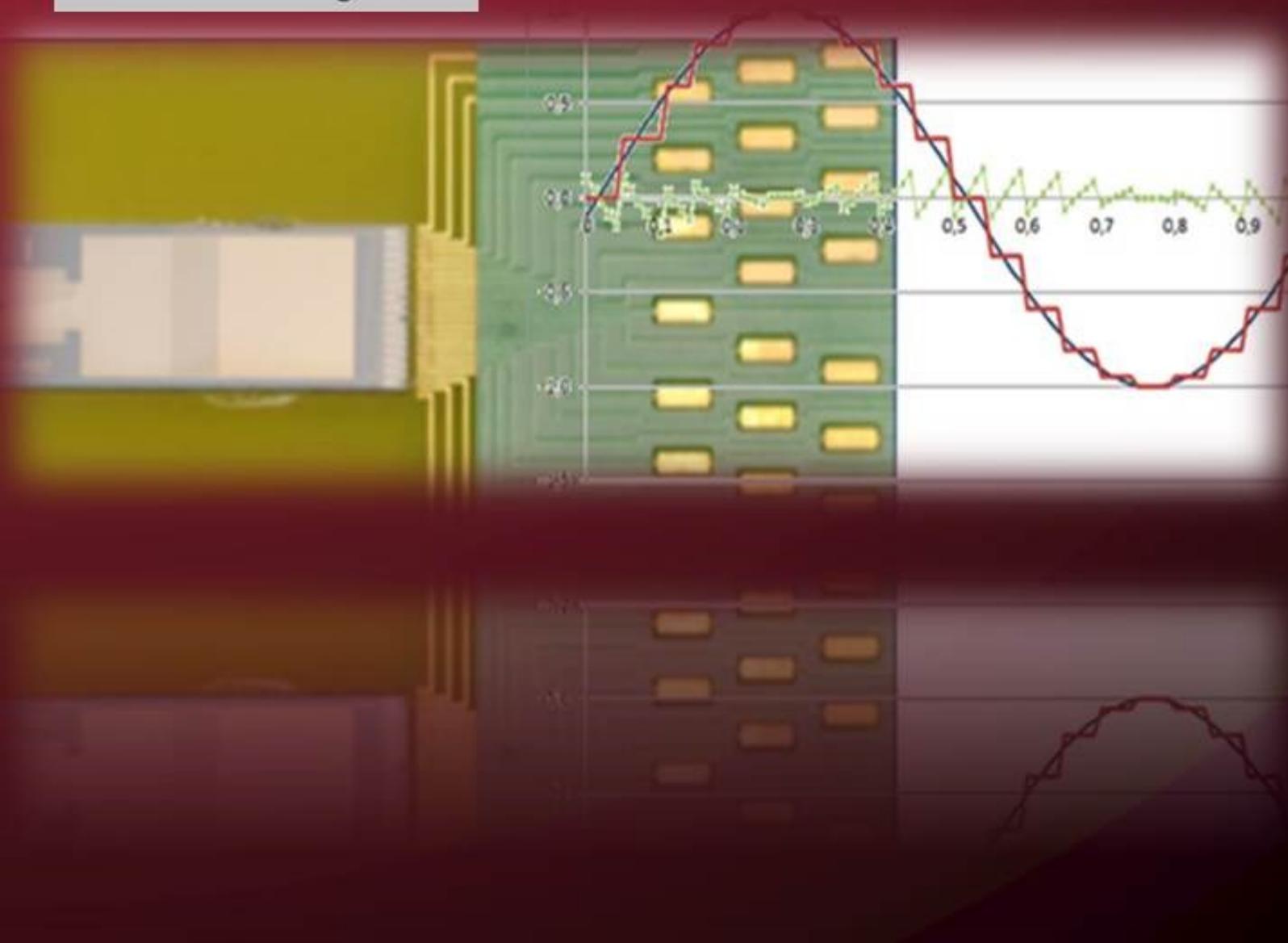


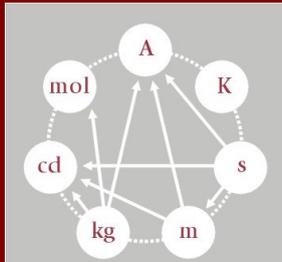
Revista **MEDIÇÕES E ENSAIOS**

www.spmet.pt

SPMet

Sociedade Portuguesa
de Metrologia





SPMet

Sociedade Portuguesa
de Metrologia

Conselho Editorial

Eduarda Filipe
Paulo Cabral
Pedro Girão
Isabel Godinho
Olivier Pellegrino

Propriedade e Redação

Sociedade Portuguesa de Metrologia

Contactos

Sede:
Estrada do Paço do Lumiar
Campus do Lumiar - Edifício D, 1º
Andar, 1649-038 Lisboa, Portugal
Tel. +351 213 139 840
Fax: +351 213 139 841

Secretariado:
Av. do Brasil, 101
1700-066 Lisboa PORTUGAL
Tel.: +351 - 218 443 201
Fax: +351 - 218 443 011
N.I.F. 506 461 696

E-mail: geral@spmet.pt
Internet: www.spmet.pt

Periodicidade

Quadrimestral

Distribuição

Eletrónica

ISSN 2182-5424

Os artigos assinados são da res-
ponsabilidade dos seus autores.

Foto de Capa

Array programável de Josephson

Índice

EDITORIAL	2
RASTREABILIDADE DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS ALTERNADAS ATRAVÉS DA METROLOGIA QUÂNTICA Luís Ribeiro, Vitor Cabral IPQ - Instituto Português da Qualidade	3
A DEMOCRATIZAÇÃO DA METROLOGIA EM QUÍMICA Ricardo Bettencourt da Silva Departamento de Química, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa	15
A MEDIÇÃO EM QUESTÃO Marie-Ange Cotteret Métrodiff.	22
HISTÓRIA DA METROLOGIA António Cruz, Eduarda Filipe, Olivier Pellegrino	27
METROLOGIA E CIÊNCIA Isabel Godinho	30
METROLOGIA NO QUOTIDIANO Luís Ribeiro	32
CLICKS METROLÓGICOS Luís Ribeiro	33
PRÉMIO - SPMET ..	33
EVENTOS	34
PUBLICAÇÕES	39

Editorial

Caro/a leitor/a,

Publicamos, neste 13.º número da Revista “Medições e Ensaio”, 6 artigos de grande interesse da nossa comunidade da Metrologia e, como notarão, a revista apresenta uma estrutura diferente com novas secções/rúbricas relativas à Metrologia no âmbito da História, da Ciência, no Quotidiano, *Cliks* Metrológicos, Prémio SPMet, Eventos e Publicações.

Gostaria de destacar a publicação *on-line* em simultâneo do artigo de Marie-Ange Cotteret “A Medição em Questão” nas versões portuguesa (nesta revista), inglesa e na língua original francesa.

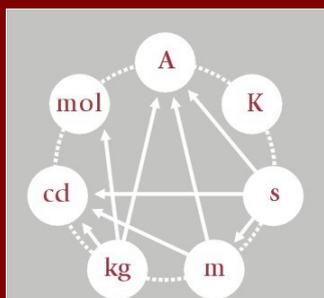
Chamo a vossa atenção para os prazos de submissão das candidaturas ao “Prémio de Inovação em Metrologia 2016” – 31 de agosto de 2016 e das contribuições para a nossa Conferência CONFMET2016 “As Medições num Mundo Dinâmico” – 9 de setembro de 2016.

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

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

Eduarda Filipe

Presidente do Conselho Diretivo da SPMet



SPMet

Sociedade Portuguesa
de Metrologia

SPMet

ISSN 2182-5424

| n.º 13 | Julho de 2016

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.

RASTREABILIDADE DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS ALTERNADAS ATRAVÉS DA METROLOGIA QUÂNTICA

Luís Ribeiro, Vitor Cabral

IPQ - Instituto Português da Qualidade

RESUMO

Da mesma forma que hoje são operados, com grande sucesso, os convencionais padrões de Josephson no domínio das aplicações das grandezas elétricas contínuas, o crescente interesse em *arrays* de comutação rápida para estimulação de tensões alternadas de elevada exatidão permitiu que a comunidade de investigação metrológica estabelecesse diferentes aproximações com o objetivo de estender o uso daqueles padrões para as aplicações nas grandezas alternadas.

Pretende-se neste artigo apresentar de forma simples e resumida os conceitos associados aos padrões quânticos para o domínio elétrico, os dois tipos de aproximação hoje em desenvolvimento para o estabelecimento de padrões primários AC e as suas aplicações.

Palavras-chave: metrologia quântica, tensão e corrente alternada, junções Josephson

Introdução

Grande parte do trabalho realizado no domínio da metrologia elétrica tem uma relação muito direta com as grandezas alternadas. Medir ou gerar uma tensão ou uma corrente elétrica, à frequência industrial, é das funcionalidades mais correntes na atividade industrial e, portanto, garantir a rastreabilidade dos resultados dessas medições é, certamente, dos trabalhos com maior relevância em todos os laboratórios. Também as transações comerciais estão dependentes da justeza dessas medições neste domínio, garantindo o normal e regular funcionamento do mercado da potência e energia elétrica.

A garantia daquela rastreabilidade a nível primário tem sido assegurada através da utilização de termoconvertidores, que permitem caracterizar o valor eficaz de uma tensão ou de uma corrente elétrica alternada diretamente a um mesmo valor conhecido de uma tensão ou de uma corrente elétrica contínua, tendo como termo de comparação o efeito térmico produzido por ambas as condições. Esta comparação pode ser realizada com incertezas que rondam algumas partes em 10^6 e em amplitudes de algumas centenas de milivolt ao kilovolt numa largura de banda até ao megahertz.

Atualmente a implementação do efeito de Josephson como padrão primário de tensão contínua nos Laboratórios Nacionais, apoiada num conjunto de comparações interlaboratoriais que têm vindo a ser realizadas internacionalmente, provou já ser uma eficaz materialização da unidade elétrica, quer a nível de incertezas obtidas, quer a nível da sua exequibilidade e utilização. Hoje em dia, é prática comum a utilização de *arrays* de larga escala de integração, onde se concatenam milhares de junções ligadas em série para que possam ser geradas tensões de até 10 V [1, 2, 3, 4].

As potencialidades aliadas à realização prática deste efeito, aplicadas diretamente na geração de um sinal alternado, foram desde logo postas em evidência e a sua materialização é já hoje praticada através da implementação de realizações experimentais nos laboratórios de referência mundiais de elevado desempenho. A urgente necessidade da sua disseminação pelos restantes laboratórios primários levou à criação de um projeto de transferência de conhecimentos, no seio do programa EMPIR. O projeto ACQ-PRO conta com a participação dos laboratórios de referência europeus (NPL e PTB) e laboratórios de menor dimensão, no qual Portugal através do IPQ está integrado, num envolvimento de um total de 13 entidades.

TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

A metrologia quântica tira partido do comportamento de pares de eletrões que percorrem um efeito túnel não resistivo proporcionado por uma barreira isoladora entre dois supercondutores, genericamente referido como efeito de Josephson, nome dado a partir dos trabalhos de Brian D. Josephson que, enquanto estudante de doutoramento no Trinity College em Cambridge, Reino Unido, teoricamente derivou em 1962 as equações para a corrente e tensão quando percorrem uma junção constituída por dois supercondutores fracamente acoplados (descoberta pela qual foi laureado com o Prémio Nobel de Física em 1973).

