
Breve História da Medição de Temperaturas

Paulo Cabral*

Introdução

Investigação de novos combustíveis, cuidados médicos, produção industrial, meteorologia, aproveitamento da energia solar e desenvolvimento de novos motores para automóveis são apenas alguns dos inúmeros domínios de aplicação das medições de temperatura.

Embora se trate de uma grandeza com a qual lidamos diariamente, a temperatura apresenta alguns aspectos peculiares que fazem dela um caso único entre as grandezas físicas. Basta pensarmos, por exemplo, que se unirmos dois pedaços de metal com 1 metro de comprimento cada o comprimento total resultante será de 2 metros; já o mesmo não se passa se juntarmos dois corpos encontrando-se cada um deles inicialmente à temperatura de 10 °C, pois não passaremos a ter um corpo a 20 °C, mas sim a 10 °C!...

A história da medição da temperatura é um pouco obscura. A explicação das dificuldades na definição desta grandeza tem a ver com o facto de ela não depender da “quantidade” de material sobre o qual se pretende efectuar a medição (como é o caso, por exemplo, da pressão); para além disso, não intervêm aqui grandezas facilmente “quantificáveis” pelos sentidos humanos.

O corpo humano é um péssimo “termómetro”, pois além de ser um instrumento “diferencial” (uma vez que só consegue distinguir entre “mais frio” e “mais quente” em relação à sua própria temperatura) induz facilmente o observador em erro, dado que é sensível a outras grandezas, como por exemplo a condutibilidade térmica (uma maçaneta metálica “parece mais fria” ao tacto do que a madeira da porta onde se encontra

colocada, apesar de estarem ambas à mesma temperatura!).

Associado ao conceito de “temperatura” (e com ele frequentemente confundido!) surge o conceito de “calor”: embora saibamos, da nossa experiência quotidiana, que é mais difícil aquecer um dado volume de água do que idêntico volume de ar, não é intuitiva a razão pela qual tal sucede.

A experiência dos nossos sentidos permite, no entanto, concluir ser verdadeira a seguinte afirmação, designada por “lei zero” da termodinâmica:

“se dois corpos estiverem, individualmente, em equilíbrio térmico com um terceiro, então esses corpos estão também em equilíbrio térmico entre si”.

Breve história das medições de temperatura

Os registos históricos existentes situam a primeira tentativa de estabelecer uma “escala de temperaturas” entre os anos 130 e 200 d.C., altura em que Galeno — médico grego cujos ensinamentos constituíram a base da prática clínica até ao século XVII — terá sugerido que as sensações de “quente” e “frio” fossem medidas com base numa escala com quatro divisões numeradas acima e abaixo de um ponto neutro; para tal escala termométrica, atribuiu a temperatura de “4 graus de calor” à água a ferver, a temperatura de “4 graus de frio” ao gelo e a temperatura “neutra” à mistura de quantidades iguais daquelas duas substâncias.

* Instituto Electrotécnico Português (IEP)
Laboratório de Metrologia
Rua de S. Gens, 3717 - 4460-409 Senhora da Hora - Portugal
Telefone +351-22 957 0000 - Fax +351-22 953 0594
E-mail: paulo.cabral@iep.pt

Cerca de 1300 anos mais tarde, um outro “físico” (designação então dada aos médicos), Harme de Berna, criou uma escala de temperaturas baseada nas latitudes terrestres, atribuindo “4 graus de frio” aos polos e “4 graus de calor” ao equador. De acordo com essa escala, seria possível estabelecer a mistura ideal de drogas a ministrar, de acordo com o local da Terra em que o paciente se encontrasse...

A idéia de um instrumento para medir a temperatura foi talvez inspirada nos escritos de Héron de Alexandria (século I d.C.), publicados em Itália em 1575. Entre os estranhos inventos descritos nessa obra, havia uma “fonte que goteja ao Sol”. Os cientistas italianos que estudaram esses textos propuseram uma explicação para o fenómeno: expansão devida ao calor.

Galileo Galilei é geralmente tido como o inventor do primeiro termómetro, em 1592, suspendendo sobre um reservatório aberto, cheio de álcool colorido, um tubo estreito de vidro oco, no cimo do qual colocou uma esfera de vidro, também oca. Quando aquecido, o ar dentro da esfera expandia-se e borbulhava através do álcool. Arrefecendo a esfera, o líquido penetrava no interior do tubo. As flutuações da temperatura da esfera podiam assim ser observadas, anotando a posição do líquido dentro do tubo.

