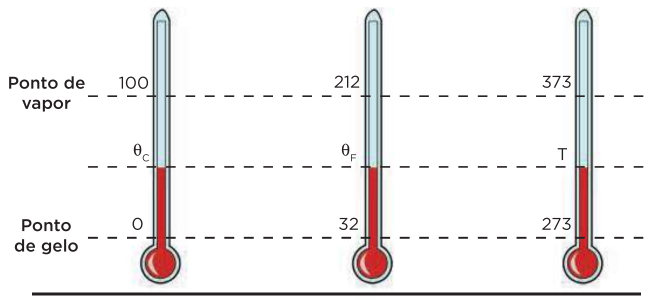
3. Escalas termométricas usuais



4. Equações de conversão

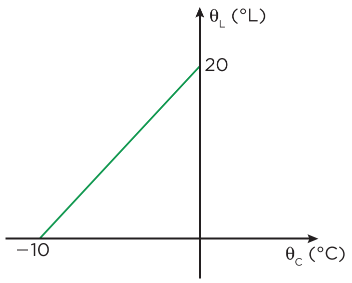
$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

$$T = \theta_C + 273$$

Observação: $\Delta\theta = 1\ °C = 1\ K = 1{,}8\ °F$

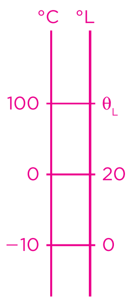
EM CLASSE **DESENVOLVENDO HABILIDADES**

1 Laura, empolgada com sua aula de termometria, resolveu criar sua própria escala termométrica. Para isso, comprou um termômetro de álcool graduado na escala Celsius e anotou ao lado a sua própria escala. A relação entre as escalas Celsius e Laura está representada no diagrama a seguir.



Na escala Laura, à pressão normal, a água ferverá à temperatura de

a) 100 °L.
b) 110 °L.
c) 180 °L.
d) 200 °L.
e) 220 °L.



$$\frac{10}{110} = \frac{20}{\theta_L}$$

Portanto: $\theta_L = 220\ °L$.

2 Com relação às principais escalas termométricas, determine:

a) A temperatura na escala Fahrenheit cuja indicação é o dobro da indicação da escala Celsius.

Se $\theta_C = x$, então $\theta_F = 2x$.

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

$$\frac{x}{5} = \frac{2x - 32}{9}$$

$$9x = 10x - 160$$

$$x = 160$$

Na escala Fahrenheit, a indicação é 2x, logo: $\theta_F = 320$ °F.

b) A temperatura na escala Kelvin cuja indicação supera em 200 unidades a indicação na escala Fahrenheit.

$\theta_F = x$, então $T = x + 200$

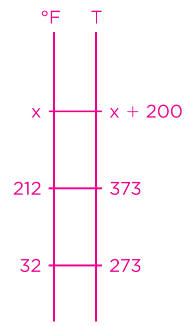
$$\frac{x - 32}{180} = \frac{x + 200 - 273}{100}$$

$$\frac{x - 32}{9} = \frac{x - 73}{5}$$

$$5x - 160 = 9x - 657$$

$$-4x = -497$$

$$x = 124{,}25$$



Na escala Kelvin, a indicação é $T = x + 200$.
Logo: $T = 324{,}25$ K.

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

- Leia a seção *Nesta aula*.
- Faça as questões 1 a 3 do capítulo 1 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 4 a 6 do capítulo 1 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

- Leia o item 1 do capítulo 1 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

- Faça a questão 7 do capítulo 1 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

RETOMAR E PROSSEGUIR

Na próxima aula, vamos estudar calor e os seus mecanismos de transmissão e, para isso, é importante retomar alguns conceitos relativos à energia térmica. Acesse nosso vídeo para relembrar o assunto.

EXTRAS!

1 Ao longo da história da ciência houve muitas escalas termométricas. Algumas delas elaboradas a fim de manter em segredo certas receitas alquimistas de elaboração de compostos. Como se sabe, quase todas foram sendo abandonadas ao longo do tempo. Por alguma razão, a ciência foi escolhendo as suas escalas preferidas. A escala Réaumur (°Re) é uma escala de temperatura proposta em 1730 pelo físico e inventor René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757). Nessa escala, a temperatura do ponto de congelamento da água é 0 °Re. Sabe-se que a unidade dessa escala, o grau réaumur, vale $\frac{5}{4}$ de 1 grau Celsius.
Determine, na escala Réaumur, a temperatura de fervura da água, à pressão normal de 1 atm.

2 A escala de temperatura Rankine (°Ra) foi elaborada pelo engenheiro e físico escocês William John Macquorn Rankine, em 1859.
Assim como a escala Kelvin é a escala absoluta correspondente à escala Celsius, a escala Rankine é a escala absoluta relativa à escala Fahrenheit.
Apesar de não ser tão popular, a escala Rankine é usada em alguns campos da engenharia nos Estados Unidos.
Determine a equação de conversão entre as escalas Rankine e Kelvin. (Quando necessário, use aproximações.)

EM CLASSE DESENVOLVENDO HABILIDADES

1 Observe os objetos em sua sala de aula. É possível considerar que eles estejam em equilíbrio térmico com o meio ambiente, uma vez que estão no interior desse recinto por um grande intervalo de tempo. Vamos supor que sua sala de aula esteja a uma temperatura confortável, por exemplo, a 23 °C. Agora, toque em um objeto feito de madeira e, simultaneamente, com a outra mão, toque em outro objeto feito de metal.

A sensação que se tem é de que o objeto de metal está mais frio que o de madeira. Se assim fosse, o objeto de metal deveria estar a uma temperatura inferior ao de madeira.

Essa diferença na sensação térmica transmitida à sua mão se explica pelo fato de:

a) a condutividade térmica do metal ser menor do que a da madeira e, portanto, a condução de calor do metal à sua mão é mais acentuada.

b) a condutividade térmica do metal ser menor do que a da madeira e, portanto, a condução de calor da sua mão ao metal é mais acentuada.

c) a condutividade térmica do metal ser maior do que a da madeira e, portanto, a condução de calor da sua mão ao metal é menos acentuada.

