Administração Pública em Portugal nos Seculos XII a XV por Henrique da Gama Barros, Tomo I, Lisboa: Imprensa Nacional, 1885, p. 74.

[31] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 148, citando CAETANO, A Administração municipal de Lisboa, p. 70.

[32] DOMINGUES, José – As Ordenações Afonsinas: Três Séculos de Direito Medieval [1211-1512]. Universidade de Santiago de Compostela, 2007.Ed. Alexandre Gabriel. Tese de Doutoramento, p. 153.

[33] Ordenações Afonsinas, Liv. I, Tít.23, §68, p. 149.

[34] Ordenações Afonsinas, Liv. I, Tít.5, §26, p. 48-49.

[35] Ordenações Afonsinas, Liv. I, Tít.5, §32-40, p. 53-57.

Metrologia no Quotidiano

O Joaquim Sousa (personagem fictícia) é um especialista na montagem de divisórias amovíveis e tetos falsos, ramo das decorações de interiores, no seio da construção civil. Um olhar atento sobre o seu modo de trabalhar denuncia de imediato o grande à vontade com que se move e como lida com os aspetos técnicos da sua atividade, desde a escolha dos materiais, o seu transporte, a criação da obra final junto dos clientes e, em particular, no que se refere ao modo como resolve as mais elementares tarefas associadas aos processos de medição — grande parte deles sem se aperceber de que o está a fazer!

Logo na abordagem inicial de elaboração ou acompanhamento do projeto de decoração, uns passos, umas braçadas, uns palmos, apoiados aqui ou ali por uma simples fita métrica, são suficientes para "prever" o material necessário e o custo final da obra.

O processo de transporte desse material é rapidamente resolvido programando de imediato a necessidade de "duas viagens" da sua pequena e velha "caixa aberta" dada a "quantidade" de material a transportar, bem como a otimização da sua arrumação: a escolha da disposição "atravessada" dos sacos de cimento, "cruzada" das paletes de azulejos, "a direito" das placas de gesso cartonado permitem distribuir milimetricamente e aproveitar ao máximo e eficazmente a superfície disponível.

A montagem revela também muitos truques que a experiência acumulada resolve sem recurso a qualquer sofisticado instrumento de medição: a definição de esquadrias e de perpendicularidades ("uma marca a 70 e puxada a 1 m"), de planicidades ("três prumos iguais sobre dois níveis ajustados"), de mistura de diferentes materiais para a criação das argamassas e colas ("duas pás para uma"), entre muitos outros exemplos, são os instrumentos de medição mais eficientes que fazem parte em permanência da mala de ferramentas deste especialista. E a obra final aparece na perfeição!

Estivesse eu numa situação idêntica e para todas estas questões iria encontrar enormes desafios: procuraria a solução de medição mais eficaz; questionar-me-ia sobre o seu estado de calibração; adotaria a metodologia de cálculo mais oportuna; recorreria às ferramentas de última geração; optaria pelos mais recentes gadgets disponíveis, para, no fim, chegar a uma conclusão: as medições fazem parte do nosso quotidiano, apoiando-nos no desempenho da nossa atividade profissional ou nas nossas atividades sociais, mas cada um de nós adapta e utiliza as ferramentas e as condições que permitem a realização dessas medições de forma mais prática e mais rápida para a satisfação das suas necessidades particulares imediatas.

Boas medições!

