

# Introdução à Incerteza

## O que guardamos de uma medição

Quando preparamos uma refeição, só levamos para a mesa uma parte do que fizemos. Quem faz uma sopa, leva para a mesa uma sopa num prato limpo, não levam também a panela, facas, etc. sujas, nem o caixote do lixo com as cascas das batatas.

Com uma medição passa-se exatamente o mesmo. Não transmitimos um vídeo com tudo o que fizemos, todos os dados brutos que obtivemos e deixamos quem recebe a informação tratar e interpretar os dados a seu bel prazer.

Por exemplo, se estiverem a trabalhar numa empresa que vende equipamento de precisão para a Nova Zelândia e eles exigirem o valor de uma grandeza com elevada precisão, talvez tenham de enviar não apenas o valor da grandeza, mas também a incerteza associada, informação sobre o que essa incerteza significa, documentação com a calibração dos instrumentos de medida utilizados contra padrões internacionais, etc.

Noutros casos não é necessário fornecer tanta informação. Se precisarem de saber o espaço disponível para encaixar um móvel, vão indicar apenas uma distância. Talvez acrescentem um comentário vago indicando que se tratou de uma medição cuidadosa ou de uma medição pouco rigorosa. No segundo caso, se o móvel tiver dimensões muito próximas das do espaço disponível, talvez seja necessária uma segunda medição mais cuidadosa para se ter a certeza de que o móvel cabe no lugar que lhe destinamos.

Algumas medições são um procedimento rápido, como é o caso de medir o espaço disponível para um móvel, outras exigem uma montagem experimental específica e podem ser bastante demoradas. Contudo, estimar a incerteza é, de longe, muito mais trabalhoso e demorado. Implica analisar cada passo do procedimento em detalhe à procura de fatores que possam influenciar o resultado final, estimar o valor dessa influência usando modelos o que pode implicar cálculos, talvez simulações computacionais, e até, por vezes, a realização de experiências extra para confirmar o valor dessas influências, repetir a experiência nas mesmas condições ou em condições distintas, modificar a montagem experimental para a tornar imune a certas causas de erro ou para as estimar, adquirir novos equipamentos mais adequados, etc.

Estes dois fatores,

- transmitir a informação relevante e necessária, mas não informação desnecessária
- não despender mais tempo e recursos do que os necessários

estão na base da definição do que medimos, como medimos e como apresentamos os resultados finais.

Até aqui a ideia é simples e fácil de entender. Mas a sua implementação prática levanta muitos outros problemas que podem ser bastantes mais complexos. Para além da dificuldade conceptual intrínseca deste tópico, a necessidade de um protocolo standardizado, a influência humana com a sua tendência para o erro e a sua arrogância, os sistemas de comunicação, por exemplo, as limitações do sistema decimal, a necessidade ou conveniência de transmitir de forma distinta a mesma informação em contextos diferentes, as exigências específicas de computadores e calculadoras, a necessidade de contemplar medições de alta precisão e medições menos precisas, os modelos estatísticos a adotar e suas aproximações, a conveniência de regras aproximadas mais expeditas em casos específicos, mas apresentadas frequentemente como universais, etc., tornam este tópico difícil e confuso para quem o está a aprender. Até as decisões dos instrutores sobre o que ensinar, a que aspetos dar mais ênfase, que outros benefícios educativos tirar do ensino deste tópico ajudam à confusão.

## O sistema SI

A história da evolução dos padrões das unidades de medida e dos sistemas numéricos desde a antiguidade é bastante interessante. A versão atual tem resquícios de várias contribuições.

Contudo, os parões de medida das grandezas fundamentais foram evoluindo e, de acordo com a última definição, são independentes de qualquer artefacto de referência e estão indexados a constantes fundamentais. Pode encontrar aqui (<https://physics.nist.gov/cuu/Units/current.html>) uma descrição simplificada da forma como os padrões de distância, tempo, massa, etc. são definidos atualmente.

## Unidades: algumas convenções e regras de escrita

Podem obter mais informações no VIM

([http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Documents/VIM\\_IPQ\\_INMETRO\\_2012.pdf](http://www1.ipq.pt/PT/Metrologia/Documents/VIM_IPQ_INMETRO_2012.pdf)).

Grandeza de base	Unidade de base	
Nome	Nome	Símbolo
comprimento	metro	m
massa	kilograma	kg
tempo	segundo	s
corrente elétrica	ampere	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mole	mol
intensidade luminosa	candela	cd

Tabela 1: Unidades de base do SI.

O SI inclui, para além das unidades de base (metro, segundo, etc.), os múltiplos e submúltiplos dessas unidades (quilómetro, microsegundo, etc.) e as unidades derivadas (metro por segundo, centímetro cúbico). Algumas unidades derivadas têm nome e símbolo próprios ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ ).

Assim, o SI inclui as unidades de base, as unidades derivadas e os respetivos múltiplos e submúltiplos.

Embora não fazendo parte do SI, este admite ainda o uso de algumas outras unidades como o minuto, a hora e o litro.

Outras unidades como o pé, a libra, o nó, etc. não só não fazem parte do SI como não são admitidas por este e, de preferência, não devem ser usadas.

