

ESPCEX 2022
CALORIMETRIA
Parte 1 e 2

Prof. Felipe Nascimento

The background features several semi-transparent, light blue graphical elements. On the right side, there is a large circular gauge or donut chart with a central circle and a segment highlighted. Below it are several smaller circular gauges of varying sizes. At the bottom right, there is a bar chart with four vertical bars of increasing height from left to right. The overall aesthetic is clean and professional, using a monochromatic teal color palette.

Propagação do Calor

Sabemos que calor é a **energia térmica** que transita entre corpos ou sistemas, a temperaturas diferentes.

O calor sempre é transmitido espontaneamente do corpo "mais quente" para o corpo "mais frio".

O calor pode ser transmitido de um corpo para outro, ou de um sistema para outro, por três processos distintos.

Condução

Convecção

Irradiação

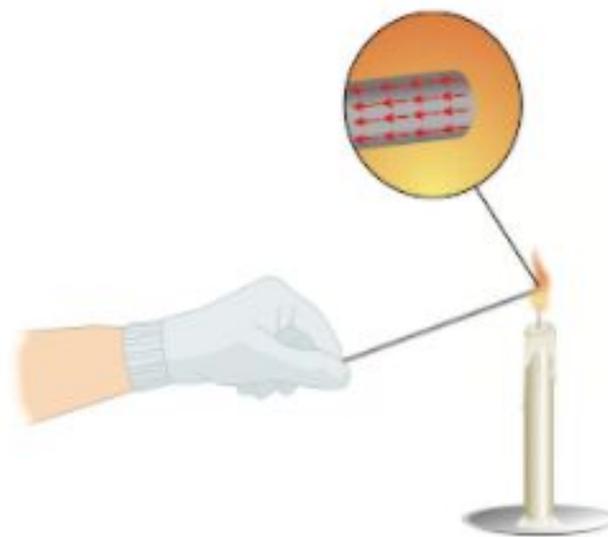
CONDUÇÃO TÉRMICA

No processo de transmissão de calor por **condução**, a energia térmica é transmitida diretamente de uma partícula (átomo, molécula ou íon) para outra através do material que constitui o corpo.

Portanto, a **condução não ocorre no vácuo**.



A temperatura da extremidade do arame em contato com a mão aumenta no decorrer do tempo.



A energia da chama é transmitida de uma partícula para outra ao longo do arame.

CONDUÇÃO TÉRMICA

Dependendo do material através do qual ocorre a condução de calor, podemos ter:

- **Bons condutores de calor (maus isolantes térmicos):** metais.

Dentre os metais, a prata é o melhor condutor de calor, seguida do cobre, do alumínio e do ferro.

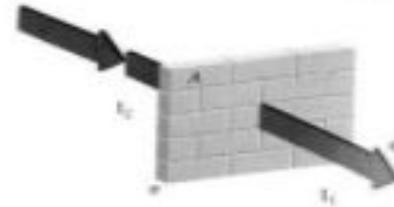
- **Maus condutores de calor (bons isolantes térmicos):** vácuo, ar seco, madeira, vidro, isopor, plásticos, gelo, lã, entre outros.

Outros materiais condutores e isolantes térmicos

CONDUTORES	ISOLANTES
Alumínio	Plástico
Ferro	Madeira
Aço Inox	Isopor
Cobre	Vidro
Prata	Lã
Latão	Cerâmica
Silício	Papelão
Corpo humano	Penugem e pelugem

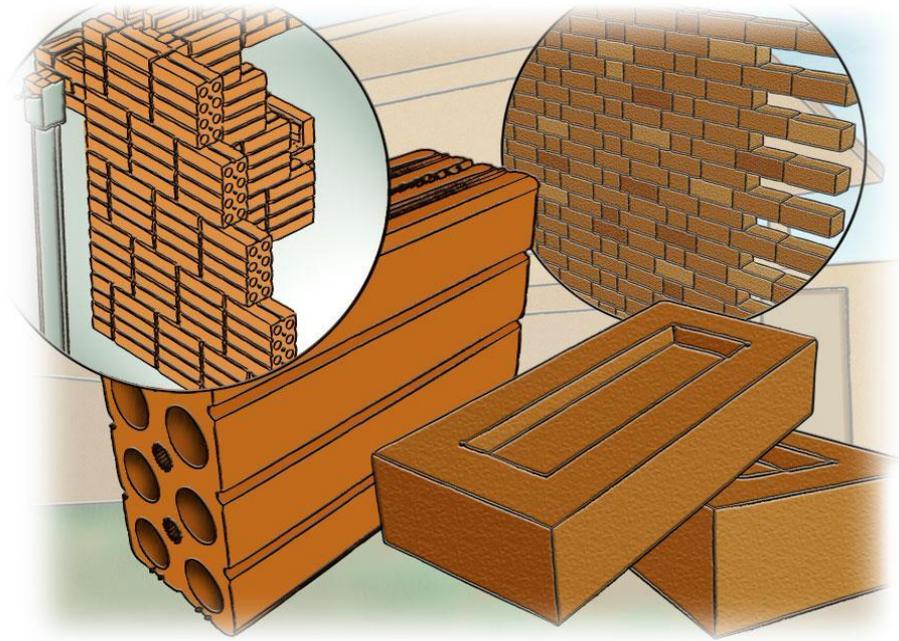
CONDUÇÃO TÉRMICA: LEI DE FOURIER

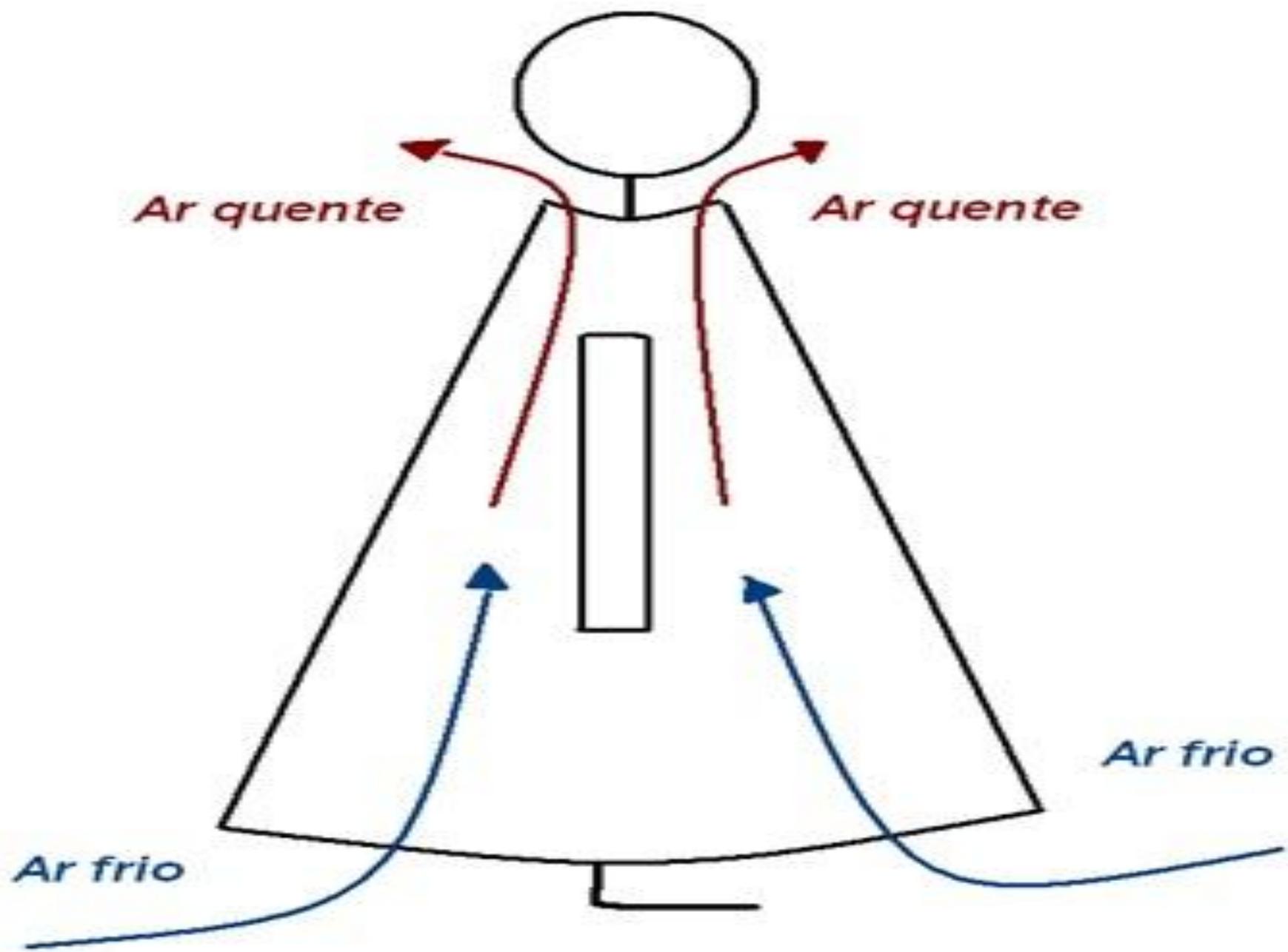
Verificou que o fluxo de calor depende dos seguintes fatores:



- ✓ Área da superfície;
- ✓ Diferença de temperatura entre os meios 1 e 2.
- ✓ Espessura da parede;
- ✓ Coeficiente de CONDUTIBILIDADE TÉRMICA (depende da natureza da substância);

$$\Phi = K \cdot \frac{A \cdot \Delta\theta}{e}$$





CONVECÇÃO TÉRMICA

Vamos considerar o aquecimento da água contida em uma panela de alumínio colocada sobre a chama de um fogão a gás.



A água em contato com o fundo da panela se aquece por condução. A água aquecida dilata-se, torna-se menos densa e sobe. Ao subir, a água quente desloca a água fria da região superior para baixo. A água fria desce e se aquece, e o ciclo se repete.

Na **convecção**, o calor é transmitido juntamente com porções do material aquecido. Por esse motivo, a convecção é um processo de transmissão de calor que ocorre exclusivamente nos fluidos (líquidos, gases e vapores), nunca nos sólidos.

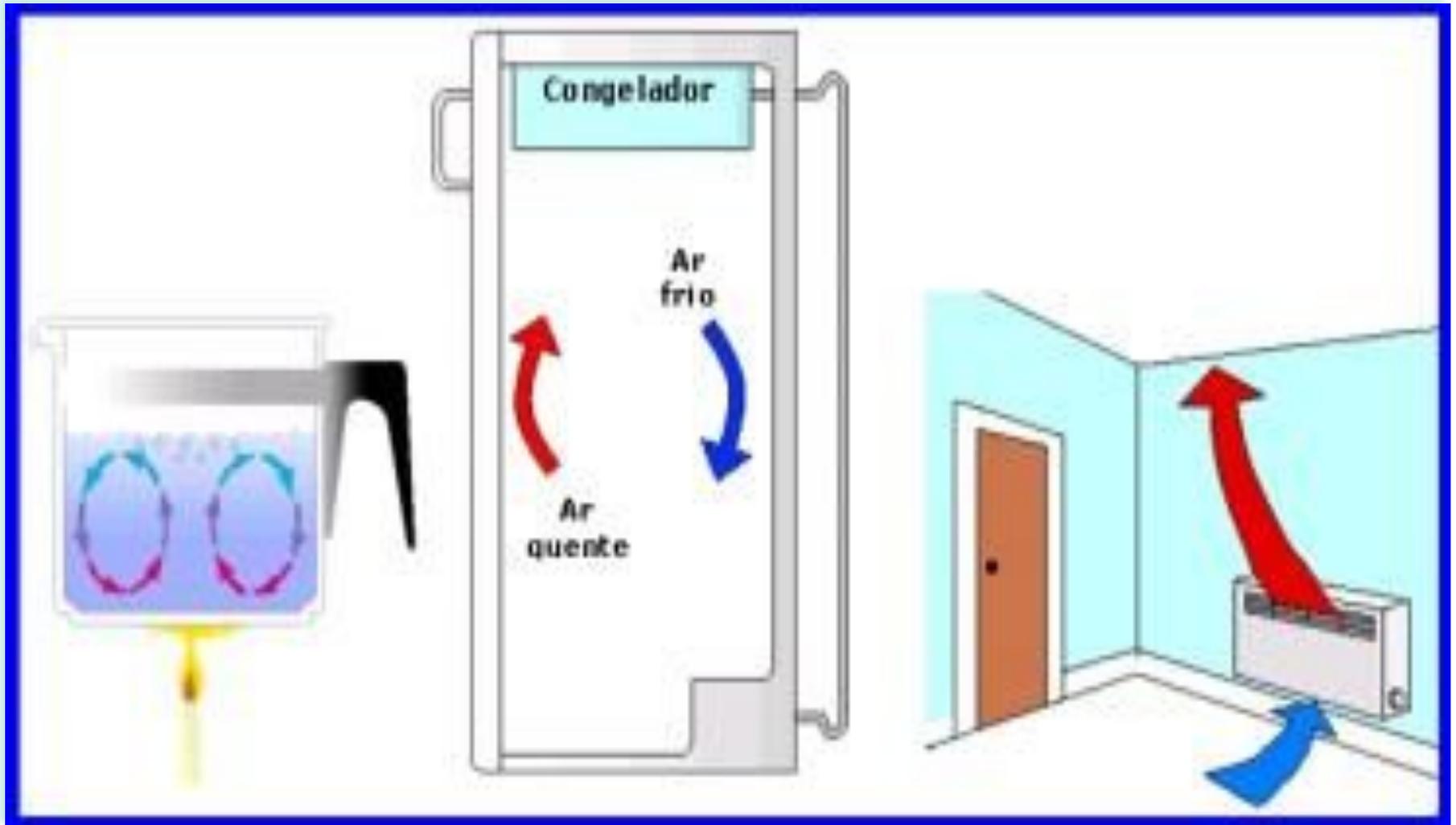
CONVECÇÃO TÉRMICA

Na convecção, a energia térmica é, portanto, transmitida por correntes denominadas **correntes de convecção**, juntamente com porções do material aquecido.