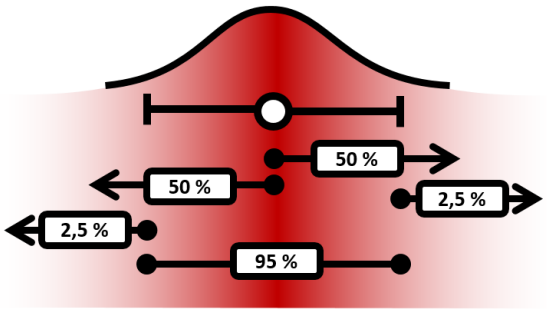
Luís Ribeiro

A Química das Medições

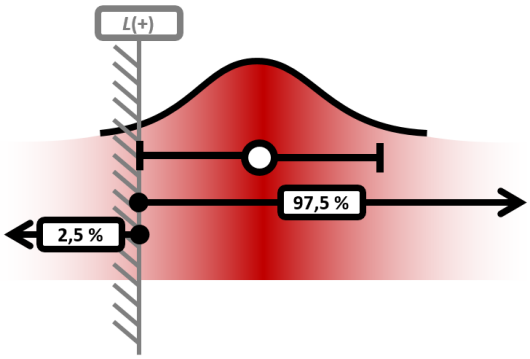
"Segredos" conhecidos das avaliações de conformidade

Os laboratórios cujo desempenho é mais escrutinado são aqueles envolvidos na avaliação da conformidade de produtos com a legislação ou uma especificação. Em muitos sectores de actividade, a legislação até obriga à acreditação dos laboratórios envolvidos no controlo dos produtos como acontece na monitorização oficial das águas de consumo humano e de alguns alimentos. A decisão técnica sobre a conformidade de um produto, considerando um valor máximo e/ou mínimo admissível da grandeza controlada (e.g. teor de um contaminante), depende da incerteza de medição sendo que os resultados devem ser obtidos usando referências (e.g. materiais de referência e/ou padrões) adequados; i.e. os resultados devem ser rastreados a referências adequadas.

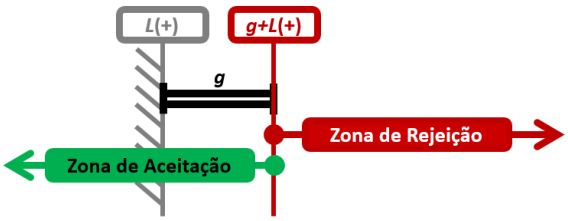
A.



B.



C.



Figuras

No controlo da qualidade dos medicamentos segundo procedimentos da Farmacopeia Europeia, têm de ser usados padrões com valores rastreados ao valor de padrões disponibilizados pela própria Farmacopeia. Tendo em conta que a aplicação de procedimentos da Farmacopeia requer a avaliação e cumprimento dos requisitos de desempenho com maior impacto na incerteza de medição, a avaliação da conformidade dos medicamentos envolve a comparação do valor da grandeza medida (i.e. da melhor estimativa da mensuranda) com limites de especificação estabelecidos tendo em conta a incerteza expectável de medição. Noutros sectores de actividade, não se considera a incerteza de medição devido ao desconhecimento pelos reguladores de como usar este parâmetro na avaliação dos produtos.

No entanto, é de esperar que no futuro, idealmente próximo, as diversas comunidades que avaliam a conformidade de produtos irão dar resposta favorável às solicitações dos seus membros mais atentos ao impacto da incerteza de medição nestas avaliações. De facto, não existem razões para não se considerar a incerteza de medição nas avaliações da conformidade; quatro parágrafos são suficientes para explanar os princípios gerais da utilização da incerteza de medição nestas avaliações.

Quando o resultado é apresentado com incerteza expandida para uma probabilidade de expansão de 95 % [($x \pm U$) em que x representa o valor da grandeza medida e U a respectiva incerteza expandida] e a estimativa tem uma distribuição normal, obtemos a seguinte informação sobre o valor convencionado como "verdadeiro", X, da grandeza medida (Figura A):

- $X > x$ com uma probabilidade de 50 %;
- $X < x$ com uma probabilidade de 50 %;
- $(x - U) \leq X \leq (x + U)$ com uma probabilidade de 95 %;
- $X > (x + U)$ com uma probabilidade de 2,5 %;
- $X < (x - U)$ com uma probabilidade de 2,5 %.

Desta forma, caso o valor da mensuranda seja comparado com um limite máximo admissível, $L(+)$, e $(x - U) = L(+)$ (Figura B), existe uma probabilidade de 2,5 % da decisão de não conformidade do produto (visto que $x > L(+)$) estar errada. Neste caso específico, a avaliação da conformidade é realizada com uma probabilidade da decisão sobre a conformidade do produto estar correta de 97,5 %.

