

# A RASTREABILIDADE DE MEDIÇÃO NO LABORATÓRIO DE MARINGÁ DO IPEM/PR

1. Maciel, M. A. D.

1. Chefe do laboratório de Maringá do IPEM

## 1. INTRODUÇÃO

Realizar uma medida é fazer uma comparação. Para que a medida de algo possa ser entendida por todos é preciso que tenhamos um referencial para comparação. Esta é a origem de um sistema de unidades de uso internacional. Ao medirmos tempo todos utilizam o segundo (s), ao medirmos comprimento todos utilizam o metro (m) e ao medirmos massa todos usam o quilograma (kg) desde que o Sistema Internacional de Unidades foi criado [1]. Ao usarmos tais convenções é preciso que todas estas unidades sejam bem definidas. Ao definirmos nosso padrão de unidade temos que ser cuidadosos para que ele obedeça a certos requisitos básicos. Primeiro um padrão não pode sofrer grandes variações, afinal ele é a referência e, quando sofre qualquer alteração, todo o resto é afetado. No momento em que isto tornou-se problemático foi necessário definir a unidade de uma forma mais constante na natureza. Com o Sistema Internacional de Unidades, o quilograma passou a ser definido com base em um artefato mantido de forma segura nas proximidades de Paris - França [2]. O quilograma foi definido como a massa contida num bloco de uma liga de platina e irídio mantido sob custódia do BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*). Muitas cópias deste padrão foram feitas e distribuídas por todos os países signatários da Convenção do Metro. Porém, a partir do novo Sistema Internacional de Unidades (SI) que entrou em vigor em maio de 2019, o quilograma usado como referência mundial para medição da quantidade de matéria dos corpos deixará de ser representado por um objeto: o protótipo internacional do quilograma (IPK - *International Prototype of the Kilogram*, em inglês), um cilindro feito de uma liga especial de irídio e platina com massa igual à de 1 litro de água muito pura [3]. No lugar desse cilindro metálico, o quilograma será definido nos termos da constante de Planck, assegurando estabilidade de longo prazo à unidade de massa do SI (a definição deixará de ser baseada no protótipo de platina-irídio). Sua realização poderá ser realizada por um dispositivo denominado balança de Kibble - watt. Na prática, os usuários poderão obter rastreabilidade ao SI valendo-se das mesmas fontes atuais (Bureau Internacional de Pesos e Medidas - BIPM, Institutos Nacionais de Metrologia - INMs como o INMETRO e laboratórios de calibrações acreditados). Comparações internacionais vão assegurar sua consistência. O valor da constante de Planck foi escolhido

de tal modo não haja mudanças no quilograma. O quilograma terá nova definição, mas no momento da mudança, a magnitude da nova unidade será idêntica às da unidade antiga. As incertezas oferecidas pelos INMs a seus clientes de calibração não serão afetadas [4].

## 2. A DEFINIÇÃO DO KILOGRAMA

A constante de Planck que servirá de base para definir o quilograma, representada pela letra  $h$ , estabelece uma relação entre a energia das partículas de luz (fótons) e a frequência com que elas vibram. É medida em unidades de energia (joule) multiplicadas por unidade de tempo (segundo) e descreve vários fenômenos do universo das partículas elementares. Seu valor é, aproximadamente, de  $6,63 \times 10^{-34}$  J/seg ( $= \text{kg m}^2 \text{seg}^{-1}$ ). Embora o valor de uma constante seja inalterável, seus valores medidos mudam conforme o grau de precisão das diferentes medições. Como essa precisão nunca é absoluta, é impossível conhecer o valor absoluto de uma constante. Para contornar o problema, físicos e metrologistas estabeleceram um valor consensual para a constante de Planck. A relação entre a constante de Planck e o quilograma pode ser demonstrada por meio de experimentos propostos no final dos anos 1950 para medir com maior exatidão o valor do ampere, a unidade de medida da corrente elétrica. Nestes experimentos, criou-se um dispositivo, denominado de balança de watt, que funciona equilibrando duas forças, como as antigas balanças de Roberval de dois pratos com braços iguais. Na balança de Roberval a massa a ser medida é colocada em um dos lados e deve entrar em equilíbrio com contrapesos de massa conhecida, posicionada no outro. A balança de watt substitui o efeito dos contrapesos [5].

