

### Física térmica

#### Os estados de agrupamento da matéria

- **Estado Sólido:** As forças de coesão entre as moléculas são intensas e só permitem às partículas ligeiras vibrações em torno de suas posições médias.
- **Estado Líquido:** As forças de coesão ainda são intensas e as distâncias médias entre as moléculas são maiores que no sólido.
- **Estado Gasoso:** As forças de coesão entre as moléculas são fracas, permitindo livre movimentação das moléculas.

#### Energia térmica

- É a **energia cinética** associada ao movimento de agitação térmica das moléculas.
- Quando dois corpos em temperaturas diferentes são colocados em contato, altera-se a energia térmica de cada corpo.
- A **energia térmica** em trânsito é denominada CALOR.
- Unidade de medida do calor (Q):  
 Joule (J),  
 Caloria (cal)      obs.: 1 cal = 4,186 J

#### Temperatura

- Temperatura é a medida do grau de agitação das moléculas de um corpo.
- A transferência de calor entre dois corpos, em contato, pode ser explicada através da diferença de temperatura entre eles. A situação final de equilíbrio que traduz uma igualdade de temperatura é o **equilíbrio térmico**.

#### Medida de temperatura

A experiência mostra que algumas características físicas dos corpos variam conforme a variação da temperatura.

Como exemplo temos:

- o comprimento de uma barra de metal;
- o volume de um líquido;
- a pressão de um gás a volume constante;
- a cor de um corpo

Obs.: O funcionamento do termômetro é baseado nessas propriedades.

#### Escalas térmicas usuais

Uma escala corresponde a um conjunto de valores numéricos, onde cada um desses valores está associado à uma temperatura.

Para graduação das escalas foram escolhidos dois pontos fixos.

- **Ponto do gelo** - corresponde à temperatura de fusão do gelo.
- **Ponto do vapor** - corresponde à temperatura de ebulição da água.

	Escala Celsius	Escala Fahrenheit	Escala Kelvin
Ponto de vapor	100 °C	212 °F	373 K
Ponto do gelo	0 °C	32 °F	273 K

#### Relação entre escalas:

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9} = \frac{t_K - 273}{5}$$

#### TESTES DE SALA:

**T01.** Transforme 10 °C para a escala Fahrenheit.

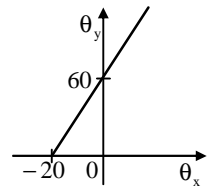
**T02.** Uma escala X atribui os valores -20 °X e 30 °X para os pontos do gelo e do vapor, respectivamente. Qual é, em °X, a temperatura correspondente a 500 °C?

**T03.** Transforme 227 °C para Kelvin.

**T04.** (IMES-SP) Uma variação de 20 °C corresponde a uma variação de:

- a) 20 °F    b) 18 °F    c) 40 °F    d) 77 °F    e) 36 °F

**T05.** A relação entre as escalas termométricas x e y é traduzida pelo gráfico. Determine a relação de conversão entre as escalas.



#### EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

**P01.** O fato de o calor passar de um corpo para outro se deve a:

- Quantidade de calor existente em cada um
- Diferença de temperatura entre eles
- Energia cinética total de suas moléculas
- O número de calorías existente em cada um
- Nada do que se afirmou acima é verdadeiro

**P02.** Dois corpos A e B de massas m<sub>A</sub> e m<sub>B</sub> estão inicialmente à temperatura t<sub>A</sub> e t<sub>B</sub>, respectivamente, com t<sub>A</sub> ≠ t<sub>B</sub>. Num dado instante, eles são postos em contato térmico. Após atingir o equilíbrio térmico, teremos:

- t<sub>A</sub> > t<sub>B</sub>
- t<sub>A</sub> < t<sub>B</sub>
- t<sub>A</sub> = t<sub>B</sub>
- não sei

**P03.** A temperatura de um indivíduo sendo de 37,5 °C seu valor em °F será:

- 67,5 °F
- 99,5 °F
- 5 °F
- 20 °F
- 69 °F

**P04.** Uma temperatura na escala Fahrenheit é indicada por um numero duplo daquele em que é representado na escala Celsius. Esta temperatura é:

- 160 °C
- 148 °C
- 140 °C
- 130 °C
- 120 °C

**P05.** A temperatura normal do corpo humano é de 36 °C. Qual é o valor dessa temperatura expressa nas escalas Fahrenheit e Kelvin?

**P06.** Um líquido cuja temperatura é 59 °F está, em kelvin, a:

- 28 k
- 112 k
- 318 k
- 56 k
- 288 k

**P07.** Um termômetro é graduado na escala X tal que 0 °X corresponde a -10 °C e 100 °X a 40 °C. Na escala X a temperatura correspondente a 0 °C será:

- 10 °X
- 20 °X
- 33 °X
- 25 °X
- 40 °X

**P08.** A diferença entre as indicações de um termômetro na escala Fahrenheit e um termômetro na escala Celsius para um mesmo estado térmico é 64. Qual a indicação dos dois termômetros?

**P09.** Em uma escala termométrica X, a temperatura da água em ebulição à pressão normal é 60 °X e a temperatura de fusão do gelo, à pressão normal é -20 °X. Sabendo-se que uma liga metálica funde a 500 °C, sua temperatura de fusão na escala X é:

- 200 °X
- 380 °X
- 400 °X
- 625 °X
- n.d.a.

**DILATAÇÃO TÉRMICA**

Um dos efeitos da variação da temperatura é provocar a variação das dimensões de um corpo.

Existem três tipos de dilatação térmica:

- **Dilatação linear** – é o aumento de qualquer dimensão de um corpo, quando sua temperatura aumenta.
- **Dilatação superficial** – é o aumento da área de qualquer superfície de um corpo, devido ao seu aquecimento.
- **Dilatação volumétrica** – é o aumento do volume de um corpo, devido ao aumento de sua temperatura.

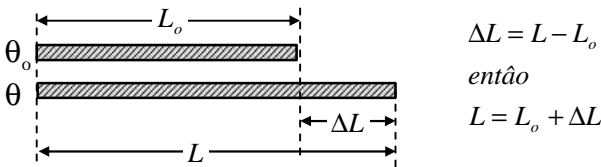
**Dilatação Linear ( DL )**

É aquela em que predomina o aumento de uma dimensão, ou seja, o comprimento.

É dada por:  $DL = a \times L_0 \times Dq$

- DL é a dilatação linear
- $L_0$  é o comprimento inicial
- a é o coeficiente de dilatação linear, que depende apenas da natureza do material

Considere uma barra metálica inicialmente com a temperatura  $q_0$  e comprimento  $L_0$ , Aquecida a uma temperatura  $q$ , sofre uma dilatação DL e fica com o comprimento L.



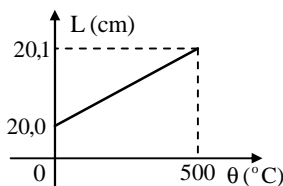
**TESTES DE SALA:**

**T06.** Uma viga de concreto ( $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) tem 100 m de comprimento a 20 °C. Que comprimento terá a viga a 30 °C?

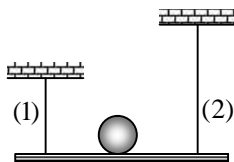
**T07.** (FUVEST-SP) Uma bobina contendo 2 000 m de fio de cobre ( $\alpha_{Cu} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), medido num dia em que a temperatura era de 35 °C, foi utilizada e o fio medido de novo a 10 °C. Esta nova medição indicou:

- a) 1,0 m a menos
- b) 1,0 m a mais
- c) 2 000 m
- d) 20 m a menos
- e) 20 m a mais

**T08.** Representa-se no diagrama a variação do comprimento de uma barra homogênea com a temperatura. Determine o valor do coeficiente de dilatação térmica linear do material de que é feita a barra.



**T09.** (EU-CE) A figura mostra uma pequena bola em repouso sobre uma barra horizontal, sustentada por dois fios de metais diferentes, (1) e (2), de comprimentos desiguais,  $L_1$  e  $L_2$ , a 0 °C, respectivamente. Sendo  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  os respectivos coeficientes de dilatação dos fios (1) e (2), qual das relações a seguir representa a condição para que a bola continue equilibrada sobre a barra, ao variar a temperatura?



- a)  $\alpha_1 = \alpha_2$
- b)  $\alpha_1 \cdot L_1 = \alpha_2 \cdot L_2$
- c)  $\alpha_1 \cdot L_2 = \alpha_2 \cdot L_1$
- d)  $L_1 \cdot L_2 = \alpha_1 \cdot \alpha_2$

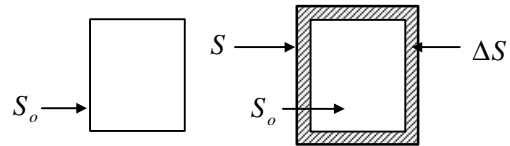
**Dilatação superficial ( DS ):**

É aquela em que predomina o aumento de duas dimensão, ou seja, a variação da área.

