

2.3 Escalas termométricas (Celsius, Réaumur, Kelvin e Fahrenheit)

Como se constrói uma escala termométrica?

Para a construção de uma **escala termométrica** procede-se do seguinte modo:

- Escolhe-se a substância termométrica, normalmente um líquido;
- Coloca-se o líquido num reservatório (bulbo), ligado a um tubo capilar;
- Escolhem-se dois estados térmicos, que se mantenham invariáveis por um determinado tempo e que sejam de fácil reprodução. Geralmente os estados térmicos escolhidos são o ponto de fusão do gelo à pressão normal, 1 atmosfera, e o ponto de ebulição da água também à pressão normal. Estes estados térmicos são, normalmente, chamados pontos fixos;
- Num recipiente contendo água no estado líquido e gelo a derreter, introduz-se o termómetro, aguarda-se o equilíbrio térmico e anota-se a altura da coluna de líquido, correspondente à temperatura de fusão do gelo, T_g ;
- Num recipiente contendo água em ebulição, em presença de vapor de água, coloca-se o termómetro, aguarda-se o equilíbrio térmico e anota-se a altura da coluna correspondente ao estado de vapor, T_v ;
- Divide-se em partes iguais o intervalo delimitado entre as anotações e associa-se os valores numéricos arbitrários. Cada parte em que fica dividido o intervalo é denominada grau de escala, e é a sua unidade.



Figura 16 – Termómetro digital.



Figura 17 – Como construir uma escala termométrica.

Existem diversos tipos de termómetros de acordo com o grau de precisão necessário e o intervalo de temperatura a ser medido. Podem estar graduados em diferentes escalas e a sua utilização varia de país para país.

Quais as escalas mais usadas nos termómetros?

As escalas mais utilizadas são a escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$), a escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) e a escala Kelvin (K). Esta última, é a escala adotada pelo Sistema Internacional de Unidades. No entanto, existem outras escalas como a Réaumur ($^{\circ}\text{R}$). Pensa-se que terá sido o médico grego Galeno, em 170 d. C., o primeiro a idealizar uma escala de temperaturas, baseada na ebulição da água e na fusão do gelo. Deixou algumas notas que não são suficientemente claras para se afirmar que tenha criado uma escala de temperaturas. Contudo, a primeira escala termométrica confiável é atribuída a um cientista inglês, Robert Hooke, que, em 1664, idealizou-a com tinta vermelha em vez de álcool. Esta escala foi utilizada pela Real Sociedade Inglesa até 1709, e com ela se fez o primeiro registo meteorológico conhecido.

Em 1702, o astrónomo Olaf Roemer aperfeiçoou esta escala criando, o ponto «0» para uma mistura de gelo e água e o valor «60» para água fervente.

Posteriormente, em 1708, o físico [Daniel Fahrenheit](#) começou a construir os seus próprios termómetros, utilizando mercúrio.

A escala com o seu nome, [escala Fahrenheit](#), foi criada em 1724 e após alguns ajustes atribuiu os valores «32» e «212», respetivamente para os pontos de fusão e ebulição da água.

A unidade é o grau Fahrenheit, cujo símbolo é $^{\circ}\text{F}$.



René Réaumur (1683-1757)



Anders Celsius (1701-1744)



Lorde Kelvin (1824-1907)

Na mesma época, em 1731, o físico e inventor francês [René Réaumur](#), inventou o termómetro a álcool e apresentou uma escala termométrica para este tipo de termómetros, que fez muito sucesso na Europa Ocidental. A [escala Réaumur](#) considera como pontos fixos o «0» para o ponto de fusão da água, e o «80» para o seu ponto de ebulição.

A unidade desta escala é o grau Réaumur e o seu símbolo é $^{\circ}\text{R}$.

Em 1742, o físico e astrónomo sueco, [Anders Celsius](#), apresentou à Real Sociedade Sueca a sua escala.

A [escala Celsius](#) adotou para o ponto de fusão de gelo o valor «0» e para o ponto de ebulição da água o valor «100». Dividiu o intervalo obtido entre os pontos fixos em cem partes iguais, e a [escala](#) passou a ser conhecida como [centígrada](#) ou [centesimal](#).

Em 1948, após uma convenção científica internacional sobre pesos e medidas, decidiu-se que a nomenclatura adotada seria o [grau Celsius](#) e o seu símbolo $^{\circ}\text{C}$.

A [escala Celsius](#) é a mais utilizada atualmente.