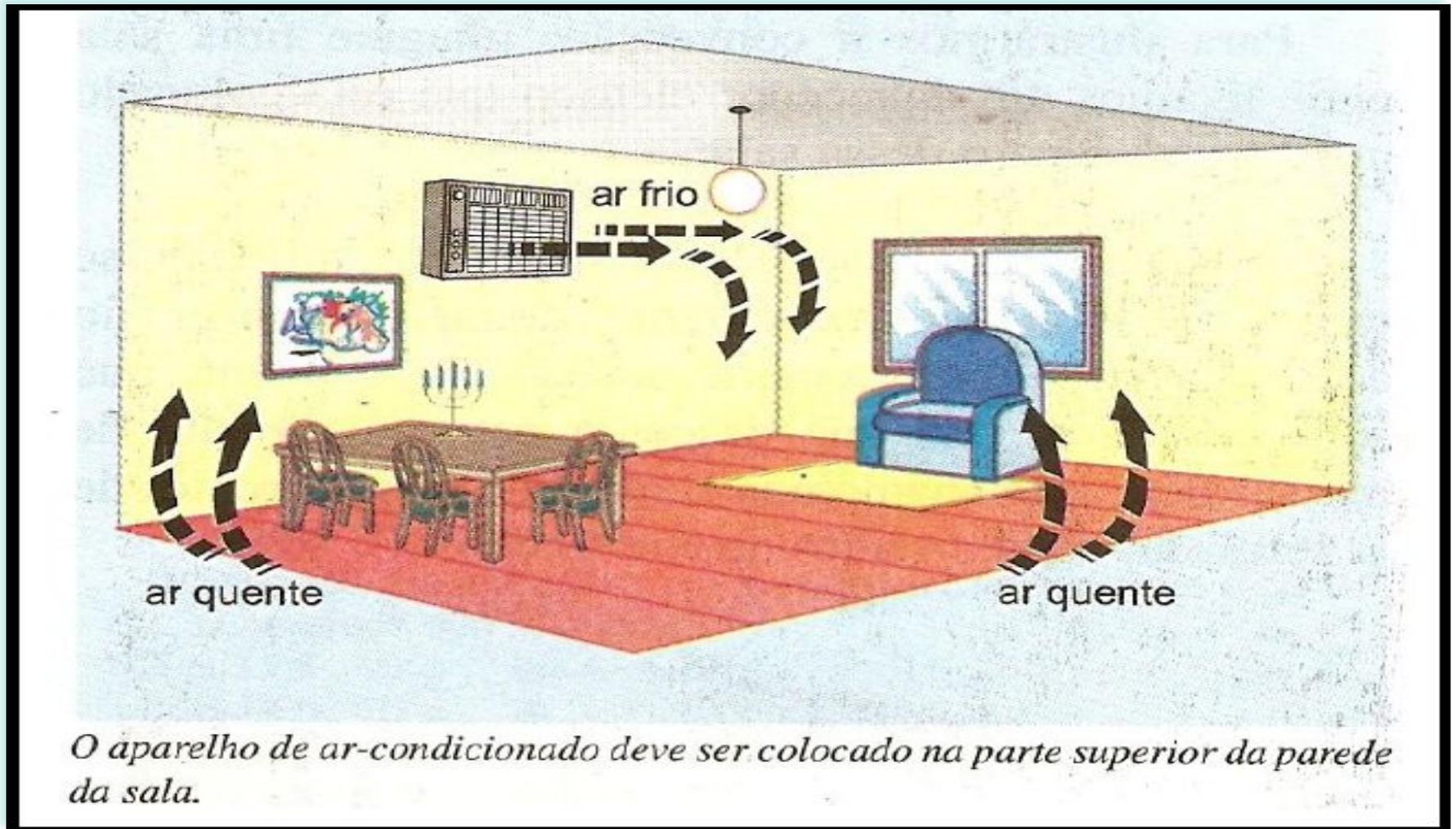
As correntes de convecção são originadas pelas diferenças de densidades entre o material quente e o material frio.

Para a convecção ocorrer, é necessário que o material possa fluir (formando as correntes de convecção).

GELADEIRA

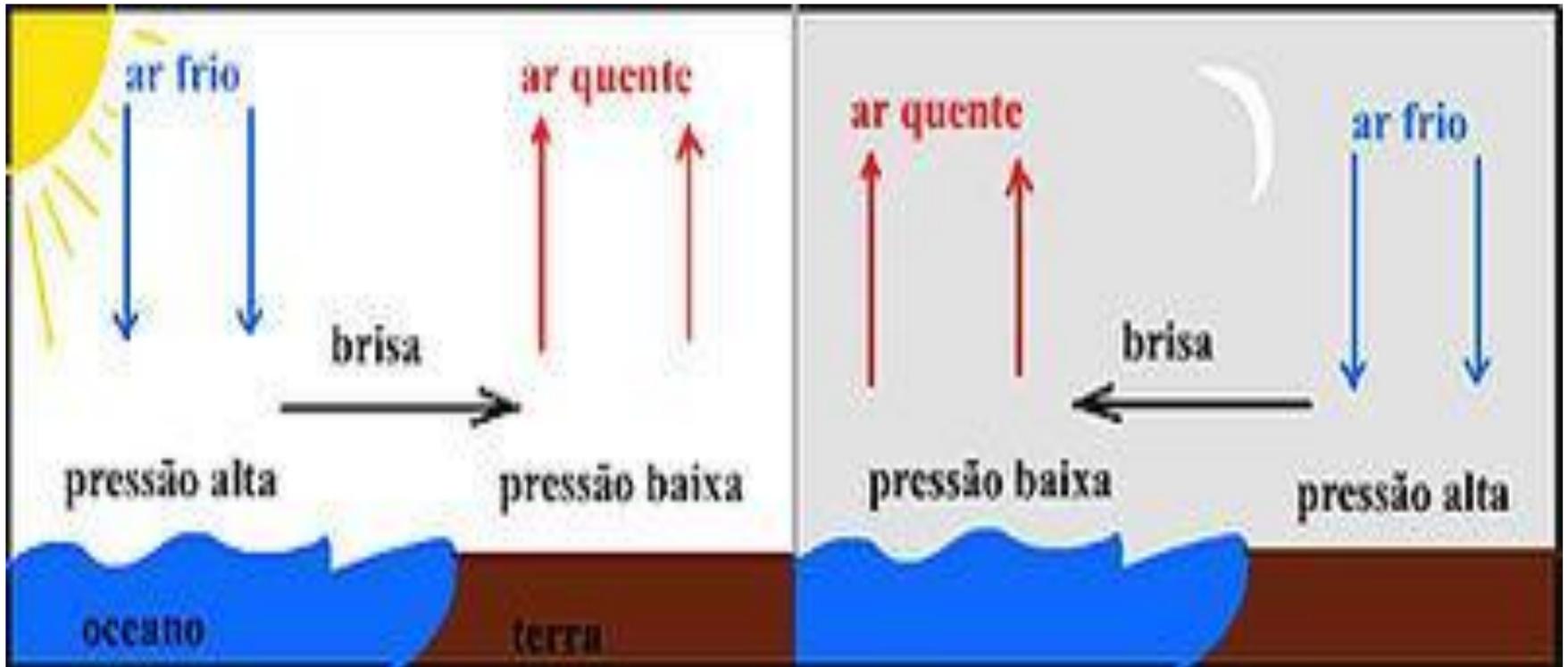


AR CONDICIONADO



O aparelho de ar-condicionado deve ser colocado na parte superior da parede da sala.

BRISA MARÍTIMA E BRISA TERRESTRE



IRRADIAÇÃO TÉRMICA

Na **irradiação**, o calor é transmitido por ondas eletromagnéticas (como as ondas de rádio, raios infravermelhos, luz visível, raios ultravioleta, entre outras). Quando essas ondas são raios infravermelhos, também chamadas de ondas de calor ou calor radiante, utilizamos o termo **irradiação térmica**.

