



***CURSO DE FORMAÇÃO DE OPERADORES DE REFINARIA***  
***FÍSICA APLICADA***  
***TERMOMETRIA, CALORIMETRIA E TRANSMISSÃO DE CALOR***





# *FÍSICA APLICADA*

## *TERMOMETRIA, CALOMETRIA E TRANSMISSÃO DE CALOR*

*PAULO ROBERTO FIATTE CARVALHO*

**EQUIPE PETROBRAS**

**Petrobras / Abastecimento**

**UN´S: REPAR, REGAP, REPLAN, REFAP, RPBC, RECAP, SIX, REVAP**

CURITIBA  
2002



530 Carvalho, Paulo Roberto Fiatte.  
C331 Curso de formação de operadores de refinaria: física aplicada, termometria, calorimetria e transmissão de calor / Paulo Roberto Fiatte Carvalho. – Curitiba : PETROBRAS : UnicenP, 2002.  
40 p. : il. color. ; 30 cm.

Financiado pelas UN: REPAR, REGAP, REPLAN, REFAP, RPBC, RECAP, SIX, REVAP.

1. Física. 2. Termometria. 3. Calorimetria. 4. Transmissão de calor. I. Título.

## **Apresentação**

*É com grande prazer que a equipe da Petrobras recebe você.*

*Para continuarmos buscando excelência em resultados, diferenciação em serviços e competência tecnológica, precisamos de você e de seu perfil empreendedor.*

*Este projeto foi realizado pela parceria estabelecida entre o Centro Universitário Positivo (UnicenP) e a Petrobras, representada pela UN-Repar, buscando a construção dos materiais pedagógicos que auxiliarão os Cursos de Formação de Operadores de Refinaria. Estes materiais – módulos didáticos, slides de apresentação, planos de aula, gabaritos de atividades – procuram integrar os saberes técnico-práticos dos operadores com as teorias; desta forma não podem ser tomados como algo pronto e definitivo, mas sim, como um processo contínuo e permanente de aprimoramento, caracterizado pela flexibilidade exigida pelo porte e diversidade das unidades da Petrobras.*

*Contamos, portanto, com a sua disposição para buscar outras fontes, colocar questões aos instrutores e à turma, enfim, aprofundar seu conhecimento, capacitando-se para sua nova profissão na Petrobras.*

Nome: \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_

Estado: \_\_\_\_\_

Unidade: \_\_\_\_\_

*Escreva uma frase para acompanhá-lo durante todo o módulo.*

---

---

---

---

---

# Sumário

1	TERMOMETRIA .....	7
1.1	Introdução .....	7
1.2	Termômetros de gases .....	7
1.3	Termômetros metálicos .....	8
1.4	Pirômetro ótico .....	8
1.5	Termômetros de termopar .....	8
1.6	Dilatação térmica .....	8
1.7	Escalas termométricas .....	10
1.7.1	Escala Kelvin .....	10
1.7.2	Conversão entre as escalas .....	11
2	CALORIMETRIA .....	12
2.1	Energia Térmica .....	12
2.2	Calor .....	12
2.3	Formas de Calor .....	12
2.4	A caloria .....	13
2.5	Capacidade térmica .....	13
2.6	Calor específico .....	13
2.7	Relação entre calor específico e capacidade térmica .....	14
2.8	Quantidade de calor sensível .....	15
2.9	Trocas de calor .....	15
2.10	Calor latente .....	15
2.11	Mudança de fase .....	16
2.12	Tipos de Vaporização .....	16
2.13	Leis gerais de mudança .....	16
2.14	Curvas de aquecimento ou resfriamento .....	17
2.15	Influência da pressão na mudança de fase .....	17
2.15.1	Curva de fusão .....	17
2.15.2	Curva de Vaporização .....	18
2.15.3	Temperatura Crítica .....	18
2.15.4	Curva de sublimação .....	18
3	TRANSMISSÃO DO CALOR .....	19
3.1	Condução térmica .....	19
3.2	Fluxo de calor .....	19
3.3	Lei da condução térmica ou Lei de Fourier .....	20
3.4	Coefficiente de condutibilidade térmica .....	20
3.5	Fluxo radial de calor .....	20
3.6	Convecção térmica .....	21
3.7	Relação entre densidade e calor .....	22
3.7.1	Correntes de Convecção .....	22
3.8	Transferência de calor por convecção de uma placa .....	22
3.9	Irradiação térmica .....	23
3.10	Lei de Stefan-Boltzmann .....	23
3.11	Trocadores de calor .....	24
3.11.1	Troca de calor pela mistura dos fluidos .....	24
3.11.2	Troca Térmica por Contato entre os Fluidos .....	24
3.11.3	Troca térmica com armazenagem intermediária .....	24
3.11.4	Troca térmica através de uma parede que separa os fluidos .....	24
3.12	Classificação dos Recuperadores quanto à Compatibilidade .....	25
3.13	Aletas .....	25
3.14	Ponto de fulgor .....	26
3.15	Ponto de Fluidez .....	26
3.16	Incrustações .....	26
3.17	Desaeração d'água .....	26
	EXERCÍCIOS .....	27

# Termometria

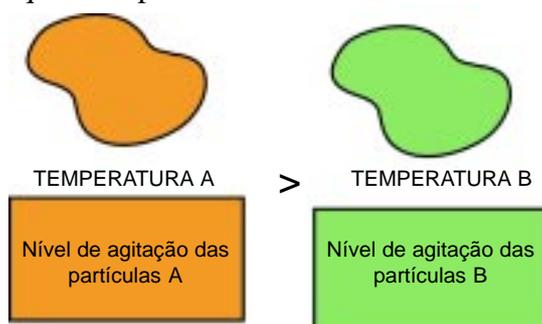
# 1

## 1.1 Introdução

Este módulo de Termologia é destinado a alunos do Curso de Formação de Operadores e tem como objetivo capacitá-los a analisar e interpretar os fenômenos físicos relacionados a Temperatura, Calor, Princípios e Processos de transmissão do calor.

As noções de “quente” e “frio” são intuitivas e dependem de vários fatores inerentes ao observador e ao objeto observado. Através do tato, podemos distinguir um corpo **quente** de um corpo **frio**, porém com este método de avaliação não podemos determinar a **temperatura** de um corpo, pois a sensação térmica pode ser diferente de uma pessoa para outra. Trataremos, inicialmente, do conceito de temperatura.

Ao analisarmos microscopicamente um corpo, podemos perceber que seu **estado térmico** está intimamente relacionado com o **estado de agitação** de suas partículas, ou seja, esta torna-se mais acentuada à medida que o corpo vai sendo aquecido, ou diminui à medida que o corpo vai sendo resfriado.



Com base nessa observação, podemos definir:

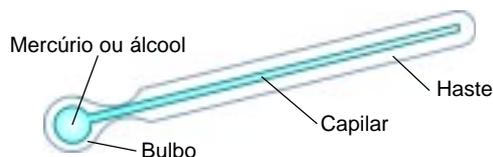
*Temperatura é uma grandeza física utilizada para avaliar o estado de agitação das partículas de um corpo, caracterizando o seu estado térmico.*

Conseqüentemente, quando dizemos que um corpo A encontra-se a uma temperatura maior que a de um corpo B, em verdade estamos afirmando que o nível de agitação das partículas de A é maior que de B.

A avaliação da temperatura de um corpo é realizada por um instrumento de medida chamado de **Termômetro**. Sua construção dá-se graças às diversas grandezas atribuídas a um corpo que variam com a temperatura, dentre as quais podemos destacar:

- O comprimento de uma haste
- A pressão exercida por um gás
- O volume de um líquido
- A resistência elétrica de um condutor
- A medida da energia irradiada
- Etc.

Grande parte dos termômetros em uso ainda utilizam a dilatação de líquidos com propriedade termométrica. Um exemplo comum e de uso doméstico é o termômetro de mercúrio.

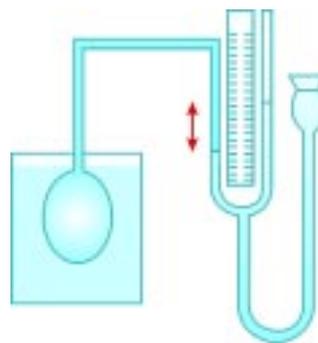


Outros termômetros, de concepção mais atual, baseados em outras propriedades termométricas, também são utilizados. A escolha é feita de acordo com as vantagens que cada um pode proporcionar, como: precisão, sensibilidade, durabilidade, limites de temperatura, custo etc.

Podemos destacar alguns exemplos:

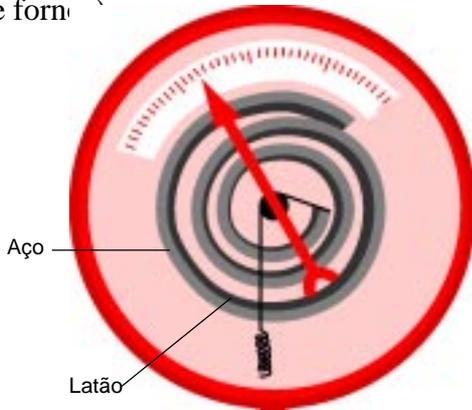
## 1.2 Termômetros de gases

Utilizados para medidas de alta precisão em amplos intervalos de temperatura ( $-263^{\circ}\text{C}$  a  $1000^{\circ}\text{C}$ ). A variação de temperatura está relacionada com a variação de pressão e volume do gás utilizado como substância termométrica.