Na maioria dos sectores de actividade, as avaliações de conformidade são realizadas considerando uma probabilidade mínima da decisão estar correta de 95 % ou 99 %, e não considerando um valor de 97,5 %. Quando a avaliação de conformidade é realizada a um nível de probabilidade mínimo de 95 %, ao $L(+)$ é somada uma "faixa de proteção", g, igual a $1{,}65u$ (em que 1,65 corresponde ao valor de t unilateral da distribuição de t-Student para um número elevado de graus de liberdade e um nível de confiança de 95 %, e u representa a incerteza-padrão associada a x). Caso $x > (1{,}65u + L(+))$, o produto é considerado não conforme com, pelos menos, uma probabilidade de 95 % da decisão de não conformidade estar correcta (Figura C) [1, 2]. Esta banda também pode ser subtraída a $L(+)$ em função dos interesses que mais importa salvaguardar na avaliação de conformidade; tipicamente os interesses do produtor ou do consumidor. Os princípios descritos podem também ser aplicados à avaliação da conformidade considerando limites mínimos, $L(-)$, ou intervalos de aceitação do valor da grandeza estudada.

Em 2007, a Eurachem e o CITAC publicaram um guia sobre a utilização da incerteza da medição na avaliação da conformidade que urge divulgar [2, 3]. Este guia descreve em pormenor como se considera a incerteza da medição em diversos cenários de avaliações de conformidade.

Ricardo Bettencourt da Silva

1. Disponíveis em: http://www.bipm.org/en/publications/guides/

2. Eurachem/CITAC, Use of uncertainty information in compliance assessment, First Edition, 2007 (www.eurachem.org).
3. RELACRE, Eurachem-PT, Uso da incerteza na avaliação da conformidade, 2017 (tradução para português de folheto de divulgação da referência [2])(www.eurachem.org).

Esta rúbrica, que se pretende permanente, tem por objetivo propor um endereço que mereça um click dos nossos leitores.

Como tem vindo a ser amplamente noticiado no seio da comunidade metrológica internacional, a 26.ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) adotou, na sua reunião de 16 de novembro de 2018, a resolução sobre a revisão do Sistema Internacional de Unidades (SI).

No novo enquadramento do SI, quatro das unidades – o kilograma, o ampere, o kelvin e a mole – passarão a ser redefinidas em termos de constantes; as novas definições basear-se-ão em valores numéricos fixos da constante de Planck (h), da carga elementar (e), da constante de Boltzmann (k) e da constante de Avogadro (N_A), respetivamente. Para além disso, as definições de todos as sete unidades de base do SI serão também uniformemente expressas usando a formulação explícita de uma constante, e serão preparadas realizações práticas específicas para demonstrar as definições de cada uma das unidades de base.

Esta revisão não implicará alterações significativas ou metodologias diferentes à prática da medição e que possam ser relevantes no quotidiano. No entanto e sobretudo nos domínios relacionados com as realizações experimentais, as mesmas são de especial interesse para a comunidade científica.

De realçar que no domínio das grandezas elétricas, as alterações inevitáveis provocadas por uma alteração tão significativa para o mundo científico tocam, ao de leve, os limites de visibilidade para os utilizadores mais exigentes nas calibrações de resistência e tensão – sendo esta última a que evidencia uma alteração mais significativa – mas longe de provocar a intervenção de programas de recalibração como aconteceu com as alterações introduzidas em 1990.

O que é, o porquê, quando é que esta alteração entrará em vigor e todo o trabalho envolvido, pode ser encontrado neste *link* para o seu click:

http://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si

Boas leituras.
Luís Ribeiro

Carta ao editor

A Metrologia no Caminho da Mudança

Escutava há um ano [1] uma intervenção de José María Alvarez Pallete, Presidente da Telefónica S.A. (multinacional espanhola do setor de Telecomunicações), perante uma audiência composta principalmente por executivos e dirigentes, sobre o mundo 4.0, e extraí da mesma a seguinte afirmação: "... não estamos perante uma época de mudança mas perante uma mudança de época...".