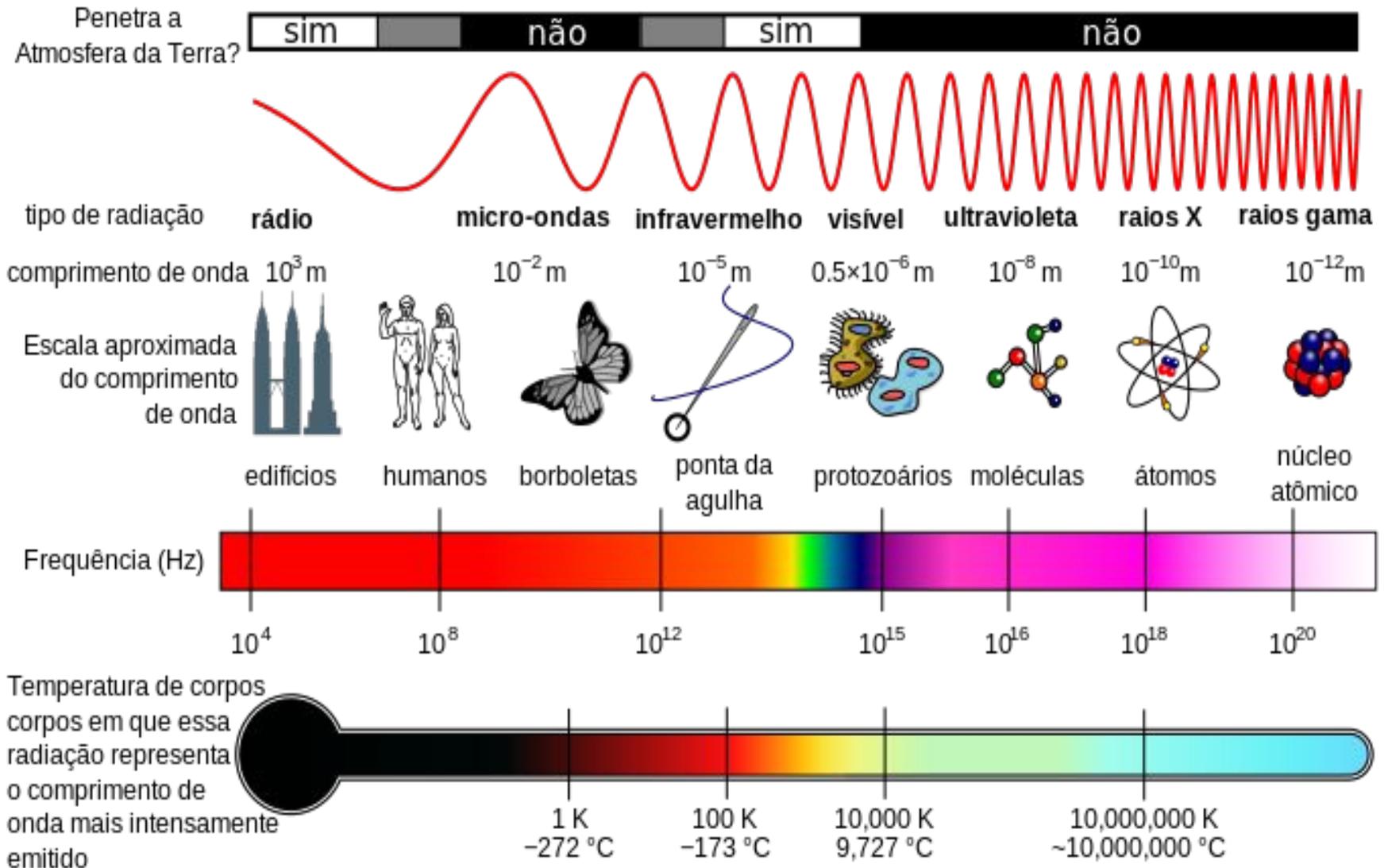


ALEXANDER BUCHENKOVSHUTTERSTOCK

O calor é transmitido da fogueira para as pessoas por irradiação térmica.

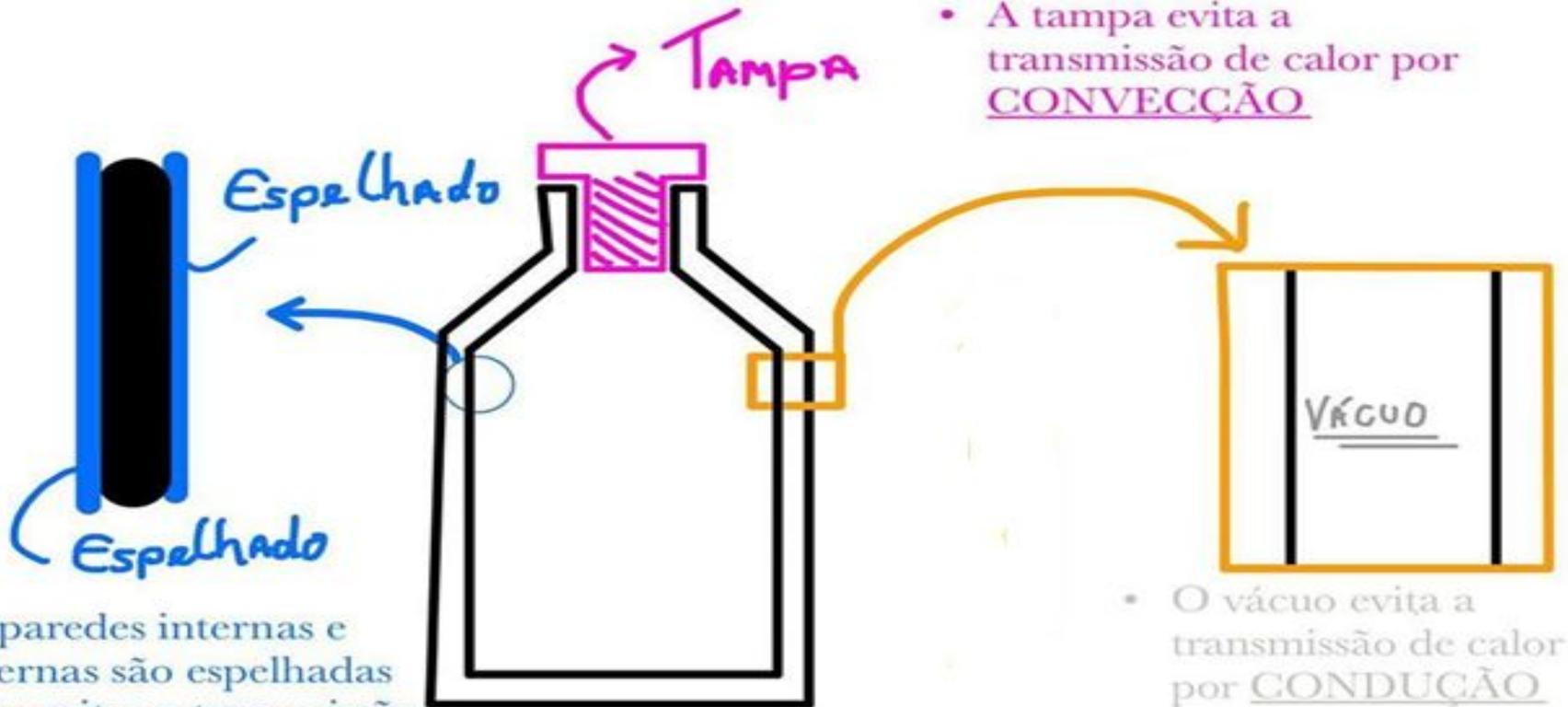
Toda e qualquer onda eletromagnética pode se propagar no vácuo. Por esse motivo, a irradiação é o único processo de transmissão de calor que pode ocorrer no vácuo.

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



GARRAFA TÉRMICA

- A tampa evita a transmissão de calor por CONVECCÃO



As paredes internas e externas são espelhadas para evitar a transmissão de calor por RADIAÇÃO

- O vácuo evita a transmissão de calor por CONDUÇÃO

- Não se esqueça que a única forma de se transmitir calor pelo vácuo é através da **Radiação**

EAM - Marinha

Com relação aos três processos de propagação de calor: condução, convecção e irradiação, assinale a opção correta.

A O processo de condução ocorre apenas nos líquidos e gases.

B O processo de convecção ocorre apenas nos sólidos.

C A propagação de calor por irradiação é o único dos três processos que pode ocorrer no ar atmosférico.

D No processo de convecção ocorre o movimento das moléculas, formando correntes de convecção.

E O calor do Sol propaga-se no espaço pelo processo de condução até atingir a atmosfera terrestre e ser absorvido pelos corpos.

(EAM - MARINHA) O calor é uma forma de energia que ocorre devido a uma diferença de temperatura.

Assinale a opção que apresenta a forma de propagação de calor que se caracteriza por ocorrer apenas nos fluidos. Alternativas:

A Convecção.