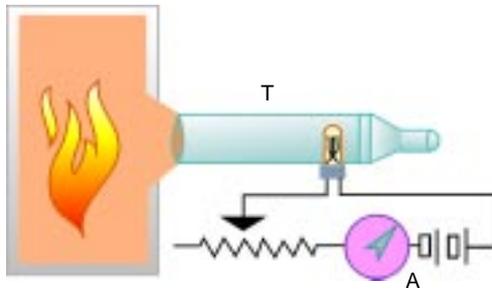
### 1.3 Termômetros metálicos

O aquecimento faz com que a espiral bimetálica curve-se, movendo o ponteiro e, desta forma, indicando o valor da temperatura. São utilizados devido à facilidade e rapidez de leitura, em situações de monitoramento de temperatura (como por exemplo em caldeiras e fornos).



### 1.4 Pirômetro ótico

São empregados na obtenção de temperaturas muito elevadas e baseiam-se na medida da energia irradiada por um corpo, a qual depende da temperatura. A vantagem de seu uso está em permitir a medida da temperatura sem contato com o objeto. A temperatura de um objeto (um forno de combustão) é obtida comparando-se sua cor com a cor do filamento de uma lâmpada elétrica.



### 1.5 Termômetros de termopar

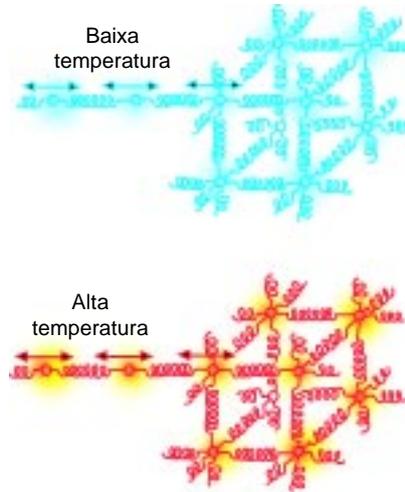
Baseados na medida da voltagem existente nas junções de fios metálicos ou ligas de naturezas diferentes, a qual depende das temperaturas das junções. Devido à grande sensibilidade e às condições de uso muito práticas são os termômetros mais utilizados para registro contínuo e controle de temperatura.

### 1.6 Dilatação térmica

De um modo geral, quando a temperatura de um corpo aumenta, suas dimensões aumentam e o fenômeno é denominado de **dilatação térmica**, ocorrendo a **contração térmica** quando a sua temperatura diminui.

Podemos entender a dilatação de um sólido através da análise de sua estrutura microscópica. Os átomos que o constituem distribuem-se ordenadamente em uma estrutura chamada de **rede cristalina**, estando fortemente ligados entre si e possuindo uma vibração em torno de sua posição de equilíbrio. Quando o sólido é aquecido, há um aumento na amplitude dessas vibrações, fazendo com que a distância média entre eles aumente, ocasionando conseqüentemente um aumento nas dimensões do sólido.

Devemos observar que um aumento nas dimensões de um corpo, em função da dilatação térmica, não acarreta um aumento em sua massa. Futuramente, em nosso curso, trataremos da variação da densidade de um corpo em função da dilatação térmica.



Podemos entender melhor a dilatação térmica dividindo-a em:

- **Dilatação linear:** trata-se do aumento de **comprimento** característico dos corpos. Com o aquecimento, o comprimento de um cabo de aço aumenta, o diâmetro de uma tubulação aumenta, o comprimento de um trilho de trem aumenta, etc.
- **Dilatação superficial:** trata-se do aumento da **área** de superfície característica dos corpos. Com o aquecimento, a área de uma chapa metálica aumenta, a área da secção de um cabo de aço aumenta, etc.
- **Dilatação volumétrica:** trata-se do aumento de **volume** dos corpos. Com o aquecimento, o volume de um parafuso aumenta, o volume de petróleo aumenta, o volume de um gás aumenta, etc.

É importante salientar que a dilatação de um corpo não depende somente da variação de temperatura. Outro fator de grande importância é o material que o constitui.

Para comparação, apresentamos alguns coeficientes de dilatação linear. Quanto maior for o coeficiente de dilatação, mais facilmente o material dilata-se quando aquecido, ou mais facilmente se contrai, quando resfriado:

↑ Maior dilatação	Chumbo: $27 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Concreto: $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	↓ Menor dilatação
	Zinco: $26 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Vidro comum: $9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
	Alumínio: $22 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Granito: $8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
	Prata: $19 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Vidro pirex: $3,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	
	Ouro: $15 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Porcelana: $3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	

### Dilatação Volumétrica

A dilatação volumétrica ( $\Delta V$ ) de um objeto depende de três fatores: do material de que é feito o objeto, ou seja, do **coeficiente de dilatação volumétrica** ( $\gamma$ ); do volume do objeto antes de ser aquecido ( $V_0$ ); e da variação de temperatura que o objeto sofre ( $\Delta\theta$ ). Se escrevermos  $\Delta V$  e  $V_0$  na mesma unidade de volume ( $\text{cm}^3$ , l,  $\text{m}^3$ ,...) e a temperatura em graus Celsius ( $^\circ\text{C}$ ), a unidade do coeficiente de dilatação volumétrica é dada em ( $^\circ\text{C}^{-1}$ ) e a equação da dilatação volumétrica é:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \Delta\theta$$

### Dilatação Linear e Superficial

Geralmente, quando a temperatura de um objeto aumenta, acontece sua dilatação volumétrica. Se considerarmos, entretanto, uma barra longa (ou um fio longo) de comprimento  $L_0$ , poderemos desprezar o aumento de sua seção transversal e só considerar a dilatação de seu comprimento. Esta dilatação é representada por  $\Delta L$  e pode ser calculada pela expressão:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \Delta\theta$$

Note a semelhança desta expressão com aquela que calcula a variação de volume. Aqui, consideramos  $\Delta L$  e  $L_0$  com unidades de comprimento (mm, cm, m, km),  $\Delta\theta$  em  $^\circ\text{C}$  e  $\alpha$  (denominado **coeficiente de dilatação linear**) em  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

De forma semelhante, consideremos uma chapa com pequena espessura; podemos desprezar o aumento desta espessura e calcular somente o aumento de sua área. Esta dilatação superficial é representada por  $\Delta A$  e pode ser calculada pela expressão:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \Delta\theta$$

$\Delta A$  e  $A_0$  aparecem com unidades de área ( $\text{mm}^2$ ,  $\text{cm}^2$ ,  $\text{m}^2$ ),  $\Delta\theta$  em  $^\circ\text{C}$  e  $\beta$  (denominado **coeficiente de dilatação superficial**) em  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

A relação entre os coeficientes pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\beta = 2 \alpha$$

$$\gamma = 3 \alpha$$

### Dilatação Térmica dos líquidos

Como os líquidos não têm forma própria, estuda-se somente a **dilatação volumétrica** dos mesmos. A dilatação de um líquido ocorre ao mesmo tempo que a do recipiente que o contém.

Na maioria das vezes, os líquidos se dilatam muito mais do que os recipientes. Como consequência, se em uma certa temperatura o recipiente estiver completamente cheio, ao aquecermos o conjunto haverá um derramamento de parte do líquido contido no recipiente. Ao volume de líquido derramado damos o nome de **DILATAÇÃO APARENTE DO LÍQUIDO**.

Assim sendo, dependendo do coeficiente de dilatação do líquido e do material de que é feito o frasco, a dilatação do líquido observada (dilatação aparente) será diferente.

Para ilustrar melhor a dilatação aparente, vamos supor um recipiente completamente cheio com um determinado líquido. Dependendo da relação entre o coeficiente de dilatação do líquido e o coeficiente de dilatação volumétrica do material de que é feito o recipiente, poder-se-á observar um transbordamento ou não, pois a dilatação aparente ( $\Delta V_{\text{ap}}$ ) depende da dilatação do líquido ( $\Delta V_L$ ) e da dilatação do recipiente ( $\Delta V_r$ ), ou seja:

$$\Delta V_L = \Delta V_{\text{ap}} + \Delta V_r$$

No caso de um transbordamento, tem-se:

$$\Delta V_L > \Delta V_r$$

#### Exemplo:

Uma distribuidora utiliza tanques de aço ( $\gamma = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) de capacidade igual a 10000 litros, para armazenar combustível. Suponha-se que o tanque foi completamente cheio de gasolina ( $1000 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), no começo da manhã, com temperatura ambiente de  $10^\circ\text{C}$ . Com a proximidade do horário de almoço, um funcionário observou que havia extravasado uma certa quantidade de gasolina.

Sabendo-se que a temperatura do ambiente, próximo ao horário do almoço, era de  $30^\circ\text{C}$ , determine o volume de gasolina que transbordou.

