



FABIO CHALUB  
Universidade  
Nova de Lisboa  
chalub@fct.unl.pt

## A TOUS LES TEMPS. A TOUS LES PEUPLES.

Demorou, mas chegámos lá! Duzentos anos depois da introdução do Sistema Métrico, finalmente o seu objetivo é realizado: um conjunto de unidades de medida que servirá a "todos os povos, por todo o tempo", como desejavam seus idealizadores. Contamos aqui um pouco desta história.

No dia 20 de maio de 2019, o peso muda. Bom, o meu peso muda todos os dias. O que mudará em breve é a própria definição de peso. O famoso "quilograma-padrão", um cilindro feito de platina e irídio, pretensamente imutável, deixará de ser a referência-base para todos os pesos ao redor do mundo (exceto, nos Estados Unidos da América, na Libéria, e em Myanmar...). Em vez disto, todo o sistema métrico será baseado em constantes físicas universais. Com o laboratório adequado, qualquer um, em qualquer lugar do mundo – ou melhor, do universo – poderá fazer medições obtendo o mesmo resultado [1, 2].

Num certo sentido, esta é a realização final do sonho dos revolucionários franceses, que, ao redefinirem as diversas unidades de medida em 1795, pretendiam dar à Humanidade um sistema coerente que poderia ser replicado em qualquer lugar do mundo [3]. Assim, a panóplia de

unidades locais, cada uma com a sua rica história própria, mas que era, naquele momento, um entrave tanto ao comércio internacional como à comunicação científica, poderia ser substituída com vantagens.

A Assembleia Nacional Francesa, adequadamente aconselhada pelo famoso matemático Condorcet, definiu como unidades básicas do novo sistema de medida o *metro*,

o *quilograma*, bastante próximos do que conhecemos – já lá voltamos – uma unidade de área (*acre*), duas unidades de volumes (uma especificamente para lenha e outra o famoso *litro*) e uma unidade monetária, o *franco*. Veja a figura 1.

Além da ideia universalista, outra inovação fundamental foi introduzida juntamente com o sistema métrico – a notação decimal. Esta fora inventada por outro matemático, o holandês Simon Stevin



Figura 1. À esquerda, póster explicativo do novo sistema métrico (1800), fonte: [Wikimedia Commons](#). À direita, selo evocativo do sistema métrico, emitido em 1954 – entre a proposta para a redefinição do metro (1952) e a sua efetivação (1960).

200 anos antes, mas a sua aceitação era limitada. Em vez de relatarmos  $\frac{1}{20}$  de um valor qualquer, passamos, com a notação decimal a referir-nos a 0,05. A criação de unidades básicas e subunidades que são décimas, centésimas ou milésimas das anteriores, ou múltiplos que são potência de 10, permite uma conversão muito mais simples – por isso, também, por vezes, falamos em *sistema métrico decimal*.

Voltemos, então, às definições universalistas: o metro será a décima milésima parte da distância entre o polo e o equador ao longo de um meridiano. Algo que qualquer país com nível tecnológico adequado poderia medir, criando assim o seu metro-padrão. Não é necessário viajar até aos extremos da Terra. Basta ter acesso a um meridiano razoavelmente longo e conhecer trigonometria.

Sabia-se já neste tempo que a Terra não é uma esfera perfeita, e a sua forma já havia sido medida com grande precisão. Mesmo assim, acreditava-se que a distância referida seria independente do meridiano utilizado, devido a um certo efeito uniformizador da rotação da Terra. De qualquer forma, quando se decidiu criar um metro padrão inicial, foi necessário realizar uma medição específica. No final do século XVIII, decide-se medir a distância entre Dunkerque e Barcelona, duas importantes cidades com a mesma longitude. Além disso, são cidades marítimas, portanto, a medição será costa a costa, norte-sul, na Europa. Nada mal para o orgulho revolucionário que o meridiano que passa pelas duas cidades seja o "meridiano de Paris"! Veja a figura 2.



Figura 2. Medida da distância entre Dunkerque e Barcelona, ambas sobre o mesmo meridiano. Uma pausa em Paris para lembrar a origem do Sistema Métrico!

Conhecido o metro, conheçamos o litro: o volume de um decímetro cúbico. Enchemo-lo de água pura e, com temperatura controlada, temos o peso de um quilograma.

Como é natural, as unidades básicas foram alteradas. Essencialmente, por dois motivos: a busca de definições mais práticas e a necessidade de incluir novas unidades – em grande parte, derivadas do desenvolvimento do eletromagnetismo.