Com humildade e respeito, e na minha perspectiva de Diretor de Qualidade de um centro de metrologia como é o LOMG [2] (Laboratório de Metrologia da Galiza), não posso estar mais de acordo com a reflexão expressa pelo primeiro executivo da Telefónica.

De seguida vou expor e partilhar com os leitores as minhas razões de base, não só para este acordo, mas também como lidar com ele a partir da disciplina da metrologia. O ambiente que as organizações de hoje enfrentam, em todos e em cada um dos setores produtivos, está resumido na sigla VUCA (sigla em inglés de *Volatility*; *Uncertainty*; *Complexity*; *Ambiguity*).

Mudança e alta velocidade é o meu resumo do desafio que esses quatro adjetivos colocam e que, para o caso que nos preocupa, ou seja, o setor das entidades que oferecem atividades dentro da metrologia, o modo de superá-lo tem de se refletir num modelo de negócio focado em fornecer soluções às necessidades dos clientes.

Valor acrescentado elevado, e também capacidade para integrar conhecimentos de diferentes domínios, devem ser combinados para articular a nossa solução como inovadora e completamente útil para o nosso cliente. Esta equação não possui uma solução única e é necessário para a resolver pôr em interrelacão múltiplos agentes, onde existe um papel decisivo, por um lado, a capacidade de tecer uma rede estável e confiável e, por outro, o desenvolvimento, tanto a nível interno como externo da organização, de uma cultura de colaboração. Tudo isto, a fim de desenvolver uma estratégia de diferenciação para que a sociedade a perceba como exclusiva, de acordo com os termos de que fala o Prof. Michael E. Porter no seu livro intitulado "On Competition"[3]

Estamos a falar de transversalidade e utilidade. Quanto à primeira, numa disciplina horizontal, como é a metrologia, que já tem um longo caminho percorrido, resta subir mais um degrau para ampliar a panorâmica da visão e assim alcançar um índice mais alto de penetração e visibilidade no *core business* de ambos os lados (tanto o que oferece a solução como onde tem um problema para resolver). Quanto à vertente da utilidade, é verdade que permanece praticamente inexplorada o que a torna mais desafiante para reforçar a abordagem exigida de oferecer uma solução para os problemas que a sociedade exige. É necessário colocar a massa cinzenta em ação para manter e não abandonar o caminho da mudança.

José Luis Prieto Calviño,
Director Operaciones e Calidad do Laboratorio de Metrología de Galicia

[1] NdR: Carta escrita em outubro de 2017
[2] LOMG – Parque Tecnológico de Galicia. E32901 Ourense (España) – www.lomg.es
[3] "On Competition" Harvard Business School Publishing, 1998

NOTÍCIAS

7.º Encontro SPMet (2017)

No dia 17 de novembro de 2017, no auditório da sede nacional da Ordem dos Engenheiros, realizou-se o 7.º Encontro Nacional de Metrologia da SPMet, organizado em colaboração com a Associação dos Laboratórios Acreditados de Portugal (RELACRE) e com a Especialização em Metrologia da Ordem dos Engenheiros. O tema que enquadrou este Encontro foi "As medições nos transportes", tendo havido a participação da Especialização em Transportes e Vias de Comunicação da Ordem dos Engenheiros.

Dirigido a todos os que profissionalmente têm necessidade de efetuar medições, inspeções e ensaios, tanto nos laboratórios como na indústria, neste Encontro foram apresentadas cerca de duas dezenas de comunicações de elevada qualidade e grande atualidade, entre comunicações orais e em *poster*.

XXI Congresso da Ordem dos Engenheiros (2017)

A SPMet participou no XXI Congresso Nacional da Ordem dos Engenheiros, que decorreu em Coimbra nos dias 23 e 24 de novembro de 2017 e no qual a Metrologia foi, pela primeira vez, o tema principal de uma das sessões técnicas, cuja coordenação esteve a cargo do Vice-Presidente do CD da SPMet.