**Resolução:**

Inicialmente, calcularemos a dilatação da gasolina e do tanque:

$$\text{Gasolina} = \Delta V_L = V_0 \cdot \gamma \Delta \theta = 10000 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 10) = 200 \text{ litros}$$

$$\text{Tanque de aço} = \Delta V_r = V_0 \cdot \gamma \Delta \theta = 10000 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 10) = 2,4 \text{ litros}$$

Desta forma teremos:

$$\Delta V_L = \Delta V_{\text{vap}} + \Delta V_r$$

$$200 = \Delta V_{\text{vap}} + 2,4$$

**$\Delta V_{\text{vap}} = 197,6$  litros** (o volume de gasolina que extravasou)

**Dilatação anômala da água**

A maioria dos líquidos se dilata com o aumento da temperatura e se contrai com a redução da temperatura, mas a **ÁGUA** constitui uma anomalia do comportamento geral, entre 0°C e 4°C. Vejamos:

A partir de 0°C, a medida que a temperatura se eleva, a água **se contrai**. Porém essa contração cessa quando a temperatura é de 4°C; a partir dessa temperatura ela começa a se dilatar.

Sendo assim, a água atinge um volume mínimo a 4°C e nesta temperatura a sua densidade é máxima.

A densidade volumétrica máxima da água vale 0,99997 g/cm<sup>3</sup> (1 g/cm<sup>3</sup>) e ocorre a 3,98°C (4°C).

**1.7 Escalas termométricas**

Um termômetro é graduado quando se estabelece uma **escala termométrica** adequada. Para compreendermos como se processa a graduação, vamos reproduzir a construção de um termômetro de mercúrio na escala **Celsius**:

Escolhem-se duas temperaturas determinadas, facilmente reproduzida em qualquer ocasião: a fusão do gelo (ponto de fusão P.F.) e a de ebulição da água (ponto de vaporização P.V.); atribui-se à primeira o valor de 0 e à segunda 100.

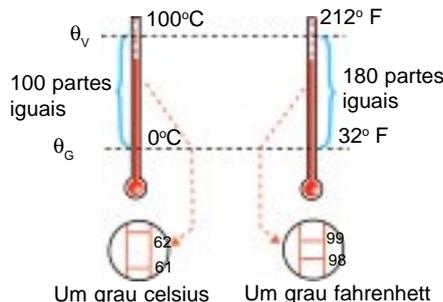
A fim de que o termômetro esteja em 0 graus, o mesmo é colocado em gelo moído e em fusão. Observa-se que a coluna de mercúrio desce durante algum tempo até atingir um nível estável; faz-se ali uma marca no vidro: *é o ponto fixo 0*.

Para que o termômetro esteja na temperatura de 100 graus este deve ser colocado em vapores de água em ebulição (água fervente); o nível sobe durante um certo tempo, alcançando uma posição estável; faz-se ali uma outra marca no vidro: *é o ponto fixo 100*.

A seguir o intervalo entre os pontos fixos é dividido em 100 partes iguais e cada parte corresponde a 1°C obtendo-se o termômetro graduado na escala centesimal ou Celsius.

Apesar da escala **Celsius**, criada pelo físico e astrônomo sueco Anders Celsius ser a mais utilizada, devemos conhecer outras escalas. Um exemplo é a escala **Fahrenheit**, criada pelo físico alemão Gabriel Daniel Fahrenheit, em que se atribui o valor de 32° F ao ponto de gelo e 212° F ao ponto de vapor. O segmento é dividido em 180 partes iguais e cada uma corresponde a 1° F.

Observe, na figura a seguir, as duas escalas e perceba que uma variação de temperatura ( $\Delta\theta$ ) tem valores diferentes nas duas escalas.



Podemos obter a relação entre as variações de temperatura nas duas escalas:

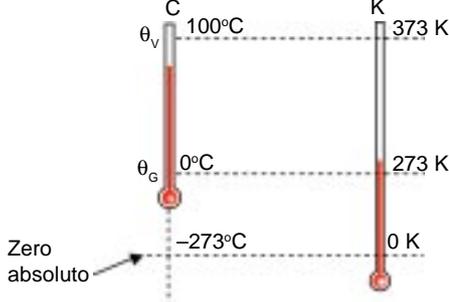
$$\frac{\Delta\theta_c}{5} = \frac{\Delta\theta_f}{9}$$

**1.7.1 Escala Kelvin**

Embora o uso das escalas Celsius e Fahrenheit seja mais freqüente, no meio científicos utiliza-se a escala Kelvin.

O princípio desta escala surgiu na discussão em torno de temperaturas máximas e mínimas que podem ser atingidas por um corpo. Verificou-se que não se pode, teoricamente, estabelecer um limite superior para a temperatura que um corpo pode alcançar. Entretanto, observou-se que existe um limite natural, quando se tenta baixar a temperatura. O mérito de Kelvin foi provar que a mais baixa temperatura teoricamente possível é de -273°C que é conhecida como **zero absoluto**.

Observe, na figura a seguir, a relação entre as escalas Celsius e Kelvin.



$$T_r = 9/5 T_k$$

## Anotações

Como você pode verificar, a escala Kelvin, não apresenta temperaturas negativas. É fácil observar que um intervalo de temperatura tem as mesmas medidas na escala Celsius e Kelvin:

$$\Delta\theta_c = \Delta T_k$$

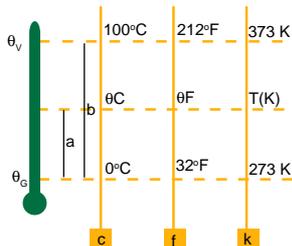
### Observações:

- Quando trabalharmos com a escala Kelvin, por uma questão de notação, utilizamos  $T$  para simbolizar temperatura e nas demais escalas utilizaremos  $\theta$ .
- Ao avaliar determinada temperatura na escala Kelvin não devemos utilizar “graus Kelvin”. O certo é apenas Kelvin.

### 1.7.2 Conversão entre as escalas

Quando desejamos transformar uma indicação de temperatura de uma determinada escala para outra utilizamos a **equação geral de conversão**, estabelecendo a proporção entre segmentos determinados nos termômetros de cada escala..

Observe, na figura a seguir, as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin:



Desta forma teremos:

$$\frac{a}{b} = \frac{\theta_c - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_f - 32}{212 - 32} = \frac{T_k - 273}{373 - 273}$$

Simplificando os denominadores, obtemos:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5}$$

### Observação:

Para transformarmos de °C para Kelvin, basta somar 273. Assim:

$$T_k = \theta_c + 273$$

Uma outra escala, muito utilizada em engenharia nos EUA e Inglaterra, é a escala Rankine (abrevia-se °R). O ponto de gelo, na escala Rankine, é de **492°R** e o ponto de vapor corresponde a **672°R**.

# Calorimetria

## 2

### 2.1 Energia Térmica

Inicialmente trataremos de avaliar as quantidades de calor recebidas ou cedidas pelos corpos e que acarretam somente variações de temperatura. Naturalmente, precisamos, antes de mais nada, saber o que é **calor**, como se manifesta e suas formas de medida.

Para tanto, vamos compreender o que é **energia térmica** de um corpo.

Quando analisamos microscopicamente um corpo nos estados **sólido, líquido e gasoso**, podemos perceber que:

- No estado sólido, as partículas que constituem o corpo possuem uma grande vibração em torno de sua posição, perfeitamente definida no interior do corpo.
- No estado líquido, as partículas, além de vibrarem, apresentam movimento de translação no interior do líquido.
- No estado gasoso, as partículas, além de vibrarem intensamente, também transladam com grande velocidade no interior da massa gasosa.

Podemos concluir que, as partículas constituintes do corpo, possuem **energia de agitação**.

À energia de agitação das partículas do corpo, chamamos de energia térmica.

Devemos salientar que temperatura é uma medida do estado de agitação das partículas do corpo. A temperatura não mede a quantidade de energia térmica do corpo. Sendo assim, o fato de um corpo estar a uma temperatura superior a um outro não quer dizer que ele possua maior quantidade de energia térmica, mas sim que seu estado de agitação térmica está em um nível mais elevado que do outro.

### 2.2 Calor

Para compreendermos o que é calor, vamos imaginar a seguinte situação:

Em um recipiente contendo água na temperatura de 30°C, foi introduzido um pedaço de aço a 120°C. Com o passar do tempo, po-

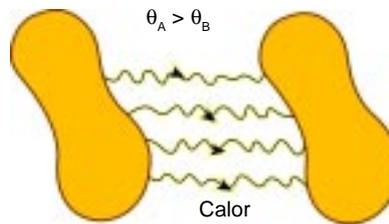
demus perceber que o aço vai esfriando e a água vai se aquecendo até que ambos passam a ter mesma temperatura. Nessa situação, dizemos que os dois estão em **equilíbrio térmico**.

O fato da água ter aumentado a sua temperatura significa que suas partículas aumentaram a sua **agitação térmica**. Mas quem forneceu esta energia? Certamente podemos concluir que o aço, ao se resfriar, forneceu energia para a água. Portanto, houve uma passagem de energia do aço para a água. Esta energia, em trânsito é chamada de **calor**.

Conseqüentemente, se colocarmos dois corpos em diferentes temperaturas, em contato ou próximos, haverá passagem de energia do corpo cujas partículas estão com um grau de agitação maior (maior temperatura) para o corpo de partículas menos agitadas (menor temperatura). Essa energia leva o nome de **calor** e seu trânsito dura até o momento em que os corpos atingem o equilíbrio térmicos, isto é, a mesma temperatura.