Este efeito concretiza uma relação entre uma tensão discreta (U), uma frequência (f), a constante de Plank (h), a carga elementar (e) e um número inteiro (n), como se pode avaliar na conhecida equação:

$$U = n \frac{h}{2e} f$$

sendo a relação $\frac{h}{2e}$ conhecida pela constante de Josephson, k_J , com o valor internacionalmente acordado, em 1990, de:

$$k_J = 483\,597,9 \text{ GHz V}^{-1}$$

Esta realização tem vindo a ser materializada através da construção de junções compostas por dois supercondutores com um fraco acoplamento físico ou isolados através de barreiras proporcionadas por materiais isoladores. Têm assim surgido diferentes tecnologias de construção, recorrendo-se à deposição de camadas com materiais como o nióbio, o alumínio e óxido de alumínio e denominadas de SIS, SNS ou SINIS, conforme a sequência de materiais utilizados (S: supercondutor, N: metal normal, I: isolador) recorrendo-se para o efeito a práticas da litografia sobre a tecnologia de película fina, a fim de permitir a fabricação de circuitos altamente integrados contendo milhares de junções de uma forma semelhante ao da indústria dos semicondutores.

O desenvolvimento e a utilização das junções de Josephson convencionais, como padrões elétricos, trouxeram um grande impacto ao domínio da metrologia da tensão contínua. Estão já hoje comercialmente disponíveis grandes conjuntos de séries de junções, formando *arrays* de 10 000 a 20 000 junções, que, quando irradiados com micro-ondas a uma frequência que ronda os 70 GHz, polarizados com um de grau de 20 μA e funcionando à temperatura de 4,2 K, proporcionada por hélio líquido, permitem gerar diferenças de potencial de até 10 V, operando com sucesso, no domínio das aplicações DC, em muitos laboratórios nacionais, laboratórios militares e da indústria, nomeadamente na caracterização de referências eletrónicas de tensão e de voltímetros de elevado desempenho.

Todavia, o comportamento histerético da sua característica tensão – corrente não permite a sua utilização em modos alternados, uma vez que se torna necessário variar muito rapidamente com o tempo a tensão de saída do *array* de junções, só possível obter através de uma comutação rápida entre os diferentes degraus de Shapiro (patamares discretos e estáveis de tensão).

A diferença do ponto de vista aplicacional entre o comportamento histerético e não histerético resume-se ao facto de que a característica tensão-corrente (a sua curva $V-I$), no segundo comportamento e em condições de irradiação, ser uma relação de um para um na sequência dos degraus, o que implica que uma tensão de saída é univocamente definida por um valor de corrente de polarização.

Para ultrapassar esta característica e permitir a sua aplicação nos domínios das grandezas alternadas, diversas tecnologias têm vindo a ser investigadas e adotadas com sucesso por diferentes laboratórios, utilizando diferentes implementações de tipo SIS, SNS, SINIS, diferentes materiais, diferentes números de integração de junções e diferentes formas de irradiação de micro-ondas, sendo hoje possível a sintetização de tensões alternadas.

Duas aproximações têm vindo a ser demonstradas como tecnologia viáveis para o estabelecimento de um padrão primário AC: os padrões de tensão programáveis com base em *arrays* segmentados de forma binária e os *arrays* disciplinados por impulsos [5, 6].

ARRAYS PROGRAMÁVEIS SEGMENTADOS DE FORMA BINÁRIA

(PROGRAMMABLE BINARY-DIVIDED ARRAYS)

Nestas novas implementações não histeréticas, é possível obter degraus de tensão constante e, por conseguinte, inerentemente estáveis e rapidamente selecionáveis por polarização externa, através da aplicação de uma corrente DC. É também possível dividi-los em segmentos, programando-os de forma a gerar diferentes níveis de tensão de forma rápida e variando no tempo.

O *array* de Josephson assim construído é operado como um conversor digital-analógico multi-bit tendo como base uma subdivisão em segmentos e contendo o número de junções necessários e pertencentes à sequência binária desejada (do tipo com 2^0 , 2^1 , 2^2 , ..., 2^n junções) de forma independente. Qualquer número de degraus de tensão constante permitidos por essa sequência pode, conseqüentemente, ser gerados por esses *arrays*, muitas vezes chamados de padrões programáveis de tensão Josephson.

Para um *array* com m segmentos numa sequência binária e com 2 segmentos com um única junção, ter-se-á a possibilidade de gerar múltiplos inteiros do valor de tensão, dado pela expressão:

$$U = k_J f$$

dentro do intervalo:

$$[-2^m k_J f; 2^m k_J f]$$

Por exemplo, para um *array* com 14 segmentos (de 8192 junções), funcionando a uma frequência de 70 GHz, é possível gerar tensões entre - 1,186 V e 1,186 V, em múltiplos de 145 μ V.

O valor de cada degrau de tensão é dado pela expressão.

$$U = n k_J f$$

sendo n o n.º de junções polarizadas nesse instante.

Comparações entre valores de tensão gerados por *arrays* distintos mostram concordância na ordem de 10^{-17} [8].

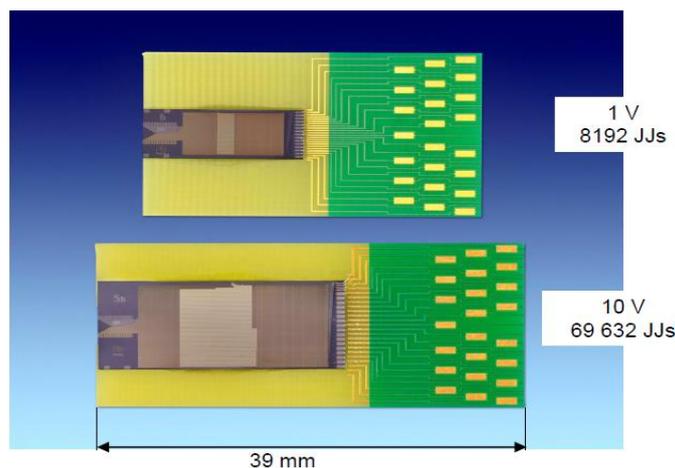


Fig. 1 - Imagens de *arrays* programáveis de tensões máximas de 1V e 10V, com 8 192 e 69 632 junções, respetivamente [8]

Para as limitações que surgem no sinal devido à transição entre degraus de tensão e que resultam na indefinição da tensão durante esse intervalo de tempo e na presença de elevado número de harmónicas da frequência para além da frequência fundamental, foram encontradas soluções que passam pela conjugação deste sistema com uma fonte separada de sinal AC a qual é referenciada ao sinal padrão gerado pelo *array* de Josephson, através da medição, por amostragem, recorrendo a um voltímetro ou conversor ADC diferencial, da diferença entre os dois sinais, apenas durante o intervalo de tempo de duração estável dos degraus de tensão. Torna-se, assim, possível obter um “sistema gerador de ondas” rastreado diretamente ao efeito Josephson [7].

Para a implementação prática deste sistema, cuja representação gráfica dos sinais de tensão se apresenta num exemplo na figura 2, é essencial um controlo do sincronismo entre os diferentes equipamentos envolvidos, nomeadamente a fonte de corrente de polarização do *array*, o gerador de ondas e o voltímetro ou ADC diferencial, e a capacidade de estabelecer uma comunicação de dados que não interfira com esse sincronismo.

Dependendo das características metrológicas do equipamento envolvido, nomeadamente da estabilidade do sinal do gerador de ondas e do desempenho do voltímetro ou ADC diferencial, é possível chegar a valores, para a incerteza combinada do sinal padrão gerado, na ordem das décimas de microvolt [7], no caso de um *array* de 1 V.

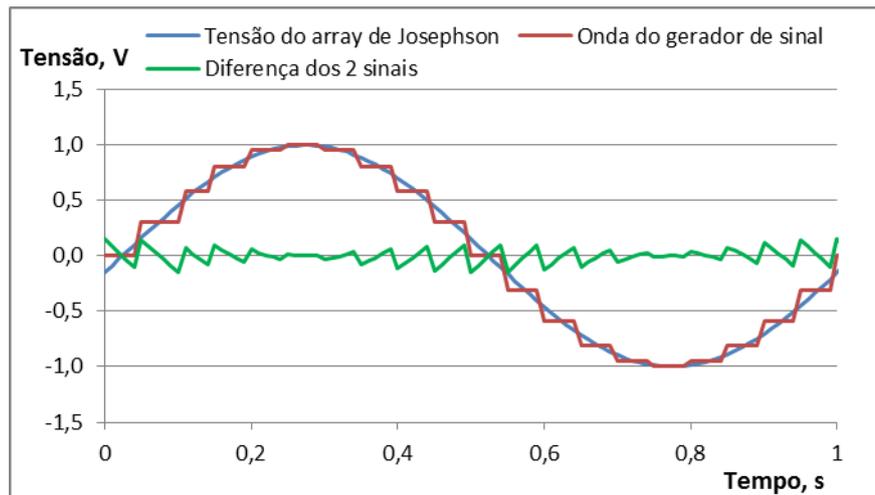


Fig. 2 - Representação gráfica dos sinais de tensão de um gerador de ondas rastreado ao efeito de Josephson

ARRAYS DISCIPLINADOS POR IMPULSOS

(PULSE-DRIVEN ARRAYS)

Uma segunda abordagem, surgida em 1990, tem sido desenvolvida para a criação de um padrão de tensão para aplicações no domínio das grandezas alternadas. Estes *arrays* operam através da variação da frequência de irradiação de micro-ondas sinusoidais de forma a afetar a transferência do fluxo de energia nas junções. Esta abordagem apenas se verifica para frequências próximas da frequência de operação do *array*, o que implica que a modulação do sinal de saída por alteração da frequência das micro-ondas de irradiação não se vislumbra possível. Contudo, esta limitação desaparece se a irradiação for proporcionada por trens de impulsos curtos. A forma de onda gerada é codificada pelo trem de impulsos onde a amplitude do sinal gerada é proporcional à taxa de repetição dos impulsos.

Formas de onda de saída arbitrárias podem ser assim sintetizadas através da modulação do trem de impulsos, utilizando geradores de padrão de impulsos. Estas versões de *arrays* Josephson são também chamadas de Sintetizadores de Formas de Onda Arbitrárias (Josephson *Arbitrary Waveform Synthesizer* - JAWS). Este tipo de geração de sinal tem a vantagem de produzir sinais com uma extrema pureza espectral com supressões superiores a 100 dB para harmónicas, verificando-se a existência de uma única risca no espectro dos sinais assim gerados [8, 9].