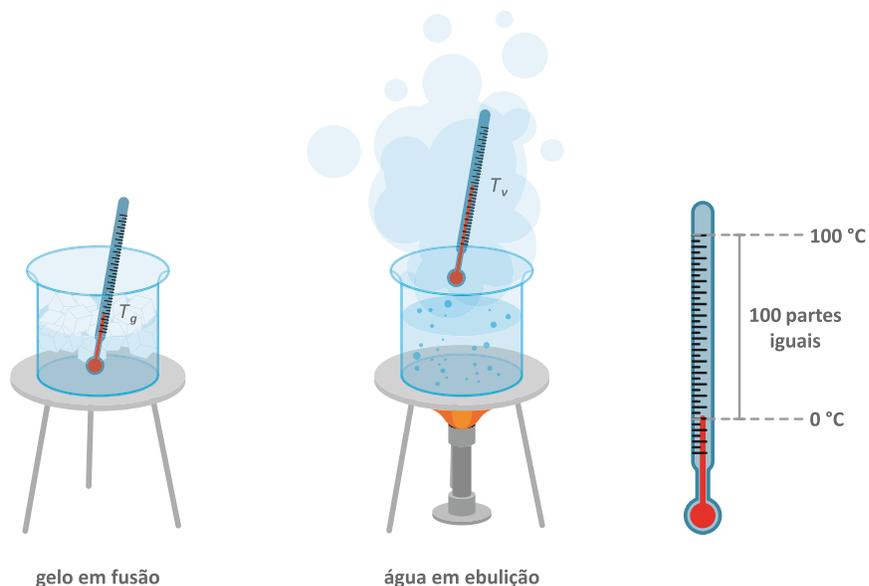


Figura 18 – Definição da escala Celsius.

A [escala Kelvin](#) foi estabelecida em 1848, pelo físico irlandês, William Thomson, que recebeu o título de nobreza [Lorde Kelvin](#). Verificou experimentalmente que a pressão de um gás diminuía $1/273$ do valor inicial, quando o arrefecia a volume constante de 0°C para -1°C . Como a pressão do gás está relacionada com o choque das suas partículas com as paredes do recipiente, quando a pressão fosse nula, as moléculas estariam em repouso, a agitação térmica seria nula e a sua temperatura também. Concluiu, então, que isso aconteceria se arrefecesse o gás até -273°C .

Assim, Kelvin atribuiu o valor «0» para este estado térmico e estabeleceu que a sua escala também seria centesimal, tal como a escala Celsius.

Deste modo, fez corresponder o ponto de fusão do gelo a 273 K e o ponto de ebulição da água a 373 K.

Posteriormente, descobriu-se ser impossível atingir o estado de agitação molecular nulo; as moléculas têm uma energia mínima denominada energia do ponto zero. O zero absoluto é obtido por extrapolação e não deve ser interpretado como o estado em que as partículas estariam em completo repouso, pois elas possuem uma energia mínima finita e apresentam movimento. Mais precisamente, o zero absoluto corresponde a $-273,15^{\circ}\text{C}$.

Qual é a relação entre as diferentes escalas termométricas?

Escala	Celsius	Kelvin	Fahrenheit	Réaumur
Unidade (símbolo)	grau Celsius (°C)	kelvin (K)	grau Fahrenheit (°F)	grau Réaumur (°R)
Temperatura de ebulição da água	100	373,15	212	80
Temperatura de fusão do gelo	0	273,15	32	0
Zero absoluto	- 273,15	0	- 459,67	-218,52

Tabela 1 – Escalas Termométricas.

$$\text{Temperatura (K)} = \text{Temperatura (°C)} + 273,15$$

$$\text{Temperatura (°C)} = 5/4 \text{ Temperatura (°R)}$$

$$\text{Temperatura (°F)} = 1,8 \text{ Temperatura (°C)} + 32$$

$$\text{Temperatura (°C)} = 5/9 (\text{Temperatura (°F)} - 32)$$

$$\text{Temperatura (°R)} = 0,8 \text{ Temperatura (°C)}$$

Tabela 2 – Fatores de conversão entre as escalas Celsius, Réaumur, Fahrenheit e Kelvin.

A saber:

A unidade SI de temperatura é o kelvin (K).

A saber:

Varição de temperatura:
 $1\text{ °C} = 1\text{ K} = 1,8\text{ °F} = 0,8\text{ °R}$

A saber:

A variação de temperatura em grau Celsius é igual à variação da temperatura em kelvin.

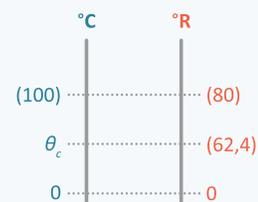
Questões Resolvidas

1. A temperatura de ebulção do álcool expressa na escala Réaumur é 62,4 °R. Converta este valor em grau Celsius.

Resolução:

1. A escala Réaumur assinala o ponto de 0 °R no ponto de fusão do gelo e o 80 °R no ponto de ebulção da água. Comparando as duas escalas, vem:

$$\frac{\theta_c - 0}{100 - 0} = \frac{62,4 - 0}{80 - 0} \quad \theta_c = 78 \text{ °C}$$



Podemos obter o mesmo resultado usando o fator de conversão:

$$\text{Temperatura (°C)} = 5/4 \text{ temperatura (°R)}.$$

2. Dois termômetros, um graduado na escala Celsius e outro na escala Fahrenheit, são mergulhados num mesmo líquido. A leitura em Fahrenheit supera em 100 unidades a leitura em Celsius. Qual era a temperatura desse líquido?

Resolução:

2. Do enunciado do problema, podemos escrever:

$$T (\text{°F}) = T (\text{°C}) + 100$$

A relação entre as escalas citadas é dada por:

$$\text{Temperatura (°C)} = 5/9 (\text{Temperatura (°F)} - 32), \text{ ou seja,}$$

$$T (\text{°C}) = 5/9 (T (\text{°F}) - 32)$$

Substituindo a 1ª equação na 2ª, vem:

$$T (\text{°C}) = 85 \text{ °C ou } T (\text{°F}) = 185 \text{ °F}.$$

Atividade Prático-Laboratorial

APL A-0.1: Construção e calibração de um termómetro

Questão-problema: Como construir e calibrar um termómetro?