Assim, podemos definir:

*Calor é uma forma de energia em trânsito que passa, de maneira espontânea, do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.*



### 2.3 Formas de Calor

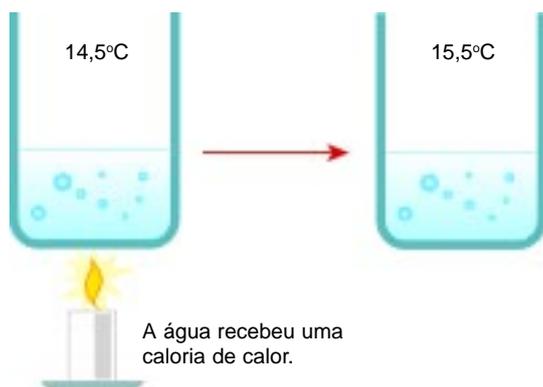
A quantidade de energia térmica recebida ou perdida por um corpo pode provocar uma **variação de temperatura** ou uma **mudança de fase** (estado de agregação molecular).

Se ocorrer variação de temperatura, o calor responsável por isso chamar-se-á **calor sensível**. Se ocorrer mudança de fase, o calor chamar-se-á **calor latente**.

## 2.4 A caloria

No capítulo anterior, tratamos da medição de temperaturas e dos efeitos provocados sobre os corpos por um aumento de temperatura. Neste, estudaremos as trocas de calor entre os corpos, de modo que devemos medir **quantidades de calor**. Para tanto, o primeiro passo será definir uma unidade. Como unidade de quantidade de calor, usaremos a *caloria*.

Podemos entender **uma caloria** como sendo a quantidade de calor necessária para que um grama de água pura, sob pressão normal, tenha sua temperatura elevada de 14,5°C para 15,5°C.



A unidade de calor, no Sistema Internacional de Unidades, é o **Joule**; admite-se, entretanto, o uso de calorias, que corresponde a 1/860 do watt-hora.

**1 cal corresponde a 4,18J**

## 2.5 Capacidade térmica

Vamos supor que uma quantidade de calor igual a **500 cal** fosse fornecida a um corpo A e que sua temperatura se elevasse em 50°C. Entretanto, fornecendo-se a mesma quantidade de calor (500 cal) a um outro corpo B, observa-se uma elevação de temperatura diferente, por exemplo, de **100°C**. Desta forma, concluímos que, fornecendo a mesma quantidade de calor a corpos diferentes, eles, em geral, vão apresentar variações diferentes de temperatura. Para caracterizarmos este comportamento, definimos uma grandeza, denominada **capacidade térmica**, como sendo:

A razão entre a quantidade de calor ( $Q$ ), que um corpo recebe, e a variação de temperatura ocorrida ( $\Delta\theta$ ).

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

Normalmente utilizamos, como unidade de medida, para capacidade térmica:

$$\text{cal} / ^\circ\text{C}$$

## J/K (Joule/Kelvin)

Assim, calculando as capacidades térmicas dos corpos A e B citados, teremos:

$$C_A = 500/50 = 10\text{cal}/^\circ\text{C}$$

$$C_B = 500/100 = 5\text{cal}/^\circ\text{C}$$

A análise desses resultados indica que devemos fornecer 10cal para que o corpo A eleve sua temperatura em 1°C e 5cal para provocar o mesmo efeito no corpo B. Logo, quanto maior a capacidade térmica de um corpo, **maior** será a quantidade de calor que devemos **fornecer** a ele para provocar uma determinada **elevação** em sua temperatura e, do mesmo modo, **maior** será a quantidade de calor que ele deve ceder para que sua temperatura sofra **redução**.

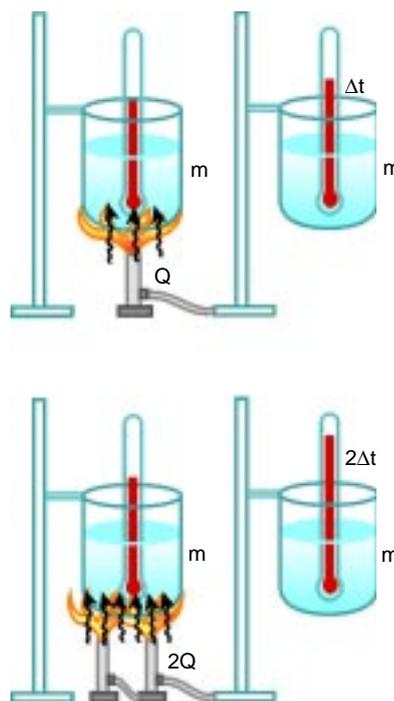
## 2.6 Calor específico

Imaginemos, agora, dois corpos de massas iguais e constituídos de uma mesma substância, por exemplo:

Corpo (A) = 100g de água, no estado líquido.

Corpo (B) = 100g de água, também no estado líquido.

Ao fornecermos uma quantidade de calor ( $Q$ ) ao corpo (A), constatamos uma variação de temperatura ( $\Delta\theta$ ) e, ao fornecermos o dobro da quantidade de calor ( $2Q$ ) ao corpo(B), teremos uma variação de temperatura ( $2\Delta\theta$ ).



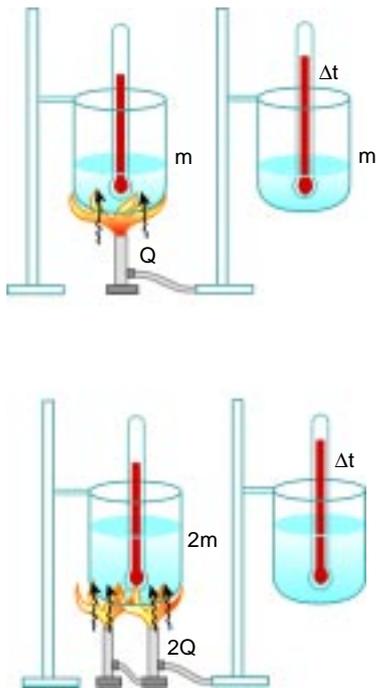
Porém, isto não ocorre somente com água, senão também com massas **iguais** de uma **mesma substância** qualquer. Em geral, podemos dizer que:

*As quantidades de calor cedidas a massas iguais da mesma substância ou delas retiradas são diretamente proporcionais às variações de temperatura.*

Consideremos agora dois recipientes que contêm **massas diferentes** de água. Entregando-lhes as quantidades de calor suficientes para que ambas sofram o **mesmo** aumento de temperatura, observa-se que as quantidades de calor necessárias estarão em proporção com as respectivas massas. Porém, tal fato sucede não somente com a água mas também com qualquer substância.

Podemos observar, na figura a seguir, que:

*As quantidades de calor cedidas a massas diferentes de uma mesma substância, ou delas retiradas, a fim de produzir variações de temperaturas iguais, são diretamente proporcionais às massas.*

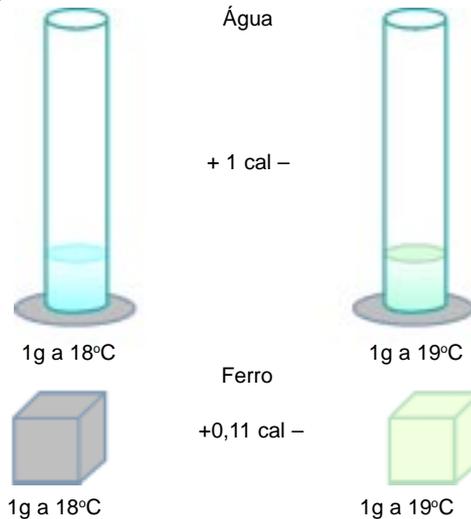


Das duas conclusões anteriores, podemos perceber que se tivermos vários corpos da mesma substância, de massas diferentes,  $m_1$ ,  $m_2$  e  $m_3$  e fornecermos aos mesmo, quantidades de calor,  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$ , produziremos aumentos de temperatura  $\Delta\theta_1$ ,  $\Delta\theta_2$  e  $\Delta\theta_3$  tais que as quantidades de calor estarão em proporção com os produtos de cada massa por seu aumento de temperatura:

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

Esse quociente representa a quantidade de calor que se necessita fornecer a 1 grama de uma substância para que sua temperatura se eleve em  $1^\circ\text{C}$ , sendo tal quociente chamado de **calor específico**. Desta forma, podemos definir:

*O calor específico de uma substância representa a quantidade de calor necessária para que 1 grama da substância eleve a sua temperatura em  $1^\circ\text{C}$ .*



Observe, na tabela a seguir, o calor específico de algumas substâncias

Material	c em cal/g. $^\circ\text{C}$	Material	c em cal/g. $^\circ\text{C}$
Água	1,0000	Cobre	0,0924
Álcool etílico	0,5810	Zinco	0,0922
Gelo	0,5300	Latão (com 40% de Zn)	0,0917
Amoníaco(gás)	0,5230	Prata	0,0560
Vapor-d'água	0,4810	Mercúrio	0,0330
Alumínio	0,2140	Tungstênio	0,0320
Vidro	0,1610	Platina	0,0310
Ferro	0,1070	Chumbo	0,0300

## 2.7 Relação entre calor específico e capacidade térmica

Como é do seu conhecimento, a capacidade térmica do corpo pode ser definida por:

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

E o calor específico:

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

Com base nas duas relações concluímos que:

$$c = \frac{C}{m}$$

## 2.8 Quantidade de calor sensível

A quantidade de calor necessária para que um corpo sofra apenas **variação de temperatura**, sem que ocorra mudança de fase (estado de agregação), é denominada **quantidade de calor sensível**.