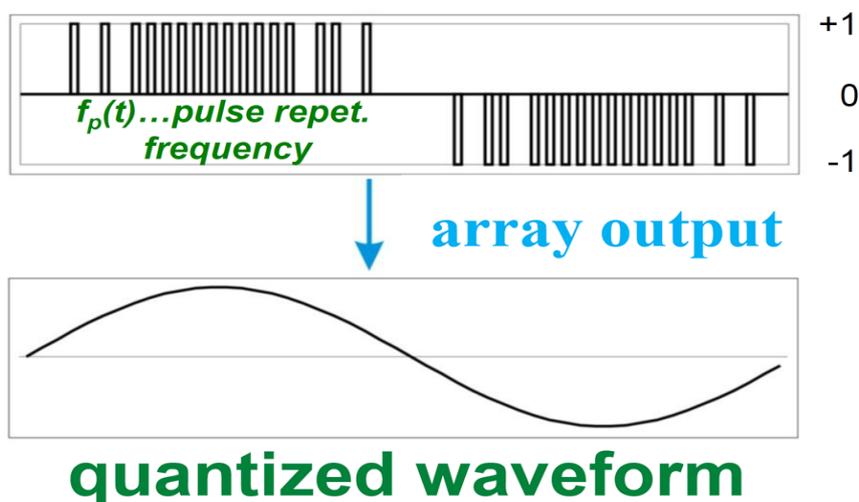


Fig. 3 - Representação gráfica da relação entre o trem de impulsos necessário para a quantização de um sinal sinusoidal [8, 9].

APLICAÇÕES

Como já referido, ao longo de décadas a tensão alternada tem sido caracterizada a um nível metrológico elevado através utilização de termoconvertidores. Hoje, as incertezas intrínsecas associadas às técnicas de implementação das realizações experimentais atrás expostas permitem prever a sua utilização e aplicabilidade nos seguintes domínios de intervenção, para os quais a sociedade anseia rapidamente por soluções viáveis:

Medições no domínio das grandezas contínuas

Para a geração e medição no domínio das grandezas contínuas, foi já demonstrado que estes tipos de dispositivos são de superior qualidade e aplicabilidade quando comparados com os *arrays* convencionais, nomeadamente quanto à facilidade de programação, robustez na sua automação, confiança na sua utilização, uma muito maior rapidez na comutação e melhores incertezas proporcionadas.

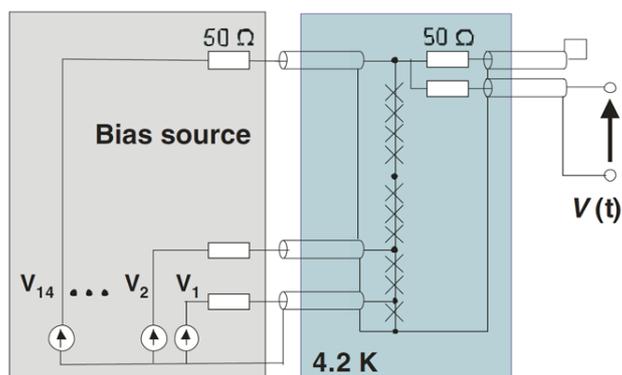


Fig. 4 - Esquema básico de utilização de um *array* programável [8,9]

Voltímetro AC quântico

A conjugação de um dos sistemas atrás descritos, para geração de uma tensão AC, com um detetor de nulo, permite criar uma configuração de um “Voltímetro AC quântico” e assegurar dessa forma a sua aplicação na calibração de fontes de tensão AC [8,9].

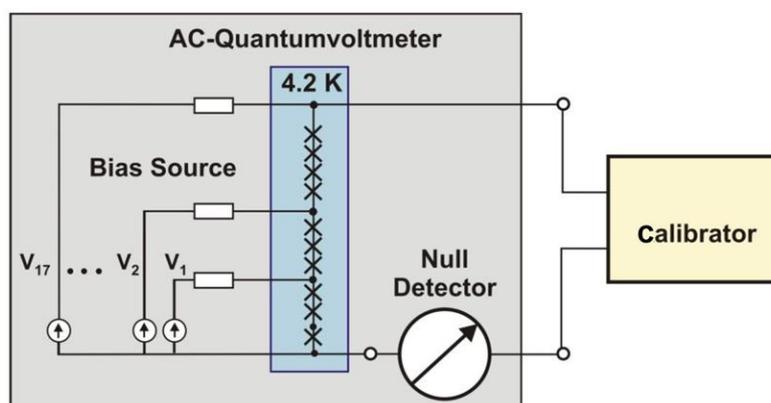


Fig. 5 - Esquema simplificado de um sistema padrão para caracterização de referências AC [8,9]

Calibração de termoconvertores

As diferenças AC-DC dos termoconvertores são calculadas a partir das diferenças determinadas entre os valores lidos e os valores teóricos proporcionados pelas tensões de Josephson, a partir da leitura de nanovoltímetros e a sintetização, em sequências DC+ AC DC- e em intervalos regulares, de sinais positivos, negativos e valores eficazes similares.

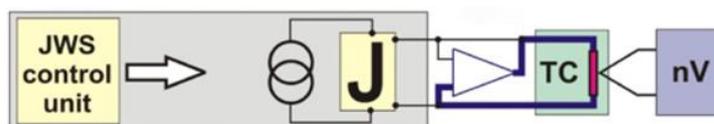


Fig. 6 - Esquema simplificado de um sistema padrão para caracterização de termocavores [8,9]

Caracterização de ADC

A aplicação direta da tensão do *array* a um voltímetro ou ADC permite, através de técnicas de amostragem, caracterizar o sistema de medição:

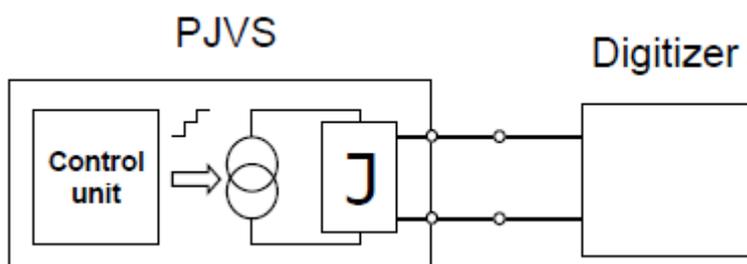


Fig. 7 - Esquema simplificado de um sistema padrão para a caracterização de ADC [8,9]

Pontes de impedâncias

Outras aplicações, envolvendo 2 *arrays* em interligados em configuração de ponte, asseguram a rastreabilidade direta do resultado da medição da razão entre 2 impedâncias à tensão Josephson:

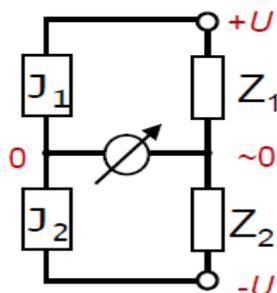


Fig. 8 - Esquema simplificado de pontes de impedâncias [8,9]

Incorporação em padrões de potência

No domínio da potência e energia, a utilização de *arrays* programáveis é já hoje uma realidade nos laboratórios de referência mundial, nomeadamente pela utilização da vantagem proporcionada

pelos dispositivos com capacidade de geração de 10 V que permite a comparação direta com os níveis de sinal da medição de potência ativa, reativa e aparente, para valores nominais típicos de até 5 A na comparação simultânea com o equipamento em teste, obtendo-se incertezas de algumas partes em 10^6 .

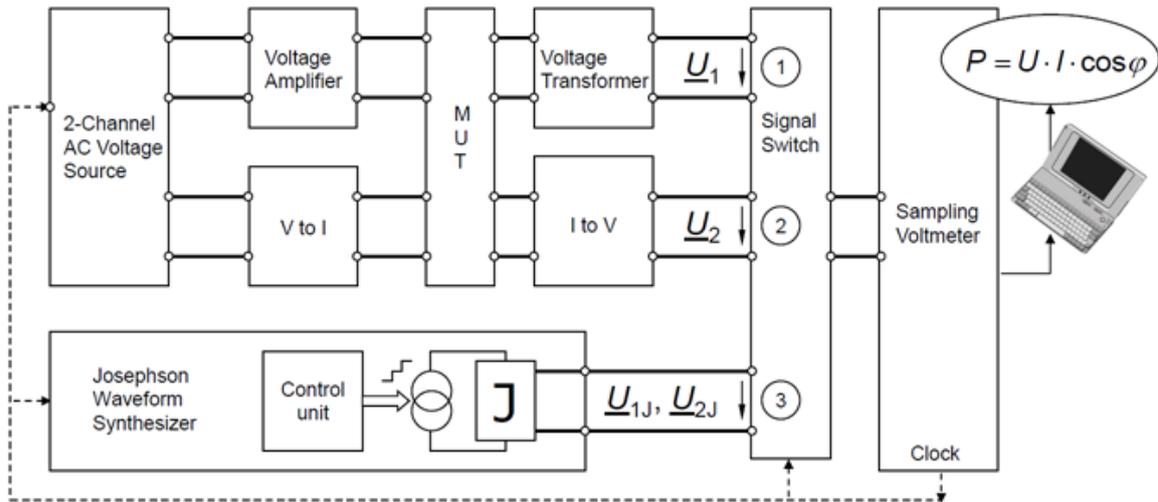


Fig. 9 - Exemplo esquemático de incorporação de um *array* de Josephson num padrão de potência e energia [10]

Tabela 1: Resumo do estágio de desenvolvimento atual relativo às aplicações de *arrays* de Josephson como padrões primários

Tipo de dispositivo	Estádio de desenvolvimento	Desempenho e limitações	Aplicações
<i>Arrays</i> histeréticos de polarização contínua	Materialização da unidade elétrica para as grandezas contínuas realizada pela maioria dos Laboratórios Nacionais	1 V, 10 V, incertezas que rondam algumas partes em 10^{10}	Calibração de referências eletrônicas, calibradores; caracterização de voltímetros de elevada exatidão; caracterização de ADC.
<i>Arrays</i> programáveis segmentados de forma binária	Transferência de conhecimento dos Laboratórios mais desenvolvidos para os restantes Laboratórios, desenvolvimento em curso	Geração de sinais até 3 kHz	Voltímetro AC quântico; Calibração de ADC; calibração de termoconversores; incorporação em padrões de potência;
<i>Arrays</i> disciplinados por impulsos	Primeiras aplicações em curso	Amplitudes de sinais com algumas centenas de milivolt e de extrema pureza espectral	Pontes de impedância.

SUMÁRIO

As últimas décadas permitiram assistir ao desenvolvimento e aplicação de técnicas associadas ao efeito de Josephson, no domínio da metrologia elétrica de elevada exatidão, com tal sucesso, que hoje já não se torna possível realizar qualquer intervenção no estabelecimento da cadeia de rastreabilidade sem a utilização ou menção aos *arrays* de Josephson como dispositivos de referência.

O desenvolvimento de *arrays* programáveis, veio trazer uma nova dinâmica ao estabelecimento daquela cadeia, transpondo para o domínio das grandezas alternadas a autonomia permitida pela utilização das constantes fundamentais, uma maior automação pelo recurso a sistemas de medição e controlo e um elevado desempenho obtido através das muito reduzidas incertezas possíveis de serem alcançadas pelo recurso a técnicas de amostragem.