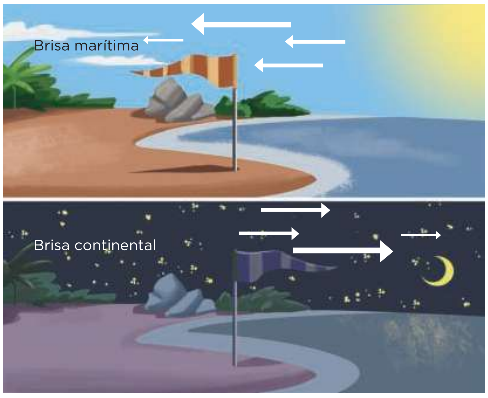
▶ d) a condutividade térmica do metal ser maior do que a da madeira e, portanto, a condução de calor da sua mão ao metal é mais acentuada.

A sensação térmica experimentada pelo corpo humano se deve a dois fatores:
- à diferença de temperatura entre o nosso corpo e o objeto tocado (que no caso é igual, tanto para o objeto de madeira quanto para o objeto de metal);
- à velocidade com que o calor entra ou sai de nosso corpo, e esse fator está relacionado com a condutibilidade térmica do material.

No caso, a transmissão de calor ocorre do corpo de maior temperatura (nosso corpo, 36 °C) para o corpo de menor temperatura (objeto, 23 °C). Além disso, o fluxo de calor é mais acentuado no caso do metal, por este ser melhor condutor térmico. Por essa razão, temos a sensação (equivocada) de que o metal está mais frio.

2 Nas regiões costeiras, os sentidos das brisas são consequências das diferenças no tempo de aquecimento do solo e da água, apesar de ambos estarem submetidos às mesmas condições de irradiação solar.

Ao nos sentarmos à beira-mar, em geral, podemos experimentar, durante o dia, uma brisa marítima no sentido do mar para a praia. Já durante a noite, esse sentido se inverte e a brisa passa a ser continental, no sentido da terra para o mar.



Isso ocorre porque a água do mar leva mais tempo para ser aquecida durante o dia, comparativamente à porção costeira, constituída de areia, rochas e outros materiais sólidos. Já durante a noite, essa água também leva mais tempo para esfriar.

Observando a brisa continental, podemos explicar esse fenômeno pelo fato de haver:

a) convecção do ar mais quente que está em contato com o continente aquecido durante o dia que, ao subir, deixa uma área de baixa pressão, causando um deslocamento de ar do mar para o continente.

b) condução do ar mais quente que está em contato com a água do mar, com o ar mais frio que está em contato com o continente, provocando um transporte de ar do continente para o mar.

c) condução do ar mais quente que está em contato com o continente com o ar mais frio que está em contato com a água do mar, provocando um transporte de ar do mar para o continente.

d) convecção do ar mais quente que está em contato com a água aquecida durante o dia que, ao subir, deixa uma área de baixa pressão, causando um deslocamento de ar do continente para o mar.

e) convecção horizontal provocada pela troca de ar quente do mar para o continente e do ar frio do continente para o mar.

Durante a noite, o ar ainda aquecido que se encontra sobre o mar (também ainda aquecido) tende a subir (convecção). Nessa ascensão, gera-se uma zona de menor pressão atmosférica. O ar do continente tende a se deslocar para essa região, soprando então uma brisa do continente para o mar. Uma vez que o ar do continente migrou para o mar, camadas superiores de ar sobre o continente tendem a descer, trazendo uma porção de ar ainda mais frio (acentuando a convecção na região). Nessas camadas altas da atmosfera sobre o continente, uma vez que porções de ar se deslocam, geram-se zonas de baixa pressão, provocando uma corrente, no alto da atmosfera, do mar para o continente, fechando a circulação do ar.

3 (Enem)

Em 1962, um *jingle* (vinheta musical) criado por Heitor Carillo fez tanto sucesso que extrapolou as fronteiras do rádio e chegou à televisão ilustrado por um desenho animado. Nele, uma pessoa respondia ao fantasma que batia em sua porta, personificando o "frio", que não o deixaria entrar, pois não abriria a porta e compraria lãs e cobertores para aquecer sua casa. Apesar de memorável, tal comercial televisivo continha incorreções a respeito de conceitos físicos relativos à calorimetria.

DUARTE, M. *Jingle* é a alma do negócio: livro revela os bastidores das músicas de propagandas. Disponível em: https://guiadoscuriosos.uol.com.br. Acesso em: 24 abr. 2019 adaptado).

Para solucionar essas incorreções, deve-se associar à porta e aos cobertores, respectivamente, as funções de:

a) Aquecer a casa e os corpos.

b) Evitar a entrada do frio na casa e nos corpos.

c) Minimizar a perda de calor pela casa e pelos corpos.

d) Diminuir a entrada do frio na casa e aquecer os corpos.

e) Aquecer a casa e reduzir a perda de calor pelos corpos.

As lãs e cobertores são isolantes térmicos, que reduzem a transferência do calor presente na casa e no corpo da pessoa para o ambiente exterior. Ou seja, servem para minimizar as perdas de calor.

A taxa de condução de calor, quando o fluxo de calor atinge seu regime constante, é dada por:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = k\,\frac{A \cdot \Delta\theta}{L}$$

A constante **k**, característica do material que compõe o meio condutor de calor, é denominada condutividade térmica do material.

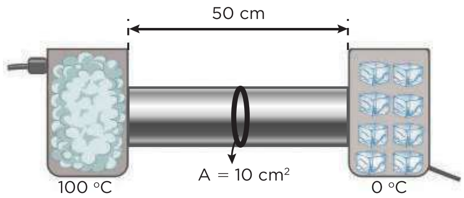
Observação: Por simplicidade, a grandeza "taxa de condução de calor" é confundida com o próprio "fluxo de calor". Assim, é indiferente denominar Φ como sendo taxa de condução de calor ou como intensidade de fluxo de calor ou, simplesmente, fluxo de calor.

Unidades:

- no SI: $[k] = \dfrac{W}{m \cdot K}$
- usuais: $[k] = \dfrac{cal}{s \cdot m \cdot °C}$

EM CLASSE DESENVOLVENDO HABILIDADES

1 Uma barra cilíndrica de alumínio, de 50 cm de comprimento, é revestida por um bom isolante térmico, com exceção de suas extremidades. Ela é então conectada a dois reservatórios térmicos, de temperaturas constantes: um deles contém vapor de água a 100 °C, sob pressão de 1 atm, enquanto o outro contém gelo fundente. A área da secção transversal dessa barra vale 10 cm^2 e sua condutividade térmica é k = 0,5 cal/s · cm · °C.