Da expressão que define o calor específico:

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

podemos deduzir a equação fundamental da calorimetria:

$$Q = mc\Delta\theta$$

A quantidade de calor sensível pode ter sinal positivo ou negativo conforme o calor trocado pelo corpo:

$Q > 0 \rightarrow$  quantidade de calor recebido

$Q < 0 \rightarrow$  quantidade de calor cedido

$Q = 0 \rightarrow$  não há troca de calor

## 2.9 Trocas de calor

Quando dois ou mais corpos, que estão em temperaturas diferentes, são colocados em contato, ocorrem espontaneamente trocas de calor entre eles, que cessam ao ser atingido o equilíbrio térmico.

Para que não haja influência do meio externo nas trocas de calor, é necessário colocá-los em um recipiente isolante térmico chamado **calorímetro**.

Através do **balanço energético**, conclui-se que, em módulo, a somatória dos calores cedidos é igual à somatória dos calores recebidos.

Se os sinais são levados em conta, tem-se:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0$$

ou:

$$\sum Q = 0$$

Observe o exemplo a seguir:

*Um recipiente termicamente isolado contém 500g de água na qual se mergulha uma barra metálica homogênea de 250g. A temperatura inicial da água é 25,0°C e a da barra 80,0°C. Considerando o calor específico da água igual a 1,00cal/g.°C, o do metal igual a 0,200cal/g.°C e desprezando a capacidade térmica do recipiente, determine a temperatura do equilíbrio térmico.*

### Resolução:

Chamaremos a água, contida no recipiente, de corpo (A) e a barra metálica de corpo(B). Já que as temperaturas iniciais são diferentes, a barra metálica, com temperatura inicial maior, vai ceder calor para a água. Como o recipiente é termicamente isolado todo calor cedido pela barra será recebido pela água.

Matematicamente teremos:

$$\sum Q = 0$$

$$Q_A + Q_B = 0$$

$$500 (1) (\theta - 25) + 250 (0,2) (\theta - 80) = 0$$

$$500\theta - 12500 + 50\theta - 4000 = 0$$

$$550\theta = 16500$$

$$\theta = 30^\circ\text{C}$$

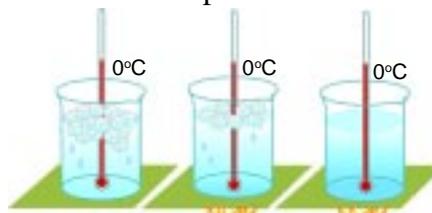
A temperatura do equilíbrio térmico (30°C) está mais próxima da temperatura inicial da água (25°C). O motivo deve-se ao fato do calor específico da água (1cal/g°C) ser maior que o calor específico do material que constitui a barra metálica (0,2 cal/g°C). Ou seja, a cada caloria cedida pela barra, a sua temperatura diminui em 5°C e a temperatura da água aumenta, em somente, 1°C.

O clima de regiões próximas de grandes massas de água, como mares e lagos, caracteriza-se por uma grande estabilidade térmica, ao contrário de regiões no interior do continente, onde há acentuadas variações de temperatura entre o dia e a noite. A propriedade que torna a água um regulador de temperatura é o seu alto **calor específico**.

## 2.10 Calor latente

Quando fornecemos calor a um recipiente contendo gelo a 0°C, sob pressão constante, notamos que, com o passar do tempo, o gelo se transforma em água líquida (ocorre fusão do gelo), mas a temperatura permanece constante e igual a 0°C. Podemos concluir que o sistema recebeu calor, mas a temperatura foi mantida constante.

Quando todo o gelo funde-se, observamos que ele deve receber, por grama, 80 calorias, mantendo-se a temperatura constante em 0°C.



Sob pressão normal, a temperatura do gelo se mantém durante sua fusão.

Esta quantidade de calor (80 cal/g) é denominada de **calor latente de fusão do gelo**. Portanto, podemos definir:

*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:

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

, em que:

Q = quantidade total de calor latente trocada no processo

m = massa do corpo

L = calor latente de mudança.

## 2.11 Mudança de fase

A matéria pode apresentar-se em três fases ou estados de agregação molecular: sólido, líquido e vapor.

Estes estados distinguem-se da seguinte forma:

- **Os sólidos** têm forma própria, volume bem definido e suas moléculas têm pouca liberdade, pois as forças de coesão entre elas são muito intensas.
- **Os líquidos** não têm forma própria, mas têm volume definido. Suas moléculas possuem liberdade maior do que nos sólidos, pois as forças de coesão, são menores.
- **Os gases ou vapores** não possuem nem forma nem volume definidos. Devido a fracas forças de coesão suas moléculas têm grande liberdade.

Quando alteramos as condições físicas de **pressão e temperatura**, podemos alterar o estado de agregação da matéria. Por ora, trataremos da mudança de fase sob pressão constante, variando somente a temperatura.

### Processos de mudança:

**Fusão:** passagem de sólido para líquido;

**Solidificação:** passagem de líquido para sólido;

**Vaporização:** passagem de líquido para vapor;

**Condensação:** passagem de vapor para líquido;

**Sublimação:** passagem de sólido para vapor ou vapor para sólido, processo também conhecido como cristalização.



A mudança de fase pode ser uma transformação **endotérmica** ( $Q > 0$ ) ou **exotérmica** ( $Q < 0$ ).

A fusão, a vaporização e a sublimação são transformações endotérmicas. A solidificação, a condensação e a cristalização são transformações exotérmicas.

Concluimos, então, que o calor latente de mudança (L) pode ser positivo ou negativo, conforme a mudança de fase ocorra com ganho ou perda de calor.

Por exemplo, para água pura sob pressão constante teremos:

Fusão do gelo (a 0°C)	L = 80 cal/g
Solidificação da água (a 0°C)	L = - 80 cal/g
Vaporização da água (a 100 °C)	L = 540 cal/g
Condensação do vapor (a 100 °C)	L = -540 cal/g

## 2.12 Tipos de Vaporização

Conforme a maneira de se processar, a vaporização pode ser classificada como **evaporação, ebulição** ou **calefação**.

Na **evaporação**, a mudança de fase ocorre apenas na superfície do líquido, mediante um processo lento, podendo ocorrer em qualquer temperatura. Esse processo ocorre pela fuga das moléculas mais energéticas do líquido e por isso acarreta um esfriamento do líquido. Quando uma pessoa sai molhada de um banho ou de uma piscina, “sente frio”: a evaporação da água retira calor do corpo da pessoa.

Na **ebulição**, a mudança de fase ocorre numa temperatura fixa, para uma dada pressão chamada de temperatura de ebulição. Esse processo ocorre em todo o líquido.

Já na **calefação**, a mudança de fase ocorre após um aquecimento muito brusco como, por exemplo, uma porção de água que cai numa panela vazia e muito quente.

## 2.13 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.

## 2.14 Curvas de aquecimento ou resfriamento

São curvas obtidas, construindo, num diagrama cartesiano, o gráfico da temperatura de um corpo em função do calor trocado por ele.

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.



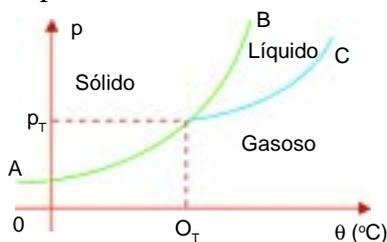
## 2.15 Influência da pressão na mudança de fase

Como é do seu conhecimento, uma substância pura pode apresentar-se em três **estados de agregação** (ou **fases**): sólido, líquido e gasoso.

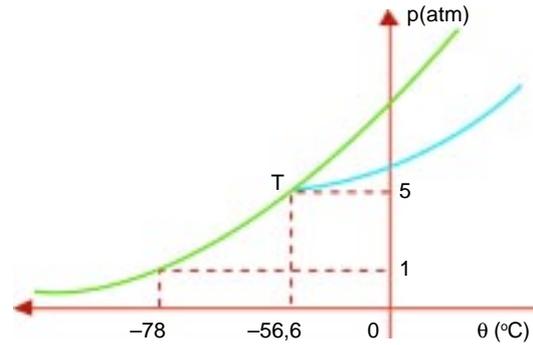
Quando uma substância muda de estado, sofre uma variação de volume. Isto significa que alterações da pressão externa podem ajudar ou dificultar a mudança de estado. Anteriormente, nos limitamos a mudanças que ocorrem com pressão externa fixa de 1 atmosfera. Sob essa pressão, vimos, por exemplo, que a água entra em ebulição na temperatura de 100°C. No entanto se, por exemplo, diminuirmos a pressão externa, a água entrará em ebulição em temperaturas menores. Em cidades como Curitiba, que está a 900 metros acima do nível do mar, a água entra em ebulição em uma temperatura inferior a 100°C. Isto ocorre porque nessa altitude a pressão atmosférica é menor do que 1 atmosfera.

Analisaremos agora as influências conjuntas da **pressão** e da **temperatura** no estado de agregação.

A figura a seguir representa o diagrama de estado típico da maioria das substâncias:



Como exemplo, temos diagrama de fase para o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

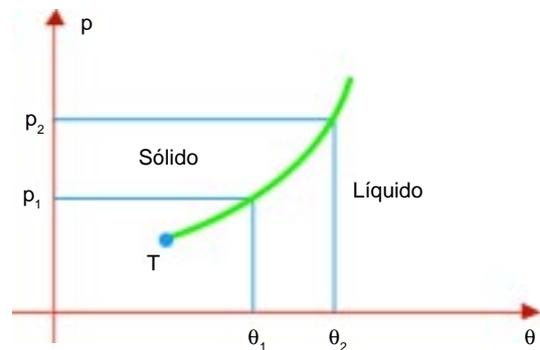


Por esse diagrama, vemos que, em temperatura de -56,6°C e sob pressão de 5 atmosferas, o CO<sub>2</sub> pode apresentar em equilíbrio as três fases. Sob pressão de 1 atmosfera, não encontramos o CO<sub>2</sub> no estado líquido: ele está no estado sólido ou gasoso.

