

Medição de temperatura | Comparação de termómetros | Calibração
Fundamentos teóricos
Temperatura

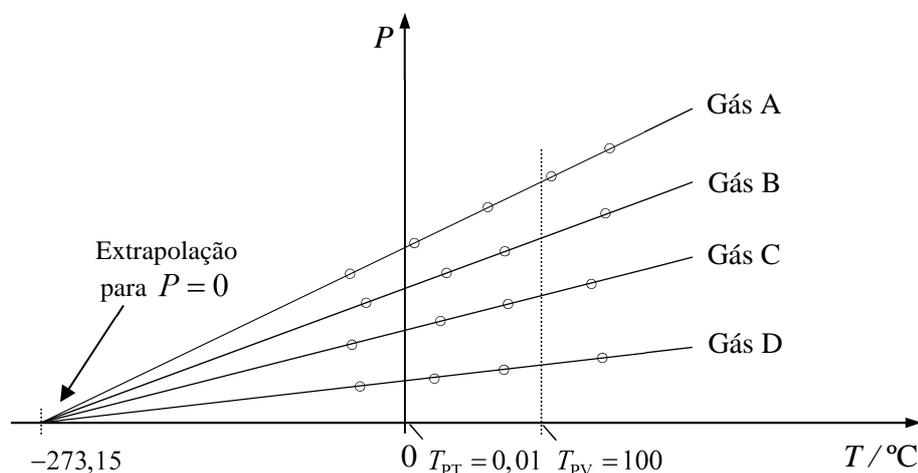
A temperatura é uma grandeza que caracteriza os sistemas termodinâmicos em equilíbrio térmico. Por definição, dois sistemas em equilíbrio térmico estão à mesma temperatura.

O equilíbrio térmico satisfaz a seguinte relação transitiva, designada por LEI ZERO DA TERMODINÂMICA: Sejam A, B e C três sistemas. Se A está em equilíbrio térmico com B, e B em equilíbrio térmico com C, então A e C estão em equilíbrio térmico.

A medição de temperatura é uma aplicação da Lei Zero, onde o *sistema cuja temperatura queremos medir*, o *termómetro* e o *padrão de temperatura* são, respetivamente, os sistemas A, B e C do enunciado da Lei Zero.

A construção de uma escala de temperatura envolve a escolha de um sistema (termómetro), de uma propriedade termométrica e de pontos fixos (temperaturas de referência). Antes de 1954, a escala internacional de temperatura era baseada em dois pontos fixos da água à pressão de 1 atm: o *ponto de gelo*, ao qual era atribuído a temperatura de 0 °C, e o *ponto de vapor*, ao qual era atribuído a temperatura de 100 °C, sendo por isso também designada por escala centígrada.

Entretanto, verificou-se que os gases têm propriedades notáveis que os tornam especialmente apropriados para a medição de temperatura. Conforme a figura seguinte, para baixas pressões, a variação da pressão dum gás com a temperatura é linear e, embora o declive da reta seja diferente de gás para gás, todas as retas se interseitam no eixo das temperaturas em $-273,15^\circ\text{C}$ (a menor temperatura alcançável).



Medição de temperatura | Comparação de termómetros | Calibração

Este facto sugere uma nova escala (escala absoluta de temperatura), só com valores positivos, cuja unidade é o kelvin (K) e onde o zero da escala é em $-273,15^\circ\text{C}$. Como o ponto triplo (PT) da água (as três fases da água em equilíbrio) é de fácil de implementação e tem a temperatura de $0,01^\circ\text{C}$, então na nova escala o PT da água é o ponto fixo de referência, ao qual se atribui, por definição, o valor de $273,16\text{ K}$. [NOTA: na escala absoluta não existe o termo grau]

Temos, portanto, dois pontos fixos: 0 K e $273,16\text{ K}$. Escolhemos agora um sistema (termómetro) e uma das suas propriedades como a propriedade termométrica X . Considera-se, por convenção, a temperatura T proporcional a X , ou seja, $T(X) = aX$, onde a é uma constante. Esta constante é determinada medindo o valor de X_{PT} , ou seja, o valor de X quando o termómetro está em contacto térmico com o ponto triplo da água. Obtêm-se então

$$T(X) = 273,16 \frac{X}{X_{\text{PT}}}$$

Escala Celsius

Por definição, a escala Celsius de temperatura é dada por

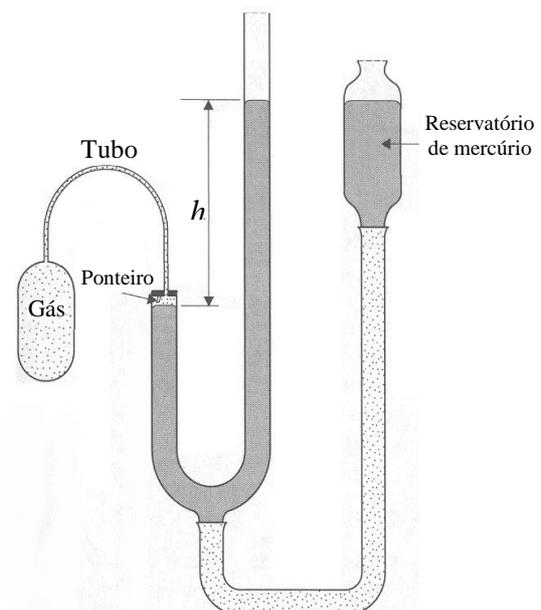
$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