Neste artigo pretendeu-se resumir o estado do desenvolvimento tecnológico atual naqueles domínios relacionados com as grandezas alternadas e as aplicações que se prevê possam beneficiar destas novas tecnologias. A partir dos trabalhos de demonstração de capacidades, investigação de parâmetros de amostragem, validação de metodologias e comparação de resultados, é hoje razoável admitir que os padrões primários AC por recurso a *arrays* programáveis são sistemas robustos, práticos e que satisfazem as necessidades dos laboratórios de metrologia elétrica nas necessidades de calibração dos equipamentos comuns da indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Josephson Voltage Standards – Recommended Intrinsic/Derived Standards Practice*, RISP-1, January 2002, available from the National Conference of Standards Laboratories, USA.
- [2] Pöpel, R., *The Josephson Effect and Voltage Standards*, Metrologia, 1992, 29, 153-174.
- [3] Hamilton, Clark A., *Josephson Voltage Standards*, Review of Scientific Instruments, October 2000.
- [4] Ribeiro, L., Nunes, M., *Implementação do Efeito de Josephson no Laboratório Primário Português para as Grandezas Elétricas*, Proceedings – 6.º Seminário Internacional de Metrologia Elétrica, setembro de 2005, Rio de Janeiro, 38-41.
- [5] Johannes Kohlmann, Ralf Behr (2011). *Development of Josephson voltage standards, Superconductivity - Theory and Applications*, Dr. Adir Luiz (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/17031. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/superconductivity-theory-and-applications/development-of-josephson-voltage-standards>
- [6] Vincenzo Lacquaniti and Andrea Sosso (2012). *Josephson Junctions for Present and Next Generation Voltage Metrology*, Modern Metrology Concerns, Dr. Luigi Cocco (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/36429. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/modern-metrology-concerns/josephson-junctions-for-present-and-next-generation-voltage-standard>.

- [7] J.M. Williams, Dr. Hederson, J. Pickering, R Behr, F. Muller, P. Scheibenreiter: “*Quantum-referenced waveform synthesiser*”, IET Science, Measurement and Technology, 2011, Vol.5, Iss5, pp. 163-174.
- [8] Joint Research Project 14RPT01 ACQ-PRO: Towards the propagation of AC Quantum Voltage Standards, “Collection of training materials”. Disponível em: <http://acqpro.cmi.cz/index.php/results/14-results-collection>.
- [9] Ralf Behr, Oliver Kieler, Johannes Kohlmann, Franz Muller and Luis Palafox. “*Development and metrological applications of Josephson arrays at PTB*”. Meas. Sci. Technol. 23 (2012) (19pp).
- [10] L. Palafox et al, *The Josephson-Effect-Based Primary AC Power Standard at the PTB*, Progress Report, IEEE Tr. Instrum. Meas., vol.58, No.4, Apr. 2009.

A DEMOCRATIZAÇÃO DA METROLOGIA EM QUÍMICA¹

Ricardo Bettencourt da Silva

Departamento de Química, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

1. A Relevância Socioeconómica da Metrologia em Química

Hoje em dia, a gestão de múltiplas atividades humanas modernas recorre direta ou indiretamente a resultados de medições em química como acontece com a gestão da saúde individual, da qualidade dos alimentos ou das características químicas de materiais usados na produção de artefactos. A relevância das medições em química é mais evidente quando se contabilizam os 25 % da legislação da União Europeia que indicam a realização de ensaios químicos, enquanto cerca de 15 % da legislação indica a realização de outros tipos de ensaios [1]. Um dos pilares mais relevantes da União Europeia indica um controlo regular da composição química de diversos produtos com relevância socioeconómica. Estas avaliações químicas são igualmente importantes para gerir as interações da União Europeia com países terceiros.

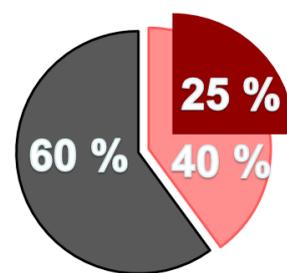


Fig.1: Cerca de 25 % da legislação da União Europeia indica a realização de ensaios químicos.

O levantamento dos recursos financeiros investidos em medições na União Europeia, no ano de 2011, permitiu concluir que cerca de 800 000 milhões de euros, ou seja 1 % do PIB, foram gastos nesse ano em diversos tipos de medições [2].

Apesar da relevância dos ensaios químicos, os resultados de avaliações do desempenho dos laboratórios em sectores de atividade altamente regulamentados indicam que cerca de 5 % a 30 % das medições não têm qualidade adequada ao fim em vista. Esta percentagem será mais elevada nos sectores de atividade menos escrutinados no que respeita à qualidade das medições, que não são necessariamente menos relevantes em termos socioeconómicos.

2. A Especificidade das Medições em Química

As medições em química distinguem-se das medições de muitos parâmetros físicos pelo facto dos procedimentos e referências de medição terem de diferir com a matriz na qual o parâmetro é

¹ Baseado na palestra proferida a 20 de maio de 2016, nas comemorações do Dia Mundial da Metrologia no IPQ.

determinado. A medição da massa convencional de produtos agrícolas ou de um carro de alta competição é determinada usando balanças baseadas nos mesmos princípios e calibradas recorrendo a massas de referência de aço inox equivalentes. Por outro lado, a medição do teor de chumbo em água de consumo humano ou num alimento de origem vegetal envolve a utilização de procedimentos e materiais de referência diferentes. A determinação de chumbo em alimentos sólidos envolve a digestão via-húmida da amostra e o material de referência usado deve ter uma matriz equivalente à do item analisado.

Se forem contabilizadas todas as combinações de parâmetros químicos e matrizes com relevância socioeconómica, conclui-se que dificilmente será possível produzir referências da mais alta qualidade metrológica para todos estes casos.

3. A Qualidade das Referências das Medições em Química

Os recursos necessários à produção, conservação e distribuição de materiais de referência com valores de parâmetros químicos rastreados a unidades do Sistema Internacional, SI, serão dificilmente suportáveis por alguns sectores de atividade onde o número de ensaios realizados e/ou as mais-valias económicas do controlo não são suficientemente relevantes.

O que parece ser um impasse em termos da gestão das referências em química, indicando mesmo uma posição subalterna da metrologia química em relação a outros sectores onde as referências de elevada qualidade são comuns, é de facto uma oportunidade de reflexão sobre as necessidades de referências do sector de medição. Esta otimização de recursos poderá até ser útil para alguns setores de medições físicas.

Quando a medição tem como objetivo o acompanhamento de uma grandeza numa escala espaço-temporal alargada, como a contaminação de metil mercúrio em diversos rios ao longo das próximas décadas, é imperativo assegurar a disponibilização e utilização de materiais de referência com valores rastreados a unidades SI e onde o parâmetro é apresentado numa matriz equivalente à dos itens caracterizados (e.g. águas superficiais e sedimentos). Só referências com estas características asseguram a produção de informação adequada à definição de políticas de gestão dos recursos ao longo do tempo em que a avaliação do parâmetro se espera ser relevante.

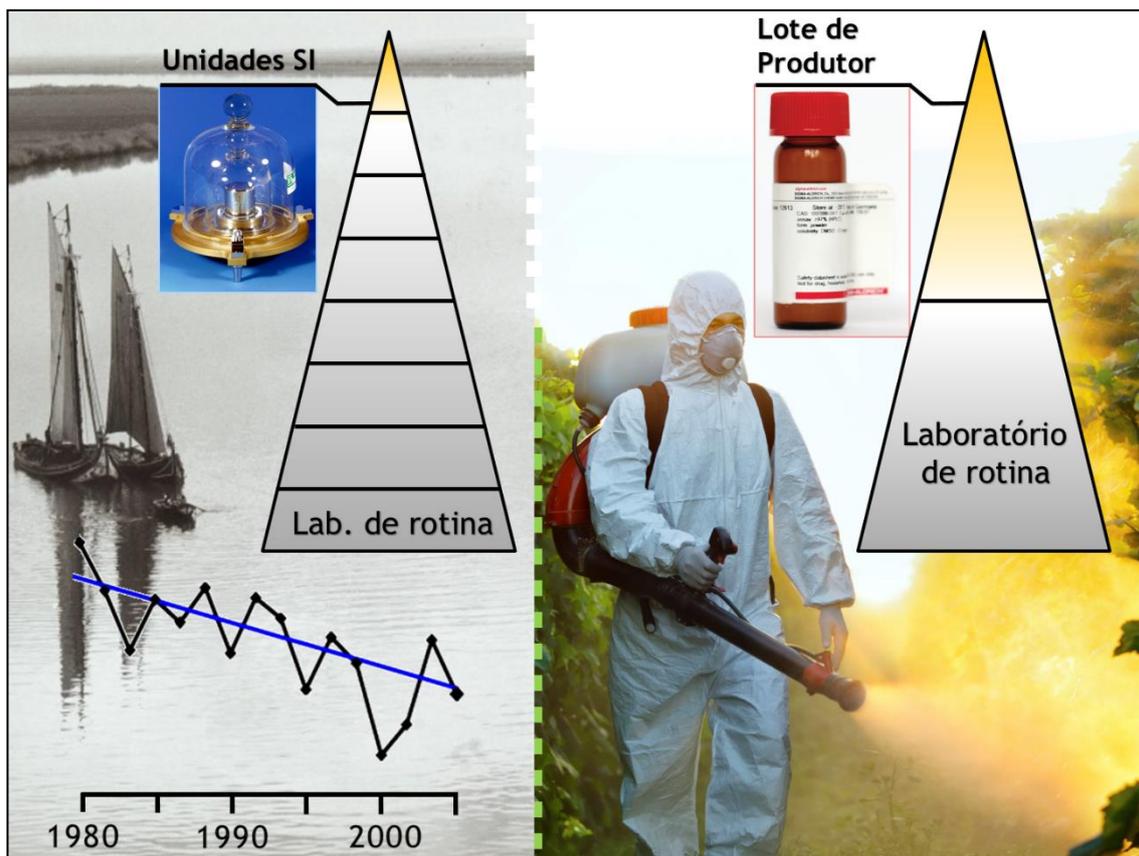


Fig.2: Rastreabilidade das medições em química às unidades SI, quando relevante, ou a um lote de padrões de fabricante se adequado ao objetivo.

No entanto, a monitorização da utilização e impactos de um pesticida lábil de utilização pouco frequente e expectavelmente por um intervalo de tempo relativamente pequeno da sua comercialização não precisam de referências tão dispendiosas. A utilização de materiais de referência com declarações de pureza convencionais, i.e. não rastreadas a unidades SI, produzidos pela empresa que explora a patente da substância ativa será adequada após uma avaliação externa sumária da qualidade geral da referência. Neste caso, a determinação do pesticida nas diversas matrizes deve-se basear em padrões preparados a partir do mesmo lote de substância de referência pura rastreando o resultado ao valor do padrão do fabricante. Caso o conteúdo dos padrões varie de lote para lote de forma significativa, deve-se proceder à atualização dos padrões usados na análise e avaliar se a instabilidade dos padrões afeta os interesses que se pretendem proteger com as determinações do parâmetro.

Apesar das fragilidades de rastrear medições ao valor de padrões de fabricantes, pedir a disponibilização de materiais de referência em matriz complexa relevante com valores de referência rastreados às unidades SI pode ser irrealista. A Norma ISO/IEC 17025:2015 [3] para a acreditação de laboratórios de ensaio e calibração, que apresenta os critérios internacionalmente aceites para

assegurar a competência organizacional e técnica para a realização de medições, prevê a utilização de referências com valores não rastreados a unidades SI, para os casos em que essa rastreabilidade não seja possível. Neste caso, os laboratórios devem assegurar que as referências usadas são consideradas adequadas pela comunidade e monitorizar o desempenho do laboratório através de um controlo externo da qualidade como a participação em testes de aptidão.