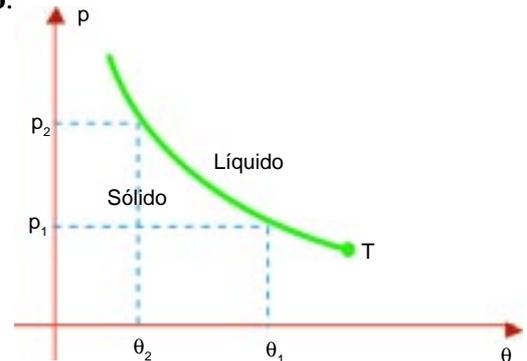
Analisaremos, agora, separadamente as três curvas:

### 2.15.1 Curva de fusão

Durante a fusão, a maioria das substâncias se expandem. Para essas, um aumento de pressão dificulta a fusão e, assim, acarreta em um aumento da temperatura de fusão.



Há, porém, algumas substâncias, que se contraem durante a fusão. É o caso, por exemplo, da água, do ferro e do bismuto. Para essas substâncias, um aumento de pressão facilita a fusão. Desse modo, o **aumento de pressão** acarreta uma **diminuição na temperatura de fusão**.





# Transmissão do calor

## 3

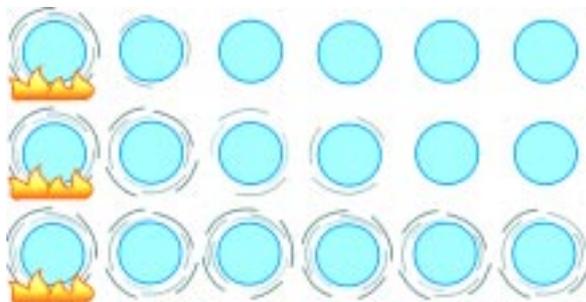
Como vimos, no capítulo anterior, o calor é uma forma de energia em trânsito de um corpo para o outro, desde que, exista, entre eles, uma diferença de temperatura. Sabemos que, de forma espontânea, o calor flui no sentido das temperaturas decrescentes, ou seja, do corpo com maior temperatura para o de menor temperatura.

A transmissão do calor pode ocorrer de três formas distintas: **condução**, **convecção** e **irradiação**.

### 3.1 Condução térmica

A condução é o processo pelo qual o calor se transmite ao longo de um meio material, como efeito da transmissão de vibração entre as moléculas. As moléculas mais energéticas (maior temperatura) transmitem energia para as menos energéticas (menor temperatura).

Na condução, a transmissão do calor de uma região para a outra ocorre da seguinte maneira: na região mais quente, as partículas têm mais energia térmica, vibrando com mais intensidade; com essa vibração, cada partícula transmite energia para a partícula vizinha, que, ao receber energia, passa a vibrar com maior intensidade; esta transmite energia para a seguinte e, assim, sucessivamente.



Como a transmissão do calor ocorre, por condução, mediante a transferência de energia de partícula para partícula, concluímos que:

*A condução de calor é um processo que necessita da presença do meio material e, portanto, não ocorre no vácuo.*

Há materiais que conduzem o calor rapidamente, como por exemplo, os metais. Tais materiais são chamados de bons condutores. Podemos perceber isso analisando o experimento ilustrado na figura:

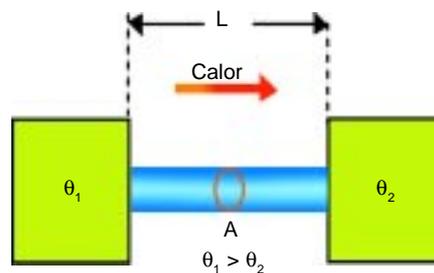


Segurando uma barra de metal que tem uma extremidade sobre uma chama, rapidamente o calor é transmitido para a mão.

Por outro lado, há materiais nos quais o calor se propaga muito lentamente. Tais materiais são chamados isolantes. Como exemplo, podemos citar a borracha, a lã, o isopor e o amianto.

### 3.2 Fluxo de calor

Consideremos uma barra condutora de comprimento  $L$  e cuja seção transversal tem área  $A$ , cujas extremidades são mantidas em temperaturas diferentes, como ilustra a figura.



Nesse caso, o calor fluirá através da barra, indo da extremidade que tem a maior temperatura para a extremidade que tem menor temperatura.

A quantidade de calor ( $Q$ ) que atravessa uma seção reta da barra, num intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) é chamada fluxo de calor. Representamos o fluxo por:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

A unidade do fluxo no SI, é J/s, isto é, watt (W), embora seja mais comum o uso de unidades práticas, como: cal/s, cal/min além de outras.

### 3.3 Lei da condução térmica ou Lei de Fourier

A lei de Fourier estabelece a relação entre o fluxo de calor e os fatores que o determinam. Tal relação é dada por:

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

Onde:

$\Phi$  = fluxo de calor

Q = quantidade de calor

$\Delta t$  = intervalo de tempo

K = coeficiente de condutibilidade térmica

A = área da superfície

$\Delta\theta$  = diferença de temperatura

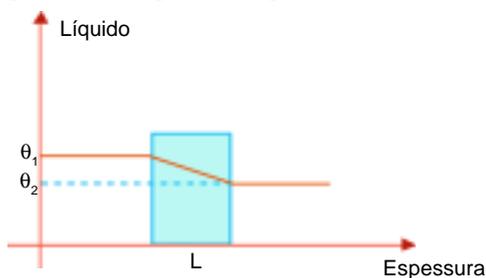
L = espessura

$$\frac{\Delta\theta}{L} = \text{gradiente de temperatura}$$

Podemos enunciar a Lei de Fourier:

*O fluxo de calor por condução térmica em um material homogêneo, após ter atingido um regime estacionário de escoamento, é diretamente proporcional à área da secção transversal, à diferença de temperatura entre os extremos e inversamente proporcional à espessura da camada em questão.*

Ao atingir o regime estacionário de escoamento do calor através das faces de uma placa metálica, a distribuição de temperatura ao longo de sua espessura pode ser representada pelo diagrama da figura a seguir:



### 3.4 Coeficiente de condutibilidade térmica

A constante K, descrita na equação de Fourier, é chamada de coeficiente de condutibilidade térmica e caracteriza o material que constitui a placa ou o elemento por onde o calor é transmitido por condução térmica. Seu valor caracteriza o material como bom ou mau condutor de calor.

Quanto **maior** for o valor do coeficiente de condutibilidade térmica (K) do material, melhor será a condução térmica, ou seja, o material é um **bom condutor térmico**. Já, no caso dos materiais **isolantes térmicos**, o coeficiente de condutibilidade térmica (K) apresenta um valor comparativamente **menor**.

A unidade usual do coeficiente de condutibilidade térmica é: cal/s.cm.°C.

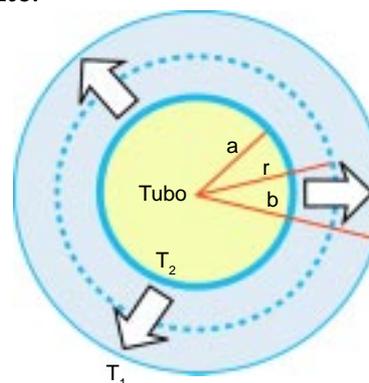
A tabela a seguir ilustra alguns valores do coeficiente de condutibilidade térmica para alguns materiais, expressos em cal/s.cm.°C.

Material	K
prata	0,97
cobre	0,92
alumínio	0,50
latão	0,26
ferro	0,16
aço	0,12
chumbo	0,083
mercúrio	0,02
gelo	0,004
vidro	0,002
tijolo	0,0015
água	0,0014
madeira	0,0002
cortiça	0,0001
lã	0,000086
ar seco	0,000061

### 3.5 Fluxo radial de calor

Trataremos, agora, do fluxo de calor no qual o gradiente de temperatura não é uniforme ao longo da direção do fluxo, mesmo sendo estacionário.

A figura a seguir representa um **tubo de vapor** envolvido por uma camada de **material isolante**.



Sejam  $T_2$  e  $T_1$  as temperaturas das superfícies interna e externa do isolante e  $a$  e  $b$  os respectivos raios. Se  $T_2$  for maior que  $T_1$ , o calor fluirá para fora e, no estado estacionário, o fluxo de calor ( $\Phi$ ) será o mesmo através de todas as superfícies dentro do isolante, como a do raio  $r$  representada, na figura, pela circunferência pontilhada.

Se o comprimento do cilindro for L, a área lateral deste cilindro será  $2\pi rL$  e o fluxo de calor será dado por:

$$\Phi = \frac{2\pi KL(T_2 - T_1)}{\ln(b/a)}$$

E a temperatura, na superfície de raio r:

$$T = T_2 - \frac{\ln(r/a)}{\ln(b/a)} (T_2 - T_1)$$

### Aplicações práticas:

#### 1º caso:

Uma barra de aço de 10 cm de comprimento está soldada por suas extremidades a uma barra de cobre de 20 cm de comprimento. Supondo que cada barra tenha uma seção transversal quadrada de lado 2 cm, que o lado livre da barra de aço está em contato com o vapor na temperatura de 100°C e que o lado livre do cobre, com gelo em 0°C, vamos determinar a temperatura de junção das duas barras e o fluxo total de calor, quando o sistema estiver em regime estacionário.