Objetivo: Construção e calibração de um termómetro de água.

Questões pré-laboratoriais:

1. Qual a propriedade do líquido que permite o funcionamento de um termómetro?

Recursos:

- Garrafa ou frasco de vidro com tampa
- Massa/goma de modelar ou rolha de cortiça
- Palhinha de plástico fina e transparente
- Água
- Caneta que escreva em plástico
- Corante



Procedimento:

1. Faça um furo na tampa.
2. Insira a palhinha no furo e vede.
3. Encha a garrafa completamente com água fria (arrefece-se com gelo) e acrescente o corante.
4. Coloque a tampa, de modo que a água suba um pouco na palhinha.
5. Com a caneta, faça uma marca na palhinha, na altura do nível da água.
6. Coloque a garrafa ao sol durante algum tempo e observe que o nível da água dentro da palhinha sobe.
7. Quando a água estiver perto da ponta superior da palhinha, leve a garrafa para a sombra e faça uma marca no nível da água.
8. Divida o espaço entre as marcas em partes iguais, à sua escolha.
9. Utilize o termómetro assim construído para observar a variação de temperatura ao longo de um dia de aulas.

Questões pós-laboratoriais:

1. Invente um nome para a escala criada.
2. Construa um gráfico da temperatura medida em função das horas do dia.
3. Indique limitações deste termómetro.

Resumo

- O espectro eletromagnético ordena as radiações de acordo com a energia ou com o comprimento de onda ou com a frequência.
- As radiações propagam-se por ondas que têm como características a amplitude, a velocidade de propagação, o comprimento de onda, o período e a frequência.
- A radiação visível ocupa uma pequena faixa do espectro eletromagnético.
- A velocidade de propagação de uma onda depende das características do meio.
- A energia da radiação é diretamente proporcional à frequência dos fótons que constituem essa radiação.
- A frequência e o comprimento de onda são duas grandezas inversamente proporcionais.
- A temperatura de um corpo mede o grau de agitação das suas partículas constituintes.
- No Sistema Internacional de Unidades a temperatura mede-se em kelvin.

Questões para Resolver

1. Calcule o comprimento de onda no vácuo de uma radiação azul, de frequência $f = 6,4 \times 10^{14}$ Hz, expressa em nanómetros.
2. A velocidade de propagação da luz na água é de $2,25 \times 10^8$ m·s⁻¹. Calcule o comprimento de onda de uma radiação de frequência $f = 509$ THz nesse meio.
3. A figura representa a temperatura medida num doente, entre as 7 e as 11 horas.



Calcule a temperatura que apresenta às 9 horas, em graus Réaumur.

4. Na escala de Réaumur, o «0» corresponde à temperatura de fusão do gelo e o «80» à temperatura de ebulição da água. Calcule a temperatura em que, nesta escala e na de Fahrenheit, seja expressa pelo mesmo valor numérico.
5. A menor temperatura registada na Terra foi de -89 °C, na Antártida. Converta este valor para kelvin.
6. No interior de uma sala, há dois termómetros pendurados na parede. Um deles, graduado em kelvin, indica 298 K para a temperatura ambiente. O outro está graduado em graus Celsius. Calcule o valor marcado por esse termómetro.
7. Para calibrar um termómetro de mercúrio, um estudante coloca-o em equilíbrio térmico, primeiro, com gelo fundente e, depois, com água em ebulição, sob pressão atmosférica normal. Em cada caso, ele anota a altura atingida pela coluna de mercúrio: 20,0 cm e 40,0 cm, respetivamente. Depois, espera que o termómetro entre em equilíbrio térmico com o laboratório e verifica que, nesta situação, a altura da coluna de mercúrio é de 24,0 cm. Qual a temperatura do laboratório na escala Celsius? Justifique.
8. O álcool etílico tem ponto de fusão -39 °C e ponto de ebulição 78 °C, sob pressão normal. Determine a diferença de temperatura entre estes dois pontos, em kelvin.

A-1 Radiação: do Sol para a Terra

1 Emissão e absorção de radiação

O Sol, cuja superfície se encontra a uma temperatura de cerca de 6000 °C, emite radiação que incide na Terra e é absorvida pelos materiais. Facilmente se deteta que o Sol nos aquece, e aquece os materiais à nossa volta, mas nem sempre se sente que os materiais também irradiam energia.

A temperatura do corpo é que vai determinar o tipo de radiação por ele emitida. Qualquer corpo tem temperatura superior ao zero absoluto, logo emite radiações eletromagnéticas.

O que acontece à radiação que incide num corpo?

A radiação que incide num corpo pode ser absorvida, refletida ou transmitida.

Verifica-se sempre a Lei da Conservação da Energia, ou seja:

$$\text{energia da radiação incidente} = \text{energia da radiação absorvida} + \text{energia da radiação refletida} + \text{energia da radiação transmitida}$$

Um corpo diz-se **opaco** quando não se deixa atravessar pela radiação, apenas a absorve ou reflete.

A radiação incidente num corpo ou superfície opaca pode ser, parcialmente, absorvida ou refletida. Após a sua absorção, o corpo adquire uma determinada temperatura que vai determinar o tipo de radiação por ele emitida.

De que depende a quantidade de energia que é refletida, transmitida e absorvida?