É dada por:  $DS = b \times S_0 \times Dq$

- DS é a dilatação superficial
- $S_0$  é a área inicial
- b é o coeficiente de dilatação superficial, que depende apenas da natureza do material

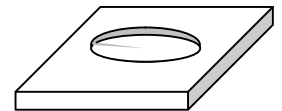
Considere uma placa inicialmente com a temperatura  $q_0$  e área  $S_0$ , Aquecida a uma temperatura  $q$ , sofre uma dilatação DS e fica com área S.



$DS = S - S_0 \quad \text{e} \quad S = S_0 + DS$

Obs.:

- coeficiente de dilatação superficial, para cada substância, é o dobro do coeficiente de dilatação linear ( $b = 2a$ )
- Quando se aquece uma chapa com um orifício, ela se dilata como se fosse inteira, o orifício de dilata como se fosse constituído do mesmo material da chapa.



**TESTES DE SALA:**

**T10.** (U. Mackenzie-SP) Uma chapa metálica tem, a 0 °C, área de 200 cm<sup>2</sup> e, a 100 °C, sua área vale 200,8 cm<sup>2</sup>. Determine o coeficiente de dilatação linear do metal que constitui.

**Dilatação Volumétrica ( DV ):**

Consideremos um corpo de volume  $V_0$  na temperatura  $q_0$ . Se a temperatura aumenta para  $q$ , o volume do corpo aumenta para V.

Ocorre, assim, uma dilatação volumétrica

$DV = V - V_0$

A variação do volume DV é diretamente proporcional ao volume inicial  $V_0$  e à variação de temperatura Dq.

$DV = g \times V_0 \times Dq$

- g é o coeficiente de dilatação térmica volumétrica, que depende apenas da natureza do material



Obs.:

- Coeficiente de dilatação volumétrica, para cada substância, é o triplo do coeficiente de dilatação linear ( $g = 3a$ )

**T11.** Um tubo de vidro tem volume interno de 80 cm<sup>3</sup> a 20 °C. Determine o volume interno desse tubo a 70 °C.

Dado:  $\gamma_{\text{vidro}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

**P10.** Quando aquecemos uma barra metálica, a variação do seu comprimento é:

- a) inversamente proporcional ao quadrado da variação de temperatura
- b) diretamente proporcional ao quadrado da variação de temperatura
- c) inversamente proporcional à sua temperatura
- d) inversamente proporcional à variação de temperatura

e) diretamente proporcional à variação de temperatura

**P11.** O vidro Pirex apresenta maior resistência ao choque térmico do que o vidro comum, porque:

- a) possui alto coeficiente de rigidez
- b) tem baixo coeficiente de dilatação térmica
- c) tem alto coeficiente de dilatação térmica
- d) tem alto calor específico
- e) é mais maleável que o vidro comum

**P12.** O comprimento de um fio de aço é de 40m a 22 °C. Determine seu comprimento num dia em que a temperatura é de 34 °C, sabendo que o coeficiente de dilatação linear do aço é  $11 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

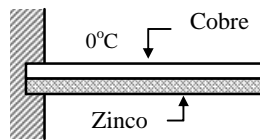
**P13.** Um trilho de aço tem 10m de comprimento a -10 °C. Supondo-se que a temperatura suba para 40 °C e que o coeficiente de dilatação do aço seja exatamente  $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . De termine em mm o acréscimo do comprimento do trilho.

**P14.** O comprimento inicial de uma barra de alumínio é de 100 cm. Quando sofre variação de 20°C a sua dilatação é de 0,048 cm. Determine o coeficiente de dilatação linear do alumínio.

**P15.** (ITA-SP) Um anel de cobre, a 25° C, tem um diâmetro interno de 5,00 cm. Qual das opções abaixo corresponderá ao diâmetro interno desse mesmo anel a 275° C, admitindo-se que o coeficiente de dilatação térmica do cobre no intervalo de 0° a 300°C é constante e igual a  $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ?

- a) 4,98 cm
- b) 5,00 cm
- c) 5,02 cm
- d) 5,08 cm
- e) 5,12 cm

**P16.** Uma lâmina bimetálica cobre-zinco é constituída por duas barras prismáticas de mesma dimensão a 0 °C soldadas entre si e engastada numa parede, como na figura.

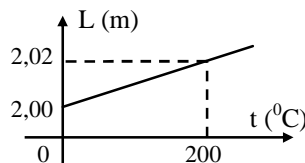


Dados os coeficientes de dilatação do cobre  $\alpha_1 = 17 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e do zinco é  $\alpha_2 = 30 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , pode-se afirmar que a temperatura t:

- a) a lâmina se curva para baixo se  $t > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  e para cima se  $t < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- b) a lâmina se curva para baixo se  $t < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  e para cima se  $t > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- c) a lâmina sempre se curva para cima, qualquer que seja  $t \neq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- d) a lâmina sempre se curva para baixo, qualquer que seja  $t \neq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

**P17.** A figura abaixo representa a variação do comprimento de uma determinada barra homogênea. O valor do coeficiente de dilatação linear do material de que é constituída a barra é:

- a)  $5 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- b)  $5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- c)  $1 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- d)  $1 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- e) n.r.a



**P18.** (FEI-SP) As barras A e B da figura têm, respectivamente, comprimentos 1.000 mm e 1.001 mm, a 20° C. Seus coeficientes de dilatação linear são:  $\alpha_A = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e  $\alpha_B = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . A temperatura em que a barra C ficará na posição horizontal é:

- a) 50° C
- b) 80° C
- c) 60° C
- d) 70° C
- e) 90° C

**P19.** Uma chapa oco tem área de 36 m<sup>2</sup> a 30 °C. calcule sua área a 50 °C, sabendo que seu coeficiente de dilatação superficial do aço é  $22 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

**P20.** Considere uma chapa de ferro, circular, com orifício circular concêntrico. À temperatura inicial de 30 °C, o orifício tem um diâmetro de 1,0 cm. A chapa é então aquecida até 330°C. Qual a variação do diâmetro do orifício, se o coeficiente de dilatação linear do ferro é  $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ?

**P21.** Uma placa apresenta inicialmente área de 1m<sup>2</sup> a 0 °C. Ao ser aquecida até 50 °C, sua área aumenta de 0,8 cm<sup>2</sup>. Determine o coeficiente de dilatação superficial e linear médios do material que constitui a placa.

**P22.** Um disco de abonite tem orifício central de diâmetro 1 cm. Determine o aumento da área do orifício quando a temperatura do disco varia de 0 °C para 100 °C. O coeficiente de dilatação superficial médio do abonite é, no intervalo considerado, igual a  $160 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

**P23.** Aquecendo-se uma chapa metálica com um furo no meio:

- a) a chapa aumenta e o furo diminui.
- b) a chapa e o furo diminuem.
- c) a chapa diminui e o furo aumenta
- d) a chapa e o furo aumentam.

**P24.** (UFU-MG) Um orifício numa panela de ferro, a 0 °C, tem 5 cm<sup>2</sup> de área. Se o coeficiente de dilatação linear do ferro é  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , a área desse orifício a 300 °C será, em cm<sup>2</sup>:

- a) 5,018
- b) 10,036
- c) 10,072
- d) 5,036
- e) 4,964

**P25.** Ao ser aquecida de 10 °C para 210 °C, o volume de um corpo sólido aumenta 0,02 cm<sup>3</sup>. Se o volume o volume do corpo a 10 °C era 100 cm<sup>3</sup>, determine os coeficientes de dilatação térmica volumétrica, linear e superficial do material que constitui o corpo.

**P26.** Em um frasco de volumetria traz gravado em sua base: 100 cm<sup>3</sup> a 15 °C. Se esse frasco for utilizado à temperatura de 45 °C, que volume de líquido ele poderá conter? O coeficiente de dilatação cúbica do vidro de que é feito frasco vale  $27 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

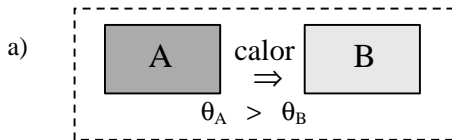
**P27.** Uma companhia compra  $1,0 \cdot 10^4$  litros de petróleo à temperatura de 28 °C. Se o petróleo for vendido à temperatura de 8 °C, qual a perda da companhia em litros? O coeficiente de dilatação térmica cúbica do petróleo é  $9,0 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

**CALORIMETRIA**

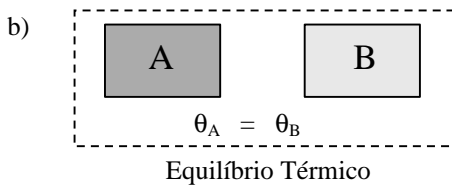
Já sabemos que calor é uma forma de energia em transferência de um corpo para outro, enquanto entre esses corpos houver diferença de temperatura.