B Irradiação.

C Condução.

D Equilíbrio Térmico.

E Eletrização.

Lei de Fourier

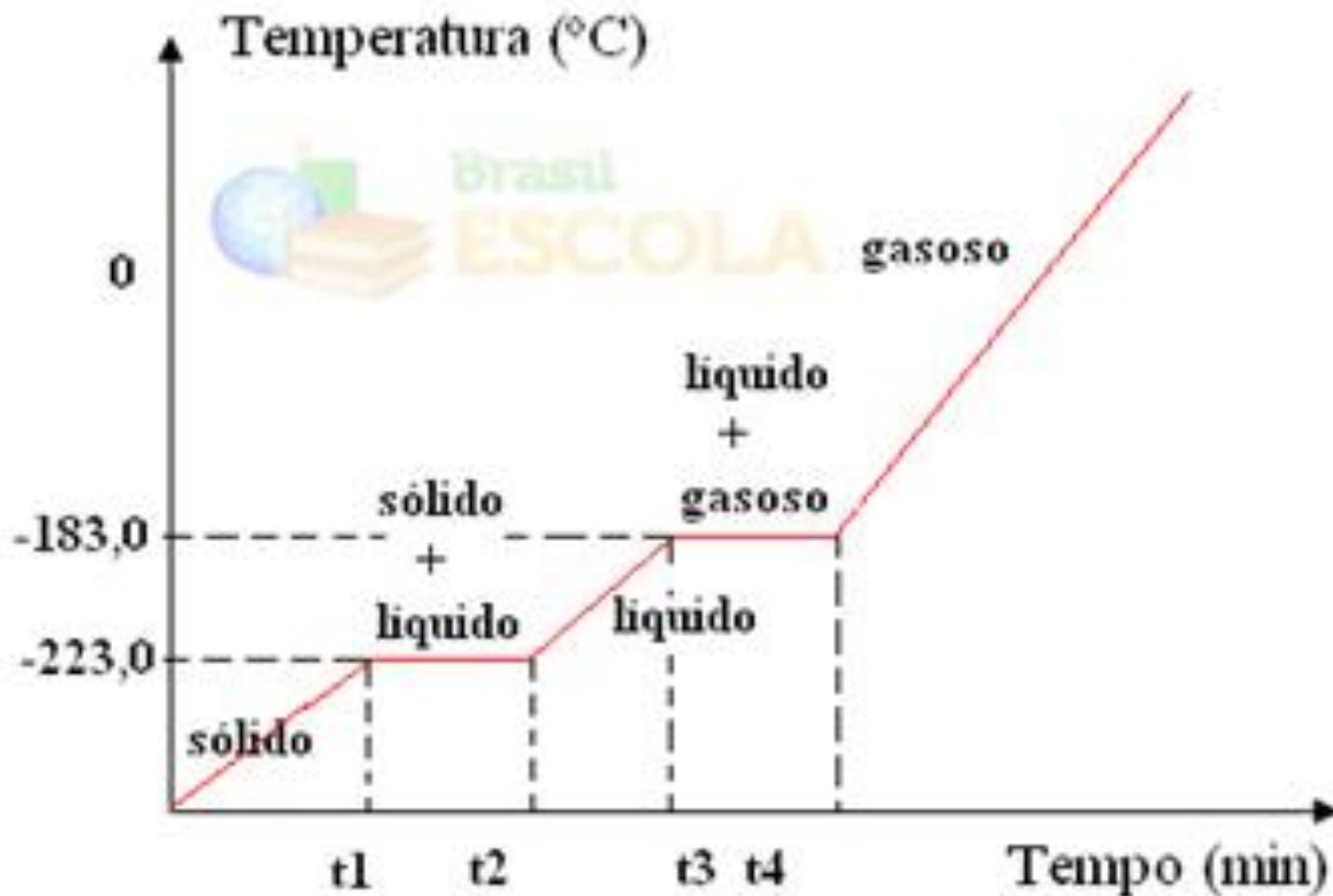
Uma sala de estúdio é mantida à temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e encontra-se separada de uma sala vizinha, à temperatura ambiente de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, por uma janela retangular de vidro, de $8,0\text{ mm}$ de espessura, $1,0\text{ m}$ de altura por $1,5\text{ m}$ de largura. Sabendo que a condutividade térmica do vidro é $0,80\text{ W/m.K}$, o total de calor transmitidas pela janela, após $4,2$ minutos é de, aproximadamente:

- a) $1,50\text{ kcal}$.
- b) $37,8\text{ kcal}$.
- c) $60,0\text{ kcal}$.
- d) $90,0\text{ kcal}$.
- e) 126 kcal .

Considere $1\text{ cal} = 4,2\text{ J}$

QUANTIDADE DE CALOR SENSÍVEL

Curva de Aquecimento



Calor Específico

Quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura de uma unidade de massa de um corpo.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Exemplo:



Nesse caso, temos: $c = \frac{0,5 \text{ cal}}{1 \text{ g} \cdot 1^{\circ}\text{C}}$

Logo: $c = 0,5 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$

Esse resultado nos indica que, para variar a temperatura de 1 g do material que compõe esse corpo em 1°C , precisaremos fornecer a ele 0,5 cal.

Equação Fundamental da Calorimetria

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T$$

quantidade de calor sensível (J ou cal)

massa do corpo (kg ou g)

$\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$

Mudança na temp.
 $T_{\text{(final)}} - T_{\text{(inicial)}}$

Bbeduka

Calor específico de algumas substâncias

Substância (sólidos e líquidos)	Calor específico (a 25°C e pressão normal)	
	(J/kg . °C)	(cal/g . °C)
Água	4200	1,0
Álcool etílico	2400	0,58
Alumínio	900	0,22
Chumbo	130	0,031
Cobre	390	0,092
Concreto	840	0,20
Ferro	450	0,11
Gelo (a - 5°C)	2100	0,50
Mercúrio	140	0,033
Ouro	130	0,031
Prata	230	0,056

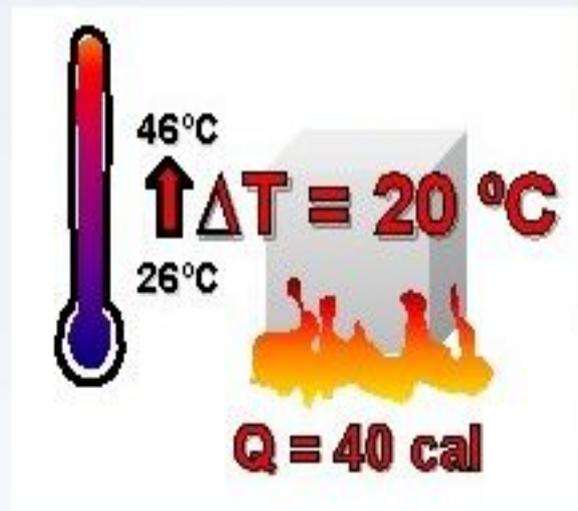
Capacidade Térmica

Quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura de um corpo.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Equivale ao quociente entre a quantidade de calor recebido ou cedido pelo corpo e a correspondente variação de temperatura.

Exemplo:



Neste caso, temos: $C = \frac{40 \text{ cal}}{20^{\circ}\text{C}}$

Logo: $C = 2 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$

Esse resultado nos indica que, para variar a temperatura desse corpo em 1°C , precisaremos fornecer a ele 2 cal.

Curiosidade

No deserto, durante o dia, a temperatura atinge valores muito elevados; situação que se inverte à noite, com temperaturas bem baixas.