Com o passar do tempo, nota-se que, no primeiro reservatório, uma parcela do vapor de água vai se condensando, enquanto, no segundo reservatório, outra parcela de gelo vai se fundindo, embora as temperaturas desses recipientes permaneçam inalteradas.

Admitindo que para fundir 1 grama de gelo são necessárias 80 cal e que, para condensar 1 grama de vapor, é necessário que ele perca 540 cal, pede-se:

a) a massa de gelo que será fundida a cada 10 minutos.

b) a massa de vapor que irá se condensar no mesmo intervalo de tempo.

c) a temperatura em um ponto da barra localizado a 10 cm da fonte fria.

a) Inicialmente, vamos determinar o fluxo de calor.

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = k\,\frac{A \cdot \Delta\theta}{L}$$

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \left(0{,}5\ \frac{cal}{s \cdot cm \cdot °C}\right)\frac{10\ cm^2 \cdot 100\ °C}{50\ cm}$$

$$\Phi = 10\ cal/s$$

Logo, em 10 minutos = 600 s, a quantidade de calor que fluirá pela barra será:
Q = 6000 cal.

Massa de gelo que será fundida:

80 cal ——— 1 g
6000 cal ——— m_g

Portanto, m_g = 75 g

b) Massa de vapor que será condensado:

540 cal ——— 1 g
6000 cal ——— m

Portanto, m ≈ 11 g

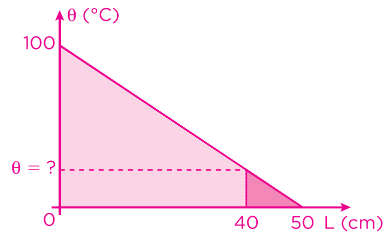
c) Pode-se resolver de duas formas:

I) Usando-se a equação:

$$\Phi = 10 = 0{,}5 \cdot \frac{10 \cdot (100 - \theta)}{50 - 100}$$

Portanto, θ = 20 °C.

II) Observando o comportamento da temperatura ao longo da barra em um gráfico.



Aplicando-se semelhança entre os triângulos em destaque:

$$\frac{\theta}{100} = \frac{10}{50} \Rightarrow \theta = 20\ °C$$

2 (Fuvest-SP) Um contêiner com equipamentos científicos é mantido em uma estação de pesquisa na Antártida. Ele é feito com material de boa isolação térmica e é possível, com um pequeno aquecedor elétrico, manter sua temperatura interna constante, $T_i = 20\ °C$, quando a temperatura externa é $T_e = -40\ °C$. As paredes, o piso e o teto do contêiner têm a mesma espessura, $\varepsilon = 26$ cm, e são de um mesmo material, de condutividade térmica $k = 0{,}05\ J/(s \cdot m \cdot °C)$. Suas dimensões internas são $2 \times 3 \times 4\ m^3$. Para essas condições, determine

a) a área A da superfície interna total do contêiner;

b) a potência P do aquecedor, considerando ser ele a única fonte de calor;

c) a energia E, em kWh, consumida pelo aquecedor em um dia.

a) A área total é igual à soma das áreas das seis faces.
$A = 2(2 \cdot 3 + 2 \cdot 4 + 3 \cdot 4) \Rightarrow A = 52\ m^2$

b) Do enunciado, temos: $k = 5 \cdot 10^{-2}\ J\ (s \cdot m \cdot °C)$; $\varepsilon = 26\ cm = 26 \cdot 10^{-2}\ m$; $T_i = 20\ °C$; $T_e = -40\ °C$
Para manter a temperatura constante, a potência do aquecedor deve compensar o fluxo de calor para o meio.
Assim:

$$P = \Phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{\varepsilon} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 52 \cdot [20 - (-40)]}{26 \cdot 10^{-2}} = 6 \cdot 10^2\ W \Rightarrow P = 0{,}6\ kW$$

c) Da expressão da energia consumida:
$E = P \cdot \Delta t = 0{,}6 \cdot 24 \Rightarrow E = 14{,}4\ kWh$

3 (Enem) O objetivo de recipientes isolantes térmicos é minimizar as trocas de calor com o ambiente externo. Essa troca de calor é proporcional à condutividade térmica **k** e à área interna das faces do recipiente, bem como à diferença de temperatura entre o ambiente externo e o interior do recipiente, além de ser inversamente proporcional à espessura das faces.
A fim de avaliar a qualidade de dois recipientes A (40 cm × 40 cm × 40 cm) e B (60 cm × 40 cm × 40 cm) de faces de mesma espessura, uma estudante compara suas condutividades térmicas $\mathbf{k_A}$ e $\mathbf{k_B}$. Para isso suspende, dentro de cada recipiente, blocos idênticos de gelo a 0 °C, de modo que suas superfícies estejam em contato apenas com o ar. Após um intervalo de tempo, ela abre os recipientes enquanto ambos ainda contêm um pouco de gelo e verifica que a massa de gelo que se fundiu no recipiente B foi o dobro da que se fundiu no recipiente A.

A razão $\frac{k_A}{k_B}$ é mais próxima de

a) 0,50.

▶ b) 0,67.

c) 0,75.

d) 1,33.

e) 2,00.

Área interna dos recipientes:
$A_A = 6 \cdot 40\ cm \cdot 40\ cm = 9600\ cm^2$
$A_B = 4 \cdot 60\ cm \cdot 40\ cm + 2 \cdot 40\ cm \cdot 40\ cm = 12\,800\ cm^2$
Como há mudança de estado:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot L}{\Delta t}$$

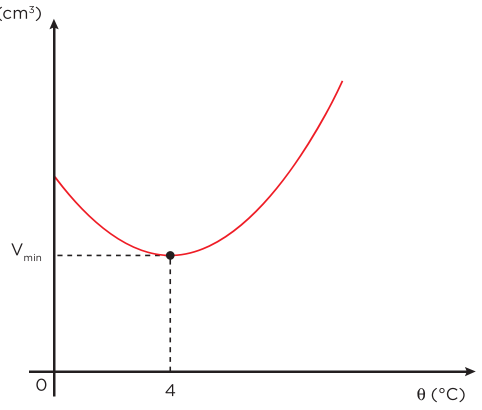
$$\frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{e} = \frac{m \cdot L}{\Delta t} = k = \frac{m \cdot L \cdot e}{A \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t}$$