Quando dois corpos estão em temperaturas diferentes e são colocados em contato, o corpo de maior temperatura transfere calor para o de menor. Essa transferência de calor ocorre até o instante em que os corpos atingem a mesma temperatura (*temperatura de equilíbrio*).

Considere dois corpos A e B em diferentes temperaturas  $\theta_A$  e  $\theta_B$ , tais que  $\theta_A > \theta_B$ . Colocando-os em presença, verifica-se que a energia térmica (o calor) é transferida de A para B.



O corpo A cede calor ao corpo B, até as temperaturas se igualarem.

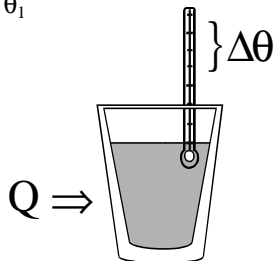


**Calor sensível e calor latente**

A quantidade de calor, que um corpo cede ou recebe, pode apenas variar sua temperatura ou, então, mudar sua fase. No primeiro caso, a quantidade de calor é denominada **sensível** e no segundo, **latente**.

**Calor e variação de temperatura (calor sensível)**

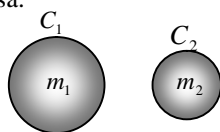
Quando um corpo recebe ou cede calor, sua temperatura aumenta ou diminui (se não houver mudança de estado). Sendo  $\theta_1$  a temperatura inicial e  $\theta_2$  a final, a variação de temperatura é  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$



Fornecendo calor a um copo, observa-se uma variação de temperatura  $\Delta\theta$ . A quantidade de calor  $Q$  é proporcional à variação de temperatura.

$$Q = C \times \Delta\theta$$

A constante  $C$  denomina-se **capacidade térmica** do corpo. Medindo as capacidades térmicas de corpos diferentes, feitos do mesmo material, verifica-se que a capacidade térmica ( $C$ ) é proporcional à massa.



$$C = m \times c$$

A constante  $c$  denomina-se **calor específico** do material. Temos então:

$$\left. \begin{matrix} Q = C \cdot \Delta\theta \\ C = m \cdot c \end{matrix} \right\} \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

- No SI, a capacidade térmica ( $C$ ) é medida em  $J/Kg$  e o calor específico ( $c$ ) em  $J/Kg^\circ C$ .

- Medindo a massa em g e o calor em calorias, a capacidade térmica será medida em  $cal/g$  e o calor específico em  $cal/g^\circ C$ .

A tabela abaixo fornece o calor específico de alguns materiais, na unidade  $cal/g^\circ C$ . Note que, quando se utiliza essa unidade, o calor específico da água líquida é unitário.

Material	Calor específico ( $cal/g^\circ C$ )
água (líquida)	1,0
álcool etílico	0,55
alumínio	0,22
chumbo	0,031
cobre	0,093
ferro	0,11
gelo	0,55
latão	0,094
mercúrio	0,033
prata	0,056
vidro	0,20

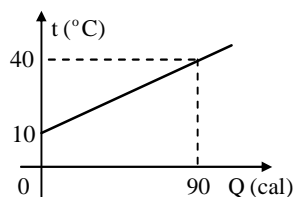
**TESTES DE SALA:**

**T12.** Fornecem-se 250 cal de calor a um corpo e sua temperatura se eleva de  $10^\circ C$  para  $60^\circ C$ . Determine a capacidade térmica do corpo,

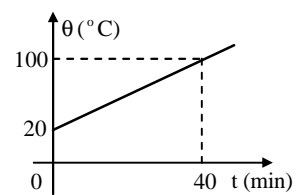
**T13.** Sabendo que o calor específico do ferro é de aproximadamente  $0,1 cal/g^\circ C$ , calcule a quantidade de calor necessária para se elevar de  $25^\circ C$  a temperatura de um pedaço de 80 g desse material.

**T14.** O gráfico representa o aquecimento de 100 g de uma substância.

- Qual o calor específico da substância?
- Qual a capacidade térmica da substância?



**T15.** Um corpo de massa 200 g é aquecido por uma fonte que fornece 50 calorias por minuto. O gráfico mostra a variação da temperatura de um corpo em função do tempo. Determine o calor específico do material que constitui o corpo.



**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

**P28.** Uma peça de chumbo, de massa 200 g, encontra-se na temperatura ambiente ( $25^\circ$ ). Calcule a quantidade de calor que se deve fornecer a essa peça para que o chumbo atinja sua temperatura de fusão ( $327^\circ C$ ).

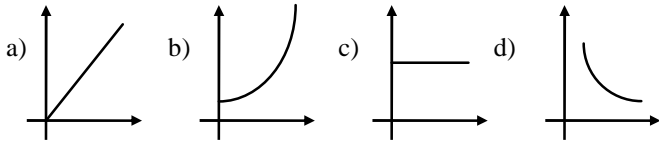
**P29.** Um bloco de níquel, de 100 g de massa, absorve uma quantidade de calor igual a 300 cal. Com um termômetro, verifica-se que sua temperatura aumentou de  $25^\circ C$  para  $55^\circ C$ . Determine:

- a capacidade térmica do corpo;
- o calor específico do níquel.

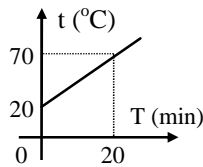
**P30.** Ao receber 3000 cal, eleva-se de 15°C a temperatura de um corpo homogêneo de massa igual a 1 kg. No intervalo de tempo considerado, qual o calor específico da substância que constitui o corpo?

- a)  $t_1 = t_2 = t_3$
- b)  $t_2$  é o dobro de  $t_1$
- c)  $t_1$  é menor que  $t_2$
- d)  $t_3$  é menor que  $t_2$
- e)  $t_1$  é a quarta parte de  $t_3$

**P31.** Que gráfico melhor representa a capacidade térmica de um corpo homogêneo em função de sua massa?



**P32.** Um corpo absorve calor de uma fonte na razão de 1000 cal/min. O gráfico ao lado dá a temperatura  $t$  do corpo em função do tempo  $T$ . A massa do corpo é 500 g.



- a) Qual a capacidade térmica do corpo?
- b) Calcule o calor específico do material.

**P33.** Calor é:

- a) uma forma de energia que se atribui aos corpos quentes
- b) uma forma de energia que não existe nos corpos frios
- c) o mesmo que temperatura de um corpo
- d) energia em trânsito de um corpo para outro, quando entre eles há diferença de temperatura
- e) nenhuma das anteriores

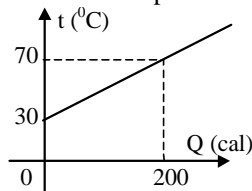
**P34.** Um corpo de massa 200 g é constituído por uma substância de calor específico 0,4 cal/g·°C. Determine:

- A) a quantidade de calor que a substância deve receber para que sua temperatura varie de 5 °C para 35 °C;
- B) que quantidade de calor deve ceder para que sua temperatura diminua de 15 °C.

**P35.** O calor específico do ferro é de, aproximadamente, 0,1 cal/g °C. Isso significa que para se elevar de 12 °C a temperatura de um pedaço de 5 g de ferro é necessário um quantidade de calor, em calorias, de:

- a) 0,5
- b) 1,2
- c) 6
- d) 60
- e) 120

**P36.** O gráfico representa a variação de temperatura que 50 gramas de uma substância sofre em função do calor recebido (absorvido). Determine o calor específico da substância.



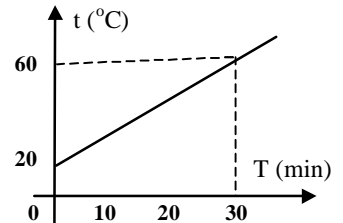
**P37.** Considere dois corpos de substâncias diferentes, de mesma massa e que recebem a mesma quantidade de calor. A variação de temperatura é:

- a) maior no corpo de menor calor específico
- b) maior no corpo de maior calor específico
- c) maior no corpo que tiver inicialmente temperatura menor

**P38.** Coloca-se água em três recipientes iguais de mesmo material e mesmo volume. No primeiro a água ocupa uma altura  $h$ , no segundo,  $h/2$ , e no terceiro  $h/4$ . Sendo a temperatura inicial a mesma para as três, aquecendo-se os recipientes com a mesma quantidade de calor  $Q$ . Medindo-se a temperatura da água em cada recipiente, obtém-se os valores  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ , tais que:

**P39.** A temperatura de 100 gramas de um líquido cujo calor específico é 0,5 cal/g°C sobe de -10°C até 30 °C. Em quantos minutos será realizado esse aquecimento com uma fonte que fornece 50 calorias por minuto?