Em meados dos anos 1970, o físico e metrologista inglês Bryan Kibble, do Laboratório Físico Nacional (NPL), em Teddington, Inglaterra, mostrou como a balança de watt podia ser usada para medir tanto a massa de um objeto como a constante de Planck de modo muito preciso, utilizando o princípio de funcionamento em duas etapas mostrado na figura 1. Em um primeiro momento, coloca-se o objeto cuja massa será medida em um dos pratos da balança, que está imerso no campo magnético de um grande ímã. A ação da gravidade sobre essa massa gera uma força chamada peso, que faz o prato baixar. Como o prato está imerso no campo magnético do ímã, a passagem de uma corrente elétrica pela bobina instalada na base do prato produz uma força magnética (de mesma intensidade e sentido contrário) que se contrapõe à força-peso. Assim, mede-se com precisão a corrente elétrica

que equilibra perfeitamente o prato – essa corrente é proporcional ao peso e, portanto, à massa. Para haver o equilíbrio, a força-peso tem de ser igual à força magnética, definida por uma constante multiplicada pela corrente. O problema, então, é determinar com alta precisão o valor da constante.

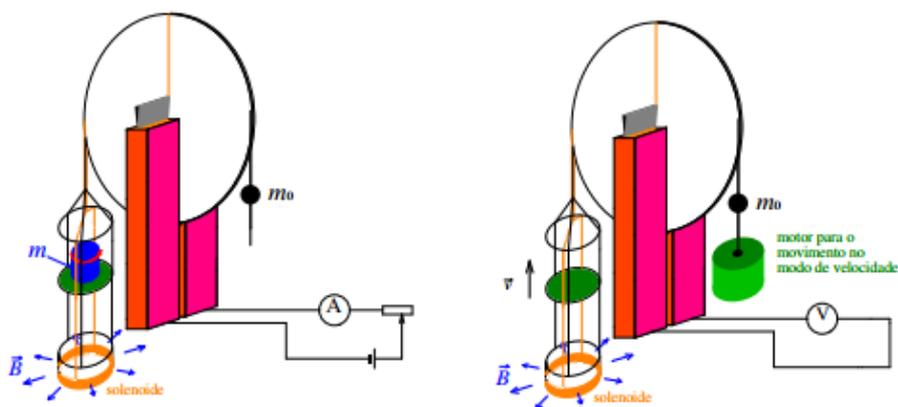


Fig. 01 – Balança de Kibble, a esquerda, usada no modo de medição, onde o peso da massa é equilibrado com a força magnética; a direita balança usada no modo de velocidade para calibrar o dispositivo.

Kibble percebeu que, realizando outra medição, torna-se desnecessário conhecer o valor dessa constante. Em uma segunda operação, retira-se o objeto do prato e prende-se o fio que o sustenta a um motor, que faz a bobina se mover na vertical sempre com a mesma velocidade. O movimento da bobina no interior do campo magnético induz nela o surgimento de uma voltagem, proporcional à velocidade de deslocamento. Essa voltagem é definida pela velocidade de deslocamento dividida por uma constante, justamente aquela da primeira etapa de medição. Como existe uma relação de proporcionalidade entre a corrente e a voltagem, uma operação matemática permite eliminar essa constante das equações e definir a massa do objeto em função da velocidade. Na medição da corrente e da voltagem, usam-se equipamentos feitos de materiais especiais que funcionam como supercondutores a baixíssimas temperaturas. Nesses materiais, as correntes e as voltagens são quantizadas, o que significa que só assumem valores múltiplos da constante de Planck. Por meio dessa sequência de procedimentos é possível medir o valor da constante de Planck a partir de uma massa previamente conhecida – no caso, o protótipo do quilograma e suas réplicas, cuja massa se conhece com muita precisão. Assim que as medições atingirem um grau aceitável de precisão, o protótipo e suas cópias se tornarão