A utilização de procedimentos de medição baseados em isótopos do analito não ultrapassa as limitações económicas da produção de referências da mais alta qualidade metrológica porque a produção de padrões de isótopos é especialmente dispendiosa e a fortificação de isótopos em ambiente laboratorial pode não reproduzir interações relevantes entre o analito e a matriz das amostras ditas “reais”.

Assim, as medições em química são adequadamente geridas recorrendo a materiais de referência com valores rastreados a unidades SI, sempre que for pertinente assegurar a comparabilidade das medições num intervalo de tempo alargado, ou recorrendo a referências rastreadas a lotes de fabricantes se o foco do controlo for a utilização de produtos sintéticos sem impacto alargado e relevante no ambiente, saúde pública, património histórico ou outro interesse perene. Qualquer plano mais ambicioso do que o razoável está condenado ao fracasso e será responsável por uma falsa percepção de inadequada gestão das medições.

No entanto, a metrologia em química enfrenta outros desafios para além da qualidade das referências usadas.

4. Desafios da Metrologia em Química nas Avaliações de Conformidade

Hoje em dia, as medições em química são realizadas em avaliações de conformidade ou em investigação fundamental ou aplicada. A generalidade das avaliações de conformidade é realizada por laboratórios acreditados que procedem a validações detalhadas a sumárias dos procedimentos de medição, seguem programas de controlo da qualidade ajustados à qualidade das medições e reportam os resultados seguindo estimativas aproximadas da incerteza de medição. A incerteza de medição considerada nas avaliações de conformidade é, muitas vezes, determinada usando abordagens “top-down” que tendem a sobrestimar a incerteza. Na generalidade dos casos, estas abordagens são satisfatórias e, só em casos mais exigentes em termos metrológicos, os laboratórios acreditados têm de produzir estimativas de incerteza mais detalhadas para assegurar a produção de resultados com uma incerteza suficientemente baixa para o fim em vista. Em muitos sectores de atividade, os laboratórios não têm indicações diretas do regulador ou cliente sobre a

incerteza máxima admissível, designada 'incerteza alvo', dos resultados o que pode levar à produção de resultados mais dispendiosos ou incertos do que o necessário [4].



Fig.3: A democratização de conceitos e ferramentas em metrologia química.

Nalguns casos, tem-se a percepção de que um controlo metrológico mais fino da qualidade dos padrões de calibração e linearidade da resposta na qual se baseiam os procedimentos de medição reduziria a taxa de insucessos em testes de aptidão, mas a grande generalidade dos laboratórios desconhece as ferramentas para assegurar uma maior previsibilidade do desempenho das medições. O desenvolvimento de tutoriais e aplicações informáticas para a validação detalhada dos procedimentos de medição e para a avaliação fina da incerteza de medição seria um contributo útil para a melhoria da qualidade das medições em múltiplos laboratórios e sectores de atividade [5].

Os laboratórios acreditados também beneficiariam com um melhor domínio dos conceitos de mensuranda e rastreabilidade de medição que frequentemente permitem justificar divergências observadas quando se comparam resultados de diversos laboratórios. Por vezes, os resultados de dois laboratórios são significativamente diferentes porque as mensurandas definidas estão associadas a parâmetros diferentes ou os resultados estimados estão rastreados a valores de referência não comparáveis (i.e. rastreados a referências diferentes). Por exemplo, se um laboratório determinar o teor total de cádmio numa amostra de resíduo industrial e outro laboratório optar por determinar o teor de cádmio extraível com água em determinadas condições de temperatura e pH noutra porção da mesma amostra, só quando todo o cádmio presente na amostra for solúvel em água é que as incertezas de medição serão capazes de explicar as diferenças observadas nos valores de grandeza estimados das duas mensurandas diferentes. Se o teor do inseticida permetrina for determinado no mesmo vaporizador de uso doméstico por dois laboratórios

que usam padrões de permetrina cuja declaração de pureza não é comparável (e.g. pureza determinada por GC-FID e GC-MS com sensibilidades diferentes a impurezas), os resultados poderão diferir significativamente por estarem rastreados a referências diferentes.

5. Desafios da Metrologia em Química em Investigação Fundamental e Aplicada

Os desafios da metrologia em química em investigação fundamental e aplicada são mais óbvios, visto que quase tudo está por fazer ao nível da avaliação da qualidade das medições em química que suportam investigação com diversos âmbitos e objetivos.

As falhas ao nível do conhecimento da qualidade das medições e da forma de interpretar corretamente as evidências analíticas terão certamente eliminado soluções tecnológicas e terapêuticas promissoras que seriam consideradas viáveis se a experimentação fosse controlada adequadamente. A interpretação das evidências analíticas, com base na perceção subjetiva e potencialmente errada do analista sobre a qualidade das quantificações, pode levar a considerar não significativa uma diferença ou tendência materialmente relevante ou pode levar a concluir que uma determinada evidência é erradamente relevante. Os impactos da interpretação errada destes dados são função da relevância socioeconómica da investigação realizada.

Tendo em conta que muitos setores de investigação são exigentes em termos metrológicos, os progressos nestas áreas de investigação só serão possíveis através do envolvimento da comunidade metrológica nos diversos setores suportado no desenvolvimento de tutoriais e aplicações informáticas que permitam a disseminação mais alargada das ferramentas desenvolvidas.

6. Conclusão

A relevância das medições em química é indiscutível mas, muitas vezes, estas, em vez de contribuírem para a solução do problema em estudo, introduzem alguma arbitrariedade e conseqüente perda de confiança nas avaliações.

A gestão da qualidade das referências será porventura o problema mais difícil e sensível na metrologia em química. As medições em química que se pretendem comparar com dados a reunir nas próximas décadas devem-se basear em referências rastreadas às unidades SI devido à estabilidade que estas unidades garantem à medição. No entanto, nos casos em que o parâmetro químico tem um interesse limitado no tempo, deve-se viabilizar a utilização de padrões de

fabricantes com valores não rastreados às unidades SI se todos os riscos da utilização de referências instáveis forem acautelados.

Em alguns sectores de avaliações de conformidade, em química, seria pertinente disseminar alguns conceitos metrológicos fundamentais para melhorar a qualidade das medições e evitar conflitos entre laboratórios que tentam comparar resultados de determinações de mensurandas diferentes ou rastreados a referências independentes.

É urgente promover a qualidade das medições em química usadas em estudos de investigação fundamental e aplicada para assegurar que os recursos investidos nestes estudos são eficazes e a sociedade tem o retorno esperado desta atividade.

A formação em metrologia química e a disponibilização de tutoriais e aplicações informáticas para a utilização das ferramentas metrológicas mais exigentes serão porventura contribuições importantes para a promoção da qualidade das avaliações quantitativas em química.

Agradecimentos

Este artigo beneficiou com os comentários e sugestões do Doutor Olivier Pellegrino e da Doutora Florbela Dias que muito agradeço, não os vinculando às conclusões enunciadas.

REFERÊNCIAS

1. Estimado pelo Instituto de Medições de Materiais de Referência da Comissão Europeia, ver <https://ec.europa.eu/jrc/institutes/irmm/>.
2. G. Williams, *The Assessment of the Economic Role of Measurements and Testing in Modern Society*, Pembroke College, Oxford, 2002.
3. NP EN ISO/IEC 17025:2005, Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração, IPQ, 2005.
4. R. Bettencourt da Silva, A. Williams (Eds.), *Eurachem/CITAC Guide: Setting and Using Target Uncertainty in Chemical Measurement*, (ISBN 978-989-98723-7-0 & ISBN 978-989-98723-6-3) 2015.
5. Ricardo J. N. Bettencourt da Silva, Spreadsheet for designing valid least-squares calibrations: A tutorial, *Talanta* 148 (2016) 177-190. (<http://webpages.fc.ul.pt/~rjsilva>).

A MEDIÇÃO EM QUESTÃO

Marie-Ange Cotteret

Métrodiff

Preâmbulo

Iniciei-me em metrologia com Pierre Giacomo, então Diretor honorário do Bureau Internacional dos Pesos e Medidas (BIPM) ¹ e com os meus colegas dos laboratórios de metrologia científica, legal e industrial. Apresentei a minha tese de doutoramento « Métrologie et enseignement » em 2003.²

No início, formadora e chefe de projetos educativos e sociais durante mais de 20 anos, interagiu com grupos de pessoas que querem aprender, pessoas em dificuldade, jovens e adultos que se organizam e balizam os seus conhecimentos e suas capacidades. Juntos, aprofundámos as questões do sentido, do bom senso e da medida, valores colocados ao serviço da inteligência coletiva e da benquerença.

Com alguns metrologistas, fundámos em 2000 a associação Métrodiff³ que tem por objetivo a difusão de uma cultura metrológica para um maior número de pessoas. Perguntas sobre a medição, sobre a respetiva profundidade histórica, social, filosófica e espiritual são colocadas aos metrologistas e aos cientistas e, além, aos membros de uma sociedade em que indivíduos e grupos se organizam para fazer face à desorientação crescente dos sistemas de valores e elaboram soluções novas para resolver problemas novos que se colocam e se colocarão a todos.

O Nascimento da Metrologia Universal

A partilha equitativa dos conceitos de medição e de valores é central em cada sociedade civilizada.

Sobre tempos longos e provas históricas confirmadas fazem aparecer um facto recorrente : a *desmedida* gera a *medida* que regressa curiosamente à ribalta quando se trata de unidade social e de redistribuição dos recursos.

A medição faz parte dessas ações quotidianas, tão familiares que esquecemos pensar nela, enquanto se estruturam as tomadas de decisão das nossas sociedades. Pouco a pouco, desde há milénios, a metrologia tem obtido um reconhecimento de linguagem operacional com vocação universal para as ciências, as técnicas e muitos dos atos elementares realizados nas nossas sociedades.

A palavra *metrologia* nasceu em 1780. É a ciência da medição e das suas aplicações. O termo

¹ Pierre Giacomo foi diretor do BIPM de 1978 a 1988

² <http://mac.quartier-rural.org/these/these2.html>

³ metrodiff.org

abrange hoje em dia o conjunto da metrologia científica, aplicada e legal e substituiu, pouco a pouco, o domínio dos « Pesos, Medidas e Moedas » herdado dos nossos muito Antigos.

O sistema métrico decimal e a divisão decimal das unidades de medida nasceram à época da Declaração dos Direitos do Homem e do Cidadão. É a partir do decreto da Convenção do 18 germinal do ano 3⁴ (7 abril de 1795), que deve ser aplicada a lei métrica em França. Doravante, cada um, do mais poderoso ao mais humilde, utilizará um mesmo sistema de unidades de medida e poderá gerir os seus próprios negócios e evitar as armadilhas e as fraudes metrológicas.

O projeto das Luzes é universal. A reivindicação de universalismo, no caso da metrologia, iria impor essa atividade naturalmente, como a gravitação universal, a todos os seres humanos, mas essa atividade imemorial, idealmente com base na partilha de mesmos valores e de mesmas referências, tem por vocação ser utilizada por todos os seres humanos, para além das suas afiliações políticas, culturais e religiosas.

A escolha de partilhar uma métrica comum, feita posteriormente (1875) pela coletividade mundial, não é um abandono da identidade mas, pelo contrário, a abertura de uma porta para o outro ao serviço de todos.