**P40.** Um corpo de massa 200 g é aquecido por uma fonte de potência constante e igual a 200 calorias por minuto. O Gráfico mostra como varia, no tempo, a temperatura do corpo. Determine o calor específico da substância que constitui o corpo.



**P41.** Um corpo de massa 50 gramas recebe 300 calorias e sua temperatura sobe de -10 °C até 20 °C. Determine o calor específico da substância que o constitui.

**P42.** Um quilograma de glicerina de calor específico 0,6 cal/g°C, inicialmente a -30 °C, recebe 12000 calorias de uma fonte. Determine a temperatura final da glicerina.

**P43.** Adotando 1 cal = 4,2 J, transforme:

- a) 20 J em calorias
- b) 40 cal em joules

**P44.**

- a) Quantas calorias são necessárias para se aquecer 200 litros de água, de 15 °C a 70 °C?
- b) Qual a potência média para realizar essa operação em 3 horas?

**P45.** Durante quantos minutos poder-se-ia operar um motor de 8,4 KW, movido pelo calor liberado por 300 kg de água quando a temperatura da água diminui 1°C? O calor específico da água vale 4,2 kJ/kg·°C.

**P46.** A capacidade térmica de uma caneca de alumínio é de 16 cal/°C. Sabendo-se que o calor específico do alumínio é de 0,2 cal/g°C, pode-se afirmar que a massa dessa caneca, em gramas, é:

- a) 3,2
- b) 32
- c) 160
- d) 80
- e) 800

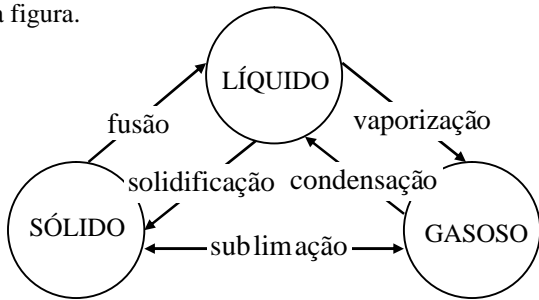
**P47.** Para aquecer 500 g de uma certa substância, de 20 °C a 70 °C foram necessárias 4 000 calorias. Determine o calor específico e a capacidade térmica dessa substância.

**P48.** Uma bola de 8,4 kg que é abandonada do repouso a uma altura de 5,0 m, após chocar-se com o solo (altura zero), retorna a uma altura de 4,0 m. Adote  $g = 10\text{m/s}^2$ . Se a perda da energia mecânica da bola pudesse ser usada exclusivamente no aquecimento de 10 g de água ( $c = 1,0\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$  e  $1\text{ cal} = 4,2\text{ J}$ ), a elevação da temperatura desta água seria:

- a) 2,0°C
- b) 8,4°C
- c) 84°C
- d) 20°C
- e) 2000°C

**Mudança de estado**

Uma substância pode apresentar-se sob três fases distintas: sólida, líquida e gasosa (ou vapor). A mudança de fase (ou mudança de estado) apresenta nomes de acordo com o esquema da figura.



A vaporização (passagem do estado líquido para o gasoso) pode ocorrer através de três processos: a evaporação, a ebulição e calefação. A **evaporação** é uma vaporização lenta. É pela evaporação que a roupa seca no varal. A **ebulição** é turbulenta e só ocorre a uma temperatura determinada para cada substância. Já a **calefação** ocorre a uma temperatura superior à sua temperatura de ebulição (ex.: quando se joga água sobre uma chapa metálica aquecida a uma temperatura superior a 100°C).

Para substâncias puras observa-se a seguinte propriedade: *Mantendo-se constante a pressão, a fusão e a ebulição de uma substância pura ocorrem sempre nas mesmas temperaturas, denominadas ponto de fusão e ponto de ebulição. Além disso, durante a fusão ou ebulição, a temperatura permanece constante.*

**Calor e mudança de fase (calor latente)**

Verifica-se, experimentalmente, que a **quantidade de calor latente (Q)** recebida ou cedida por um corpo para mudar de fase é diretamente proporcional à sua massa (m) ou seja:

$$Q = L \times m \text{ ou } \Rightarrow Q = m \times L$$

A constante de proporcionalidade (L) é o calor latente de mudança de fase da substância que constitui o corpo.

- No SI, o calor latente de fusão (ou de vaporização) é medido em J/kg.
- Medindo a massa em grama e o calor em calorias, o calor latente de fusão (ou de vaporização) será medido em cal/g.

A tabela a seguir fornece os pontos de fusão (t<sub>f</sub>) e de ebulição (t<sub>e</sub>) e os calores latentes de fusão (L<sub>f</sub>) e de vaporização (L<sub>v</sub>) para algumas substâncias.

Substância	t <sub>f</sub> (°C)	L <sub>f</sub> (cal/g)	t <sub>e</sub> (°C)	L <sub>v</sub> (cal/g)
água	0	80	100	540
álcool etílico	-114	24,9	79	204
chumbo	327	5,86	1744	222
mercúrio	-39	2,82	357	65
nitrogênio	-210	6,09	-196	48
oxigênio	-219	3,30	-183	51
platina	1775	27,2	-	-
prata	961	21,1	2212	552

**Observação:** A solidificação e a liquefação (condensação rápida) ocorrem nas mesmas temperaturas que a fusão e a ebulição. Se um corpo **absorve** calor Q para fundir-se, ele **cede** o mesmo calor Q para solidificar-se. Da mesma forma, o calor absorvido na vaporização é igual ao cedido na condensação.

**TESTES DE SALA:**

**T16.** Deseja-se fundir totalmente um bloco de gelo de massa 500 g a 0 °C. Qual a quantidade de calor que deve ser fornecida ao gelo?

Dado : calor latente de fusão do gelo: L<sub>F</sub> = 80 cal/g

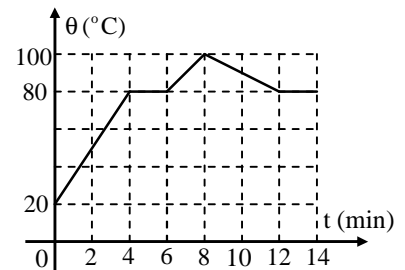
**T17.** Que quantidade de calor deve ser fornecida a 100 g de gelo, inicialmente a - 8 °C, para transformá-lo em água a 50 °C?

Dados: { calor específico do gelo: 0,5 cal/g·°C  
calor específico da água: 1,0 cal/g·°C  
calor latente de fusão do gelo: L<sub>F</sub> = 80 cal/g

**T18.** Aquece-se 1 kg de gelo a 0 °C, transformando-o em vapor a 100 °C. Determine a quantidade de calor envolvida durante todo o processo.

Dados: { calor específico do gelo: 0,5 cal/g·°C  
calor específico da água: 1,0 cal/g·°C  
calor latente de fusão do gelo: L<sub>F</sub> = 80 cal/g  
calor latente de vaporização da água: L<sub>V</sub> = 540cal/g

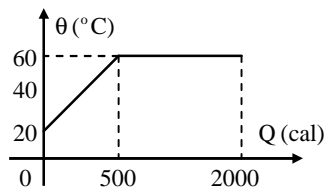
**T19.** O gráfico representa a variação com o tempo da temperatura de uma amostra 400 g de uma substância inicialmente sólida. Até o instante 8 min, a amostra está em presença de uma fonte que fornece calor a uma taxa constante, a fonte é desligada. Determine:



- a) a temperatura de fusão da substância;
- b) o calor latente de fusão da substância;
- c) a temperatura de solidificação da substância;
- d) o calor latente de solidificação da substância;

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

**P49.** 100 g de uma substância, inicialmente líquida, foram aquecidos até atingir a temperatura de ebulição, vaporizando-se então 5 g da substância. O gráfico ao lado relaciona a temperatura da substância com a quantidade de calor recebida.



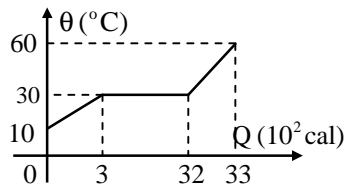
- a) Qual a temperatura de ebulição da substância?
- b) Calcule o calor específico da substância no estado líquido e o calor latente de vaporização.

**P50.** Tem-se 200 gramas de gelo inicialmente a -10 °C. Determine a quantidade de calor que o mesmo deve receber para se transformar em 200 gramas de água líquida a 20 °C.