A fração da radiação que é absorvida, refletida ou transmitida depende das propriedades do corpo (material, espessura, acabamento da superfície) e da frequência da radiação.

Se um corpo opaco não refletir a radiação, então será certamente um bom absorvedor dessa radiação. Um pedaço de madeira pintado de negro é opaco à radiação visível, reflete-a muito pouco e absorve-a muito. Um objeto preto absorve todas as cores e apenas o vemos por contraste com a sua vizinhança.

Um corpo que não transmita nem absorva energia chama-se um refletor ideal e apenas fará a reflexão da radiação que sobre ele incide. Um refletor ideal terá uma superfície polida, de aspeto espelhado.

Um objecto branco reflete todas as cores, mas de forma difusa, pois a sua superfície não é polida.

Há superfícies que são melhores emissoras de radiação do que outras.

Uma **superfície negra** arrefece mais depressa do que uma branca, pois emite maior quantidade de radiação no mesmo intervalo de tempo. Diz-se que tem **maior poder emissor**. Também é verdade que aquece mais rapidamente quando nela incide uma radiação e portanto a **superfície negra** é também um **bom absorvedor**.

A um corpo que absorva todas as radiações do espectro sem qualquer reflexão ou transmissão, chama-se **corpo negro**.

O Sol é um corpo negro pois não reflete radiação de outras fontes, emitindo energia de si mesmo.

Um corpo pode absorver uma grande quantidade de radiação de certa frequência e absorver muito pouco de outras.

O vidro é normalmente transparente à radiação visível, isto é, praticamente não a absorve. No entanto pode ser opaco para outro tipo de radiação, nomeadamente a infravermelha. Os espelhos que usamos no dia a dia praticamente só refletem a radiação visível. O ar é opaco à radiação ultravioleta de frequência superior a 3×10^{15} Hz emitida pelo Sol. Se essa radiação atingisse a superfície terrestre, seria fatal para a vida na Terra.

Uma superfície branca é má absorvedora da radiação visível, mas é boa absorvedora na zona do infravermelho do espectro eletromagnético.

Os corpos **bons emissores** num dado comprimento de onda também são **bons absorvedores** de radiação no mesmo comprimento de onda. Os **maus emissores** são também **maus absorvedores** no mesmo comprimento de onda.

O **fator de emissão** ou **emissividade**, e , caracteriza a tendência de um corpo para emitir radiação quando comparado a um emissor perfeito. O seu valor varia entre zero e um.

Para radiação da mesma frequência, o fator de emissão é igual ao fator de absorção.

Um emissor perfeito (ou radiador perfeito), o **corpo negro**, tem emissividade máxima, $e = 1$. Um corpo negro absorve toda a radiação que nele incide, não a reflete nem a transmite. Emite, a qualquer temperatura, a quantidade máxima possível de radiação, em todos os comprimentos de onda.

1.1 Sistema termodinâmico

Para compreender o comportamento de um sistema quando lhe é transferida energia é, muitas vezes, necessário considerá-lo como um sistema de muitas partículas e não como um todo. Nestes **sistemas termodinâmicos** não são desprezáveis as variações de energia interna. Esta energia resulta das partículas do corpo estarem em constante movimento e é a soma da energia cinética de cada partícula do corpo com a energia potencial de interação entre elas.

No estudo de um sistema termodinâmico utilizam-se as grandezas volume, pressão, temperatura e quantidade de substância, para o caracterizar.

A saber:

Um sistema termodinâmico é um sistema cujo comportamento só pode ser explicado considerando as partículas que o constituem.

1.2 Lei de Stefan-Boltzmann

Qualquer corpo emite radiação?

Todos os corpos emitem radiação eletromagnética pelo facto de estarem a uma determinada temperatura. Quanto mais elevada for a temperatura de um corpo, maiores são as frequências da radiação por ele emitida.

Este facto foi verificado quantitativamente por Josef Stefan, em 1879, e demonstrado teoricamente por Ludwig Boltzmann, em 1885.



Josef Stefan (1835-1893)



Ludwig Boltzmann (1844-1906)

As suas conclusões são traduzidas pela **Lei de Stefan-Boltzmann** que relaciona a potência total irradiada por um corpo com a temperatura absoluta, T , a que este se encontra, a área da superfície de emissão, A , e a emissividade, e .

$$P = e \sigma A T^4$$

onde σ representa a constante de Stefan-Boltzmann, que tem o valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$

A saber:

Chama-se intensidade da radiação à potência por unidade de área e a unidade SI é $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Questão Resolvida

1. O Sol, cujo raio médio é de $6,96 \times 10^8 \text{ m}$, emite globalmente $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$.

Considerando que este se comporta como um emissor ideal, determine a temperatura da sua superfície.

Resolução:

1. Usando a Lei de Stefan-Boltzmann,

$$P = e \sigma A T^4 \Leftrightarrow P = e \sigma 4 \pi r^2 T^4 \Leftrightarrow 3,9 \times 10^{26} = 1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 4 \pi \times (6,96 \times 10^8)^2 T^4$$

obtemos então $T = 5790 \text{ K}$.

1.3 Deslocamento de Wien

Um corpo real não pode, na verdade, ser considerado como um corpo negro em todas as regiões espectrais, pois reflete ou difunde e/ou transmite radiação numa ou mais regiões do espectro.