Imagem: Thomas Tolkien / Creative Commons Attribution 2.0 Generic

Curiosidade

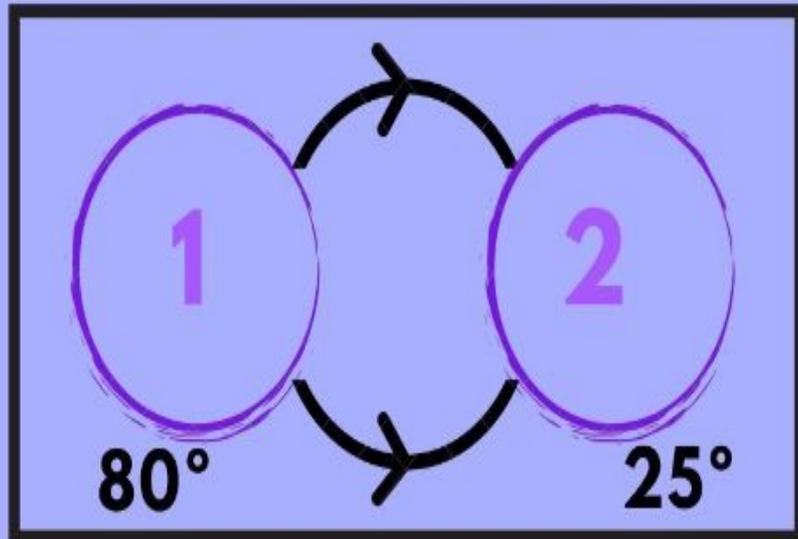
A explicação dessa variação se baseia no conceito de calor específico sensível.



Imagem: Thomas Tolkien / Creative Commons Attribution 2.0 Generic

A areia do deserto possui calor específico sensível relativamente pequeno, o que a faz aquecer com muita facilidade durante o dia e se resfriar facilmente à noite. Por isso, as temperaturas variam muito.

Trocas de calor



→ Sistema
termicamente
isolado

$$\Sigma Q = 0$$

$$Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{recebido}} = 0$$

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

Os corpos trocam calor

A temperatura final de
ambos é chamada de

Temperatura de equilíbrio

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

$$\Delta t = T_{\text{(Final)}} - T_{\text{(Inicial)}}$$



VAMOS

EXERCITAR?

(EEAR) A quantidade de quilocalorias de um alimento é determinado em um calorímetro onde uma amostra do alimento é queimada e o calor transferido é medido. No caso de uma amostra de 5 g de um alimento, o calor, por grama da amostra, transferido à 0,5 kg de água pura (1 cal/g°C) colocada dentro desse calorímetro e a 0,1 kg de alumínio (0,2 cal/g°C) que compõe a parte interna desse calorímetro será, em kcal/g, igual a _____. OBS: considere que a variação de temperatura da água pura e do alumínio foi a mesma e igual a 55°C.

Alternativas

A 3,72

B 4,72

C 5,72

D 6,72

(EEAR) Duas amostras "A" e "B" de água no estado líquido de mesma massa (m) e mesmo calor específico (c) possuem temperatura iniciais diferentes T_{IA} e T_{IB} , sendo T_{IA} maior que T_{IB} . A mistura obtida com as duas amostras, após algum tempo, atinge a temperatura final T_F . A quantidade de calor que a amostra "A" cedeu é igual a _____ .

Alternativas

a) $mc\left(\frac{T_{IA} + T_{IB}}{2}\right)$

~~b) $mc\left(\frac{T_{IB} - T_{IA}}{2}\right)$~~

c) $mc\left(\frac{T_{IA} - T_{IB}}{2}\right)$

d) $mc\left(\frac{T_{IB} - 2T_{IA}}{2}\right)$

POTÊNCIA CALORÍFICA

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \longrightarrow \begin{cases} Q = mc\Delta T \\ \text{ou} \\ Q = mL \end{cases}$$

No S.I: J/s (watts)

29

Um painel coletor de energia solar é utilizado para aquecer a água de uma residência e todo o sistema tem um rendimento de 60%. Para aumentar a temperatura em $12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de uma massa de água de 1000 kg , a energia solar total coletada no painel deve ser de

Dado: considere o calor específico da água igual a $4,0\frac{\text{J}}{\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}}$.

[A] $2,8 \cdot 10^4\text{ J}$

[B] $4,8 \cdot 10^4\text{ J}$

[C] $8,0 \cdot 10^4\text{ J}$

[D] $4,8 \cdot 10^7\text{ J}$

[E] $8,0 \cdot 10^7\text{ J}$

(ESPCEX) Em uma casa moram quatro pessoas que utilizam um sistema de placas coletoras de um aquecedor solar para aquecimento da água. O sistema eleva a temperatura da água de 20°C para 60°C todos os dias.

Considere que cada pessoa da casa consome 80 litros de água quente do aquecedor por dia. A situação geográfica em que a casa se encontra faz com que a placa do aquecedor receba por cada metro quadrado a quantidade de $2,016 \cdot 10^8\text{ J}$ de calor do sol em um mês.

Sabendo que a eficiência do sistema é de 50%, a área da superfície das placas coletoras para atender à demanda diária de água quente da casa é de:

Dados: Considere um mês igual a 30 dias

Calor específico da água: $c=4,2\text{ J/g }^{\circ}\text{C}$

Densidade da água: $d=1\text{ kg/L}$

A 2,0 m²

B 4,0 m²

C 6,0 m²

D 14,0 m²

E 16,0 m²

(ESPCEX) Para elevar a temperatura de 200 g de uma certa substância, de calor específico igual a $0,6 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, de 20°C para 50°C , será necessário fornecer-lhe uma quantidade de energia igual a:

Alternativas

A 120 cal

B 600 cal

C 900 cal

D 1800 cal

E 3600 cal

(ESPCEX) A utilização do termômetro, para a avaliação da temperatura de um determinado corpo, é possível porque, após algum tempo de contato entre eles, ambos adquirem a mesma temperatura. Neste caso, é válido dizer que eles atingem a (o)

Alternativas

A equilíbrio térmico.

B ponto de condensação.

C coeficiente de dilatação máximo.

D mesma capacidade térmica.

E mesmo calor específico.

(EN-ASPIRANTE) Um aquecedor elétrico de fluxo contínuo utiliza uma resistência elétrica $R = 21$ ohms para aquecer água da temperatura $T_i = 12^\circ\text{C}$ até a temperatura $T_f = 52^\circ\text{C}$, no estado estacionário (conforme a figura abaixo). O escoamento da massa de água ocorre à taxa de 12 kg/min. Despreze as perdas. A corrente elétrica I (em ampères) que passa na resistência elétrica R é

Dados: $c_{\text{água}} = 1,0$ cal/g. $^\circ\text{C}$; 1 cal = $4,2$ joules.