Dados: calor específico do gelo = 0,5 cal/g °C  
calor específico da água = 1,0 cal/g °C  
calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

**P51.** Sendo L<sub>S</sub> = -80 cal/g o calor latente de solidificação da água, calcule quantas calorias devem perder 600 gramas de água líquida, a 20 °C, até sua total solidificação. O calor específico da água é 1,0 cal/g·°C

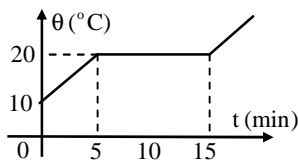
**P52.** Um corpo, inicialmente líquido, de 50 gramas sofre o processo calorímetro representado graficamente ao lado. Determine:



- o calor latente de mudança de fase (vaporização) ocorrida
- a capacidade térmica do corpo antes e depois do mudança de fase
- o calor específico da substância nos estados líquidos e de vapor

**P53.** Tem-se um pedaço de gelo de 10 g de massa à  $-5\text{ }^\circ\text{C}$ . Qual o calor absorvido por esse corpo até converter-se em água líquida a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ? A pressão atmosférica é normal.

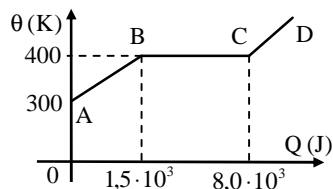
**P54.** Considere 200 g de álcool etílico à temperatura de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Determine a quantidade de calor necessária para levar o álcool à temperatura de ebulição e, em seguida, vaporizá-lo totalmente. A pressão atmosférica é normal.



**P55.** (UNIP-SP) Um bloco sólido, feito de material homogêneo está a uma temperatura inicial  $\theta_0 = 10\text{ }^\circ\text{C}$ . O bloco passa a receber calor de uma fonte térmica com potência constante. O gráfico abaixo representa a temperatura do sólido em função do tempo. O calor específico sensível do sólido é  $0,80\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ . O calor latente de fusão, em cal/g, vale:

- 8,0
- 20
- 16
- 15
- 10

**P56.** (MAUÁ-SP) O diagrama indica a temperatura atingida por um corpo em função da quantidade de calor Q a ele fornecida. No trecho AB do diagrama o corpo está na fase sólida; no CD, líquida, no BC, há equilíbrio térmico entre essas duas fases. A massa do corpo é  $m = 0,500\text{ kg}$ . Calcule o calor específico da substância na fase sólida e o seu calor latente de fusão.



**Sistema termicamente isolado (calorímetro)**

Um sistema é **termicamente isolado** quando não há trocas de calor entre corpos do sistema e corpos externos a ele. O estudo quantitativo da transferência de calor entre dois ou mais corpos é realizado no interior de um sistema termicamente isolado denominado **calorímetro**, pois o ambiente não deve interferir nesse processo. Um **calorímetro ideal** é aquele essencialmente constituído por um recipiente (fechado), cujas **paredes** são **adiabáticas**, isto é, o calor não se propaga através dela. O calorímetro serve para determinar o calor específico de uma substância. Uma garrafa térmica ou um recipiente fechado de isopor comportam-se como calorímetros ideais.

**Trocas de calor**

Dois ou mais corpos, com **temperaturas diferentes**, quando colocados num calorímetro, **trocam calor** entre si até atingirem o **equilíbrio térmico**.

**Lei geral das trocas de calor:**

A soma algébrica das quantidades de calor trocadas entre os corpos é nula, ou seja:

$$\Rightarrow \sum Q = 0 \quad \text{ou} \quad Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$$

**Atenção:** As parcelas da soma  $Q_1, Q_2, Q_3$  e etc. são compostas por quantidades de calor sensível ( $Q_S = m \cdot c \cdot \Delta t$ ) e quantidades de calor latente ( $Q_L = m \cdot L$ ).

**TESTES DE SALA:**

**T20.** Um vaso de latão contém 500 g de água a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . Imergese nessa água um bloco de ferro com 200 g de massa e temperatura igual a  $70\text{ }^\circ\text{C}$ . Desprezando o calor absorvido pelo vaso, calcule a temperatura de equilíbrio térmico.

Dados:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{calor específico do ferro: } 0,114\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C} \\ \text{calor específico da água: } 1,0\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C} \end{array} \right.$

**T21.** Um calorímetro contém 100 g de água a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . De repente, jogam-se na água 200 g de alumínio a  $80\text{ }^\circ\text{C}$ . A temperatura de equilíbrio é de  $30\text{ }^\circ\text{C}$ . Calcule a capacidade térmica do calorímetro. Dados:  $c_{\text{água}} = 1\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ .

$$c_{Al} = 0,21\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$$

**T22.** Num calorímetro de capacidade térmica  $2,0\text{ cal/}^\circ\text{C}$  a  $5,0\text{ }^\circ\text{C}$  são colocados 100 g de água a  $30\text{ }^\circ\text{C}$ . Qual será a temperatura de equilíbrio térmico? Dados:  $c_{\text{água}} = 1\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ .

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

**P57.** (FUVEST-SP) Dois corpos A e B, inicialmente às temperaturas  $t_A = 90\text{ }^\circ\text{C}$  e  $t_B = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , são postos em contato e isolados termicamente do meio ambiente. Eles atingem o equilíbrio térmico à temperatura de  $45\text{ }^\circ\text{C}$ . Nessas condições, podemos afirmar que o corpo A:

- cedeu uma quantidade de calor de calor maior que a absorvida pelo corpo B.
- tem uma capacidade térmica menor que a de B.
- tem calor específico menor que o de B.
- tem massa menor que a de B.
- cedeu a metade da quantidade de calor que possuía para B.

**P58.** (PUC/CAMPINAS-SP) Num recipiente contendo 270 g de água, a  $10\text{ }^\circ\text{C}$ , coloca-se um pedaço de chumbo de 500 g, a  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . Admitindo-se que só haja troca de calor entre a água e o chumbo, a temperatura de equilíbrio térmico, em  $^\circ\text{C}$ , será de (dados calor específico da água =  $1\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ ; calor específico do chumbo =  $0,03\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ ; temperatura de fusão do chumbo =  $327\text{ }^\circ\text{C}$ ;

- 15
- 20
- 27
- 50
- 73

**P59.** (U.F. PELOTAS-RS) Um certo calorímetro contém 80 g de água à temperatura de  $15\text{ }^\circ\text{C}$ . Adicionando à água do calorímetro 40 g de água a  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , observa-se que a temperatura do sistema, ao ser atingido o equilíbrio térmico, é de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Pode-se afirmar que a capacidade térmica do calorímetro, em  $\text{cal/}^\circ\text{C}$ , é igual a:

- 20
- 10
- 25
- 15
- 5

**P60.** Coloca-se 200 g de ferro a  $120\text{ }^\circ\text{C}$  em um recipiente contendo 500 g de água a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . Sendo o calor específico do ferro igual a  $0,114\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ , e considerando desprezível o calor absorvido pelo recipiente, determine a temperatura do equilíbrio térmico.

**P61.** No interior de um calorímetro de capacidade térmica 60 cal/°C há 200 g de água (calor específico = 1 cal/g °C). Fornecendo 3000 cal ao sistema, observa-se que sua temperatura sofre uma variação de 10 °C. A quantidade de calor perdida por esse sistema nesse processo, em cal, é:

- a) 400    b) 600    c) 1600    d) 1000    e) 2000

**P62.** Um corpo de massa igual a 500 g, e calor específico igual a 0,5 cal/g °C e temperatura inicial igual a 80 °C é colocado dentro de um calorímetro. Após 10 minutos a temperatura do corpo fica constante e igual a 60 °C. Durante os 10 minutos, a quantidade de calor cedida pelo corpo em, em kcal, é igual a:

- a) 1,0    b) 2,0    c) 4,0    d) 3,0    e) 5,0

**P63.** Um calorímetro de cobre de 80 g contém 62 g de um líquido a 20 °C. No calorímetro é colocado um bloco de alumínio de massa 180 g a 40 °C. Sabendo que a temperatura de equilíbrio térmico é 28 °C, determine o calor específico do líquido. ( $c_{Cu} = 0,092$  cal/g·°C,  $c_{Al} = 0,217$  cal/g·°C)

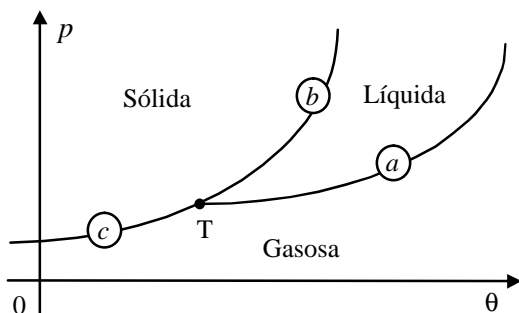
**P64.** Um rapaz deseja tomar banho de banheira com água a temperatura de 30 °C, misturando água fria e quente. Inicialmente ele coloca na banheira 100 l de água fria a 20 °C. Desprezando-se a capacidade térmica da banheira e a perda de calor da água, calcule quantos litros de água quente a 50 °C ele deve colocar na banheira.