A curva de potência de radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda foi demonstrada teoricamente por Max Planck e pode observar-se na figura 19.

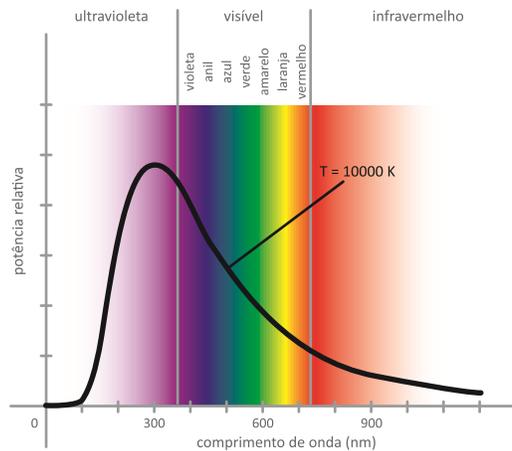


Figura 19 – Curva de Planck para um corpo negro à temperatura de 10000 K.



Wilhelm Wien (1864-1928)

Qualquer que seja a temperatura de um corpo, ele emite radiação numa gama de frequências. No entanto, existe uma zona em que emite com intensidade máxima. Esta zona varia com a temperatura, deslocando-se para maiores frequências, menores comprimentos de onda, à medida que a temperatura do corpo aumenta. Este fenómeno, conhecido como o **Deslocamento de Wien**, foi estabelecido, em 1893, pelo físico alemão **Wilhelm Wien**.

A **Lei do Deslocamento de Wien** estabelece que o comprimento de onda a que se verifica o máximo da potência da radiação emitida pelos corpos é inversamente proporcional à temperatura absoluta e pode ser determinado:

$$\lambda_{máx} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

onde:

- $\lambda_{máx}$ é o comprimento de onda a que corresponde a intensidade máxima da radiação emitida;
- T é a temperatura da superfície radiante, medida em K.

O gráfico da figura 20 representa a intensidade das radiações que constituem o espectro emitido por um corpo, quando este se encontra à temperatura de 3000 K, 4000 K, 5000 K e 6000 K. Pode-se constatar que o comprimento de onda da radiação, onde é máxima a potência irradiada, correspondente ao pico, se desloca no sentido do menor comprimento de onda, quando a temperatura aumenta.

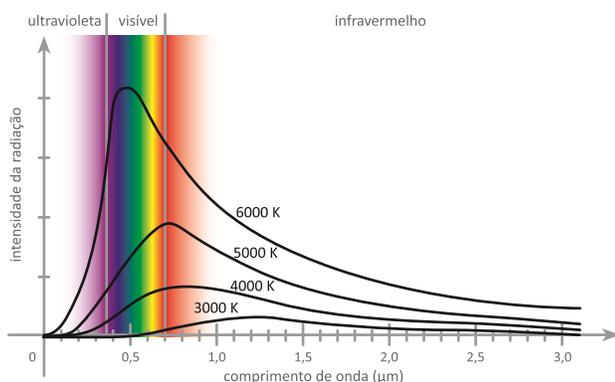


Figura 20 – Deslocamento de Wien.

Porque é que a Terra não emite radiação nas mesmas frequências que recebe?

A Terra, cuja temperatura média é de cerca de 290 K, emite com intensidade máxima numa gama de comprimentos de onda muitíssimo maior que o Sol, na zona infravermelha.

O corpo humano tem uma temperatura média próxima de 37 °C e o seu máximo de emissão dá-se a 9,3 μm, também no infravermelho.

A saber:

De noite, é possível detetar a presença de uma pessoa utilizando binóculos de infravermelho. Não havendo luz a incidir sobre o corpo, não há reflexão deste tipo de radiação. Só se vê a radiação emitida pelos corpos, que é na zona do infravermelho.



Questões Resolvidas

1. Dois corpos A e B encontram-se, respetivamente, às temperaturas de 37 °C e 5000 °C. Indique:
 - 1.1. Se o comprimento de onda correspondente à potência máxima irradiada pelo corpo A é maior, menor ou igual ao comprimento de onda que corresponde à potência máxima irradiada pelo B.
 - 1.2. A zona do espectro eletromagnético onde se situa o comprimento de onda correspondente à potência máxima irradiada pelo corpo B.

Resolução:

- 1.1. Maior.

O corpo A encontra-se a uma temperatura menor, e pela Lei do Deslocamento de Wien, emite preferencialmente radiações de maior comprimento de onda (menor energia).

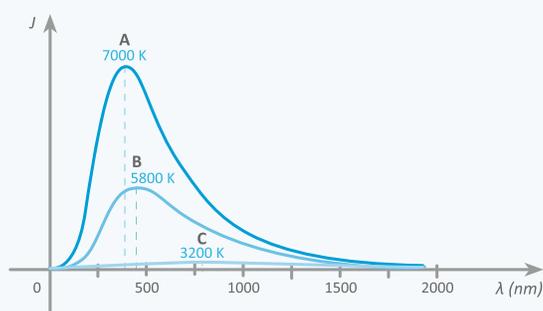
1.2. Pela Lei de Wien

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

Substituindo T por $(5000 + 273,15)$ K, vem:

$$\lambda_{\text{máx}} = 5,50 \times 10^{-7} \Leftrightarrow \lambda_{\text{máx}} = 550 \text{ nm, ou seja na zona do visível.}$$

2. Analise o gráfico que representa os espectros para corpos a diferentes temperaturas.



2.1. Qual a zona do espectro para o qual é máxima a intensidade da radiação emitida por cada corpo negro representado no gráfico?