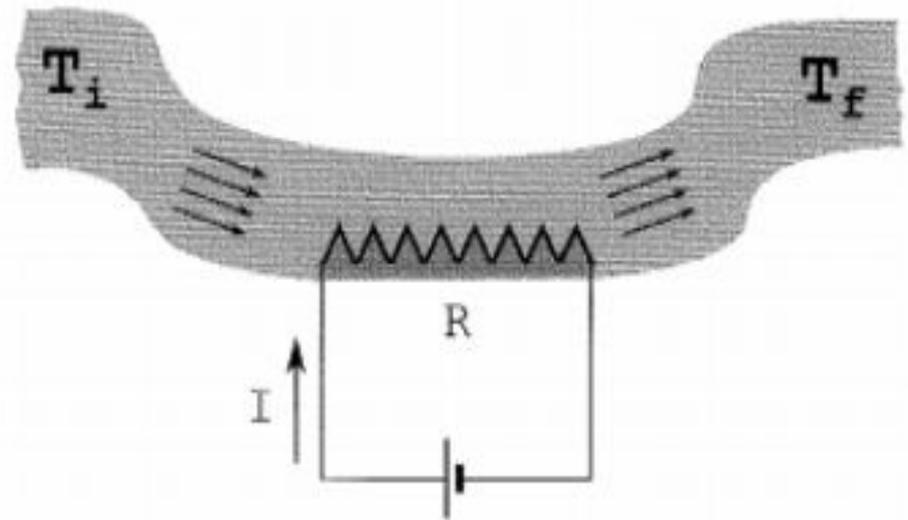
A 20

B 25

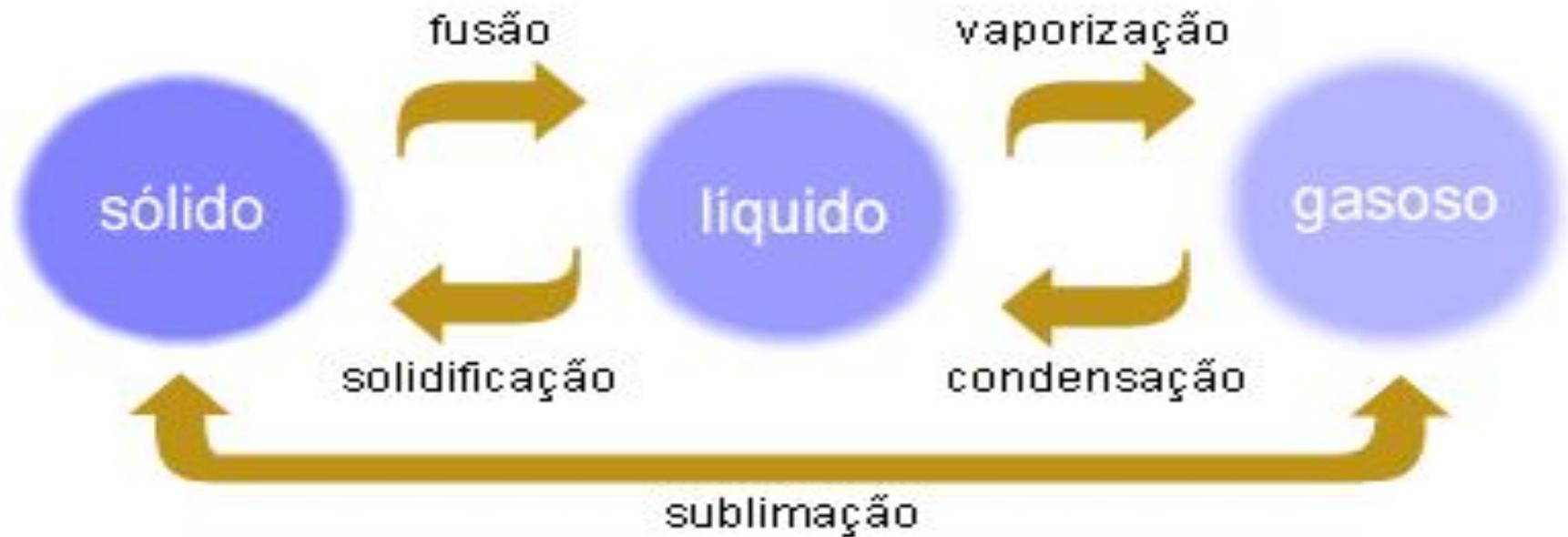
C 30

D 35

E 40



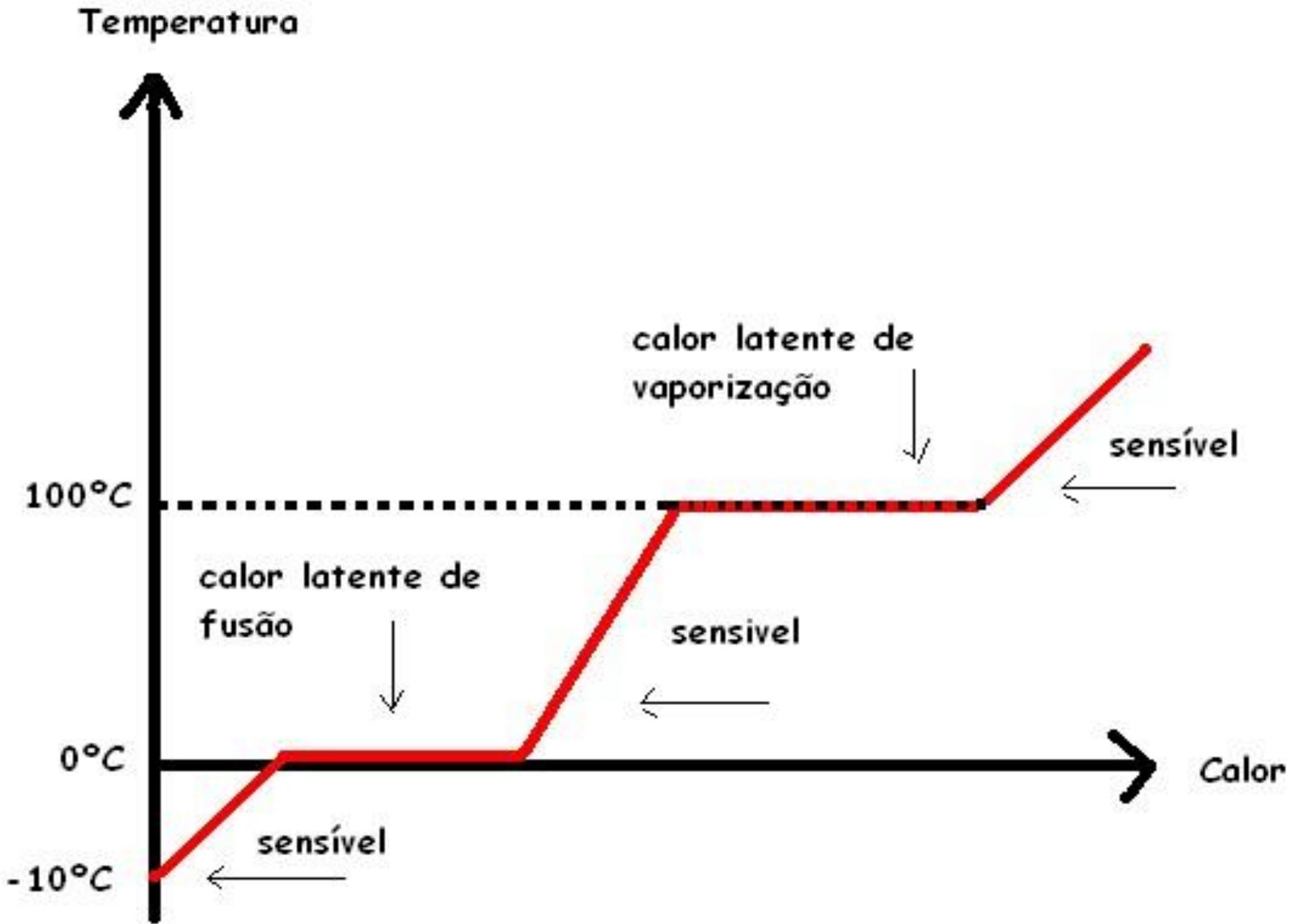
MUDANÇA DE ESTADO FÍSICO DA MATÉRIA



CURVAS DE AQUECIMENTO OU RESFRIAMENTO

Este gráfico será chamado de curva de aquecimento, se o corpo estiver recebendo energia térmica, ou curva de resfriamento, se o corpo estiver cedendo energia térmica.





CALOR LATENTE

O calor latente, de uma mudança de estado, é a quantidade de calor que a substância recebe ou cede, por unidade de massa, durante a transformação, mantendo-se constante a temperatura, desde que a pressão não se altere. Matematicamente, podemos expressá-lo por:

$$L = \frac{Q}{m} \rightarrow Q = mL$$

Sendo:

Q = quantidade total de calor latente trocada no processo

m = massa do corpo

L = calor latente de mudança.