A raiz sanskrita da palavra medida seria *māa**. De onde vem a palavra *maya*, a ilusão e a magia. A primeira declinação de *mé** em indo-europeu é o radical *med**. De onde vêm médico, medical, meditar... Esse mesmo radical declina-se em *met**, *mens**, *ment**, *mod**. Cuidar, governar, pensar, refletir, pesar, julgar, meditar, imaginar, inventar, avaliar, estimar, equilibrar... Todos esses verbos de ação têm significado no domínio da medição.

Pacto Metrológico, Pacto de Confiança, Pacto de Reconhecimento

A longevidade da civilização faraónica no Egipto baseia-se desde a origem no conceito de « maât » que exprime simultaneamente *medida, confiança, ordem e equidade*. Para fazer « maât » inteligível e eficaz para cada um e para todos, o conceito é deificado e fica mais alto numa organização simbólica poderosa que durará mais de que 3 milénios. A Grande Deusa Maât, jovem mulher bonita usando uma pena de avestruz com chapéu, dinamiza e personifica a medida, a equidade, a ordem, a solidariedade, a benquerença e a prosperidade geral. Cada um e todos referem-se a ela. Durante a psiquostasia, ou pesagem das almas, Maât oficia junto do Thot, o Grande Agrimensor. Pesar os seus atos durante a sua vida e dar contas das suas ações na passagem da vida para a morte parece um ritual funerário universal.

⁴ http://www.metrodiff.org/cmsms/index.php/histoire/18_germinal_an_3.html

A balança é o símbolo da justiça divina e da justiça humana.

O pacto metrológico baseia-se no acordo de um contrato de confiança mútua. Um contexto cultural pacificado à escala do planeta reconhece que todas as civilizações do mundo têm contribuído desde milénios e contribuem e contribuirão ainda na construção desta linguagem comum universal para chegar a acordo sobre valores e os meios de protegê-los.

Como está este *Sistema Internacional* herdado dos trabalhos dos Antigos vocacionados « *para todos os tempos e para todos os povos* » ? Apenas o mercado serve como instrumento de medição, enquanto não possui as suas qualidades e, face à instabilidade e aos excessos do mundo atual, é necessário regressar às medidas verdadeiras.

Evolução da Necessidade de Medições

O físico inglês Lorde Kelvin (1824/1907), conhecido pelos seus trabalhos em termodinâmica, teria expressado o facto que: «uma mudança de sistema de unidades de medida não tem consequências sobre os sistemas de pensamento, a não seja a evolução das ideias que leve ao modificar radicalmente as unidades de medida.»⁵

Durante milénios, o ser humano mede o mundo que o rodeia com ajuda do que tem de mais sensível, o seu corpo. O seu pé, a sua mão, a sua palma, o contido nos seus braços, o seu dia de trabalho, o seu tempo de marcha são referências bem úteis no quotidiano. Hoje em dia, a evolução da metrologia vai ao encontro do sensível, do singular.

Cada vez mais, procuramos medir e valorizar perceções, interiorizadas como o desenvolvimento humano, o bem-estar territorial ou a felicidade interna bruta, e mesmo quantificar a nossa pegada ecológica⁶⁷. Cada vez mais, utilizamos instrumentos de medição para conhecer em contínuo o nosso estado físico e energético, estabelecer os nossos desempenhos a partir de indicadores (o número quotidiano dos nossos passos, o nosso ritmo cardíaco, a nossa tensão arterial, etc..) e, caso for necessário, decidir mudar de comportamento.

A «metrologia pessoal» cujos primeiros contornos desenhei⁸ é um método simples : uma função vital do ser que aprende a conhecer-se a si próprio e a reconhecer o seu ambiente para sobreviver, viver e evoluir. A «metrologia coletiva» permite organizar a co-responsabilidade do mundo e ultrapassar as correlações do poder que invadem o corpo social com a sua desmedida e o seu egotismo.

⁵ S. Vedelago «Isotopes, Mesure et démesure» n.º 13, décembre 1995, p. 38

⁶ D. Bretelle Desmazières «Terre 2100: imaginer un futur idéal», Les Editions Ovadia, 2009

⁷ D. Bretelle Desmazières «Autres domaines d'application de la mesure», disponível em <http://www.metrodiff.org/cmsms/index.php/metrologie-contemporaine.html>

⁸ M.A. Cotteret « Mesurez-vous ! De la métrologie à l'autonomie », Les Editions Ovadia, 2008

Trabalhos de investigação-ação, em que participo, mostram que o exercício da co-construção de dispositivos de avaliação participativos tem efeitos positivos sobre o bem-estar individual e coletivo. Esses dispositivos em que *todas* as partes participantes co-produzem soluções, melhoram a saúde moral e física dos participantes e devolvem uma imagem à ação social e ao trabalho voluntário.

A experiência de ações sociais nos territórios com populações frágeis ou não mostra claramente que a co-construção de um espaço comum em que se elaboram e se transmitem com rigor e benquerença das ferramentas de medição (indicadores) tem também por efeito de articular uma política baseada na confiança mútua e recíproca à volta de práticas comuns.

Esta mudança de ponto de vista testemunha uma evolução cultural: a ação social e do apoio à pessoa tornam-se um reconhecimento do outro pela colocação em comum de valores comuns de solidariedade e de cidadania e pela capacidade de ter ferramentas para co-agir. É reatar com uma metrologia que não é unicamente ao serviço da técnica, da ciência ou do poder económico, mais nutrida no seio do espaço social das relações de confiança e de benquerença.

Em numerosos trabalhos, as medidas de impacto, a qualidade dos dados e as dos dispositivos de avaliação, a co-construção de indicadores e de novos valores sociais de governança estão a ser questionados. Ficar de acordo sobre valores comuns requer harmonizar métodos e procedimentos de medição em domínios tão variados como a economia social e solidária (ESS), os serviços, a ação social sobre os territórios, a qualidade metrológica dos indicadores de desempenho, etc.

Conclusão

Alguns modos operatórios da metrologia tradicional são provavelmente transponíveis ao nível dos sentidos e da subjetividade. Permitem ficar de acordo sobre o que é um resultado de medição fiável. Um preâmbulo mantém-se indispensável: adquirir regras fundamentais relativas à cultura metrológica e aos princípios que subtendem a « boa » e justa medida.

O operador de medição, qualquer que seja ele e qualquer que seja a natureza do que é medido, é rigoroso, honesto, atento, minucioso, metódico, paciente. Utiliza métodos e procedimentos validados, rastreáveis e reprodutíveis. Verifica a sua operação de medição, várias vezes se necessário. Faz uma estimativa de incerteza, parte integrante do resultado que adiciona nos seus resultados. Regista e comunica os seus dados e a maneira como os obteve. Uma medida não se toma, dá-se.

Finalmente, a medida define um caminho de verdade, no sentido de « maât » e constrói o da lucidez.

Fim

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jamila Al-khatib, Jean Bastie, Anne-Marie Breuil, Pierre Desbordes, Michèle Desenfant, Thierry Gaudin, Marc Himbert, Patricia Loué, Eric Plantard et Bernard Rougié que contribuíram através dos nossos olhares cruzados, à redação do presente texto e também a António Cruz, Eduarda Filipe, Stephen Glasgow, Olivier Pellegrino e Kimberley Sutherland, tradutores do artigo.

REFERÊNCIAS



Marie-Ange Cotteret é formadora e chefe de projetos educativos e sociais em atividade, doutorada em educação.

Presidente da associação Métrodif⁹ cujo objetivo é a partilha e a difusão de uma base de cultura metrológica.



Membro do Conselho científico da “Alliance pour l'Innovation Relationnelle – A.I.R.”¹⁰

Investigadora associada ao Laboratório DICEN - Paris¹¹

Empreendedora associada à “Coopérative d'Activité et d'Entrepreneurs – Ozon”¹²

⁹ <http://www.metrodiff.org/>

¹⁰ <http://www.air-fund.net>

¹¹ <http://www.dicen-idf.org/equipe/>

¹² <http://www.ozon-cooperer.org/entreprise-partagee>



Do “k” no kilograma e no kilometro

Em 1789, nos *Cahiers de Doléances* do Reino de França, foi requerida a uniformização dos pesos e medidas, pois, existia uma profusão de unidades de medida, sendo cada uma associada a valores que mudavam com a época do ano e com a circunscrição senhorial! Assim, a Assembleia Nacional obteve do Rei Luís XVI a criação de uma comissão de cientistas para a introdução de um novo sistema de medidas válido para todo o reino com duas decisões revolucionárias: a primeira, de criar uma divisão decimal para as unidades de medida e moeda, de acordo com o sistema de numeração universalmente usado; a segunda, de criar um novo sistema a partir de um único padrão de medição, o padrão de comprimento, cuja universalidade e estabilidade temporal são garantidas por ter origem na Natureza. Neste sistema métrico decimal, a unidade de massa era o grave (do adjetivo que em latim significa “pesado”), por definição igual à massa de um decímetro cúbico de água à temperatura de congelação, i.e. 1 kg. Este primeiro sistema métrico decimal provisório, apoiado pela *Académie des Sciences de l’Institut de France* em 1792, foi institucionalizado por decreto em 1 de agosto de 1793. Nesses tempos conturbados, de guerras e crises económicas agudas, é publicada a lei constitutiva do sistema métrico decimal em 7 de abril de 1795. Esta lei define novas unidades como o are, o litro e o grama assim como os prefixos multiplicativos deci, centi, deca, hecto e kilo. Enquanto estes dois últimos são adaptados das palavras gregas *hekaton*, por cem, e *khilioi*, por mil, a designação da nova unidade de massa provém da palavra grega *gramma* que é uma transcrição errada da unidade de massa romana *scrupulum* em *scripulum* que significa “sinal escrito”.

A designação “kilogramme” foi dada inicialmente ao “Kilogramme des Archives” adotado em França como padrão de massa em 1799. A palavra resultou da junção do prefixo “kilo” à unidade “gramme”, segundo uma regra em que os prefixos dos múltiplos tinham origem do grego e os dos submúltiplos do latim. A formulação final adotada para cada um dos casos de ambas as famílias dos prefixos foi simplificada para melhor uso comum. Se, na escolha dessa formulação, tivesse sido seguida inteiramente a origem grega, para o prefixo correspondente ao milhar, teríamos “chilioi” e não “kilo”, “ch” e não “k”. Certamente nas discussões científicas para a escolha dos prefixos no final do século XVIII, houve lugar a essa ponderação e boas devem ter sido as razões da escolha do kilo

para o prefixo multiplicativo com símbolo k. É mesmo caso para dizer que ainda bem que não foi seguida a origem na sua pureza, pela óbvia maior simplicidade. Recorda-se que, em 1794, antes da adoção do “Kilogramme des Archives”, Lavoisier, referindo-se às novas unidades do metro e do kilograma, afirmou: “Jamais rien de plus grand et de plus simple, de plus cohérent dans toutes ses parties, n’est sorti de la main des hommes”.