**P65.** Um calorímetro de capacidade térmica 9 cal/°C contém 80 g de água a 20 °C. Um corpo de massa 50 g a uma temperatura  $x$  é colocado no interior do calorímetro. A temperatura de equilíbrio térmico é 30 °C e o calor específico do corpo vale 0,25 cal/g·°C. Calcule  $x$ .

**P66.** Dois calorímetros A e B idênticos contêm a mesma quantidade de água a 20 °C. No calorímetro A são colocados 100g de alumínio e no B 300g de uma liga à mesma temperatura do alumínio. Para que a temperatura de equilíbrio dos dois calorímetros seja a mesma, qual deve ser o calor específico da liga? Dado o calor específico do alumínio = 0,21 cal/g·°C.

**DIAGRAMA DE FASES**

A fase em que uma substância se encontra depende de suas condições de pressão e temperatura, podendo estar também num estado que corresponde ao equilíbrio entre duas fases ou mesmo entre as três fases. Representando-se os diferentes estados da substância no gráfico  $p \times q$ , obtemos o diagrama de fases da substância.



São sempre três curvas que se unem num mesmo ponto **T**, chamado **ponto triplo**, que dividem o gráfico em três regiões: região da substância no estado sólido, região da substância no estado líquido e região da substância no estado de vapor. As curvas  $a$ ,  $b$  e  $c$  limitam essas regiões e indicam situações de temperatura e pressão em que existem em equilíbrio, no mesmo ambiente, duas fases da mesma substância:

- $a \rightarrow$  chama-se **curva de vaporização**.  
(equilíbrio líquido-vapor)
- $b \rightarrow$  chama-se **curva de fusão**.  
(equilíbrio sólido-líquido)
- $c \rightarrow$  chama-se **curva de sublimação**.  
(equilíbrio sólido-vapor)

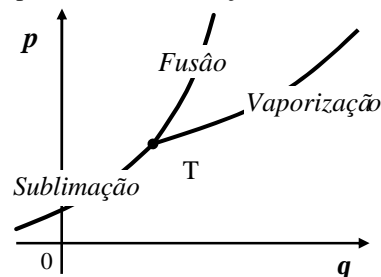
O ponto triplo **T** indica uma situação de temperatura e pressão em que existem em equilíbrio, no mesmo ambiente, as três fases da mesma substância. Por exemplo: sob pressão de 4,58 mmHg e temperatura de 0,01°C coexistem no mesmo recipiente: água líquida, gelo e vapor de água.

**Temperatura de mudança de estado**

- Sob pressão constante, a temperatura de mudança de estado se mantém constante.
- Se a pressão varia, a temperatura de mudança de estado também varia.

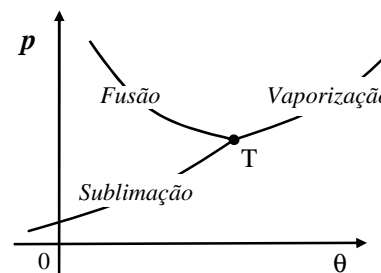
**Há dois casos possíveis.**

- I.** Para as substâncias puras em geral. Se a pressão aumenta.
- a temperatura de fusão aumenta;
  - a temperatura de vaporização aumenta;
  - a temperatura de sublimação aumenta.



Obs.: Essas substâncias aumentam de volume ao se fundirem.

- II.** Para algumas substâncias puras (água, prata, ferro, antimônio bismuto). Se a pressão aumenta:
- a temperatura de fusão diminui;
  - a temperatura de vaporização aumenta;
  - a temperatura de sublimação aumenta.

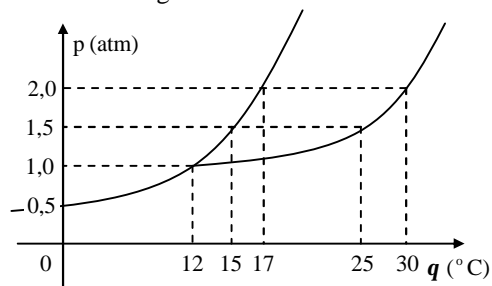


Obs.: Essas substâncias diminuem de volume ao se fundirem.

**TESTES DE SALA:**

**T23.** Quando cristais de iodo são aquecidos sob pressão normal, a 183,5 °C, verifica-se que os cristais começam a se converter em vapores de iodo. Dê o nome dessa mudança de estado.

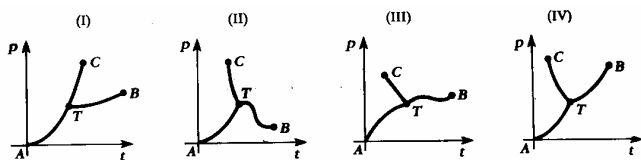
T24. Considere o diagrama de estado de uma substância.



- Indique pelo menos um par de valores de pressão e temperatura que corresponde à coexistência dos estados: sólido-líquido, líquido-gasoso e sólido-gasoso.
- Em que condição de pressão e temperatura a substância pode se apresentar em equilíbrio nos três estados de agregação?
- Sob a pressão de 1,5 atm, qual a temperatura de fusão e a temperatura de vaporização?
- Na temperatura de 30 °C, sob que pressão o líquido se vaporiza?

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

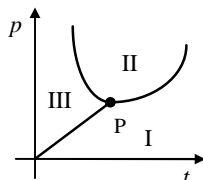
P67. (ACEF-SC) Os gráficos a seguir representam o ponto triplo de um líquido. Relativamente a eles, a alternativa correta é:



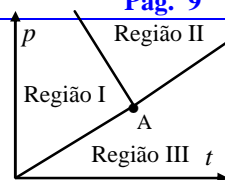
- I e II representam o ponto triplo de um mesmo líquido, nas mesmas condições de temperatura e pressão.
- III e IV representam, respectivamente, o ponto triplo para substâncias que se contraem ao se fundir e para substâncias que se expandem ao se fundir.
- I e IV representam, respectivamente, o ponto triplo para substâncias que se dilatam ao se fundir e para substâncias que se contraem ao se fundir.
- IV e I representam, respectivamente, o ponto triplo para substâncias que se dilatam ao se fundir e para substâncias que se contraem ao se fundir.
- I e II representam, respectivamente, o gráfico de um corpo que não se funde.

P68. (PUC/CAMPINAS-SP) O gráfico pressão x temperatura representa o diagrama de fase da água. O ponto P é o ponto triplo que corresponde a valores únicos de pressão e temperatura em que a água coexiste nos três estados de agregação. A alternativa da tabela que indica corretamente os estados de agregação correspondentes às regiões I, II e III é:

	I	II	III
a)	sólido	líquido	vapor
b)	líquido	vapor	sólido
c)	vapor	sólido	líquido
d)	sólido	líquido	vapor
e)	vapor	líquido	sólido

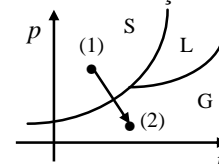


P69. (U.F. UBERLÂNDIA-MG) O gráfico indica o diagrama de pressão em função da temperatura, para uma substância. Baseado na análise do gráfico, assinale a alternativa correta.



- O ponto A representa o ponto crítico.
- A região I representa a fase líquida.
- A região III representa a fase sólida.
- Aumentando a pressão, o ponto de fusão diminui.
- Aumentando a pressão, a temperatura de ebulição diminui.

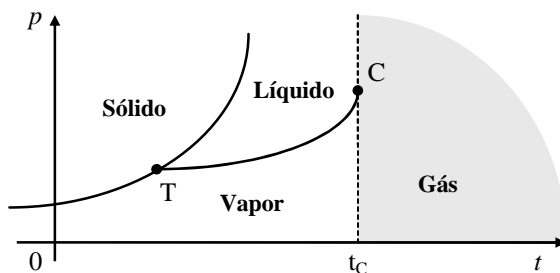
P70. (UCSAL-BA) Uma substância passa do estado físico 1 para o estado 2, de acordo com o diagrama de fase esquematizado na figura abaixo. Essa transformação recebe o nome de:



- fusão
- solidificação
- vaporização
- condensação
- sublimação.

**Temperatura crítica**

No diagrama de fase de qualquer substância pura, a curva de vaporização prolonga-se até um ponto C, chamado ponto crítico, ao qual corresponde uma temperatura  $t_c$ , chamada temperatura crítica da substância.