desnecessários para as futuras medições. É que, embora bem conhecida, a massa desses cilindros deve continuar mudando, enquanto o valor da constante de Planck, uma vez obtido com precisão, permitirá usar um dispositivo denominado Balança de Kibble para medir a massa que corresponde exatamente a 1 quilograma de modo muito preciso e sem alteração ao longo do tempo. Assim, a definição do quilograma em termos de constantes físicas fundamentais garantirá sua estabilidade em longo prazo e, portanto, sua confiabilidade, que está atualmente em dúvida. O quilograma terá nova definição, mas foi escolhida de tal modo que, no momento da mudança, a magnitude da nova unidade será idêntica às da unidade antiga. Porém, a massa do protótipo internacional do quilograma (*International Prototype of the Kilogram* – IPK), que define o quilograma atual, tem que ser determinada experimentalmente. Caso o valor adotado estiver incorreto, significa simplesmente que o novo experimento nos diz que a massa do IPK não é exatamente 1 kg no SI Revisado. Se fosse mantida a definição atual do quilograma, estaríamos utilizando uma constante de referência (ou seja, a massa do IPK) que evidências sugerem estar mudando com o tempo, em comparação com uma verdadeira invariante como a massa de um átomo ou a constante de Planck. Embora a magnitude dessa mudança não seja conhecida exatamente, ela poderia ser da ordem uma parte em  $10^7$ , desde que o IPK foi sancionado como a definição do quilograma em 1889.

A vantagem da nova definição seria que saberemos que a constante de referência usada para definir o quilograma é uma invariante verdadeira. A presente definição do quilograma fixa a massa do IPK em um quilograma exatamente com zero de incerteza. A constante de Planck é atualmente determinada experimentalmente e tem uma incerteza padrão relativa ao redor de uma parte em 100 milhões. Na nova definição, o valor de  $h$  seria conhecido exatamente em sua unidade com incerteza zero. Mas a massa do IPK teria que ser determinada experimentalmente, e teria uma incerteza relativa de cerca de  $1,0 \times 10^{-8}$ . Assim, a incerteza não se perde na nova definição, mas se desloca para se tornar a incerteza da referência anterior que não é mais usada, como na tabela 01.

A cadeia de rastreabilidade das medições de massa seria mantida da mesma maneira de como é feita atualmente, os laboratórios acreditados enviariam seus padrões ao seu Instituto Nacional de Metrologia (INM – no Brasil, o Inmetro) para calibração.

Constante usada para definir o quilograma	SI até maio de 2019		SI Revisado	
	Status	Incerteza	Status	Incerteza
Massa do IPK, m (K)	Exato	0	Experimental	$1,0 \times 10^{-8}$
Constante de Planck, h	Experimental	$1,0 \times 10^{-8}$	Exato	0

Tabela 01 – Incerteza do IPK e da constante de Planck.

O INM irá estabelecer sua realização própria da unidade usando a nova definição, seja construindo um aparato apropriado localmente ou através de qualquer outro método que demonstre ser conveniente, tal como, no caso de padrões de massa de 1 kg, pelo envio ao BIPM para calibração. O BIPM pretende manter a rastreabilidade à definição do quilograma por meio de uma média ponderada de todas as realizações disponíveis, cujo esquema é mostrado na figura 02.



Fig. 02 – Hierarquia do Sistema Metrológico

### 3. ACREDITAÇÃO E RASTREABILIDADE

Segundo o Vocabulário Internacional de metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM, 2012) rastreabilidade é a propriedade dum resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através duma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição [6]. A Organização Internacional de Organismos de Acreditação – ILAC, da qual a CGCRE faz parte, considera que os elementos necessários para confirmar a rastreabilidade metrológica são uma cadeia de rastreabilidade ininterrupta a um padrão internacional ou a um padrão nacional, conforme mostrado na figura 03, uma incerteza de medição documentada, um procedimento de medição documentado,

uma competência técnica reconhecida, a rastreabilidade metrológica ao SI e intervalos entre calibrações.