#### Resolução:

De acordo com a tabela, temos:

**K (aço)** = 0,12 cal/s cm°C

**K (cobre)** = 0,92 cal/s cm°C

Para que o sistema encontre-se em regime estacionário, os fluxos de calor nas duas barras têm de ser iguais. Seja T a temperatura de junção. Usando a equação de Fourier teremos:

$$\Phi (\text{aço}) = \Phi (\text{cobre})$$

$$\frac{K_a A_a \Delta\theta_c}{L_a} = \frac{K_c A_c \Delta\theta_c}{L_c}$$

$$\frac{50,2 (100 - T)}{0,1} = \frac{385(T - 0)}{0,2}$$

Resolvendo a equação obtemos, para T:

$$20,7^\circ\text{C}$$

Convém observar que, por mais que a barra de aço seja mais curta, a queda de temperatura através dela é muito maior do que através da barra de cobre, pois o cobre é muito melhor condutor que o aço.

O fluxo total de calor pode ser obtido pela substituição de T em uma das expressões acima:

$$\Phi = \frac{50,2 (100 - T)}{0,1} = 50,2 (100 - 20,7)/0,1 = 159 \text{ J/s (W)}$$

#### 2º caso:

**Obs.:** Os valores, descritos nesse caso, são hipotéticos e servem somente para ilustrar uma situação comum em refinarias.

Em uma refinaria de petróleo, o vapor de água em temperatura de 120°C é conduzido por uma canalização de raio igual a 30 cm. A canalização é envolvida por uma capa cilíndrica de cortiça com raios internos e externos, respectivamente iguais a 30 cm e 50 cm. A superfície externa está em contato com o ar em temperatura de 10°C.

$$K(\text{cortiça}) = 0,04 \text{ J/s.m.}^\circ\text{C}$$

- Qual a temperatura num raio de 40 cm?
- Qual a taxa de transmissão do calor para o exterior, supondo que a canalização tem 10 m de comprimento?

#### Resolução:

$$\text{a) } T = T_2 - \frac{\ln(r/a)}{\ln(b/a)} (T_2 - T_1)$$

$$T = 120 - \ln(0,4/0,3) / \ln(0,5/0,3) (120 - 10) = 120 - (0,287/0,510) 110 = 58,09^\circ\text{C}$$

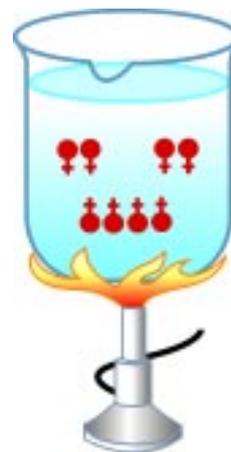
$$\text{b) } \Phi = \frac{2\pi KL(T_2 - T_1)}{\ln(b/a)}$$

$$F = 2(3,14) 0,04 (10) (120 - 10) / \ln(0,5/0,3) = 276,32 / 0,510 = 541 \text{ J/s (W)}$$

## 3.6 Convecção térmica

A convecção térmica é o processo de transmissão do calor de um local para o outro pelo **deslocamento de matéria**. Podemos citar dois exemplos: o forno de ar quente e o aquecedor de água quente. Se o material aquecido for forçado a se mover por intermédio de uma bomba, o processo é chamado **convecção forçada**; se o faz por causa de diferenças de densidade, é chamado de **convecção natural**.

A convecção ocorre no interior de fluidos (líquidos e gases) como consequência da diferença de densidades entre diferentes partes do fluido. Por exemplo, consideremos o caso ilustrado na figura, em que um recipiente contendo água é colocado sobre uma chama.



Pelo aquecimento, a parte inferior da água dilata-se e fica com densidade menor que a parte superior. Com isso, ocorre uma corrente ascendente e outra descendente. Essas correntes são chamadas de **correntes de convecção**.

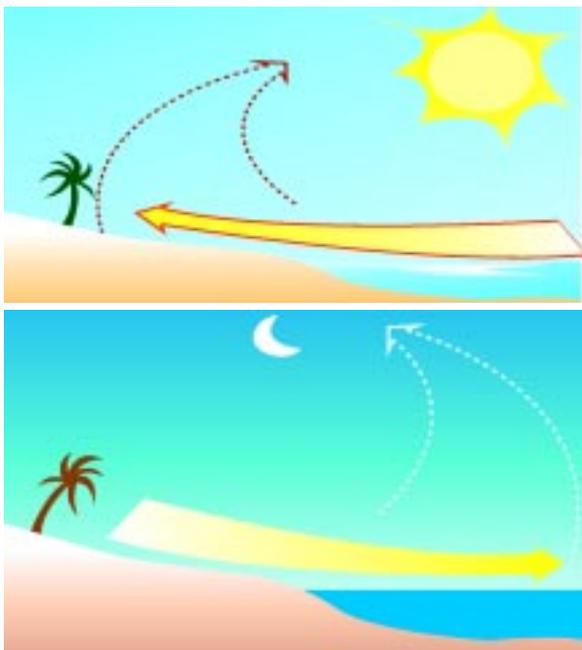
### 3.7 Relação entre densidade e calor

Quando aquecemos um corpo, em geral o seu **volume aumenta** e, conseqüentemente, a sua **densidade diminui**, já que definimos a densidade de um corpo como sendo:

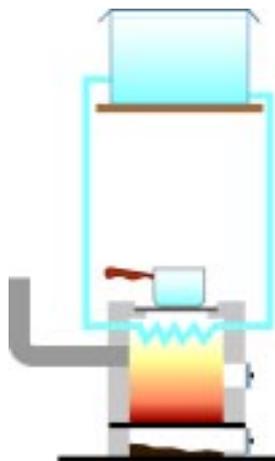
$$d = \frac{m}{V}$$

#### 3.7.1 Correntes de Convecção

As correntes de convecção desempenham um papel de grande importância em situações de nossa vida diária. A formação dos ventos, devido à variação de densidade do ar, é o resultado das correntes de convecção da atmosfera.



O aquecimento da água nos fogões à lenha, utiliza-se do fenômeno de convecção.



A água mais fria, vinda da caixa, circula através da serpentina colocada no interior do fogão. Recebendo calor, a água aquecida torna-se menos densa e volta a caixa, subindo pelo ramo da canalização.

### 3.8 Transferência de calor por convecção de uma placa

A transferência de calor por convecção depende da viscosidade do fluido, bem como, das propriedades térmicas do fluido (condutividade térmica, calor específico, densidade).

Se uma placa aquecida estiver exposta ao ar ambiente, sem uma fonte externa de movimentação de fluido, o movimento do ar será devido às diferenças de densidade nas proximidades da placa. Esta convecção é chamada de natural. A convecção forçada ocorre no caso de se ter um ventilador movimentando o ar sobre a placa.

O efeito de convecção pode ser expresso por:

$$q = h A \Delta \theta$$

sendo:

$h$  = coeficiente de transferência de calor por convecção.

$A$  = área superficial

$\Delta \theta$  = diferença de temperatura entre a placa e o fluido

A tabela a seguir ilustra os valores aproximados de coeficientes de transferência de calor por convecção ( $h$ ).

Modo	W/m <sup>2</sup> . °C	Btu/h . pé <sup>2</sup> . °F
<b>Convecção natural, DT = 30°C</b>		
Placa vertical em ar, 0,3 m de altura	4,5	0,79
Cilindro horizontal em ar, 5 cm de diâmetro	6,5	1,14
Cilindro horizontal em água, 2 cm de diâmetro	890	157
<b>Convecção forçada</b>		
Ar a 2 m/s sobre uma placa quadrada de 0,2 m de lado	12	2,1
Ar a 35 m/s sobre uma placa quadrada de 0,75 m de lado	75	13,2
Ar a 2 atm escoando num tubo de 2,5 cm de diâmetro a 10 m/s	65	11,4
Água a 0,5 kg/s escoando num tubo de 2,5 cm de diâmetro	3500	616
Escoamento cruzado de ar a 50 m/s sobre um cilindro de 5 cm de diâmetro	180	32

### 3.9 Irradiação térmica

Todos os corpos emitem ondas **eletromagnéticas**, cuja intensidade aumenta com a temperatura. Essas ondas propagam-se no vácuo e é dessa maneira que a luz e o calor são transmitidos do Sol até a Terra. Entre as ondas eletromagnéticas, as principais responsáveis pela transmissão do calor são as ondas de **infravermelho**.

Quando chegamos perto de uma fogueira, uma lâmpada incandescente ou um aquecedor elétrico, sentimos o calor emitido por essas fontes. Uma parcela desse calor pode vir por condução através do ar. Porém, essa parcela é pequena, pois o ar é mau condutor de calor. Na realidade, a maior parte do calor que recebemos dessa fontes vem por irradiação de ondas eletromagnéticas.

De modo semelhante ao que acontece com a luz, as ondas de calor podem ser refletidas por superfícies metálicas. É por esse motivo que a parte interior de uma garrafa térmica tem paredes espelhadas, para impedir a passagem de calor por irradiação.