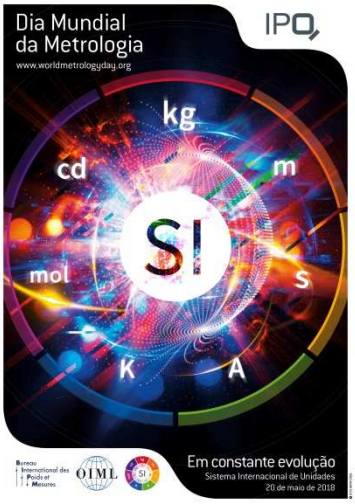
Vários associados da SPMet apresentaram comunicações neste Congresso:

- João Alves e Sousa, "Padrões metrológicos como função de soberania nacional"
- Eduarda Filipe, "O novo Sistema Internacional de unidades baseado nas constantes fundamentais"
- Pedro Pimentel, "A Metrologia na defesa do espaço aéreo nacional"
- Maria do Céu Ferreira, "Metrologia aplicada à Engenharia na Saúde: que desafios?"

ORDEM DOS ENGENHEIROS
XXICONGRESSO DA ORDEM DOS ENGENHEIROS
COIMBRA, 23 E 24 DE NOVEMBRO DE 2017

ENGENHARIA E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Dia Mundial da Metrologia 2018



O Instituto Português da Qualidade (IPQ) promoveu uma sessão comemorativa do Dia Mundial da Metrologia 2018. Este evento decorreu no auditório do IPQ, no dia 21 de maio de 2018. O programa da sessão incluiu diversas apresentações de carácter técnico, complementadas com visitas aos laboratórios do IPQ. Das várias apresentações, destacam-se as intervenções de Andy Henson, Director de Relações Internacionais e de Comunicação do *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), de António Possolo, Chefe da Divisão de Engenharia Estatística do *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e de Carlos Fiolhais, Professor da Universidade de Coimbra. A SPMet associou-se à efeméride, tendo a sua Presidente do CD participado nesta sessão comemorativa.

SIMPMET – Simpósio de Metrologia 2018

Decorreu no Porto, no dia 23 de maio de 2018, a 6.ª edição do Simpósio de Metrologia (SIMPMET), um encontro anual que é já incontornável no panorama metrológico nacional. Este evento foi organizado conjuntamente pelo Instituto Electrotécnico Português (IEP), pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pelo Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica (Catim) e pelo Centro Hospitalar de S. João, e teve a colaboração da Especialização em Metrologia da Ordem dos Engenheiros. À semelhança das anteriores edições, o SIMPMET 2018 contou com o apoio da SPMet.

CONFMET 2018 – Conferência Nacional da SPMet

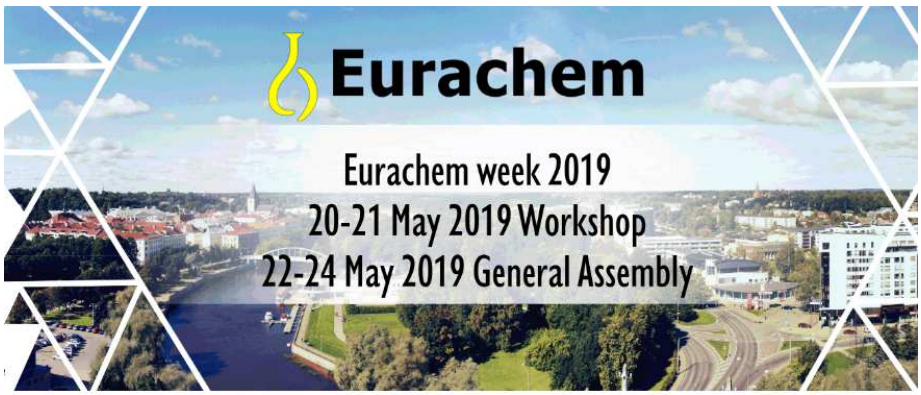
A SPMet em colaboração com a RELACRE e com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT NOVA) organizou a CONFMET 2018 – Conferência Nacional da SPMet, na FCT NOVA no Monte da Caparica, nos dias 28 e 29 de novembro de 2018. O tema que enquadrou esta Conferência foi "Em constante evolução o Sistema Internacional de unidades", pois foi aprovada uma profunda revisão do Sistema Internacional de Unidades (SI), na última Conferência Geral dos Pesos e Medidas da Convenção do Metro realizada a 16 de novembro de 2018. A CONFMET 2018 foi dirigida a todos os que profissionalmente têm necessidade de efectuar medições, inspeções e ensaios, tanto nos laboratórios como na indústria.