2.2. Qual a cor correspondente ao máximo da radiação emitida pelo corpo que o faz preferencialmente na zona do visível?

2.3. Calcule a temperatura de um corpo negro, no SI, sabendo que a intensidade máxima de emissão se dá para um comprimento de onda de $1 \mu\text{m}$.

Resolução:

2.1. Curva A: $\lambda_{\text{máx}} \approx 375 \text{ nm}$, que corresponde a uma frequência ultravioleta.

Curva B: $\lambda_{\text{máx}} \approx 450 \text{ nm}$, que corresponde a uma frequência visível.

Curva C: $\lambda_{\text{máx}} \approx 800 \text{ nm}$, que corresponde a uma frequência infravermelha.

2.2. $\lambda_{\text{máx}}$ a 450 nm , que corresponde a uma radiação azul.

2.3. Usando a Lei do Deslocamento de Wien:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

Convertemos $\lambda_{\text{máx}}$ a metros e substituímos na expressão anterior:

$$1 \times 10^{-6} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

calculamos $T = 2898 \text{ K}$.

Atividade Prático-Laboratorial

APL A-1.1: Absorção e emissão de radiação

Questão-problema: Porque é que a parte interna de uma garrafa termo é espelhada?

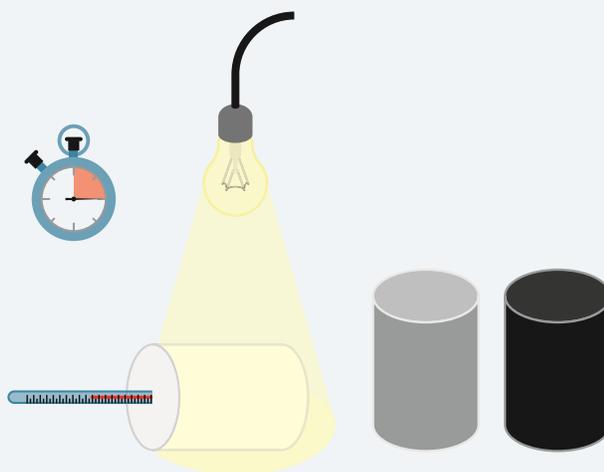
Objetivo: Comparar o poder de absorção de radiação de superfícies distintas: uma preta, uma branca e uma espelhada.

Questões pré-laboratoriais:

1. Qual a relação entre a taxa de emissão e de absorção de radiação de um corpo que está em equilíbrio térmico radiativo com a sua vizinhança?
2. Nas condições da questão anterior, o corpo não absorve nem radia energia?

Material:

- 3 Latas iguais: uma pintada de preto, outra de branco e outra polida
- Lâmpada de 100 W
- Termómetro
- Cronómetro



Procedimento:

1. Introduza o termómetro dentro de uma das latas.
2. Anote a temperatura inicial.
3. Dirija a luz emitida pela lâmpada sobre a lata.
4. Meça a temperatura de 5 em 5 minutos durante 30 minutos.
5. Proceda de igual modo para as outras latas.
6. Construa, no mesmo sistema de eixos, o gráfico da temperatura em função do tempo para cada lata.
7. Tire conclusões.

Questões pós-laboratoriais:

1. Interprete os gráficos obtidos.
2. Responda à questão-problema.

A saber:

A emissão de radiação térmica por um corpo não depende da temperatura da sua vizinhança, mas apenas da temperatura a que o corpo se encontra.

2 Equilíbrio térmico. Lei Zero da Termodinâmica

Todos os corpos estão simultaneamente a emitir radiação e a receber radiação emitida por tudo o que os rodeia.

Numa situação, como é o caso Sol-Terra, em que as trocas de energia só se dão por radiação, pode-se afirmar que:

- se a taxa de absorção da radiação, por parte de um corpo, for superior à taxa de emissão, a **energia interna** desse corpo **umenta** e o mesmo acontece à sua temperatura;
- se a taxa de emissão da radiação, por parte de um corpo, for superior à taxa de absorção, a **energia interna** desse corpo **diminui** e o mesmo acontece à sua temperatura;
- se a taxa de emissão da radiação, por parte de um corpo, for igual à taxa de absorção, a **energia interna** desse corpo **mantém-se** e o corpo fica a temperatura constante, a **temperatura de equilíbrio radiativo**.

Existem outros processos que permitem atingir o equilíbrio térmico?

Colocando em contacto dois corpos a temperaturas diferentes, transita energia como **calor** do corpo a temperatura mais elevada para o corpo a temperatura mais baixa, até as temperaturas se igualarem, isto é, os corpos atingirem o **equilíbrio térmico**.

A temperatura é a propriedade que determina se um sistema está ou não em equilíbrio térmico com outros.

Lei Zero da Termodinâmica

Se dois sistemas estiverem em equilíbrio térmico com um terceiro, também estão em equilíbrio térmico entre si.

Esta lei permite compreender a razão pela qual os corpos que se encontram num certo ambiente, ao fim de algum tempo, acabam por ficar todos à mesma temperatura.

2.1 Radiação Solar

O Sol constitui a fonte de energia mais importante para o planeta Terra, embora esta apenas receba uma pequena parte da energia emitida por aquele.