Na língua portuguesa, o kilograma e o kilometro com “k” foram introduzidos pela lei de 13 de dezembro de 1852 de Dona Maria II, que adotou o Sistema Métrico, publicada no Diário do Governo de 22 de dezembro, como pode ser lido aqui:

MEDIDAS DE PESO	MEDIDAS ITINERARIAS
Tonelada metrica — 1000 kilogrammas.	Myriametro — 10000 metros.
Quintal metrico — 100 kilogrammas.	Kilometro — 1000 metros.
Kilogramma — peso no vacuo de um decimetro cubico de agua distillada, na temperatura de quatro graus acima da temperatura do gelo fundente.	Hectometro — 100 metros.
Hectogramma — 100 grammas.	
Decagramma — 10 grammas.	MEDIDAS USUAES DE COMPRIMENTO
Gramma — 1 gramma.	Decametro — 10 metros.
Decigramma — Decimo de gramma.	Metro — unidade fundamental dos pesos e medidas — decima-millionesima parte de um quarto do meridiano terrestre.
Centigramma — Centesimo de gramma.	Decimetro — decima parte do metro.
Milligramma — Millesimo de gramma.	Centimetro — centesima parte do metro.
	Millimetro — millesima parte do metro.

NOMES	VALORES
SYSTEMATICOS	
Myriametro. . .	10000 metros
Kilometro. . .	1000 metros
Hectometro. . .	100 metros
Decametro. . .	10 metros
Metro	1 metro, unidade fundamental
Decimetro. . .	0,1
Centimetro . .	0,01
Millimetro. . .	0,001

A Reforma Ortográfica de 1911 manteve as grafias kilograma e kilometro, exceções à proscrição das letras k, w e y no alfabeto português, pois introduzia o uso das respetivas grafias quilograma e quilometro. Os linguistas à origem do acordo ortográfico de 1931 proibiram de vez o uso do k para os nomes das unidades de símbolos kg e km, sem terem consultado os metrologistas, nomeadamente os serviços responsáveis dos pesos e medidas a nível nacional e perante as entidades internacionais. Porém, o prefixo multiplicativo correspondendo ao fator 1000 continuou a

ter a grafia kilo para todas as unidades à exceção das de símbolo kg e km, assim mantinham-se, por exemplo, kilojoule, kilovolt e kilowatt. O Acordo Ortográfico de 1990 que voltou a admitir que as letras k, w e y sejam usadas em “palavras adotadas como unidades de medida de curso internacional: ... kilowatt”, pereniza a incoerente grafia entre os nomes das unidades de medida de símbolo kg e km e os das outras unidades.

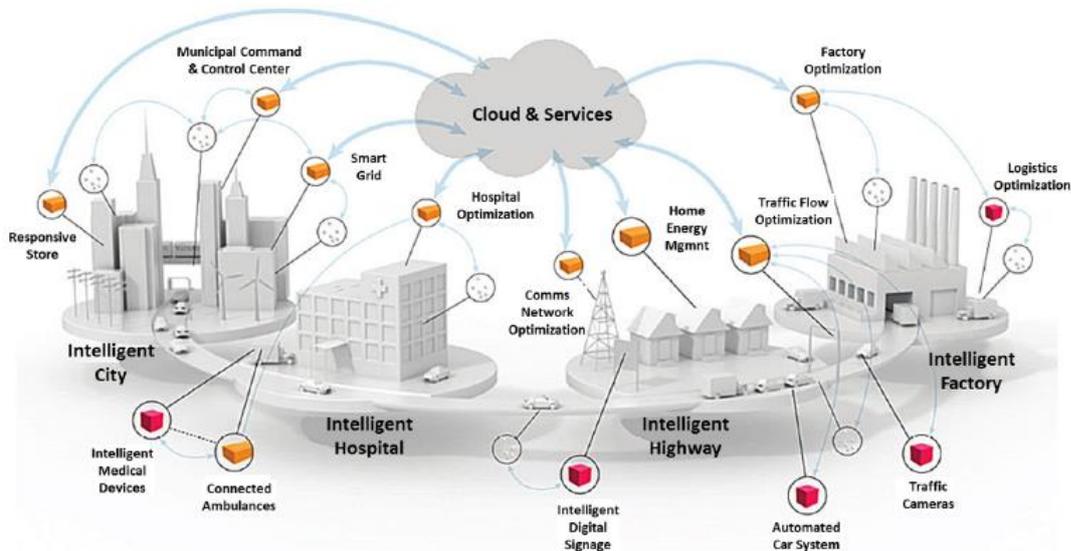
Ou seja, após seguir durante 80 anos a grafia internacionalmente utilizada para os nomes das unidades de medida, há 85 anos que os linguistas que regem a língua portuguesa mantém uma situação incoerente ao não querer utilizar a grafia do prefixo multiplicativo kilo unicamente para os nomes das unidades de medida de símbolo kg e km. A versão luso-brasileira do Vocabulário Internacional de Metrologia, de 2012, elaborada por colaboradores do IPQ e do INMETRO, optou por a grafia em vigor na altura em que Portugal era um dos 17 países signatários da Convenção do Metro.

António Cruz, Eduarda Filipe, Olivier Pellegrino

Metrologia e Ciência

A Internet das Coisas

A **Internet das Coisas**, do inglês *The Internet of Things* (IoT) e *Internet des Objets*, em francês, é já considerada a *quarta revolução tecnológica*. A IoT alia a tecnologia à Internet, interliga os mais diversos dispositivos e *virtualiza as coisas*. Esta tecnologia possibilita a automatização, monitorização, controlo e comando à distância de inúmeras rotinas e tarefas quotidianas, associadas à segurança, climatização e iluminação (*Smart Home, Smart Buildings and Infrastructure*) através de simples aplicações em *Smartphone, Tablet* ou *iPad*, facilitando a comunicação, o conforto e a segurança da sociedade. A diminuição de custos e a interoperabilidade destes dispositivos, a evolução tecnológica, a miniaturização dos sensores e a crescente facilidade de utilização, bem como a disponibilidade da internet de banda larga, são fatores potenciadores deste conceito.



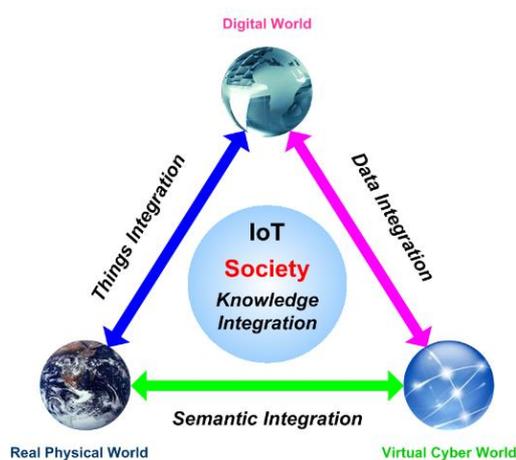
Apesar de se viver ainda uma fase de *experimentação* e de *ilusão* quanto ao potencial da IoT, existem já múltiplos exemplos da sua utilidade, tais como a possibilidade de controlar dispositivos à distância, o conceito de *carro inteligente* (*Smart Mobility and Transport*), o tratamento de grandes

quantidades de dados (*Data Management and Big Data*), a monitorização, em tempo real, de níveis de ruído e de poluição nas grandes cidades, recolha seletiva de resíduos (*Smart Cities*), otimização de consumos de energia (*Smart Energy and Smart Grid*), monitorização de pacientes e administração de fármacos (*Smart Health*), entre tantos outros.

O *European Research Cluster on the Internet of Things - IERC* (<http://www.internet-of-things-research.eu/>) refere que a IoT tem o potencial de aumentar a competitividade da Europa, sendo um importante motor para o desenvolvimento da economia e de uma sociedade baseada na informação.

O IERC promove e facilita a partilha de conhecimentos, a nível mundial, e incentiva o intercâmbio de boas práticas e novos modelos de negócio que recorrem deste conceito

(http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf).



As principais vantagens da IoT estão relacionadas com a comodidade e a utilização eficiente de recursos, enquanto as dificuldades se prendem essencialmente com questões de segurança e privacidade (a possibilidade de *hacking* e a obtenção ilícita de dados).

No que se refere à **Metrologia**, e estando o conceito de IoT amplamente presente nos desenvolvimentos técnico-científicos, constitui atualmente uma das prioridades da ciência da medição, sendo disso exemplo, a multiplicidade de projetos de I&D&I do Programa EMPIR que recorrem ao conceito IoT, em particular, o projeto *Design, use and validation of metrological data for secure and uniform communication in the Internet of Things (IoT-Com)*, referente à *call* de 2016. A importância desta temática está particularmente associada ao desenvolvimento e à validação *on-line* de protocolos de comunicação normalizados, para a verificação e a certificação de conjuntos de dados, para transferências de informação totalmente seguras.

Isabel Godinho



Metrologia no Quotidiano

Todos os que se relacionam com a metrologia sabem quão presente ela está no nosso dia-a-dia. No entanto, as atitudes e decisões que tomamos nesse dia-a-dia estão tão banalizadas que muitas vezes nem nos apercebemos das suas relações, diversidades, enfim, da constante avaliação das grandezas que nos rodeiam.

Venho deixar aqui um exercício, ao longo do qual desafio os leitores a rapidamente identificar as unidades de medida que podem ser utilizadas e, no fim, contabilizar a sua utilização.

Num dia primaveril, decidimos ir almoçar para os lados da Bairrada. A programação começou com a decisão de conduzirmos a nossa viatura. Consultámos o indicador de combustível; olhámos para o estado dos pneumáticos; calculámos o tempo necessário para a viagem; equacionámos a bagagem (certamente ligeira) a transportar; iniciámos a deslocação tendo sempre em atenção os limites legais; controlámos a distância à viatura precedente; vigiámos o regime e a temperatura do motor; controlámos o volume do nosso sistema de som; ajustámos a temperatura interior e confrontámo-la com as condições exteriores; confirmámos o geoposicionador; ajustámos os óculos de sol; balançámo-nos nas curvas apertadas; procurámos lugar no estacionamento. No repasto, fomos avaliando a quantidade do menu; o estado e a qualidade do conteúdo do copo; se a sobremesa era mais ou menos doce que a do parceiro; a temperatura quase perfeita do café final. Depois de alguma cavaqueira, o regresso e de novo o controlo de todas as variáveis; mais a inesperada operação stop e a respetiva avaliação de alcoolémia. Finalmente, à chegada, a avaliação não só financeira da aventura, mas também a felicidade obtida com o prazer da mesma...

Agora leitores, quantas grandezas conseguiram diferenciar? E que unidades (de base e derivadas) conseguiram identificar? E contaram com a última? A que contabiliza a quantidade de biomarcadores salivares com as quais se tenta hoje medir a felicidade?

Boas medições.

Luís Ribeiro

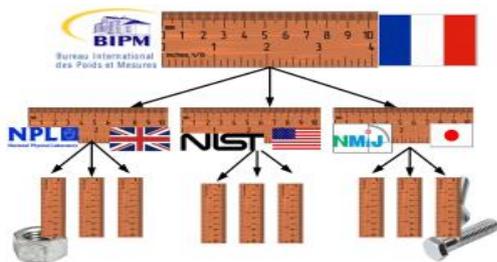


Esta rúbrica, que se pretende permanente, tem por objetivo propor um endereço que mereça um *click* dos nossos leitores.

Desta vez, venho propor uma página que, apesar de escrita em inglês, merece uma visita, não tanto pelos conteúdos, que não serão do desconhecimento para quem viaja no mundo da Metrologia, mas mais pela clareza de exposição.