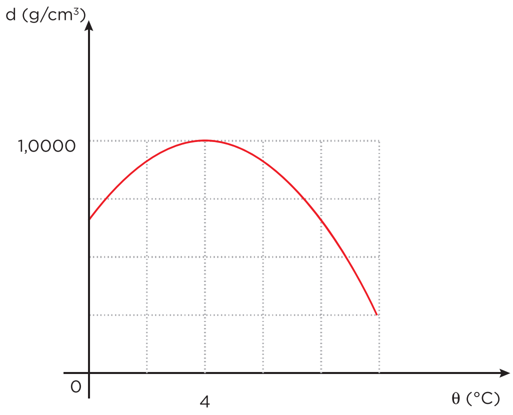
Portanto:

$$\frac{k_A}{k_B} = \frac{\dfrac{m \cdot L \cdot e}{9600 \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t}}{\dfrac{2m \cdot L \cdot e}{12\,800 \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t}}$$

$$\therefore \frac{k_A}{k_B}$$

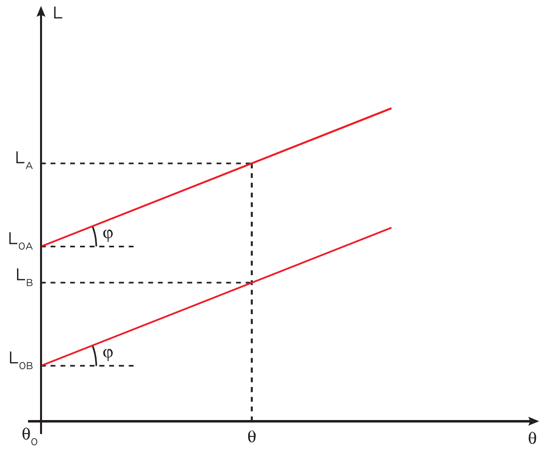
2.1 Dilatação anômala da água





EM CLASSE **DESENVOLVENDO HABILIDADES**

1 Dois corpos A e B, inicialmente à mesma temperatura θ_0, foram aquecidos por meio de uma fonte térmica e o registro de seus comprimentos L em função da temperatura θ é apresentado no diagrama a seguir.



A função que expressa as retas representadas no diagrama é:
$L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$
Observe que as retas apresentam a mesma inclinação φ. Logo, ambas possuem o mesmo coeficiente angular. Dessa forma, temos:

$$\frac{\Delta L}{\Delta \theta} = L_0 \cdot \alpha$$

Desta forma:
$L_{0A} \cdot \alpha_A = L_{0B} \cdot \alpha_B$
Uma vez que $L_{0A} > L_{0B} \Rightarrow \alpha_A < \alpha_B$
Ou: $\alpha_B > \alpha_A$ (o coeficiente de dilatação térmica do corpo B é maior que o do corpo A).

Com relação ao comportamento da dilatação linear desses corpos, pode-se concluir que:

a) inicialmente, o corpo B é mais comprido que o corpo A.

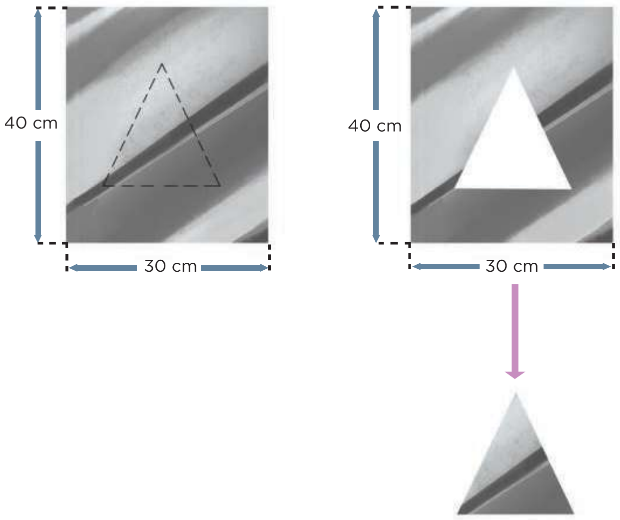
b) os corpos A e B são compostos do mesmo material.

c) a diferença entre os comprimentos dos corpos aumenta com o aumento de temperatura.

d) o coeficiente de dilatação térmica do material do corpo A é maior que o do corpo B, na faixa de temperatura aferida.

e) o coeficiente de dilatação térmica do material do corpo B é maior que o do corpo A, na faixa de temperatura aferida.

2 Considere uma placa metálica fina, homogênea e retangular, com medidas 40 cm × 30 cm, constituída por um material de coeficiente de dilatação linear igual a 5×10^{-6} °C^{-1}. Em uma máquina específica, faz-se um corte triangular no interior dessa chapa, de modo que o triângulo represente 30% da massa inicial da chapa. A seguir, a chapa com orifício é submetida a uma variação de temperatura de 100 °C.



Pode-se fazer uma estimativa e comparar a dilatação do orifício dessa chapa à área de:

a) um buraco de uma agulha de injeção.

b) uma seção transversal de um grão de arroz.

▶ c) uma tecla de uma letra no teclado de um celular.

d) uma tampinha de refrigerante.

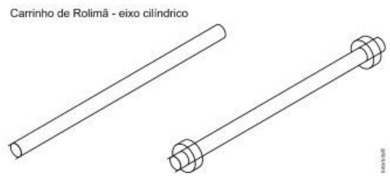
e) uma sombra de uma bola de tênis, sob a luz solar.

Sendo a chapa homogênea e se o triângulo retirado tem 30% da massa da chapa, sua área inicial corresponde a 30% da área total. Ou seja, a área inicial do orifício é:
$A_0 = 0{,}3 \cdot 40 \cdot 30 = 360$ cm^2
O coeficiente de dilatação superficial do material é:
$\beta = 2\alpha = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 10^{-5}$ °C^{-1}.
Assim, a dilatação do orifício, que acompanha de forma idêntica a dilatação da chapa, para uma variação de temperatura de 100 °C é:
$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$
$\Delta A = 360 \cdot 10^{-5} \cdot 10^2$
$\Delta A = 360 \cdot 10^{-3}$
$\Delta A = 0{,}360$ cm^2
Essa área equivale à área de um quadrado de lado 0,6 cm, ou, aproximadamente 0,5 cm.

 Área: 0,360 cm²

Essa área é mais próxima da tecla de uma letra do teclado de um celular.