Algumas regras a ter em conta e frequentemente desrespeitadas:

- Deixar um espaço entre o valor numérico e o símbolo da unidade:  
**37,5 N** não **37,5N**
- O metro e o prefixo mili usam a mesma letra. A ordem ajuda a distingui-los:  
**1,45 mN** (milinewton, força) e **1,45 N·m** (newton metro, binário)
- O símbolo de grau celcius (é incorreto dizer grau centígrado) é °C e deve escrever-se junto:  
**36,3 °C** não **36,3° C** Nota: 36,3° é um ângulo e C é a unidade de carga elétrica, coulomb.
- Ah, o nome das unidades escreve-se com minúsculas, mesmo tratando-se do nome de uma pessoa (não compreendido pelo corretor ortográfico do Word):  
a unidade de força é o **newton**, não a unidade de força é o **Newton**
- Notem quem nem todos os múltiplos e submúltiplos se usam. Em alguns casos é mais habitual usar potências de dez:  
**3,57×10<sup>9</sup> s** é mais habitual do que **3,57 Gs**
- O inverso do segundo tem um nome e símbolo especial (hertz, Hz), contudo o seu uso restringe-se a frequências:  
**101,4 MHz** (frequência de rádio), mas não **10 m·Hz** (velocidade: deve escrever-se **10 m/s**)

Fator	Prefixo	
	Nome	Símbolo
10 <sup>24</sup>	yotta	Y
10 <sup>21</sup>	zetta	Z
10 <sup>18</sup>	exa	E
10 <sup>15</sup>	peta	P
10 <sup>12</sup>	tera	T
10 <sup>9</sup>	giga	G
10 <sup>6</sup>	mega	M
10 <sup>3</sup>	kilo <sup>12</sup>	k
10 <sup>2</sup>	hecto	h
10 <sup>1</sup>	deca	da
10 <sup>-1</sup>	deci	d
10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>-3</sup>	mili	m
10 <sup>-6</sup>	micro	μ
10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>-12</sup>	pico	p
10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>-18</sup>	atto	a
10 <sup>-21</sup>	zepto	z
10 <sup>-24</sup>	yocto	y

- Em geral, há apenas uma grafia usada habitualmente para cada unidade derivada, mas há exceções:  
 $300 \text{ V/m}$  e  $300 \text{ N/C}$  são duas formas habituais de indicar o valor do campo elétrico.
- Atenção ao símbolo de percentagem.  $20\% = 0,20$ . Considerem os seguintes textos:
  - i – entre 20 e 40%
  - ii – entre 20% e 40%
  - iii – entre vinte e quarenta por cento
  - iv – entre vinte por cento e quarenta por centoO primeiro texto está errado, diz entre 20 e 0,40 o que não é o pretendido.  
Os segundo e quarto textos estão corretos.  
E o terceiro texto? Em minha opinião é aceitável, isto é, está correto, porque corresponde a uma liberdade da língua portuguesa: o “por cento” final aplica-se aos dois números. Notem que no primeiro texto optou-se por usar símbolos matemáticos em vez de palavras e por isso a liberdade da língua portuguesa não se aplica neste caso.

Vejamos agora de onde surgem todas estas convenções, regras e exceções. A resposta é muito simples: humanos! Para computadores bastariam as unidades de base. Não eram necessários múltiplos e submúltiplos nem dar nomes às unidades derivadas.

Por exemplo, a unidade de pressão, o pascal, escrita em unidades de base era meio caminho andado para cometermos erros humanos. Para os computadores não teria problema nenhum. Mas há a dificuldade em decidir o nome a atribuir, cada país querendo usar os nomes dos seus cientistas para o nome das unidades (o nome das leis físicas, por vezes, varia de país para país porque em cada país usam o nome de um cientista seu relacionado com o tópico dessa lei).

Outra dificuldade é que a língua não é a mesma em todos os países (por cá é o português, aqui ao lado temos o castelhano, etc.) e, a somar a isso, cada governo quer pôr o seu carimbo e validar tudo no seu parlamento, Diário da República, etc. Assim, cada país, aprova a sua versão das regras e unidades que, por vezes, não coincidem totalmente de país para país. Felizmente, no geral coincidem.

Há ainda diferenças culturais no que respeita à interação com a ciência. Essas diferenças podem surgir dentro de uma mesma universidade, de universidade para universidade dentro do mesmo país, de país para país, de contexto para contexto (por exemplo, quem está mais ligado ao ensino ou mais ligado à investigação teórica ou a este ou aquele tema tende a conviver mais dentro do seu nicho e resolverem entre si os seus problemas e depois, como somos humanos, temos dificuldade em abrir mão dos nossos hábitos e chegar a um acordo com os outros atores). Todas estas fações querem ter uma palavra a dizer e querem que a versão final dos documentos contemple o seu caso. Um exemplo é a termo “erro”. Se virem a sua definição no VIM, versão 2012, encontram um texto à defesa, cheio de notas a indicar que há diferentes sensibilidades e diferentes interpretações.

Para além destes aspetos mais “políticos” há aspetos mais meramente humanos. Os números de telefone agrupam habitualmente os algarismos três a três. Porquê? Porque dessa forma cometemos menos enganos (vou passar a usar a palavra engano em vez de erro para os erros humanos como, por exemplo, escrever 337 em vez de 377). Em geral, números entre um e cem são mais fáceis de memorizar e não cometemos tantos enganos. Os números entre uma décima e um ou entre cem e mil também ainda funcionam razoavelmente bem. Quanto mais nos afastarmos destas gamas de números maior a probabilidade de enganos. Daí a vantagem dos múltiplos e submúltiplos. Nós dizemos que uma povoação dista 45 km de outra, não 45 000 m. Mas tudo isto depende de estarmos mais ou menos familiarizados com uma determinada forma de exprimir os números num determinado contexto.

Múltiplos e submúltiplos de unidades e potências de dez ajudam-nos a trabalhar com números mais próximos de um ou entre um e mil.

## Algarismos significativos