Aborda os conceitos da Metrologia e é escrita à maneira de um artigo por um bolseiro de investigação da Universidade de Bath, Dr. Jody Muelaner, que se apresenta como estando a desenvolver fábricas aeroespaciais do futuro, com redes de medição integradas.

Para além de um conjunto significativo de artigos técnicos já publicados e disponibilizados gratuitamente, esta página conta com 4 capítulos, a saber: “Princípios Fundamentais em Metrologia e Análise de Sistemas de Medição (MAS)”, “Incerteza da Medição”, “Balanços de Incerteza”, “Avaliação da Incerteza Utilizando Ferramentas MAS”.



A Measurement is Traceable if there is an Unbroken Chain of Calibrations back to the Primary Standard

Aqui fica o *link* para o *click*:

<http://www.muelaner.com/metrology/>

Boas leituras.

Luís Ribeiro

Prémio - SPMet

Inovação em Metrologia



Estão abertas as Candidaturas ao Prémio SPMet - Inovação em Metrologia, até ao dia 2016-08-31.

Na sua 1.^a edição, este Prémio destina-se a premiar o/a autor/a de um trabalho publicado nos últimos 12 meses, e que o Júri entenda reunir as melhores características de

Inovação em Metrologia.

Mais informações em:
<http://www.spmet.pt/premio.html>

EVENTOS



LIGHT CONE 2016

5TH TO 8TH SEPTEMBER, LISBON

De 5 a 8 de setembro - Instituto Superior Técnico, Lisboa

<http://www.lc2016.net/en/>

22nd International Conference on Acoustics



De 5 a 9 de setembro - Buenos Aires, Argentina

<http://ica2016.org.ar/website/>

21st IMEKO TC-4 International Symposium on Understanding the World through Electrical and Electronic Measurement, and 19th TC-4 International Workshop on ADC and DCA Modelling and Testing - IWADC



De 7 a 9 de setembro - Budapeste, Hungria

<http://www.imeko-tc4-2016.hu/>

**20.^a CONFERÊNCIA NACIONAL DA FÍSICA
26.º ENCONTRO IBÉRICO PARA O ENSINO DA FÍSICA**



De 8 a 10 de setembro - Universidade do Minho, Campus de Gualtar

<https://eventos.spf.pt/FISICA2016/pt/?ln=pt>

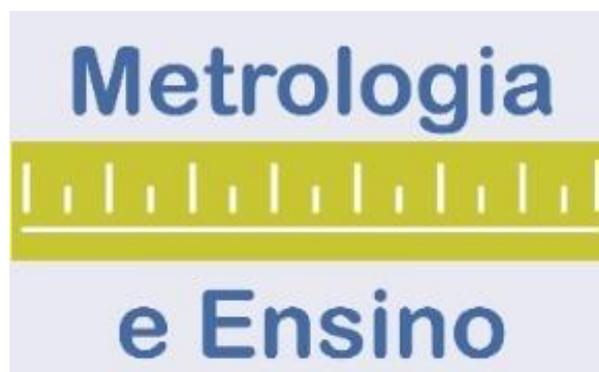
International Conference on Nuclear Data for Science and Technology



De 11 a 16 de setembro - Bruges, Bélgica

<http://www.nd2016.eu/>

II Encontro - Metrologia e Ensino



13 de setembro - Instituto Português da Qualidade, Caparica

<http://www1.ipq.pt/pt/site/Eventos/Pages/EventosLista.aspx>



De 19 a 23 de setembro - Santiago de Querétaro, México

<https://www.cenam.mx/simposio/>

ENDE 2016 - 21st International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation



De 25 a 28 de setembro - Lisboa

<http://ende2016.lx.it.pt/>

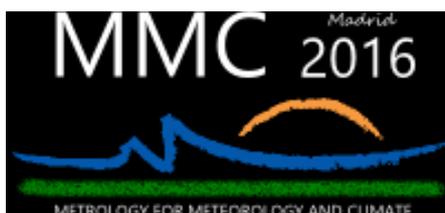
17th International Flow Measurement Conference



De 26 a 29 de setembro - Sydney, Austrália

<http://www.aplmf.org/news/announcing-the-2016-flomeko-conference>

Metrology for Meteorology and Climate



De 26 a 29 de setembro - Madrid, Espanha

<http://lmk.fe.uni-lj.si/mmc2016/>



De 2 a 5 de outubro - Benevento, Itália

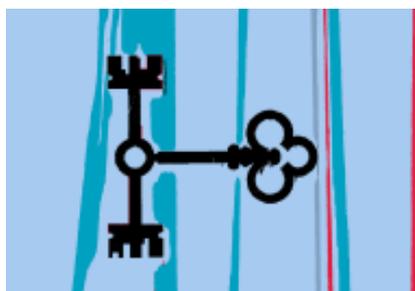
<http://www.imekofoods.org/index.php>

53rd Annual Meeting on 'Hot' Laboratories and Remote Handling in cooperation with the International Atomic Energy Agency (IAEA)



De 2 de outubro a 6 de outubro, em Karlsruhe, Alemanha

<http://hotlab.sckcen.be/en>



Workshop da CT4 GT5 “Química” da Relacre e da Eurachem-Portugal “Qualidade dos Resultados de Medição”

27 de outubro - Instituto Português da Qualidade, Caparica

<http://ciencias.ulisboa.pt/pt/conferencia/eurachem/acontecimentos>



MATHMET 2016

International Workshop on Mathematics and Statistics for Metrology

De 7 a 9 de novembro – PTB - Berlim, Alemanha

<https://www.ptb.de/cms/en/ptb/fachabteilungen/abt8/fb-84/mathmet-2016.html>

CONFMET2016

Conferência Nacional da SPMet

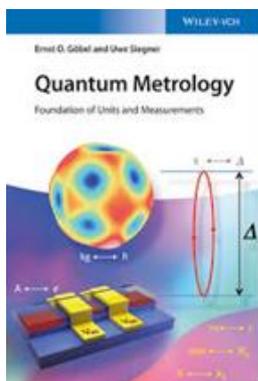


**AS MEDIÇÕES NUM MUNDO
DINÂMICO**

17 e 18 de novembro 2016 - PCTA, Évora

<http://www.spmet.pt/confmet2016.html>

Publicações



Quantum Metrology: Foundation of Units and Measurements

Ernst O. Goebel, Uwe Siegner

Agosto de 2015

232 pages

Wiley - VCH

ISBN: 978-3-527-41265-5

Este livro introduz e explica as aplicações dos conceitos da física moderna à ciência e à metrologia, tornando-se um componente fundamental para o enriquecimento de qualquer biblioteca. Os fenómenos físicos básicos são introduzidos de forma ligeira disponibilizando informação quer a leitores com experiência no domínio quer a estudantes destes fenómenos. Tem como autores duas individualidades de reconhecido mérito no domínio da metrologia: Ernst O. Goebel, presidente do PTB entre 1995 e 2011, Uwe Siegner, responsável pelo departamento de Física dos Semicondutores e Magnetismo do PTB.

Fundamentals of Dimensional Metrology

Connie L. Dotson

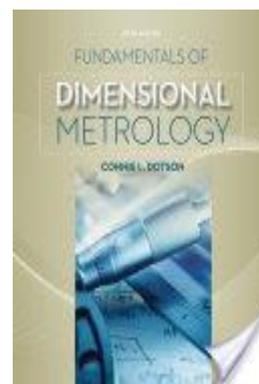
Janeiro de 2015

656 páginas

Cengage Learning

ISBN: 978-1-133-60089-3

Refletindo as últimas alterações na tecnologia e nos padrões utilizados, a 6ª edição desta publicação, revista e atualizada a partir de reações dos revisores, combina aplicações práticas com uma descrição abrangente dos princípios no domínio da metrologia dimensional dos dias de hoje. Esta nova edição apresenta-se de leitura mais fácil, tornando-se um novo manual de laboratório com fotos e ilustrações atualizadas e referências a novos padrões de medição.



Electrical Impedance: Principles, Measurement, and Applications

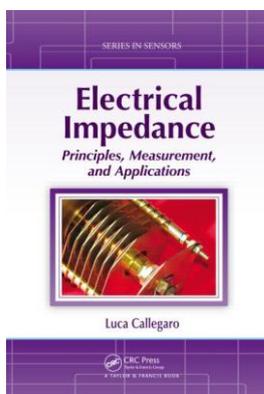
Luca Callegaro

Novembro de 2012

308 páginas

CRC Press

ISBN 978-1-439-84910-1



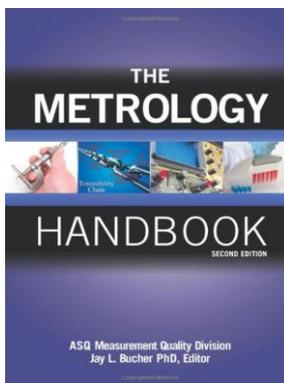
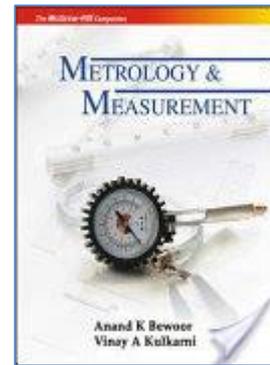
Este livro proporciona uma visão moderna no domínio da ciência da medição de impedâncias e as suas aplicações na metrologia, na tecnologia de sensores e na caracterização de materiais. O autor, personalidade de reconhecido mérito internacional no domínio elétrico e que tem desenvolvido trabalho experimental naquelas áreas no INRIM, pretende apresentar aqueles fundamentos, à luz das teorias modernas, e as técnicas de medição de impedâncias, salientando diversas aplicações práticas. Oferece ainda uma extensa lista de referências bibliográficas, de métodos, de equipamentos e esclarece dúvidas relativas a questões de rastreabilidade.

Metrology & Measurement

Anand K. Bewoor, Vinay A. Kulkarni
Maio de 2009

McGraw-Hill Education
ISBN: 978-0-070-14000-4

Pensado para estudantes de engenharia, este livro proporciona uma exposição integrada para as medições nos domínios da metrologia dimensional e mecânica, fornecendo ao leitor uma apresentação metódica e bem estruturada através de explicações concisas, abordagens flexíveis e estudos de casos reais da indústria.



The Metrology Handbook

Jay L. Bucher
Maio de 2012
530 páginas
ASQ Quality Press
ISBN: 978-0-87389-838-6

Desenvolvido como uma referência prática para profissionais de metrologia e calibração, este livro fornece os fundamentos para a compreensão dos princípios e das técnicas básicas hoje aplicadas naqueles domínios. É uma compilação realizada por especialistas e o CD-ROM que o acompanha serve como recurso único para quem necessita de consultar acrónimos, abreviaturas, glossários, termos, tabelas, fórmulas e conversões.

Guias Técnicos



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



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.

Acesso gratuito dos documentos em:

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

Facebook



<https://www.facebook.com/spmetrologia/>



Estão abertas as
Candidaturas ao

Prémio SPMet

Inovação em Metrologia

até ao dia 2016-08-31

<http://www.spmet.pt/premio.html>

ISSN 2182-5424

| n.º 13 | Julho de 2016

www.spmet.pt