3 (Acafe-SC) Brinquedo das “antigas”, o carrinho de rolimã é o nome dado a um carrinho, geralmente construído de madeira, com um eixo móvel montado com rolamentos de aço (dispensados por mecânicas de automóveis), utilizado para controlar o carrinho enquanto este desce pela rua.



Reprodução/ACAFE, 2019.

Ao construir devemos encaixar firmemente os rolamentos no eixo cilíndrico de determinado metal com diâmetro um pouco maior que o diâmetro interno do rolamento de aço. Para esse procedimento aquecemos ambos para o encaixe e depois resfriamos. Sendo assim, o coeficiente de dilatação do metal utilizado em relação ao coeficiente de dilatação do aço deve ser:

a) igual ou maior

b) maior

c) igual

▶ d) menor

O coeficiente de dilatação do metal deve ser menor que o do aço, pois, após o resfriamento, o aço irá se contrair mais acentuadamente, ficando preso de forma mais firme.

4 (Udesc) Duas esferas maciças são construídas com materiais diferentes. Em uma certa temperatura T_0 elas apresentam o mesmo diâmetro, portanto, o mesmo volume V_0. Seja ΔV a diferença entre os volumes das esferas, após a temperatura ser triplicada.

Considerando-se que o coeficiente de expansão volumétrica seja igual a três vezes o coeficiente de expansão linear, assinale a alternativa que corresponde à diferença entre os coeficientes de expansão linear dos materiais que compõem as esferas.

▶ a) $\dfrac{\Delta V}{6V_0T_0}$ b) $\dfrac{\Delta V}{3V_0T_0}$ c) $\dfrac{\Delta V}{2V_0T_0}$ d) $\dfrac{\Delta V}{V_0T_0}$ e) $\dfrac{\Delta V}{5V_0T_0}$

Vamos supor que a esfera 1 se dilate mais que a esfera 2.
Esfera 1: $\Delta V_1 = V_0 \cdot 3\alpha_1 \cdot (3T_0 - T_0) \quad \therefore \quad \Delta V_1 = 6V_0 \cdot T_0 \cdot \alpha_1$
Esfera 2: $\Delta V_2 = V_0 \cdot 3\alpha_2 \cdot (3T_0 - T_0) \quad \therefore \quad \Delta V_2 = 6V_0 \cdot T_0 \cdot \alpha_2$
A diferença entre os volumes das esferas ΔV, após a temperatura ser triplicada é igual a:
$\Delta V = \Delta V_1 - \Delta V_2$
$\Delta V = 6V_0 \cdot T_0 \cdot \alpha_1 - 6V_0 \cdot T_0 \cdot \alpha_2$
$\Rightarrow \Delta V = 6V_0 \cdot T_0 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)$

Logo, a diferença entre os coeficientes de dilatação linear é:

$$\alpha_1 - \alpha_2 = \frac{\Delta V}{6V_0 \cdot T_0}$$

5 Um técnico em um laboratório desejava determinar o valor do coeficiente de dilatação térmica da glicerina. Para isso, preencheu completamente um recipiente cilíndrico de alumínio de volume 500 mL com o líquido. Aferiu a temperatura do conjunto, em equilíbrio térmico, e obteve 20 °C.

A seguir, aqueceu o conjunto a 120 °C e notou que parte da glicerina havia transbordado. Recolheu o líquido transbordado em uma pipeta e observou que o volume ocupado foi de 21 mL.

Considere que o ponto de ebulição da glicerina seja superior a 120 °C e que o coeficiente de dilatação térmica linear do alumínio seja 2×10^{-5} °C^{-1}.

Nessas condições, o valor obtido pelo técnico do coeficiente de dilatação térmica da glicerina, no estado líquido, foi de:

a) $4,2 \times 10^{-4}$ °C^{-1}.
b) $4,4 \times 10^{-4}$ °C^{-1}.
c) $4,6 \times 10^{-4}$ °C^{-1}.
▶ d) $4,8 \times 10^{-4}$ °C^{-1}.
e) $5,0 \times 10^{-4}$ °C^{-1}.

$\Delta V_{real} = \Delta V_{recipiente} + \Delta V_{transbordado}$
$(V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta)_{glicerina} = (V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta)_{alumínio} + \Delta V_{transbordado}$
Lembrando que $\gamma_{A\ell} = 3\alpha_{A\ell}$ e fazendo-se as devidas substituições numéricas:
$500\gamma_g \cdot 100 = 500 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot 100 + 21$
$\Rightarrow \gamma_g = 4,8 \cdot 10^{-4}$ °C^{-1}

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

Aula 4

- Leia o item 1 da seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 1 a 3 do capítulo 2 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 5

- Leia o item 2 da seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 22 a 24 do capítulo 2 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

Aula 4

- Leia os itens 1 e 2 do capítulo 2 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 4 a 7 do capítulo 2 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 5

- Leia o item 3 do capítulo 2 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 25 e 26 do capítulo 2 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

Aula 4

- Faça a questão 8 do capítulo 2 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 5

- Faça as questões 27 e 28 do capítulo 2 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

1 (PUC-MG) A tabela mostra o calor específico de três materiais.

Material	c (cal/g °C)
Alumínio	0,20
Cobre	0,080
Ferro	0,10

Considere três baldes com dimensões iguais e construídos com esses materiais. Os recipientes com a mesma massa e temperatura foram pintados de preto e colocados ao sol. Após certo tempo, é **CORRETO** afirmar:

a) Os recipientes estarão na mesma temperatura, pois receberam igual quantidade de calor.

b) O recipiente de alumínio vai apresentar maior temperatura.

▶ c) O recipiente de cobre vai apresentar maior temperatura.

d) Os recipientes vão apresentar temperaturas crescentes na seguinte ordem: cobre, alumínio e ferro.

Pela descrição do experimento, os três baldes receberão a mesma quantidade de calor Q. Além disso, possuem a mesma massa.

Logo, analisando a expressão $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, nota-se que

$c \cdot \Delta\theta = \frac{Q}{m}$ = constante.

Portanto, nesse caso, **c** e $\Delta\theta$ são inversamente proporcionais entre si. Dessa forma, a substância com menor calor específico (cobre) atingirá a maior temperatura.