A CONFMET 2018 contou com 84 participantes de 23 diferentes instituições, teve o apoio de 7 instituições e de 6 representantes de equipamentos científicos. O seu programa contou com duas apresentações convidadas, "*La révision du SI* / *The revised SI*" por Luc Erard, Membro do CIPM e "A nova ISO/IEC 17025 e a transição digital nos laboratórios" por Álvaro Ribeiro, Presidente da EUROLAB e da RELACRE, 4

apresentações tutoriais, 20 apresentações orais e 5 posters. Contou ainda com duas mesas redondas com os temas “Metrologia 4.0” e “A NP EN ISO/IEC 17025:2018”.

EVENTOS

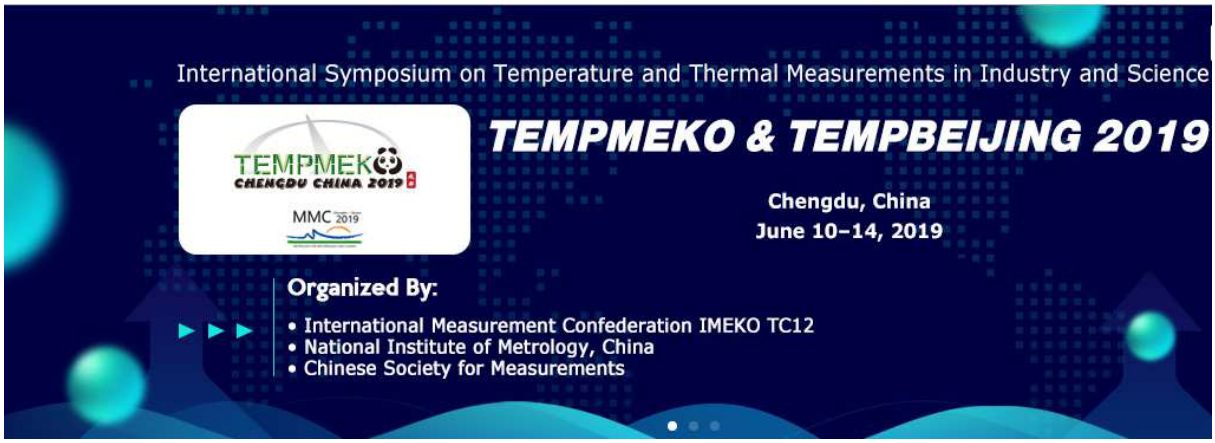
Workshop Eurachem 2019 sobre “*Validation of targeted and non-targeted methods of analysis*”



20 de maio e 21 de maio; Tartu, Estónia

https://eurachem2019.akki.ut.ee/

TEMPMEKO 2019 & Simpósio sobre a Metrologia e a Meteorologia para o Clima 2019 (MMC 2019)



De 10 de junho a 14 de junho; Chengdu, China

http://www2.tempmeko2019.com/

18.ª Conferência Internacional IMEKO sobre a medição de caudal

FLOMEKO2019

18th International Flow Measurement Conference

De 26 de junho a 28 de junho; LNEC, Lisboa

http://flomeko2019.lnec.pt/

Simpósio em conjunto IMEKO TC1-TC7-TC13-TC18 2019
"The future glimmers long before it comes to be"