Acima da temperatura crítica a substância pura é um gás.

A substância no estado gasoso na verdade recebe duas classificações: ela pode ser um vapor ou um gás. É vapor se sua temperatura ( $t_{\text{vapor}}$ ) for menor ou igual à temperatura crítica. É gás se sua temperatura ( $t_{\text{gás}}$ ) for maior que a temperatura crítica. A figura ilustra a diferença de comportamento entre o vapor e o gás: sob temperatura constante, o vapor pode ser condensado (tornar-se líquido) se sofrer um conveniente aumento de pressão. Já o gás, sob temperatura constante, por maior que seja o aumento da pressão sobre ele, continuará sempre gás: não se condensa.

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

**P71.** (OSEC-SP) Temperatura crítica é aquela:

- a) na qual um sólido sofre sublimação.
- b) abaixo da qual um líquido não pode evaporar.
- c) na qual a pressão saturada do vapor é igual à pressão atmosférica.
- d) acima da qual um gás não pode ser liquefeito.

**P72.** (U.F. MA) Thomas Andrews constatou que, para cada substância no estado gasoso, existe uma temperatura acima da qual é impossível a liquefação por compressão isotérmica. Que temperatura é essa?

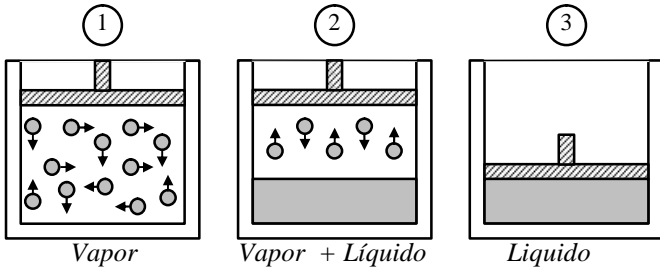
- a) temperatura do ponto triplo.
- b) Zero absoluto.
- c) 273 K
- d) Temperatura crítica.
- e) Temperatura de mudança de fase.

**P73.** (F.M SANTA CASA-SP) Temperatura crítica de uma substância é:

- a) única temperatura em que uma substância pode sofrer condensação qualquer que seja a pressão.
- b) única temperatura em que uma substância não pode sofrer condensação mediante simples aumento de pressão.
- c) única temperatura em que uma substância pode sofrer condensação mediante simples aumento de pressão.
- d) maior temperatura na qual a substância não pode sofrer condensação mediante simples aumento de pressão.
- e) temperatura acima da qual a substância não pode sofrer condensação mediante simples aumento de pressão.

**Pressão máxima de vapor**

Um recipiente de volume variável contém vapor de uma substância pura. A temperatura do recipiente é mantida constante.



A partir do estado inicial do vapor (situação 1), ao se diminuir o volume do vapor, sua pressão aumenta, até que as primeiras camadas do líquido se formem (situação 2), Continuando a diminuição do volume, a pressão permanece constante: cada vez mais líquido se forma (condensação) e cada vez menos vapor existe no recipiente. Somente após a condensação de todo (situação 3) vapor é que a diminuição (pequena) do volume do líquido acarreta aumento (grande) da pressão do mesmo.

Na situação 1 o vapor chama-se *vapor seco* (vapor sem a presença do seu líquido). Na situação 2 o vapor chama-se *vapor saturado* (vapor na presença de seu líquido). A pressão do vapor saturado na temperatura da experiência chama-se **pressão máxima do vapor** naquela temperatura.

Em temperatura constante:

- No **vapor seco**, a pressão aumenta se o volume diminui.
- No **vapor saturado**, a pressão não varia com o volume. É a pressão máxima do vapor naquela temperatura.

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

**P74.** (CESGRANRIO) A sensação de frio que experimentamos quando, num dia ensolarado saímos da água do mar se deve fundamentalmente :

- a) á evaporação da água residual que fica sobre a nossa pele após nos banharmos.
- b) ao fato de a temperatura da água do mar ser algo menor que a temperatura ambiente.
- c) ao elevado calor específico da água.
- d) à perda do isolamento térmico antes proporcionado pela água quando nela ainda estávamos imersos.
- e) à filtragem do calor dos raios solares pela água que ainda molha a nossa pele após sairmos da água.

**P75.** (PUC-RS) Quando se passa álcool na pele, sente-se que ela esfria naquele local. Isso se deve ao fato de o álcool:

- a) ser normalmente mais frio que a pele.
- b) ser normalmente mais frio que o ar.
- c) absorver calor da pele para evaporar-se.
- d) ser um isolante térmico.
- e) ter baixa densidade.

**P76.** (U.F. PB) Com relação ao nível do mar, a grandes altitudes a água se evapora a:

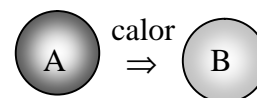
- a) temperaturas mais altas, porque a pressão atmosférica é maior.
- b) temperaturas mais baixas, porque seu calor específico é menor.
- c) temperaturas mais baixas, porque a pressão atmosférica é menor.
- d) temperaturas mais baixas, porque seu calor específico é maior.
- e) temperaturas mais baixas, porque a pressão atmosférica é maior.

**P77.** (PUC-SP) Um recipiente contém água inicialmente à temperatura e pressão ambientes. Para que a água entre em ebulição deve-se, necessariamente:

- a) aumentar a pressão e diminuir a temperatura.
- b) baixar a pressão e a temperatura.
- c) baixar a temperatura e manter a pressão.
- d) aumentar a pressão e a temperatura.
- e) baixar a pressão, se for mantida a temperatura.

**TRANSMISSÃO DE CALOR**

Do próprio conceito de calor, para que haja transferência de calor entre dois corpos, deve haver uma *diferença de temperatura* entre eles, e o calor se propaga sempre do corpo de maior temperatura para corpo de menor temperatura.



Na figura acima, o calor se propaga do corpo A para o corpo B, porque a temperatura de A é maior que a de B.

A transmissão de calor entre dois pontos pode ocorrer por três processos diferentes: **condução**, **convecção** e **irradiação**.

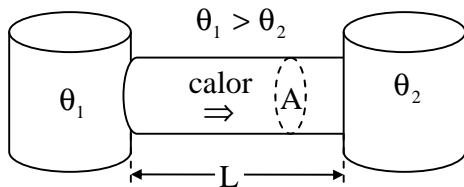
**Condução térmica**

A condução térmica consiste numa transferência de energia de vibração entre as moléculas que constituem o sistema.

As substâncias em que o processo de condução é rápido, como os metais, são denominados *bons condutores*, ou simplesmente *condutores*. Os materiais em que o processo de condução é muito lento são denominados *maus condutores* ou *isolantes*. São exemplos de isolantes térmicos: *madeira, borracha, isopor, vidro, amianto, lã*.

Considere uma barra de metálica de comprimento **L**, secção transversal de área **A**, isolada lateralmente, cujas extremidades estejam em contato com dois sistemas cujas temperaturas  $\theta_1$  e  $\theta_2$  permaneçam constante. O fluxo de calor  $\phi$  ao longo da barra, isto é, a quantidade de calor, **Q**, que atravessa a barra num certo intervalo de tempo **Dt**, é dada por:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = k \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{L} \text{ (Lei de Fourier)}$$



Na relação, **k** representa o *coeficiente de condutividade térmica*, característico de cada material. Eis alguns exemplos:

Material	K(cal/s.cm.°C)
Prata	0,97
Cobre	0,92
Ferro	0,12
Água líquida	0,00143
Borracha	0,00045
Cortiça	0,00013
Lã pura	0,000086
Ar	0,000055

**TESTES DE SALA:**

**T25.** Uma placa de ferro é atravessada por uma quantidade de calor de 240 calorias em 30 segundos. Determine o fluxo de calor nessa placa.

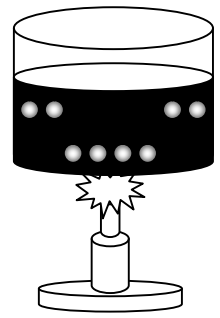
**T26.** Explique por que usamos agasalhos de lã, flanela ou outros materiais para nos protegermos do frio.

**T27.** Em um mesmo ambiente, quando pisamos em um chão de ladrilhos, sentimos maior sensação de frio do que quando pisamos em um chão de madeira.

**T28.** Uma barra de metal, cujo coeficiente de condutibilidade térmica é 0,5 cal/s.cm.°C, tem 80 cm de comprimento e secção transversal de área 10 cm<sup>2</sup>. A barra está termicamente isolada nas laterais, tendo uma das extremidades imersa em gelo fundente (0°C) e a outra em vapor de água fervente (100°C). Determine o fluxo de calor de calor conduzido ao longo da barra.