O que acontece à radiação que vem do Sol para a Terra?

A radiação solar atinge, num dado instante, a Terra com variadas inclinações. A quantidade principal é aquela que incide perpendicularmente à superfície terrestre.

Da radiação solar que atinge a atmosfera da Terra, parte dela é absorvida, como radiação gama, raios X, radiação ultravioleta mais energética, alguma radiação infravermelha e de micro-ondas.

A figura 21 mostra que a radiação eletromagnética que atravessa a atmosfera, chega à superfície terrestre através de duas zonas do espectro eletromagnético, designadas por **janela do visível** e **janela das ondas de rádio**.

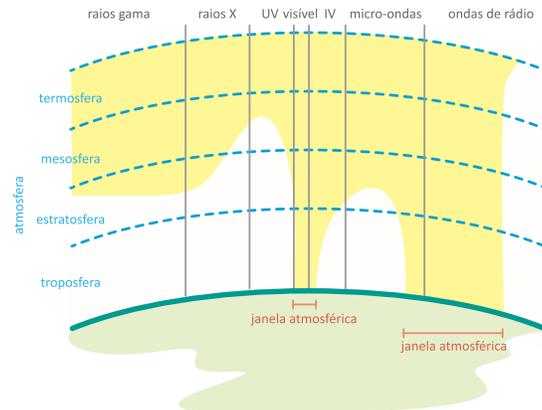


Figura 21 – Radiação solar que atinge a Terra.

A energia da radiação solar que incide perpendicularmente no topo da atmosfera terrestre é cerca de 1370 J, por cada metro quadrado e durante um segundo, ou seja 1370 W/m². A este valor chama-se **constante solar, S**.

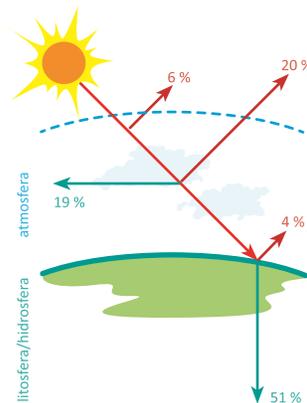


Figura 22 – Distribuição de energia incidente na Terra.

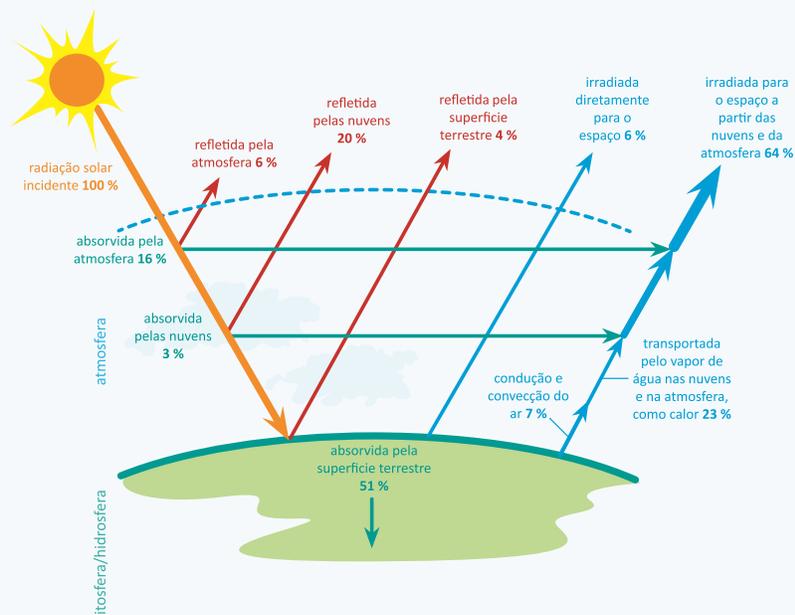
Da energia que a Terra recebe do Sol:

- cerca de **30%**, é **refletida**: pela atmosfera (6%), pelas nuvens (20%) e pela própria superfície terrestre (4%). Constitui o chamado **albedo** do planeta.
- a restante radiação incidente, ou seja **70%**, contribui para o aumento da energia interna do globo terrestre e distribui-se do seguinte modo:
 - **19%** é **absorvida** pelas nuvens e atmosfera;
 - **51%** é **transmitida** para a superfície terrestre.

Questão Resolvida

1. A importância do papel do Sol na evolução da vida terrestre é desde há muito reconhecida.

Na figura está esquematizado um balanço energético da Terra.



Classifique como verdadeira (V) ou falsa (F), cada uma das afirmações seguintes:

- (A) A percentagem da radiação solar incidente que é refletida é maior do que a que é absorvida pela atmosfera e pelas nuvens.
- (B) A radiação solar que atinge a superfície da Terra situa-se apenas na zona visível do espectro eletromagnético.
- (C) A percentagem da radiação solar absorvida pela atmosfera é superior à refletida por ela.
- (D) A intensidade máxima da radiação emitida pela Terra ocorre na zona do visível do espectro eletromagnético.
- (E) A intensidade máxima da radiação emitida pelo Sol ocorre na zona do infravermelho do espectro eletromagnético.
- (F) Aproximadamente metade da radiação solar incidente é absorvida pela superfície terrestre.
- (G) Uma parte da radiação solar incidente é absorvida pela atmosfera, sendo a restante radiação totalmente absorvida pela superfície terrestre.
- (H) Da radiação solar que atinge o planeta, 30% é refletida para o espaço.