Em 1611, Bartolomeu Telioux, de Roma, desenhou um termoscópio dotado de uma escala; no entanto a sua descrição de tal dispositivo revela pouca compreensão dos princípios físicos envolvidos.

O verdadeiro “termómetro” foi inventado pelo médico italiano Santorio Santorre que, cerca de 1612, desenvolveu

um termoscópio a ar equipado com uma escala para leitura da temperatura.

Sabe-se que em 1632 Jean Ray usou um termómetro de líquido em vidro, embora ainda com o topo aberto.

Na segunda metade do século XVII o termómetro a ar era já muito conhecido, embora a sua eficácia deixasse bastante a desejar. Em 1644, por exemplo, Evangelista Torricelli descobrira a variabilidade da pressão do ar e, cerca de 1660, comprovou-se que o termómetro a ar reagia não só às mudanças de temperatura mas também às de pressão.

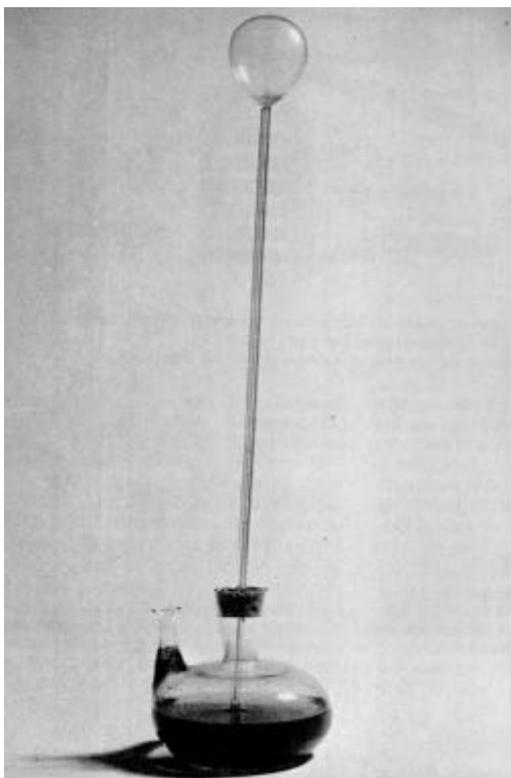


Fig. 1 — Cópia do termoscópio a ar construído por Galileo em 1592. Variando com a temperatura, a pressão do ar alterava a altura da coluna de álcool.

A solução para esse problema — e também o grande passo seguinte na medição da temperatura — fora dado em 1654 por Ferdinando II, grão-duque da Toscana, que selou um tubo contendo álcool e tendo gravada uma escala arbitrária, dividida em 50 graus. Pelo facto de ser fechado, tal dispositivo não sofria a influência da pressão atmosférica, pois esta actuava de igual modo em todo o termómetro. Nascia assim o “termómetro florentino”, primeiro termómetro de líquido em vidro de construção selada e incorporando uma escala graduada.

O termómetro de líquido tornou-se amplamente conhecido após a publicação de um relatório da *Accademia del Cimento*, de Florença, em meados do século XVII. Um dos instrumentos construídos na *Accademia*, composto por um tubo helicoidal com uma escala dividida em 420 graus, proporcionou uma excelente demonstração da expansibilidade do álcool e da sua eficácia como fluido termométrico. Vários outros termómetros, com escalas de 50 e de 100 graus, foram construídos naquela instituição; o grande problema com tais dispositivos residia na variação das

escalas, de um modelo para outro, que só coincidiam em aparelhos iguais, não permitindo, portanto, uma escala de temperaturas uniforme.

Durante a década de 1660, Robert Hooke, da *London Royal Society*, estabeleceu os primeiros princípios de comparação entre termómetros de diferentes construções, evitando assim a necessidade de construir réplicas exactas de cada termómetro. O seu método consistiu em estabelecer dois pontos de congelação da água (início da solidificação e solidificação completa), criando uma escala entre -7 e +13 graus, obtidos em tempo de inverno e de verão, respectivamente.

Ao longo das décadas seguintes, muitas escalas de temperatura foram concebidas, todas baseadas num ou mais pontos fixos, arbitrariamente escolhidos; em 1778 foram contadas nada menos do que 27 diferentes escalas termométricas! Os pontos fixos tentados incluíam a temperatura do corpo humano, o ponto de fusão da manteiga e mesmo a temperatura das caves do Observatório de Paris...