2 (Enem) Em uma aula experimental de calorimetria, uma professora queimou 2,5 g de castanha-de-caju crua para aquecer 350 g de água, em um recipiente apropriado para diminuir as perdas de calor. Com base na leitura da tabela nutricional a seguir e da medida da temperatura da água, após a queima total do combustível, ela concluiu que 50% da energia disponível foi aproveitada. O calor específico da água é $1 \text{ cal} \cdot g^{-1} \cdot °C^{-1}$, e sua temperatura inicial era de 20 °C.

Quantidade por porção de 10 g (2 castanhas)	
Valor energético	70 kcal
Carboidratos	0,8 g
Proteínas	3,5 g
Gorduras totais	3,5 g

Qual foi a temperatura da água, em grau Celsius, medida ao final do experimento?

a) 25 b) 27 ▶ c) 45 d) 50 e) 70

Energia liberada na queima de 2,5 g de castanha-de-caju:

$Q = 2{,}5 \text{ g} \cdot \frac{70\,000 \text{ cal}}{10 \text{ g}} = 17\,500 \text{ cal}$

Energia aproveitada para aquecer 350 g de água:

$Q' = \frac{50}{100} \cdot 17\,500 \text{ cal} = 8\,750 \text{ cal}$

Logo, a temperatura final da água foi de:

$Q' = mc\Delta\theta$

$8\,750 = 350 \cdot 1 \cdot (\theta_f - 20)$

$\therefore \ \theta_f = 45 \text{ °C}$

3 (UFRGS-RS) A telefonia celular utiliza radiação eletromagnética na faixa da radiofrequência (RF: 10 MHz – 300 GHz) para as comunicações. Embora não ionizantes, essas radiações ainda podem causar danos aos tecidos biológicos através do calor que elas transmitem. A taxa de absorção específica (SAR – *specific absorption rate*) mede a taxa na qual os tecidos biológicos absorvem energia quando expostos às RF's, e é medida em watt por quilograma de massa do tecido $\left(\frac{W}{kg}\right)$.

No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações, ANATEL, estabeleceu como limite o valor de $2\ \frac{W}{kg}$ para a absorção pelas regiões da cabeça e tronco humanos. Os efeitos nos diferentes tecidos são medidos em laboratório. Por exemplo, uma amostra de tecido do olho humano exposta por 6 minutos à RF de 950 MHz, emitida por um telefone celular, resultou em uma SAR de $1{,}5\ \frac{W}{kg}$.

Considerando o calor específico desse tecido de $3600\ \frac{J}{(kg \cdot °C)}$, sua temperatura (em °C) aumentou em

a) 0,0025

▶ b) 0,15

c) 0,25

d) 0,67

e) 1,50

Para o tecido do olho humano:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$

$\underbrace{\frac{Q}{\Delta t \cdot m}}_{\text{SAR}} = \frac{c \cdot \Delta T}{\Delta t}$

Para Δt = 6 min = 360 s, temos:

$1{,}5\ \frac{W}{kg} = \frac{3600\ \frac{J}{kg \cdot °C}}{360 \text{ s}} \cdot \Delta\theta$

$\therefore \ \Delta\theta = 0{,}15 \text{ °C}$

3. Calor latente de mudança de estado (L)

Calor latente de mudança de estado de uma substância é a quantidade de calor que se deve fornecer ou retirar de cada unidade de massa dessa substância, para que a substância mude de estado físico.

Algebricamente:

$$L = \frac{Q}{m} \Rightarrow$$

$$\boxed{Q = m \cdot L} \quad \text{(Equação da quantidade de calor latente)}$$

Unidades:

Grandeza	Unidade		
	SI	**Usual**	**Transformação**
Q	J	cal	1 cal ≈ 4,2 J
m	kg	g	1 kg = 10^3 g
L	J/kg	cal/g	1 cal/g ≈ $4{,}2 \cdot 10^3$ J/kg

Observações:

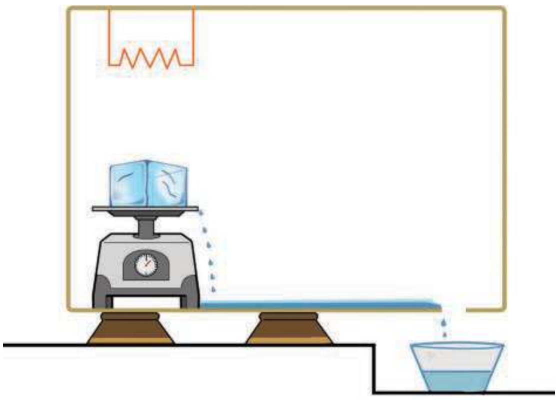
- Na fusão e na vaporização: $Q > 0$. Logo, $L_{fusão} > 0$ e $L_{vaporização} > 0$.
- Na solidificação e na condensação: $Q < 0$. Logo, $L_{solidificação} < 0$ e $L_{condensação} < 0$.

Por exemplo, para a água:

- $L_{fusão} = 80$ cal/g e $L_{vaporização} = 540$ cal/g;
- $L_{solidificação} = -80$ cal/g e $L_{condensação} = -540$ cal/g.

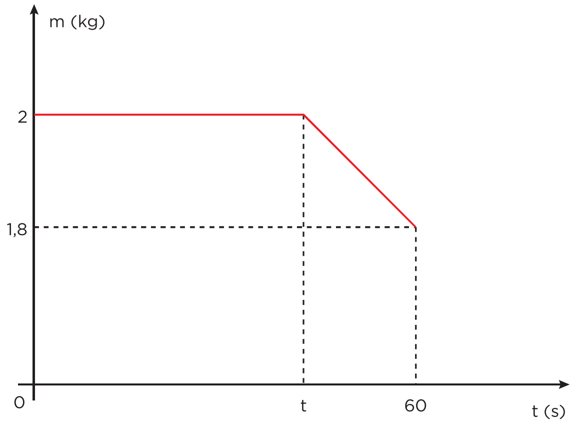
EM CLASSE **DESENVOLVENDO HABILIDADES**

1 Um bloco de gelo, a −20 °C, se encontra apoiado sobre uma "balança", de apoio vazado, que indica uma massa inicial de 2 kg, no interior de um recipiente termicamente isolado, dotado de um ralo, por onde escorre a eventual água proveniente do derretimento desse gelo.



O gelo recebe calor diretamente de um aquecedor elétrico de potência $\mathcal{P}$. Considere que 80% dessa potência seja absorvida pelo gelo.