De 2 de julho a 5 de julho; São Petersburgo, Rússia

https://imeko19-spb.org/

4.ª Conferência internacional IMEKO TC 23 sobre Metrologia na Alimentação e Nutrição

4th IMEKO FOODS

Metrology supporting emerging food topics

De 16 de setembro a 18 de setembro; Bruxelas, Bélgica

https://www.imekofoods4.be/

Simpósio internacional em conjunto IMEKO TC 1 & TC 2 sobre *Photonics and Education in Measurement Science*

IMEKO TC1 – TC2 Jena 2019	em colaboração com a Conferência *Optical Fibre & Photonic Sensors for Industrial & Safety Applications (OFSIS)*

De 17 de setembro a 19 de setembro; Jena, Alemanha

https://www.imeko-jena.com/

19.º Congresso Internacional de Metrologia CIM 2019

De 24 de setembro a 26 de setembro; Paris, França

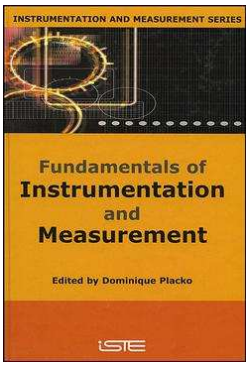
http://www.cim2019.com/home.html

LIVROS

Sampling with 3458A
Understanding, Programming, Sampling and Signal Processing
Rado Lapuh, 2018
Editor: Amtest-TM s.r.o
281 páginas
ISBN-978-961-94476-0-4

Este livro aborda a utilização do multímetro de elevada exatidão introduzido no mercado em 1988. Explica e descreve o seu elevado desempenho em modo de amostragem e fornece muitos exemplos de aplicações, tornando-se imprescindível no apoio à utilização daquele instrumento nos centros de calibração e em laboratórios de metrologia em todo o mundo.

Fundamentals of Instrumentation and Measurement
Editor: Dominique Placko
Março de 2007
532 páginas
Wiley-ISTE
ISBN-13: 978-1905209392

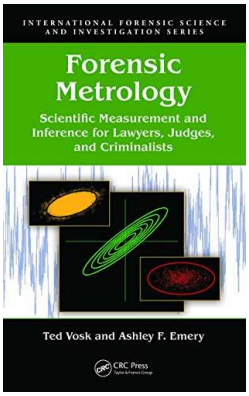


Este livro apresenta os princípios gerais relacionados com a instrumentação. Explica a análise teórica de fenómenos físicos usados por sensores e transdutores para transformar um valor físico num sinal elétrico. O processamento desses sinais, através de circuitos eletrónicos de amplificação, filtragem de sinal e conversão analógico-digital, são detalhados tentando fornecer informações básicas úteis e com uma atenção especial a sistemas complexos. Os tópicos abordados incluem: cadeias de instrumentação e medição, modelação de sensores, processamento de sinais digitais e métodos de diagnóstico, conceitos de sensores inteligentes, projeto e aplicação de microssistemas.

Springer Handbook of Metrology and Testing
Editores: Czichos, Horst, Saito, Tetsuya, Smith, Leslie E.
Edição de 2011
1157 páginas
Springer International Publishing
ISBN-13: 978-3642166402

Este manual apresenta os princípios da ciência da medição e os métodos e técnicas de ensaio para a determinação das características de um produto, aplicados à análise química e microestrutural e na medição e teste de propriedades e desempenhos de materiais, incluindo modelação e simulação. Integra o conhecimento de ciências básicas e de disciplinas de engenharia, compilado por especialistas de instituições de metrologia e ensaio internacionalmente reconhecidas e do ensino, bem como da indústria, de organismos de avaliação de conformidade e de acreditação.