Claro, também há a unidade de tempo. Por alguma razão, esta não esteve presente nos primeiros momentos. Provavelmente, porque a introdução do sistema métrico estava associada à simplificação da conversão de diferentes unidades: o segundo era há muito definido como  $\frac{1}{86400}$  do tempo necessário para o Sol passar duas vezes no mesmo meridiano (o "dia"). O facto de que a duração do dia não é uniforme ao longo do ano era irrelevante para o nível de precisão da época. Curiosamente, a inclusão do segundo como unidade do sistema métrico deveu-se à insistência do matemático C. Gauss.

Em 1960, a definição de metro foi alterada para a distância entre duas riscas numa certa barra metálica. Antes disto, o quilograma já fora redefinido como o peso de um certo cilindro. Ainda no século XIX, foram criadas unidades para a medição das correntes elétricas, o "ampere" (assim mesmo, sem acento [4]), a "candela", para a luminosidade, o "kelvin" e o "mol", para a temperatura e para a quantidade de matéria, respetivamente.

Dependíamos todos de objetos físicos guardados no Bureau de Pesos e Medidas, instituição internacional sediada em Paris e reponsável por manter os padrões. De tempos a tempos, era necessário deslocar os padrões nacionais para a capital francesa e compará-los. Sempre que havia alguma diferença, eram os convidados os errados: o anfitrião marca sempre a hora certa!

Definidos os padrões, os físicos obtinham experimentalmente as unidades fundamentais da Natureza. Mais explicitamente: sabemos que a velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma, para todos os observadores. Este é um dos postulados da Teoria da Relatividade de Einstein. Mas quanto? É só medir, ora. Sabemos o que é o metro, sabemos o que é o segundo. Medimos quantos metros a luz se desloca num segundo, e depois dividimos um pelo outro.

Situações idênticas se passam com a constante de Boltzman, a constante de Planck, etc.

A ideia da última reforma foi a de definir estas constantes como números exatos (e que, portanto, não carecem de medição) e, a partir daí, qualquer laboratório com as competências necessárias poderá chegar a um padrão ma-



croscópio a ser utilizado na indústria. Ou seja, podemos construir um metro e um quilograma padrões no fundo do quintal.

Acontece que os desenvolvimentos tecnológicos necessários para tanto não são triviais. Entre a ideia e a primeira instituição capaz de medir um quilo a partir de não-sei-quantas constantes de Planck passaram-se décadas. De facto, ironias do destino, o primeiro laboratório a conseguir tal precisão foi nos Estados Unidos da América. O segundo, no Canadá.

Somente agora a comunidade científica se sente segura para dar este salto universalista. Não basta termos definições logicamente corretas. É necessário que elas possam ser implementadas.

Ficamos então assim: um segundo é o tempo necessário para 9192631770 transições de um elétron entre dois níveis da estrutura hiperfina no estado fundamental de um átomo de césio-133. Dito isto, o metro é a distância percorrida por um raio de luz no vácuo em  $1/299792458$  segundos.

Para definir a unidade de massa, recorremos a duas relações fundamentais da física: a energia de um fóton é dada por  $h\nu$ , onde  $\nu$  é a sua frequência e  $h$  a constante de Planck. Por outro lado, energia e massa relacionam-se por  $E = mc^2$ , onde  $c$  é a velocidade da luz. Medindo a frequência (que só depende da definição de segundo) e o peso de um fóton, podemos calcular a constante de Planck. Faça, então, o contrário: um quilograma é a massa que faz com que  $h = 6.62607015 \times 10^{-34}$  kg m/s<sup>2</sup>. Veja a figura 3.

Seguindo este raciocínio, conseguimos todas as unidades do Sistema Internacional [5].

Não poderia terminar sem um comentário: lembro-me de um conto em que uma civilização alienígena iria inva-

dir a Terra. Durante algum tempo, ficam os aliens por perto, ouvindo as nossas comunicações. Decifram as várias linguagens da Terra, e fazem os seus planos. Mas têm uma dificuldade profunda: nunca conseguiram entender o que eram o *metro* e o *quilograma*. Consideram então a empreitada demasiado arriscada e acabam por desistir do ataque. Será que estas últimas alterações nos farão mais vulneráveis aos ETs?

## REFERÊNCIA

- [1] "The inevitable, tragic – and ultimately necessary – death of the kilogram. Farewell to the objects that defined our units of measure". Oliver Morton. *Washington Post* em 16/11/2018.
- [2] "A massive change: Nations will vote to redefine the kilogram". Sarah Kaplan. *Washington Post* em 16/11/2018.
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/2019\\_redefinition\\_of\\_SI\\_base\\_units](https://en.wikipedia.org/wiki/2019_redefinition_of_SI_base_units)
- [4] *Vocabulário Internacional de Metrologia*, IPQ-INMETRO, 2012.
- [5] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me\\_international\\_d%27unit%C3%A9s](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_international_d%27unit%C3%A9s)