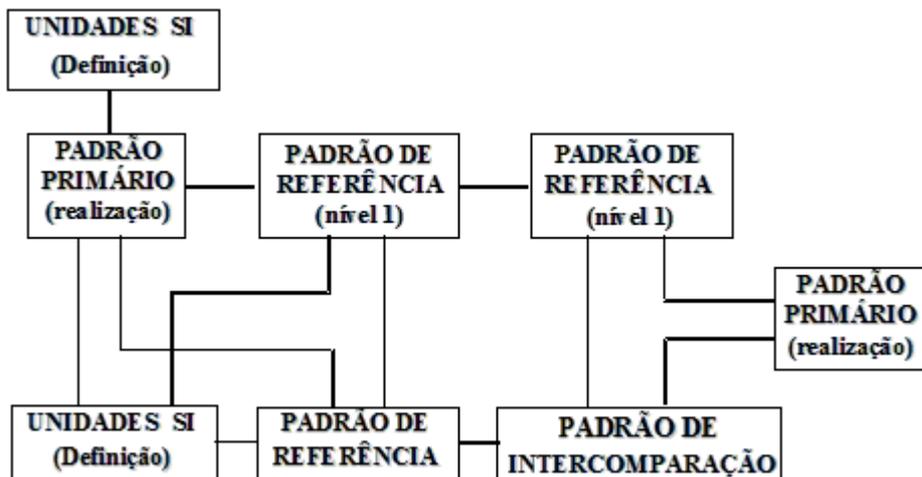


Fig. 03 – Realização do rastreamento

O Laboratório de Maringá, acreditado pela CGCRE sob o código CAL 129, mantém a rastreabilidade de suas medições e calibrações por intermédio da calibração dos seus padrões de referência diretamente no Laboratório Nacional de metrologia – LNM, conforme figura 04. O LNM, responsável pela padronização nacional das unidades de medir do Sistema Internacional de Unidades – SI, é constituído pelos laboratórios do INMETRO, do Serviço da Hora do Observatório Nacional e do Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD. A acreditação de um laboratório de calibração é concedida por área da metrologia, para serviços, acompanhados das respectivas faixas e incertezas de medição, para aqueles serviços nos quais o laboratório comprovou sua competência técnica.

Os serviços de calibração, com os seus procedimentos, são apenas um dos passos na cadeia de disseminação da grandeza e da rastreabilidade. Para completar a rastreabilidade da medição é ainda necessário:

- Certificação dos padrões de referência do Laboratório;
- Realização destes valores no laboratório;
- Disseminação destes valores para:
  - a) os padrões de referência do laboratório, e,
  - b) os instrumentos e equipamentos de ensaio e calibração.

A responsabilidade legal pela concessão da acreditação de laboratórios, no Brasil, é da Coordenadoria Geral de Acreditação do INMETRO - CGCRE. É realizado mediante a celebração de um contrato entre a CGCRE e a entidade que representa juridicamente o laboratório.