Substância	$\frac{\text{calor latente}}{\text{de fusão}} \left(\frac{\text{cal}}{\text{g}}\right)$	$\frac{\text{Calor latente}}{\text{de vaporização}} \left(\frac{\text{cal}}{\text{g}}\right)$
Água	80	540
Alcool	25	204
Alumínio	95	2500
Mercúrio	2,7	70
Chumbo	6,8	200
Cobre	65	1600
Estanho	14	460

Calor Latente de Fusão e calor Latente de Vaporização de algumas substâncias. Fonte: Física, Vol. 2, Alberto Gaspar, ed. Ática, 2003.

A tabela a seguir informa o calor específico de algumas substâncias.

Água (líquida) = 1 cal/g°C	Alumínio (Al) = 0,22 cal/g°C
Gelo = 0,50 cal/g°C	Mercúrio (Hg) = 0,03 cal/g°C
Areia = 0,12 cal/g°C	Prata (Ag) = 0,05 cal/g°C
Vidro = 0,20 cal/g°C	Ferro (Fe) = 0,11 cal/g°C

Consultando a tabela, avalie as afirmativas a seguir.

I. A água, por ter um calor específico muito alto, é um excelente elemento termorregulador. A ausência de água faz com que, nos desertos, ocorram enormes diferenças entre a temperatura máxima e a mínima em um mesmo dia.

II. Para refrigerar uma peça aquecida, é comum mergulhá-la em água. Será mais eficiente, para resfriá-la, mergulhá-la em mercúrio. Só não se faz isso porque, além de muito caro, seus vapores são extremamente tóxicos.

III. Se cedermos a mesma quantidade de calor a amostras de massas iguais de alumínio e ferro, a temperatura da amostra de ferro aumentará o dobro do que aumentará a amostra de alumínio.

Escola Naval 2018 - Aspirante

Considere um bloco de gelo de 80,0 kg deslizando, com velocidade constante v , em um plano inclinado de 30° com a horizontal. Sabendo que a massa de gelo que derrete por minuto, em consequência do atrito, é de 20,0 g, e que o calor latente de fusão do gelo é 336 J/g, qual o valor da velocidade v , em centímetros por segundo?

Dado: $g=10\text{m/s}^2$

A 4,20

B 16,8

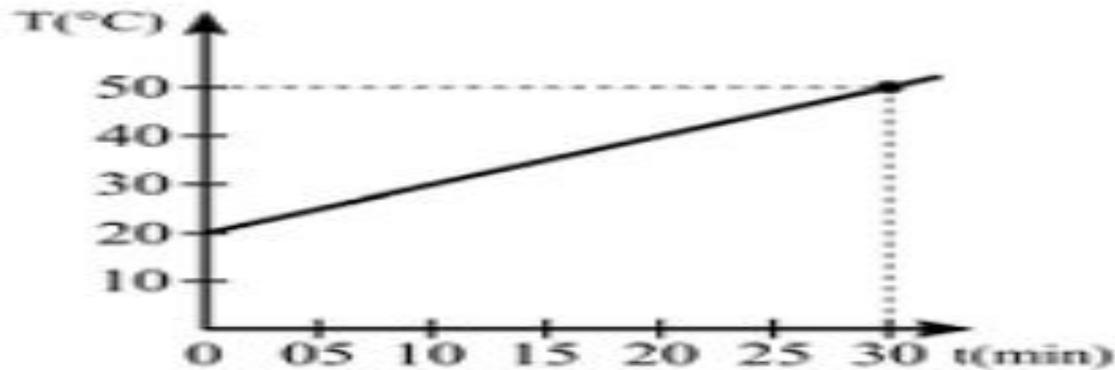
C 20,4

D 28,0

E 32,0

EEAR - Sargente controlador vôo

Um corpo absorve calor de uma fonte a uma taxa constante de 30 cal/min e sua temperatura (T) muda em função do tempo (t) de acordo com o gráfico a seguir. A capacidade térmica (ou calorífica), em cal/°C, desse corpo, no intervalo descrito pelo gráfico, é igual a



- A 1
- B 3
- C 10
- D 30

EXERCÍCIOS

Calcule a quantidade de calor necessária para transformar 100 g de gelo a -10°C em água a 20° ?

Dados: calor específico do gelo = $0,5 \text{ cal} / \text{g } ^{\circ}\text{C}$

calor latente de fusão do gelo = $80 \text{ cal} / \text{g}$

calor específico da água = $1 \text{ cal} / \text{g } ^{\circ}\text{C}$

EXERCÍCIOS

Uma quantidade de calor $Q = 56.100 \text{ J}$ é fornecida a 100 g de gelo que se encontra inicialmente a $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sendo

o calor específico do gelo $c_g = 2,1 \text{ J}/(\text{g}^\circ\text{C})$,

o calor específico da água $c_a = 4,2 \text{ J}/(\text{g}^\circ\text{C})$ e

o calor latente de fusão $C_L = 330,0 \text{ J/g}$,

a temperatura final da água em $^\circ\text{C}$ é, aproximadamente,

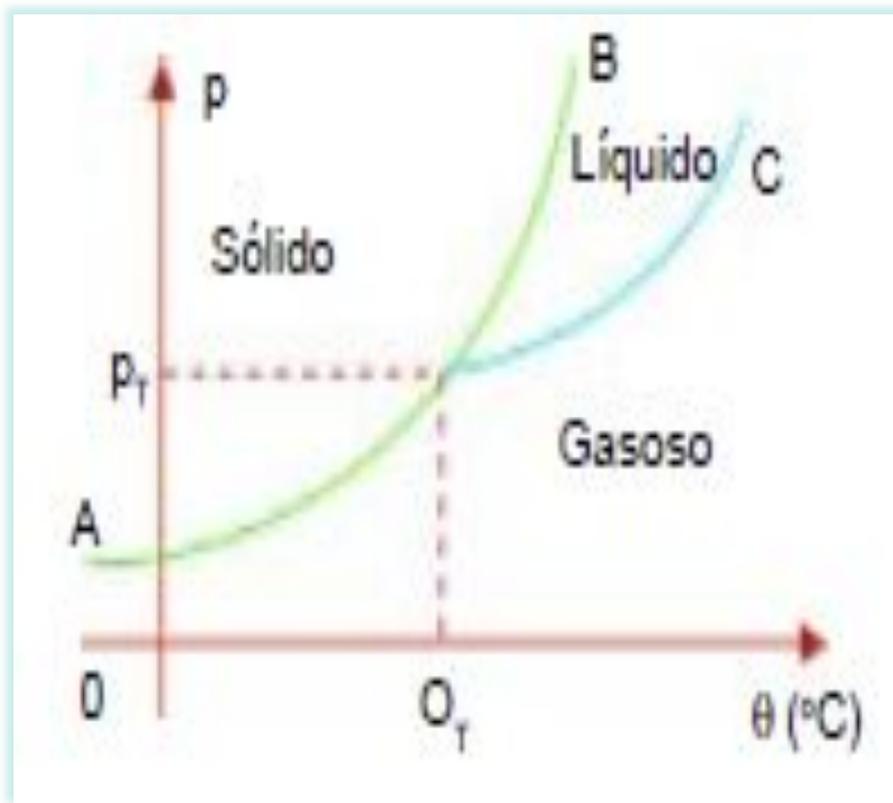
- a) 83,8.
- b) 60,0.
- c) 54,8.
- d) 50,0.
- e) 37,7.

LEIS GERAIS DE MUDANÇA

- *Se a pressão for mantida constante, durante a mudança de fase, a temperatura se mantém constante.*
- *Para uma dada pressão, cada substância tem a sua temperatura de mudança de fase perfeitamente definida.*
- *Variando a pressão, as temperaturas de mudança de fase também variam.*

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA MUDANÇA DE FASE

Maioria das substâncias



Água (comportamento anômalo)