**Convecção térmica**

A convecção térmica é a propagação que ocorre nos fluidos (líquidos, gases e vapores) em virtude de uma diferença de densidade entre as partes do sistema. *Consideremos um líquido sendo aquecido por uma chama. A parte inferior do líquido, ao ser aquecida, tem sua densidade diminuída e, então, sobe na massa líquida. O líquido da parte superior, sendo relativamente mais denso, desce. Essas correntes líquidas são denominadas **correntes de convecção**.*



A origem dos ventos é explicada pelas correntes de convecção.

**Radiação ou Irradiação térmica**

É o processo de transmissão de calor através de ondas eletromagnéticas. Não existe necessidade de um meio material para tal propagação. Logo, a única maneira de se transmitir calor no vácuo é por irradiação.

O sol, um forno em atividade e uma lâmpada acesa são exemplos de transmissão de calor por irradiação.

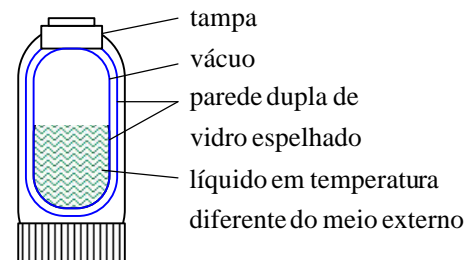
**Radiador ideal (corpo negro):** *Corpo capaz de absorver toda energia radiante que nele incide. Assim os corpos negros são os que melhor absorvem a radiação. Um exemplo de radiador ideal é a fuligem.*

**TESTES DE SALA:**

**T29.** (FEEQ-CE) O congelador de uma geladeira fica localizado na parte superior, internamente, porque:

- a) Favorece a convecção, permitindo resfriar tanto a parte superior como a inferior.
- b) Os fabricantes convencionaram esta localização.
- c) Oferece mais espaço para os mantimentos.
- d) Deve ficar o mais afastado possível do motor, que está situado na parte inferior, externamente.

**T30.** (Fesp-SP) As garrafas térmicas normalmente encontradas no comércio têm paredes duplas com câmaras de vácuo e são espelhadas, como é mostrado na figura. Elas são assim construídas porque:



- I. As paredes espelhadas impedem transmissão do calor por convecção..
  - II. A câmara de vácuo impede a transmissão do calor por condução.
  - III. As paredes duplas impedem a transmissão do calor por irradiação.
- a) I e II estão certas.
  - b) II e III estão certas
  - c) I, II e III estão certas
  - d) I e III estão certas.
  - e) Apenas a II está certa.

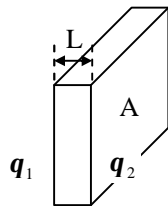
**T31.** (Fesp-SP) Tem-se dois copos, com a mesma quantidade de água, um aluminizado (A) e outro negro (N), que ficam expostos ao sol durante uma hora. Sendo inicialmente as temperaturas iguais, é mais provável que ocorra o seguinte:

- Ao fim de uma hora não se pode dizer qual temperatura é maior.
- As temperaturas são iguais em qualquer instante.
- Após uma hora a temperatura de N é maior que a de A.
- De início, a temperatura de A decresce (devido à reflexão) e a de N aumenta.
- As temperaturas de N e de A decrescem (devido à evaporação) e depois crescem.

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS:**

**P78.** Num mesmo ambiente, se você tocar um objeto metálico com uma das mãos e um objeto de madeira com a outra, vai sentir que a primeiro está “mais frio” que o segundo. Como você explica esse fenômeno se os dois objetos estão no mesmo ambiente e, portanto, na mesma temperatura?

**P79.** um aplaca de cortiça de espessura 2 cm e área 5 cm<sup>2</sup> separam dois ambientes cuja diferença de temperatura se mantém constante em 20 °C. Sendo 0,00013 cal/s·cm·°C o coeficiente de condutibilidade térmica da cortiça, determine o fluxo de calor conduzido através da placa.



**P80.** (ACEF-SC) O fluxo de calor através de uma parede é:

- Independente do material que constitui a parede.
- Inversamente proporcional à área da parede.
- Diretamente proporcional á espessura da parede.
- Diretamente proporcional à diferença de temperatura entre as suas faces.
- Inversamente proporcional ao quadrado da espessura da parede.

**P81.** Explique com base na propagação do calor por convecção:

- A colocação do aparelho de ar condicionado na parte superior de uma sala;
- A colocação de aquecedor de ambiente no solo e não no teto;
- O resfriamento dos motores de automóveis por meio do radiador;
- A tiragem de gases numa chaminé.

**P82.** (UF-MG) A irradiação é o principal processo de transferência de energia no caso:

- Da chama do fogão para a panela.
- Do Sol para um satélite de júpiter.
- Do ferro de soldar para a solda.
- Da água para um cubo de gelo flutuando nela.
- De um mamífero para o meio ambiente.

**P83.** Nas regiões litorâneas, durante o dia sopra a brisa marítima (do mar para a terra) e durante a noite sopra a brisa terrestre ( da terra para o mar). Como explicar essa movimentação de ar levando em conta as correntes de convecção?

**RESPOSTAS:**

- P01.** b **P02.** c **P03.** b **P04.** a **P05.** 96,8°F e 309K  
**P06.** e **P07.** b **P08.** 40°C e 104°F **P09.** b  
**P10.** e **P11.** b **P12.** 40,00528m **P13.** 6 mm  
**P14.** 24.10<sup>-6</sup> **P15.** c **P16.** b **P17.** b  
**P18.** d **P19.** S = 36,01584m<sup>2</sup>  
**P20.** ΔL = 0,0036 cm **P21.** β = 16·10<sup>-7</sup> °C<sup>-1</sup> e α = 8.10<sup>-7</sup> °C<sup>-1</sup>  
**P22.** ΔS = 4·10<sup>-3</sup>πcm<sup>2</sup> **P23.** d **P24.** d  
**P25.** γ=1,0·10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>; α = 1/3·10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>; β = 2/3·10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>.  
**P26.** 100,081 cm<sup>3</sup> **P27.** - 180 litros **P28.** Q ≅ 1,9·10<sup>3</sup> cal  
**P29.** A) 10 cal/°C B) 0,10 cal/g·°C **P30.** 0,2 cal/g·°C  
**P31.** a **P32.** a) 400 cal/°C b) 0,8 cal/g·°C  
**P33.** d **P34.** A) 2400 cal B) 1200 cal **P35.** c  
**P36.** 0,1 cal/g·°C **P37.** a **P38.** c **P39.** 40 min  
**P40.** 0,75 cal/g·°C **P41.** 0,2 cal/g·°C **P42.** -10°C  
**P43.** a) 4,76 cal b) 168 J  
**P44.** a) 1,1.10<sup>7</sup>cal b) 4,3.10<sup>3</sup>W **P45.** 2,5 min  
**P46.** d **P47.** 0,16 cal/g·°C e 80 cal/°C **P48.** a  
**P49.** a) t<sub>c</sub> 60 °C b) c = 0,13 cal/g·°C e L<sub>v</sub> = 300cal/g  
**P50.** 21000 cal **P51.** 60000 cal  
**P52.** a) L = 58 cal/g b) c<sub>antes</sub> = 15 cal/°C e c<sub>depois</sub> = 3,2 cal/°C c) c<sub>liq</sub> = 0,3 cal/g·°C c<sub>vapor</sub> = 0,007 cal/g·°C  
**P53.** Q ≅ 1,03·10<sup>3</sup> cal **P54.** Q = 46,7·10<sup>3</sup> cal  
**P55.** c **P56.** 3,0·10 J/kg·K **P57.** b **P58.** .b  
**P59.** a **P60.** 24,36 °C **P61.** a **P62.** e  
**P63.** c = 0,826 cal/g·°C **P64.** 50 l **P65.** 101,2°C  
**P66.** c = 0,007 cal/g·°C **P67.** c **P68.** e **P69.** d  
**P70.** e **P71.** d **P72.** d **P73.** e **P74.** a **P75.** c **P76.** c **P77.** e  
**P78.** o metal é melhor condutor do que a madeira  
**P79.** 6,5·10<sup>-3</sup>cal/s **P80.** d  
**P81.** a) Para o ar frio descer b) Para o ar quente subir  
c) O líquido, em contato com o motor, se aquece, passando para o radiador, onde ocorre o resfriamento.  
**P82.** b **P83.** Durante o dia a areia, por ter menor calor específico, aquece-se mais do que a água. O ar em contato com a areia, aquece-se e sobe, produzindo uma região de baixa pressão que aspira o ar que está sobre o mar. À noite a areia se resfria mais que o mar e ocorre o processo inverso.