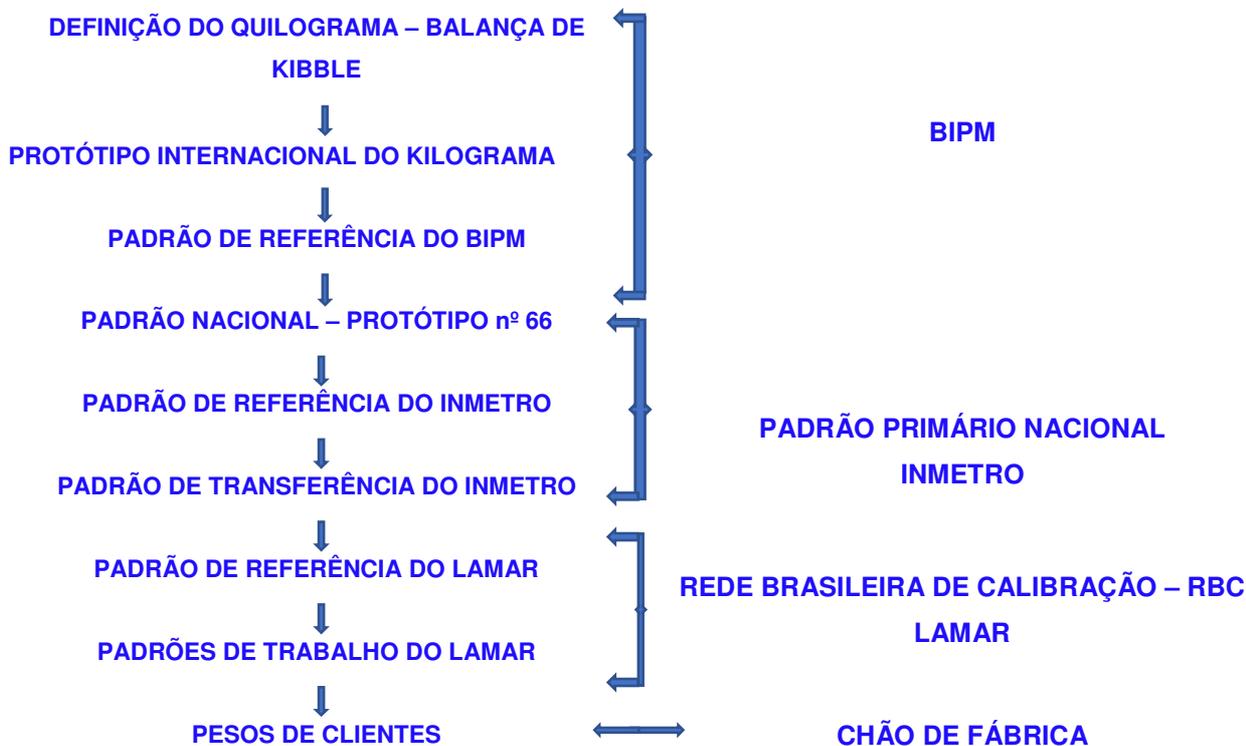


Fig. 04 – Cadeia da Rastreabilidade do laboratório de Maringá.

#### 4. CONCLUSÃO

Um sistema de medição único e confiável é essencial para as áreas científica, industrial e comercial. Para a indústria proporciona um aumento na eficiência da produção e melhoria na qualidade dos produtos, especialmente em processos que requerem alta tecnologia. Um sistema nacional de medição competente e com credibilidade facilita o acesso e a aceitação de produtos nos mercados externos. A rastreabilidade e o reconhecimento internacional dos sistemas de medição entre diferentes países, podem reduzir, ou até eliminar, testes e calibrações redundantes no comércio internacional. Dentro deste contexto, o conceito da rastreabilidade torna-se um fator extremamente relevante para que as indústrias alcancem a garantia da qualidade dos seus produtos, sendo função da Rede Brasileira de Calibração, por meio dos laboratórios acreditados, garantir a rastreabilidade dos padrões industriais. Pois, quando se efetua uma medição, com instrumentos calibrados por laboratórios de

calibração devidamente acreditados e detentores de padrões próprios, rastreados a padrões de referência, nacionais ou internacionais, do Sistema internacional de Unidades, e à qual se atribui uma incerteza de medição, utilizando procedimentos normalizados e lastreados em um sistema da qualidade implantado, podemos confiar nos resultados das medições e estaremos em condições para prestar um serviço à sociedade civil em seus aspectos tecnológicos e legais. Entretanto, se nos limitarmos a efetuar medições sem nos preocuparmos com os aspectos acima citados, não podemos confiar nos resultados obtidos e podemos estar pondo em sério risco os usuários desses resultados.

## REFERÊNCIAS

- [1] BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, *Sistema Internacional de Unidades - SI* (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial -- INMETRO, Rio de Janeiro, 2012), p. 94.
- [2] BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, *History of the Pavillon de Breteuil*, disponível em <https://www.bipm.org/en/about-us/pavillon-de-breteuil/>
- [3] Luiz P. Damaceno, Richard Mascarin, João Marcelo P. Nogueira, Daniel V. Magalhães. A nova definição do quilograma em termos da constante de Planck. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 41, nº 3, 2019. Disponível em DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0284>
- [4] Chaves, Alaor. O novo quilograma e a grande revolução na metrologia. Disponível em <http://alaorchaves.com.br/wp-content/uploads/2018/12/O-NOVO-QUILOGRAMA-E-A-GRANDE-REVOLU%C3%87AO-NA-METROLOGIA-1.pdf>
- [5] A Redefinição das Unidades de Medir do SI. *Revista Digital AdNormas*. ISSN 2595-3363. Edição 30, 2018. Disponível em <https://revistaadnormas.com.br/2018/11/27/a-redefinicao-das-unidades-demedida-do-si/>
- [6] Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados, VIM 2012. Disponível em <https://metrologiaemedicoes.wordpress.com/vocabulario-internacional-de-metrologia-vim/>
- [6] Maciel, Marco A. D. Considerações sobre a rastreabilidade de uma massa de 500 kg. *Anais do Encontro Sul Americano de Metrologia*. Foz do Iguaçu. 1998.