Resolução:

1. Verdadeiras – (A), (C), (F), (H); Falsas – (B), (D), (E), (G).

2.2 Balanço energético da Terra

Se a Terra está constantemente a receber energia por radiação do Sol, como se explica que tenha uma temperatura média praticamente constante?

A Terra encontra-se em equilíbrio térmico radiativo com o Sol. Não só recebe como emite energia por radiação e, a energia recebida é igual à energia emitida, em cada segundo.

Tendo em conta este pressuposto, pode fazer-se um balanço simplificado que permite fazer uma estimativa da temperatura de equilíbrio da Terra.

Considerem-se as seguintes simplificações:

- a radiação incide perpendicularmente na Terra;
- a esfericidade da Terra é desprezável;
- a Terra comporta-se como um corpo negro.

O balanço energético da Terra, em equilíbrio radiativo, permite escrever:

$$\text{Potência recebida pela Terra} = \text{Potência emitida pela Terra}$$

Como foi referido, só 70% da potência proveniente do Sol é absorvida pela Terra e esta apenas atinge um hemisfério terrestre, que se considera um círculo, pois despreza-se a esfericidade da Terra.



Figura 23 – A radiação do Sol incide num círculo da Terra.

Então usa-se apenas 70% da potência por unidade de área que chega à Terra, isto é 70% da constante solar. Como se pretende a potência, multiplica-se pela área, que neste caso é a do círculo.

Então vem:

$$\text{Potência recebida pela Terra: } P_{\text{recebida}} = 0,70 S \pi R_T^2$$

Em que S é a constante solar e R_T o raio da Terra.

No caso da potência emitida pela Terra, usa-se a Lei de Stefan-Boltzmann, e considera-se que aquela tem emissividade 1. A área que emite corresponde à de uma superfície esférica.

Sendo assim:

$$\text{Potência emitida pela Terra: } P_{\text{emitida}} = e \sigma 4 \pi R_T^2 T^4$$

Retomando a igualdade do balanço energético da Terra, vem:

$$\begin{aligned} 0,70 S \pi R_T^2 &= e \sigma 4 \pi R_T^2 T^4 \\ 0,70 \times 1370 \times \pi R_T^2 &= 1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 4 \pi R_T^2 T^4 \end{aligned}$$

Simplificando e resolvendo, obtém-se para a temperatura do globo terrestre o valor:

$$T = 255 \text{ K} = -18 \text{ °C}$$

Este valor é bastante próximo da temperatura medida por satélites no limite superior da atmosfera. No entanto, a temperatura global da superfície da Terra tem um valor bastante superior, cerca de 15 °C (288 K).

Esta diferença de valores deve-se ao facto de não ter sido considerado o **efeito de estufa**.

A superfície da Terra emite radiação infravermelha. Parte dela é emitida para o espaço, outra parte é absorvida pelas nuvens e por alguns gases presentes na atmosfera, e outra parte é reemitida novamente para a superfície. Este efeito produz um aquecimento da superfície da Terra e das camadas mais baixas da atmosfera, e impede grandes amplitudes térmicas ao longo do dia.

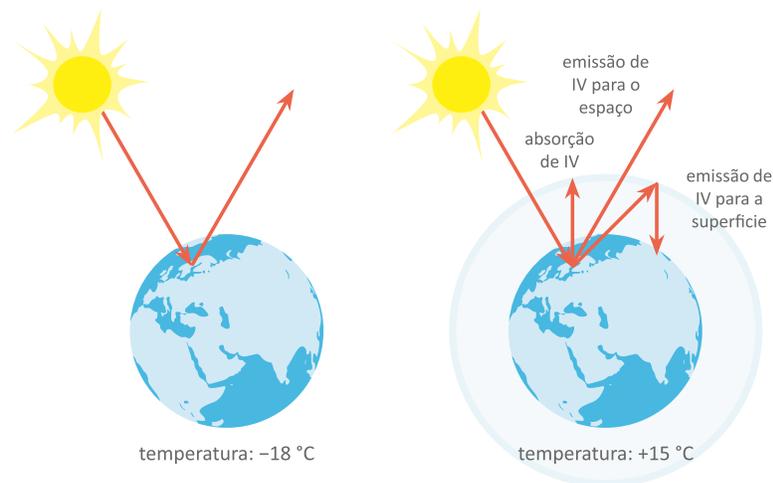


Figura 24 – O maior ou menor efeito de estufa condiciona a temperatura da Terra.

Questão Resolvida

1. O albedo de Mercúrio é de 6% e a potência por m² da radiação solar que o atinge (o equivalente à constante solar na Terra) é 9159 W/m². Considerando a sua emissividade igual a 1, estime a temperatura da superfície de Mercúrio.

Resolução:

1. Considera-se que a Mercúrio está em equilíbrio radiativo, isto é,

Potência recebida por Mercúrio = Potência emitida por Mercúrio

$$0,94 S \pi R_M^2 = e \sigma 4 \pi R_M^2 T^4$$

Em que R_M é o raio médio de Mercúrio. Então,

$$0,94 \times 9159 \times \pi R_M^2 = 1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 4 \pi R_M^2 T^4$$

$$T = 441 \text{ K.}$$