Forensic Metrology - Scientific Measurements and Inference for Lawyers, Judges, and Criminalists
Ted Vosk, Ashley F. Emery
Setembro de 2014
466 páginas
CRC Press
ISBN-13: 978-1439826195



Este livro introduz e desenvolve princípios e conceitos metrológicos. Apresenta princípios avançados e matematicamente rigorosos e métodos de dedução em metrologia. Ao longo do livro, os aspetos científicos e legais das medições são abordados e acompanhados por exemplos. O CD que o acompanha inclui e fornece materiais práticos para profissionais dos domínios legal e forense, que incluem decisões judiciais e relatórios de peritos.

GUIAS TÉCNICOS

Bureau International des Poids et Mesures

No portal do BIPM em: http://www.bipm.org/en/publications/

NOVO!

Guide to the Realization of the ITS-90, disponível gratuitamente em:

https://www.bipm.org/en/committees/cc/cct/guide-its90.html

Eurachem
A Focus for Analytical Chemistry in Europe

De novos folhetos em língua portuguesa e de novos Guias estão disponíveis no respetivo sítio internet em: https://www.eurachem.org/

EURAMET

A EURAMET – Associação europeia de Laboratórios Nacionais de Metrologia publica no seu site uma série de Guias de Calibração e Guias Técnicos com o objetivo de harmonizar os procedimentos de calibração de diversos instrumentos de medição.

Guias de Calibração

http://www.euramet.org/index.php?id=calibration-guides

Guias Técnicos

http://www.euramet.org/index.php?id=technical_guides

Instituto Português da Qualidade

Documentos, guias e traduções de documentos internacionais, nomeadamente, as recentes edições do Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM 2012) e do Vocabulário Internacional de Metrologia Legal (VIML 2017):

http://www1.ipq.pt/pt/ipq/publicacoes/publicacoesdownload/Pages/PublicacoesDownload.aspx

OIML

Organisation Internationale de Métrologie Légale

International Organization of Legal Metrology

No sítio internet da OIML em: https://www.oiml.org/en/publications/introduction

RELACRE
ASSOCIAÇÃO DE LABORATÓRIOS ACREDITADOS DE PORTUGAL

Guias RELACRE

Os Guias RELACRE são elaborados no âmbito das suas Comissões Técnicas e têm como objetivo estabelecer orientações e apresentar casos práticos, visando a melhoria dos resultados dos laboratórios de ensaio e/ou calibração.

http://www.relacre.pt/pt/commissionsandpublications/publications/5

NOVO!

O Guia RELACRE N.º 31 "Quantificação de Incerteza de Medição em Ensaios Químicos e Físico-Químicos" é disponível para os sócios da RELACRE e será gratuitamente acessível no endereço internet suprarreferido no início do segundo semestre de 2019.

INTERNET - REDES SOCIAIS

Metrologia_e_Calibracao · [Fórum Metrologia & Calibração]

Continuamos a contar com o Fórum Metrologia & Calibração como espaço da SPMet para a divulgação de notícias, troca de informações técnicas e resposta a questões sobre Metrologia, Instrumentação, Incertezas, Acreditação, Qualidade, Normalização e temas relacionados.

http://www.spmet.pt

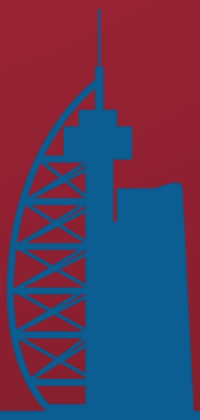
A SPMet está presente nas redes sociais em:

LinkedIn	spmet	https://www.linkedin.com/company/spmet/
facebook	spmetrologia	https://www.facebook.com/spmetrologia/
Instagram	spmetrologia	https://www.instagram.com/spmetrologia/

SPMet

Sociedade Portuguesa de Metrologia

18.ª Conferência Internacional IMEKO sobre a medição de caudal



FLOMEKO2019

18th International Flow Measurement Conference

De 26 a 28 de junho de 2019 - LNEC, Lisboa
http://flomeko2019.lnec.pt/

ISSN 2182-5424

| n.º 15 | Janeiro de 2019

www.spmet.pt