No entanto, nenhuma escala foi universalmente aceite até cerca de 1714, quando Gabriel Fahrenheit, um fabricante holandês de instrumentos de precisão, construiu os primeiros termómetros de mercúrio precisos e repetitivos. Fahrenheit fixou o ponto inferior (o “zero”) da sua escala de temperaturas à custa de uma mistura de gelo e de sal; esta era a temperatura mais baixa que ele podia reproduzir, e atribuiu-lhe o valor de “32 graus”. Para o extremo superior da sua escala, escolheu a temperatura normal do corpo humano, designando-a por “96 graus”. Porquê 96 e não 100 graus? Outras escalas anteriores

havam sido divididas em 12 partes; Fahrenheit, aparentemente para obter uma maior resolução, dividiu a sua escala em 24, depois em 48 e por fim em 96 partes. A escala de Fahrenheit ganhou grande popularidade, principalmente devido à repetibilidade e à qualidade de construção dos termómetros por si produzidos.

Cerca de 1742, o sueco Anders Celsius propôs que o ponto de fusão do gelo e o ponto de ebulição da água fossem adoptados para definir uma escala de temperaturas. Celsius escolheu os “zero

graus” como sendo o ponto de ebulição da água, atribuindo os “100 graus” ao ponto de fusão. Mais tarde, esses pontos foram invertidos e nasceu a escala “centígrada” (que significa literalmente “dividida em cem graus”). Em 1948 o nome desta escala viria a ser oficialmente alterado para “escala Celsius”.

Entretanto, ainda no século XVIII, Amontons desenvolveu um termómetro de gás, medindo a pressão no interior de um bolbo selado contendo um gás. Verificou assim que a relação entre as pressões no verão e no inverno estavam na proporção de 6 para 5; foi mais longe, e concluiu que a menor temperatura possível seria aquela que provocasse uma pressão nula no

interior do bolbo. Parecia, pois, haver uma relação de proporcionalidade entre a temperatura e a pressão, embora na época não tenha sido dada grande relevância a tal conclusão, devido ao facto de o termómetro de gás de Amontons ser de grandes dimensões e pouco manuseável. Posteriormente, os trabalhos de Amontons viriam a dar origem à termometria de gás.

No início dos anos 1800 William Thomson (que viria mais tarde a receber o título de *Lord Kelvin*) desenvolveu uma escala termodinâmica universal baseada no

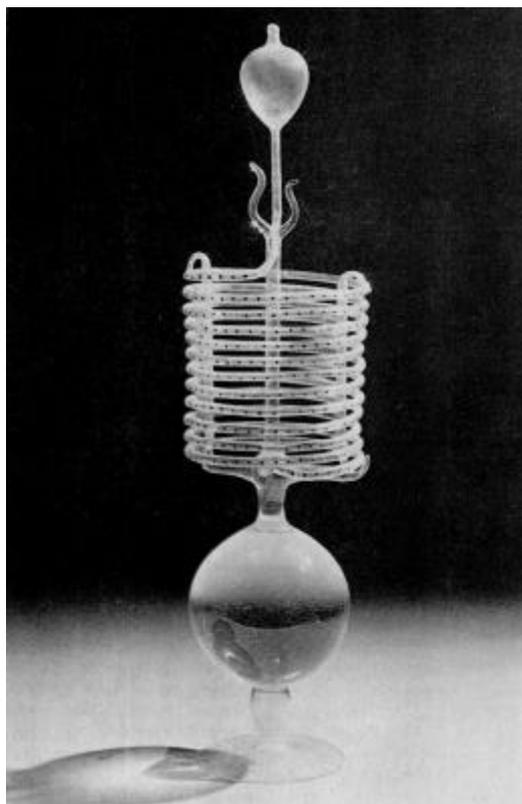


Fig. 2 — Cópia de um termómetro de álcool fabricado na *Accademia del Cimento*, em Florença. O tubo helicoidal permitia medir uma grande faixa de temperatura.

coeficiente de expansão de um gás ideal. Kelvin estabeleceu o conceito de “zero absoluto” e a sua escala veio a tornar-se a base da moderna termometria.

Em 1821 *Sir Humphrey Davy* descobriu que a resistividade dos metais apresentava uma forte dependência da temperatura.

Entretanto *Sir William Siemens* propôs, cerca de 1861, o uso de termómetros de resistência de platina, com os quais a medição da temperatura seria feita à custa da variação com a temperatura da resistência eléctrica de um fio de platina. Em 1887 Callendar aperfeiçoou tal termómetro, obtendo grande concordância de resultados entre o termómetro de platina e um termómetro de gás. Actualmente a medição de temperaturas por meio de termómetros de platina assume grande importância em numerosos processos de controlo industrial; são também usados termómetros de platina de construção especial como instrumentos de interpolação das escalas internacionais de temperatura, a nível primário.