O gráfico a seguir mostra a indicação da balança em função do tempo.



Adote:
1 cal = 4 J
Calor específico do gelo: 0,5 cal $\cdot$ g^{-1} $\cdot$ °C^{-1}
Calor latente de fusão do gelo: 80 cal $\cdot$ g^{-1}

A potência $\mathcal{P}$ dessa fonte é:

a) 13 670 W

b) 10 930 W

c) 6 000 W

d) 3 000 W

e) 2 400 W

Pelo gráfico, nota-se que, em 60 s, o gelo se aqueceu e 200 g sofreram fusão.

Assim, a potência absorvida é:

$$\mathcal{P} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta + m' \cdot L}{\Delta t}$$

$$\mathcal{P} = \frac{2000 \cdot 0{,}5 \cdot 4 \cdot 20 + 200 \cdot 80 \cdot 4}{60}$$

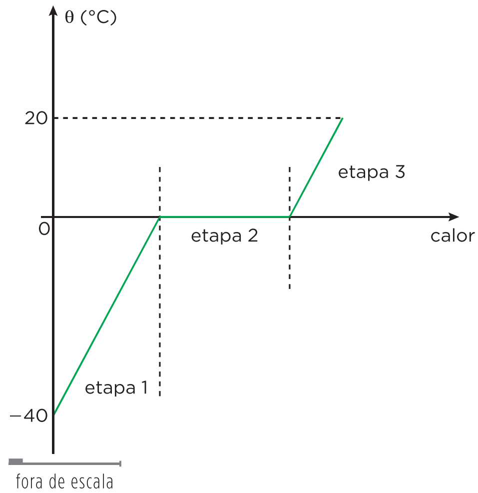
$$\mathcal{P} = 2400 \text{ W}$$

Mas essa potência corresponde a 80% da potência $\mathcal{P}$ total do aquecedor. Logo:

$$0{,}8\mathcal{P} = 2400 \Rightarrow \mathcal{P} = 3000 \text{ W}$$

2 (FCMSCSP) O gráfico representa parte da curva de aquecimento de determinada massa de gelo, inicialmente a uma temperatura de −40 °C, até transformar-se em água líquida a 20 °C.

As etapas 1, 2 e 3 indicadas ocorrem em intervalos de tempo Δt_1, Δt_2 e Δt_3, respectivamente.



Considerando que a energia necessária para provocar essa transformação tenha sido fornecida por uma fonte térmica de potência constante, que todo o calor fornecido por essa fonte tenha sido absorvido pela massa que sofreu a transformação, que o calor específico do gelo é 0,5 cal/(g $\cdot$ °C), que o calor específico da água líquida é 1 cal/(g $\cdot$ °C) e que o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g, é correto afirmar que

a) $\Delta t_1 < \Delta t_3 < \Delta t_2$

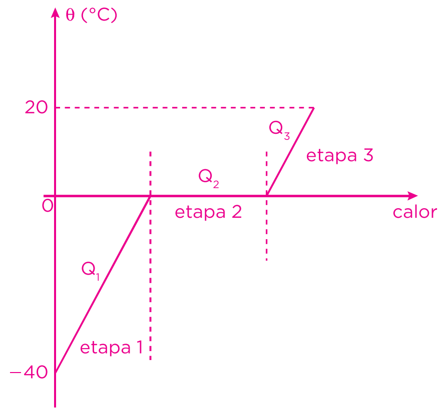
b) $\Delta t_1 > \Delta t_2 > \Delta t_3$

c) $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3$

d) $\Delta t_1 = \Delta t_3 < \Delta t_2$

e) $\Delta t_1 = \Delta t_3 > \Delta t_2$

Inicialmente, pode-se determinar a quantidade de calor trocada (Q) pela massa de gelo (m) em cada etapa, indicadas no gráfico a seguir:



$Q_1 = m \cdot 0{,}5 \cdot (40) = 20\ m$

$Q_2 = 80\ m$

$Q_3 = m \cdot 1 \cdot 20 = 20\ m$

Como a potência da fonte é constante, pode-se concluir que:
$\Delta t_1 = \Delta t_3 < \Delta t_2$.

3 (Fuvest-SP) Furacões são sistemas físicos que liberam uma enorme quantidade de energia por meio de diferentes tipos de processos, sendo um deles a condensação do vapor em água. De acordo com o Laboratório Oceanográfico e Meteorológico do Atlântico, um furacão produz, em média, 1,5 cm de chuva por dia em uma região plana de 660 km de raio. Nesse caso, a quantidade de energia por unidade de tempo envolvida no processo de condensação do vapor em água da chuva é, aproximadamente,

a) $3{,}8 \cdot 10^{15}$ W.
b) $4{,}6 \cdot 10^{14}$ W.
c) $2{,}1 \cdot 10^{13}$ W.
d) $1{,}2 \cdot 10^{12}$ W.
e) $1{,}1 \cdot 10^{11}$ W.

> Note e adote:
> $\pi = 3$.
> Calor latente de vaporização da água: $2 \cdot 10^6$ J/kg.
> Densidade da água: 10^3 kg/m³.
> 1 dia = $8{,}6 \cdot 10^4$ s.

O volume de água da chuva produzida pelo furacão em um dia corresponde ao volume de um cilindro de raio $R = 660$ km $= 66 \cdot 10^4$ m e altura $h = 1{,}5$ cm $= 1{,}5 \cdot 10^{-2}$ m.
Assim,

$$V = \pi R^2 \cdot h \Rightarrow V = 3 \cdot (66 \cdot 10^4)^2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-2} \therefore V = 19602 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

A massa de água correspondente a esse volume pode ser obtida aplicando-se a definição de densidade como segue:

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow m = d \cdot V \therefore m = 10^3 \cdot 19602 \cdot 10^6$$

$$\therefore m = 19602 \cdot 10^9 \text{ kg}$$

O módulo da quantidade de energia (Q) envolvida no processo de condensação do vapor em água da chuva é:

$$|Q| = m \cdot L_{vaporização} \therefore |Q| = 19602 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^6$$

$$\therefore |Q| = 39204 \cdot 10^{15} \text{ J}$$

Aplicando-se a definição de potência, tem-se:

$$\mathcal{P} = \frac{|Q|}{\Delta t} \therefore \mathcal{P} = \frac{39204 \cdot 10^{15}}{8{,}6 \cdot 10^4}$$

$$\therefore \mathcal{P} \approx 4{,}6 \cdot 10^{14} \text{ W}$$

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

- Leia a seção *Nesta aula*.
- Faça as questões 19 a 22 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 23 a 26 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

- Leia o item 3 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

- Faça as questões 27 e 28 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

1 (PUC-PR)

No seu movimento de translação ao redor do Sol, a Terra recebe 1 410 W/m^2 de intensidade de energia, medição feita numa superfície normal (em ângulo reto) com o Sol. Disso, aproximadamente 19% é absorvido pela atmosfera e 35% é refletido pelas nuvens. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar está na forma de luz visível e luz ultravioleta.