Termómetro de gás a volume constante

O termómetro mais preciso é o termómetro de gás ideal a volume constante. A equação de estado dum gás ideal é $PV = nRT$, onde n é o número de moles e R é a constante universal dos gases.

Se o volume do gás é constante temos

$$T(P) = 273,16 \frac{P}{P_{\text{PT}}}$$

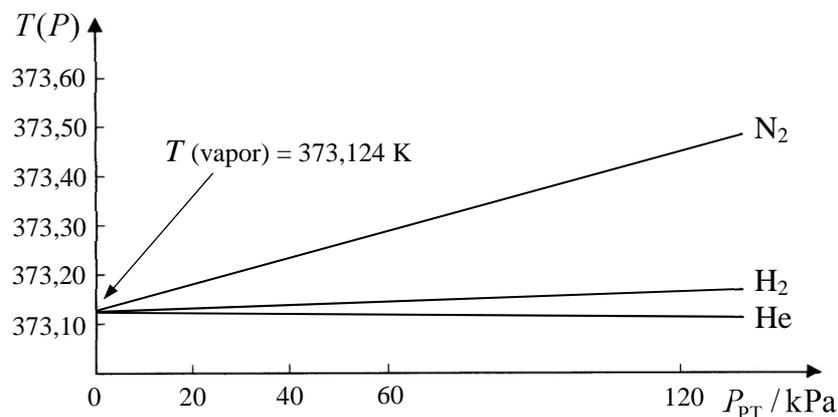


Medição de temperatura | Comparação de termómetros | Calibração

Na prática, todos os gases a pressões muito baixas têm um comportamento ideal, isto é, todos os gases indicam a mesma temperatura quando $P_{PT} \rightarrow 0$. Assim, a temperatura absoluta é dada por

$$T(P) = 273,16 \lim_{P_{PT} \rightarrow 0} \left(\frac{P}{P_{PT}} \right)$$

A figura ilustra a medição da temperatura do ponto de vapor para a água com termómetros de diferentes gases e diferentes valores de P_{PT} . Por extrapolação, o valor obtido é 373,124 K, ou $373,124 - 273,15 = 99,974$ °C. [NOTA IMPORTANTE: como o ponto de vapor da água não é exatamente 100 °C, a escala Celsius NÃO pode designar-se por escala centígrada]



Os termómetros de gás a volume constante constituem padrões primários de temperatura e estão na base da própria definição da escala absoluta.

Termómetro de resistência de platina (Pt-100)

O termómetro de resistência de platina (TRP) é o mais preciso a seguir ao termómetro de gás ideal, e mais fácil de usar. São usados na gama de -260 °C a 960 °C. Quando calibrados com termómetros de gás, os TRP são padrões primários de temperatura, e são os termómetros mais precisos e exatos que podemos usar. A resistência de platina varia com a temperatura de forma muito linear. Assim, os valores da resistência a algumas temperaturas podem ser ajustados por regressão linear, permitindo usar o TRP para medir qualquer valor da temperatura dentro da sua gama de funcionamento. Para maior precisão e exatidão faz-se um ajuste cúbico. O TRP usualmente utilizado apresenta uma resistência nominal a 0 °C de 100Ω , pelo que é conhecido por Pt-100.

Medição de temperatura | Comparação de termómetros | Calibração

Atividade experimental – comparação e calibração de termómetros

Objetivos

- Fazer o ajuste linear/cúbico dos pontos de calibração de um Pt-100.
- Medir a temperatura da água colocada num calorímetro com diversos termómetros e com um padrão Pt-100.
- Determinar a incerteza de cada termómetro.
- Discutir e concluir sobre a precisão e exactidão de cada termómetro.
- Compreender os conceitos de padrão, calibração e cadeia metrológica.

Para pensar: Que procedimentos e cuidados se devem adoptar para minimizar os erros experimentais quando se medem temperaturas?

Ajuste cúbico dos pontos de calibração de um Pt-100

Medição de temperatura / comparação de termómetros

Do certificado de calibração do Pt-100, reproduzimos a tabela com os 5 pontos de calibração.