Em 1821 Thomas Seebeck descobriu que quando dois fios de metais diferentes são unidos em duas extremidades e um dos extremos é aquecido circula uma corrente eléctrica no circuito assim formado. Estava desta forma descoberto o termopar, hoje em dia o mais importante sensor de temperatura para aplicações industriais.

Merece ainda referência o termopar de platina com 10% de ródio/platina desenvolvido em 1886 por Le Chatelier; este termopar foi durante largos anos usado em laboratórios primários como instrumento de interpolação das escalas internacionais de temperatura, acima dos 630 °C, sendo ainda hoje usado como padrão secundário em inúmeros laboratórios.

Definição da unidade SI de temperatura termodinâmica

A medição das grandezas físicas requer a adopção de um sistema de unidades. Toda a moderna metrologia está baseada num conjunto de definições constantes do *Système International d'Unités* (Sistema Internacional de Unidades), abreviadamente designado por SI. Neste sistema, a temperatura termodinâmica constitui uma das sete unidades ditas “de base”, tendo por unidade o *kelvin*, o qual se encontra assim definido:

“o kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fracção 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água”[†].

Esta definição foi aprovada pela 13.^a Conferência Geral dos Pesos e Medidas (CGPM), em 1967, sendo uma revisão da definição primeiramente introduzida em 1954.

Assim, a unidade de temperatura termodinâmica é definida atribuindo um valor à temperatura termodinâmica (absoluta) de um único estado da matéria bem definido, universal e reprodutível.

O SI reconhece que os valores de temperatura expressos em kelvins não são adequados para a vida diária, acrescentando-lhe a definição de *grau Celsius*, de acordo com a expressão

$$t / ^\circ\text{C} = T / \text{K} - 273,15$$

em que $t / ^\circ\text{C}$ é a temperatura termodinâmica em grau Celsius e T / K é a temperatura termodinâmica equivalente em kelvins.

Escalas práticas de temperatura

No início do século XX constatou-se a necessidade da existência de uma escala de temperaturas universal, definida de tal modo que fosse precisa, reprodutível, simples de utilizar e que fornecesse valores de temperatura tão próximos quanto possível da temperatura termodinâmica.

A 1.^a Guerra Mundial atrasou a concretização deste objectivo, tendo sido só em 1927 que a 7.^a CGPM adoptou a primeira Escala Internacional de Temperatura (ITS-27). Essa escala estendia-se desde os -190 °C até acima dos 1 063 °C.

A ITS-27 foi sujeita a uma revisão em 1948, passando a ser designada por ITS-48; esta escala foi por sua vez alterada em 1960, adoptando nesse ano a nova designação de IPTS-48; uma revisão mais profunda ocorreu em 1968, sendo então adoptada a Escala Internacional Prática de Temperaturas de 1968 (IPTS-68).

Pouco tempo após a sua adopção, foram constatadas muitas limitações e deficiências na IPTS-68, sendo-lhe introduzidas algumas correcções em 1975; para além disso foi-lhe acrescentada a

[†] Entende-se por “ponto triplo da água” a temperatura à qual a água coexiste nos estados sólido, líquido e gasoso.

Escala Provisória de Temperatura de 0,5 K a 30 K (EPT-76) em 1976.

Em 1987, a 18.^a CGPM decidiu que fosse desenvolvida uma nova escala de temperaturas, que viria a entrar oficialmente em vigor a 1 de Janeiro de 1990[‡] sob a designação de Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90).

A Escala Internacional de Temperatura de 1990

A Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) define as *Temperaturas Kelvin Internacionais*, com o símbolo T_{90} , e as *Temperaturas Celsius Internacionais*, com o símbolo t_{90} . A relação entre T_{90} e t_{90} é a mesma que entre T e t , isto é,

$$t_{90} / ^\circ\text{C} = T_{90} / \text{K} - 273,15.$$

A ITS-90 estende-se desde 0,65 K até à mais elevada temperatura mensurável em termos da lei da radiação de Planck usando radiação monocromática.

Entre 0,65 K e 5,0 K T_{90} é definida em termos das relações entre temperatura e pressão de vapor do ^3He e do ^4He .

Entre 3,0 K e o ponto triplo do néon (24,5561 K) T_{90} é definida por meio de um termómetro de gás, de hélio, calibrado em três temperaturas realizáveis experimentalmente, às quais foram atribuídos valores numéricos (pontos fixos definidores) e usando procedimentos de interpolação especificados.