Fonte: (Adaptado) USINA ECOELÉTRICA. **Energia Solar**. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/energia_solar.html>. Acesso em 9 de mar.2017

Uma placa de aquecimento solar de eficiência 20% e 1 m^2, funcionando por 1 h, é capaz de variar a temperatura de 3,6 litros de água em aproximadamente:

Dado: calor específico da água c = 4,2 kJ/(kg · °C); densidade da água d = 10^3 kg/m^3.

a) 12 °C.

b) 31 °C.

c) 75 °C.

d) 98 °C.

e) 121 °C.

Se 19% + 35% = 54% da radiação solar não chegam ao solo, então somente 46% de 1 410 W/m^2 = 648,6 W/m^2 atingem o solo.

No entanto, apenas 20% é a eficiência do aquecimento solar. Logo, a potência útil é:

$\mathcal{P}_u = 0{,}2 \cdot 648{,}6 = 129{,}72\ \text{W/m}^2$.

Como a placa tem 1 m^2, então, a potência é 129,72 W.

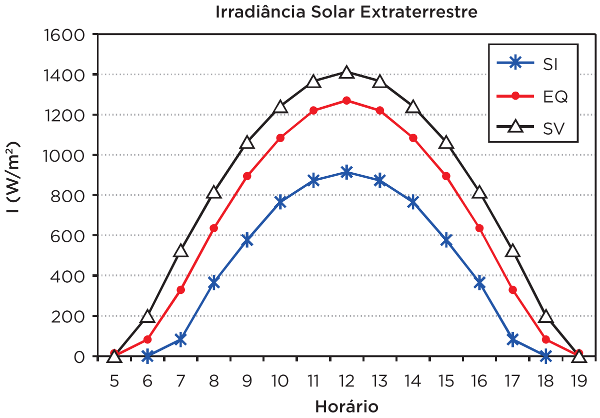
Mas

$$\mathcal{P} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{d \cdot V \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t}$$

$$129{,}72\ \frac{J}{s} = \frac{\left(10^3\ \text{kg/m}^3\right) \cdot \left(3{,}6 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3\right) \cdot \left(4200\ \text{J/kg} \cdot °\text{C}\right) \cdot \Delta\theta}{3600\,\text{s}}$$

Portanto, $\Delta\theta \approx 31\ °\text{C}$

3 A intensidade da radiação solar (I) em um ponto do globo terrestre varia com a latitude do local, com o horário e com o dia do ano. O gráfico a seguir mostra a intensidade da radiação solar extraterrestre ao longo de um dia, para a cidade de Ponta Porã (MS), em três datas relevantes: solstício de inverno (SI), equinócio (EQ) e solstício de verão (SV).



Fonte: Sentelhas, Paulo Cesar; Angelocci, Luiz Roberto. *Agrometeorologia*: Fundamentos e aplicações práticas. Disponível em: <www.researchgate.net/profile/Paulo_Sentelhas/publication/285651687_Agrometeorologia_Fundamentos_e_aplicacoes_praticas/links/5806560c08aeb85ac85f46ee/Agrometeorologia-Fundamentos-e-aplicacoes-praticas.pdf>. Acesso em: 18 maio 2018.

Suponha que, do total da radiação solar extraterrestre, apenas 50% atinja o solo do nosso planeta. Considere que um morador dessa cidade resolva instalar um painel solar de 6 m^2 para aquecer água, inicialmente a 25 °C, que ficará armazenada em um reservatório termicamente isolado de capacidade 500 litros. O fabricante desses painéis garante que a eficiência do painel solar é de 60%.

Dados:
Densidade da água = 1 kg/L
Calor específico da água = 4,2 kJ/(kg · °C)

a) Qual o significado físico da área sob a linha de cada um dos gráficos?

b) Suponha uma situação hipotética na qual o painel receba radiação solar em intensidade máxima e constante. Nessa condição, estime a diferença de tempo para aquecer a água até 45 °C entre um dia de solstício de inverno e um dia de solstício de verão.

a) A área indica a quantidade de energia térmica (calor) para cada metro quadrado de superfície que atinge o topo da atmosfera terrestre.

b) Intensidade máxima no SV: 1 400 W/m^2

Intensidade máxima no SI: 900 W/m^2

Mas somente 50% dessa radiação atinge o painel solar que apresenta apenas 60% de rendimento. Logo, a intensidade de radiação útil em cada caso é:

$I_{SV} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1\,400 = 420\ W/m^2$

$I_{SI} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 900 = 270\ W/m^2$

Como a área da placa é 6 m^2, a potência em cada caso é:

$P_{SV} = 6 \cdot 420 = 2\,520\ W$

$P_{SI} = 6 \cdot 270 = 1\,620\ W$

Para aquecer 500 L (m = 500 kg) de água de 25 °C a 45 °C, é necessária uma quantidade de calor igual a:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 500 \cdot 4\,200 \cdot 20 = 42 \cdot 10^6\ J$

Logo, em cada caso, o intervalo de tempo é:

$$\mathcal{P}_{SV} = \frac{Q}{\Delta t_{SV}} \Rightarrow 2\,520\ \frac{J}{s} = \frac{4,2 \cdot 10^6\ J}{\Delta t_{SV}}$$

Portanto: $\Delta t_{SV} = 16\,667\ s \approx 4,6\ h$

$$\mathcal{P}_{SI} = \frac{Q}{\Delta t_{SI}} \Rightarrow 1\,620\ \frac{J}{s} = \frac{4,2 \cdot 10^6\ J}{\Delta t_{SI}}$$

Portanto, $\Delta t_{SV} = 25\,926\ s \approx 7,2\ h$

Logo, a diferença de tempo é: (7,2 − 4,6) h = 2,6 h = 2 h 36 min