Tabela de calibração do Pt-100 (IEP | Certificado nº M-2013-1481-00)

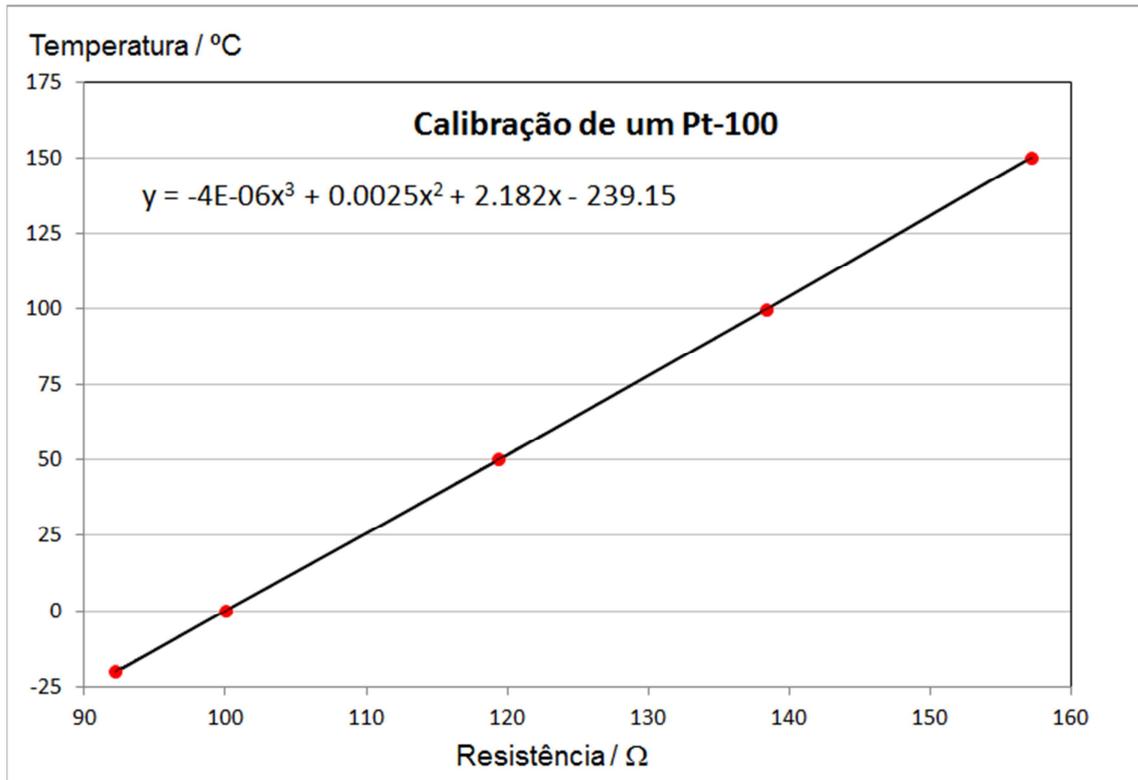
Fluke 8840A		Valor verdadeiro da temperatura (°C)	Erro de medição (°C)	Incerteza expandida (°C)	Profundidade de imersão (mm)
Resistência medida 4 fios (Ω)	Temperatura equivalente (°C)				
92,166	-19,98	-20,00	+ 0,02	± 0,10	157
100,009	0,02	0,06	- 0,04	± 0,10	157
119,350	49,88	50,02	- 0,14	± 0,17	157
138,349	99,59	99,95	- 0,36	± 0,16	157
157,157	149,55	149,98	- 0,43	± 0,17	157

TAREFA: Fazer a regressão linear com os pontos da tabela.

Para uma maior precisão e exactidão, o ajuste cúbico pelo método dos mínimos quadrados é apresentado na forma gráfica e de equação (figura seguinte).

Medição de temperatura | Comparação de termómetros | Calibração

Ajuste cúbico dos pontos das colunas 1 e 3 da tabela anterior



A equação de calibração do TRP é

$$T = \left(-4,0 \times 10^{-6} R^3 + 0,0025 R^2 + 2,182 R - 239,15 \right) \pm 0,01 \text{ (}^\circ\text{C)},$$

a qual é utilizada para converter os valores de resistência medidos em temperatura.

Ler e registar as inscrições gravadas nos termómetros.

Referência do termómetro	Analógico ou digital?	Inscrições

Medição de temperatura | Comparação de termómetros | Calibração

Fazer a leitura da temperatura da água com os vários termómetros e com o padrão Pt-100.

Grupo:			
Escola:			Data: / / 2013
Ref. do termómetro	Medição 1 / °C	Medição 2 / °C	Medição 3 / °C
	±	±	±
	±	±	±
	±	±	±
	±	±	±
	±	±	±
Pt-100	± 0,001 Ω ± 0,01 °C	± 0,001 Ω ± 0,01 °C	± 0,001 Ω ± 0,01 °C

Dos termómetros utilizados qual é o mais preciso? E o mais exato?

Ordene-os por precisão e por exatidão.

Precisão ↑	Exatidão ↑	Observações

Discuta as vantagens e/ou desvantagens a utilização do termómetro digital relativamente ao termómetro analógico.

Observações/comentários/sugestões finais: utilize o verso da folha.