Entre o ponto triplo do hidrogénio em equilíbrio (13,8033 K) e o ponto de congelação da prata (961,78 °C) T_{90} é definida por meio de termómetros de resistência de platina calibrados em conjuntos especificados de pontos fixos definidores e usando procedimentos de interpolação especificados.

Acima do ponto de congelação da prata (961,78 °C) T_{90} é definida em termos de um ponto fixo definidor e da lei da radiação de Planck.

Os pontos fixos definidores da ITS-90 estão listados na tabela 1.

Consequências práticas da adopção da ITS-90

A introdução da nova escala de temperaturas em 1 de Janeiro de 1990 trouxe como consequência a modificação da quase totalidade dos valores numéricos de temperatura. Este aspecto — infelizmente pouco divulgado fora da comunidade metrológica — pode ter algumas consequências importantes para todos os que trabalham em áreas da ciência e da técnica onde são necessárias medições rigorosas da temperatura.

Com efeito, uma dada temperatura termodinâmica expressa com base na ITS-90 tem um valor numérico diferente daquele que tinha quando era expressa a partir da IPTS-68, excepto nos casos do zero absoluto (0 K), da temperatura do ponto triplo da água (273,16 K, ou 0,01 °C) e de alguns outros pontos para os quais os valores de temperatura obtidos nas duas escalas são casualmente os mesmos (57 K; 656,85 °C e 896,85 °C).

A título de exemplo das consequências práticas destas alterações, podemos pensar no ponto de ebulição da água, à pressão atmosférica “normal”; tal temperatura era de 100 °C pela IPTS-68, sendo agora de 99,974 °C...

[‡] Na mesma data (1990-01-01) foram alteradas em todo o mundo, para além da escala prática de temperaturas, as definições do volt (unidade de força electromotriz) e do ohm (unidade de resistência eléctrica). Em conjunto, estas três modificações introduzidas no SI vieram alterar substancialmente os valores atribuídos aos padrões nacionais daquelas três grandezas (bem como das grandezas delas derivadas) em numerosos países, permitindo uma maior uniformidade internacional das medidas.

Temperatura		Substância (^a)	Estado (^b)
T_{90}/K	$t_{90}/^{\circ}\text{C}$		
3 a 5	-270,15 a -268,15	He	V
13,803 3	-259,346 7	e-H ₂	T
≈17	≈256,15	e-H ₂ (ou He)	V (ou G)
≈20,3	≈252,85	e-H ₂ (ou He)	V (ou G)
24,556 1	-248,593 9	Ne	T
54,358 4	-218,791 6	O ₂	T
83,805 8	-189,344 2	Ar	T
234,315 6	-38,834 4	Hg	T
273,16	0,01	H ₂ O	T
302,914 6	29,764 6	Ga	F
429,748 5	156,598 5	In	C
505,078	231,928	Sn	C
692,677	419,527	Zn	C
933,473	660,323	Al	C
1 234,93	961,78	Ag	C
1 337,33	1 064,18	Au	C
1 357,77	1 084,62	Cu	C

(^a) Todas as substâncias, excepto o ³He, são de composição isotópica natural; o e-H₂ é hidrogénio na concentração de equilíbrio das formas orto- e para-moleculares.

(^b) **V**: ponto de pressão de vapor; **T**: ponto triplo (temperatura à qual as fases sólida, líquida e de vapor se encontram em equilíbrio); **G**: ponto do termómetro de gás; **F**, **C**: ponto de fusão, ponto de congelação (temperatura, à pressão de 101 325 Pa, à qual as fases sólida e líquida se encontram em equilíbrio).

Tabela 1

Outras características, muito utilizadas nos vários domínios técnicos e científicos, que também são afectadas por estas alterações são, por exemplo, a capacidade calorífica, a entalpia, a entropia, etc.

Bibliografia

- [1] "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)"
H. Preston-Thomas
Metrologia, 27, 1990
- [2] "Guidelines for Realising the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)"
B. W. Mangum
G. T. Furukawa
NIST Technical Note 1265, 1990
- [3] "Conversion of Temperatures and Thermodynamics Properties to the Basis of the International Temperature Scale of 1990"
R. N. Goldberg
R. D. Weir
Pure and Applied Chemistry, vol. 64, no. 10, 1992

[4] "Practical Temperature Measurements"
Hewlett-Packard Application Note 290

[5] "Temperature Scales and Standards"
R. L. Rusby
NPL, 1990

[6] "Resistance Thermometry"
M. V. Chattle
NPL, 1990