Sendo assim, podemos definir irradiação:

*Irradiação térmica é um processo de transmissão do calor por meio de ondas eletromagnéticas, predominando entre elas, as radiações infravermelhas (ondas de calor).*

### 3.10 Lei de Stefan-Boltzmann

De um modo geral, o calor que uma pessoa recebe quando está próxima de um corpo aquecido (forno, trocadores de calor, tubulações etc.) chega até ela por três processos: condução, convecção e radiação. Quanto **maior** for a temperatura do corpo maior será a quantidade de calor **transmitida** por radiação.

Consideremos um corpo cuja superfície externa tenha uma área  $A$ , emitindo através dela uma radiação total de potência  $P$ . Podemos definir o poder emissivo ( $E$ ) desse corpo, pela potência irradiada por unidade de área.

$$E = \frac{P}{A}$$

O poder emissivo de um corpo depende da natureza e da temperatura em que se encontra. Para cada temperatura, o maior poder emissivo é o do corpo negro (emissor ideal de radiação). A lei de Stefan-Boltzmann estabelece que:

*O poder emissivo do corpo negro é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta.*

$$E = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$$

#### Vácuo

Vácuo significa ausência total de matéria, ou seja, ausência de líquidos, sólidos, gases ou plasma. O vácuo, no entanto, pode ser entendido de diversas formas, pois o vácuo absoluto, que realmente é a ausência total de matéria, é apenas teórico. Há, no entanto, a remota possibilidade de existir o vácuo absoluto em alguma galáxia distante. O nosso próprio Sistema Solar está preenchido, na maioria das vezes, por hidrogênio e outros gases. A pressão atmosférica tem o valor de 1 atm, e pressões abaixo destas já podem ser denominadas vácuo. Quando tratamos de vácuo, no entanto, geralmente as pressões são indicadas em Torricelli (Torr), e 760 Torr equivalem a 1 atm. Vácuos denominados parciais são comumente encontrados em nosso dia-a-dia, como em latas contendo alimentos, em embalagens plásticas de alimentos, entre as paredes de uma garrafa térmica, em um tubo de raios catódicos de uma televisão etc.

Existem vários tipos de bombas de vácuo na indústria e alguns tipos chegam até mesmo a ser comercializados em lojas. Dependendo do vácuo que se quer obter, podemos usar várias bombas, que vão desde uma simples aspiração de ar para nossos pulmões, por exemplo, ao esvaziar uma bexiga e criar vácuo em seu interior, até bombas como a de sorção, a roots, a turbo molecular, a bomba de difusão, a de sublimação, a iônica e a criogênica, apresentadas aqui numa ordem crescente de poder de criação de vácuo. Foram criados também medidores para termos idéia do vácuo obtido. Cada medidor apresenta uma característica própria, e sua utilização depende não apenas do vácuo a ser medido, assim como da precisão requerida. Os diversos medidores utilizados são o bourdon, o manômetro de mercúrio, o manômetro de óleo, o alfatron, o vacustat, o MacLeod, o Pirani, o termopar, o termistor, o penning, o tríodo, o Bayard-Alpert e o magnetron, todos aqui também apresentados em ordem crescente de acordo com as respectivas capacidades de medição.

A indústria alimentícia é uma das principais utilizadoras do vácuo. O vácuo permite que a água ferva a uma temperatura mais baixa do que a temperatura normal de ebulição da água, o que permite o processo de concentração de sucos de frutas e vegetais sem que a temperatura afete as qualidades destes. A criação de vácuo em embalagens plásticas e metálicas também permite um maior tempo de preservação de alimentos, já que o ar e as bactérias são retirados de lá. O mesmo processo ocorre durante a fabricação de vitaminas e antibióticos, o que evita a ocorrência de alterações químicas decorrentes de temperaturas mais altas. Os tubos a vácuo também permitiram grandes desenvolvimentos tecnológicos no início do século XX, pois permitiam um aumento na potência de sinais elétricos enviados através deles.

### 3.11 Trocadores de calor

A operação de troca térmica é efetuada em equipamentos denominados genericamente de trocadores de calor. Esta operação é bastante abrangente e vamos nos restringir à troca térmica entre dois fluidos.



Assim sendo, podemos resumir dizendo:

*Trocador de calor é o dispositivo que efetua a transferência de calor de um fluido para outro.*

A transferência de calor pode se efetuar de quatro maneiras diferentes:

- pela mistura dos fluidos;
- pelo contato entre os fluidos;
- com armazenagem intermediária;
- através de uma parede que separa os fluidos quente e frio.

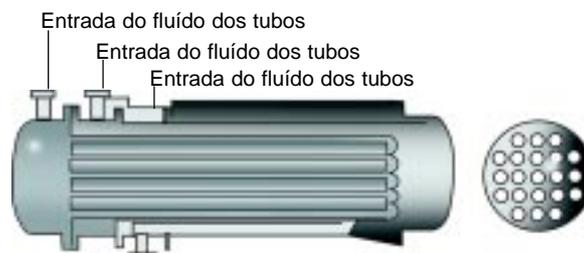
#### 3.11.1 Troca de calor pela mistura dos fluidos

Um fluido frio em um fluido quente se misturam num recipiente, atingindo uma temperatura final comum.

- Troca de calor sensível;
- Desuperaquecedores de caldeira (“desuperheater”);
- Condensadores de contato direto (“direct contact condenser”);
- Aquecedores da água de alimentação em ciclos de potência regenerativos;

#### 3.11.2 Troca Térmica por Contato entre os Fluidos

- Resfriamento da água – torres de resfriamento (“cooling tower”). O ar é aquecido e umidificado em contato com um “spray” de água fria.
- Resfriamento e desumidificação de ar – (“spray dehumidifier”). Ar quente e úmido é resfriado e desumidificado em contato com “spray” de água fria.
- Resfriamento e umidificação da ar – (“Air washer”). Ar seco e quente, como o existente em climas desérticos, é resfriado e umidificado.



#### 3.11.3 Troca térmica com armazenagem intermediária

A troca térmica com armazenagem intermediária dá-se nos regenerado: neles o calor é alternativamente fornecido e retirado das paredes e do enchimento do trocador (“Packing” ou “Filler”) pelo escoamento sucessivo dos fluidos, geralmente gases, quente e frio. Existem dois tipos básicos de regeneradores:

Estacionários e Rotativos.

#### 3.11.4 Troca térmica através de uma parede que separa os fluidos

Neste tipo de trocador, um fluido é separado do outro por uma parede, através da qual passa o calor.

Este tipo compreende basicamente os recuperadores, além dos trocadores de calor com leito fluidizado. Neste último, uma das superfícies da parede está em contato com um leito de partículas sólidas fluidizadas, como a areia por exemplo. Coeficiente de película bastante elevados são obtidos do lado do leito fluidizado. Eles podem ser classificados quanto à:

**Utilização:**

- Permutadores;
- Resfriadores / Aquecedores

- Condensadores
- Evaporadores
- Vaporizadores



#### Construção:

- Trocadores tipo tubo duplo;
- Trocadores tipo casco e tubo;
- Trocadores de calor de placas;
- Trocadores de calor com superfícies estendidas;
- Trocador de calor de placas espiraladas;
- Trocador de calor de lamelas;
- Vasos encamisados;
- Serpentinhas;
- Caixas resfriadoras;
- Resfriadores tipo trombone;
- Trocadores tipo baioneta;
- Trocador de filme descendente;
- Tubos de calor

### 3.12 Classificação dos Recuperadores quanto à Compaticidade

Define-se a compaticidade de trocador de calor pela relação entre sua área de troca de calor e o volume ocupado. Costuma-se definir arbitrariamente que um trocador é compacto quando esta relação for maior do que  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

#### Classificação dos Recuperadores quanto ao Arranjo do Escoamento dos Fluidos:

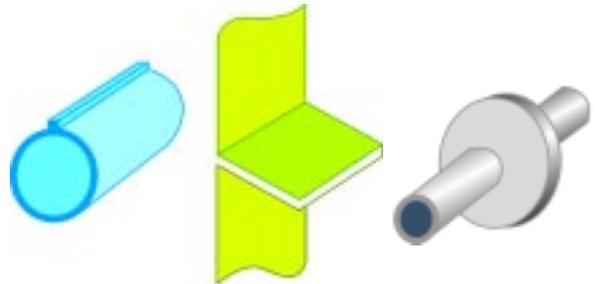
- Correntes Paralelas
- Contracorrente
- Correntes Cruzadas

Assim, pode-se dizer que a aplicabilidade dos trocadores de calor é bastante diversificada e variada, tendo utilização em amplas faixas de capacidade, desde um pequeno transistor até refinarias, caldeiras, reatores nucleares etc.

### 3.13 Aletas

Em diversas situações de engenharia, usamos superfícies estendidas para **aumentar** a eficiência da **troca de calor**, quer na coleta de energia (ex. nos coletores solares), quer na sua dissipação (como nos motores). Elas são utilizadas quando o coeficiente de troca de calor por convecção é baixo.

As superfícies estendidas são comumente encontradas na forma de aletas presas à superfície da estrutura com o objetivo de aumentar a interação entre a dita estrutura e o fluido que a envolve. Elas podem ser de vários tipos, como mostrado nas figuras, variando quanto ao perfil, ao tipo de seção reta, etc.

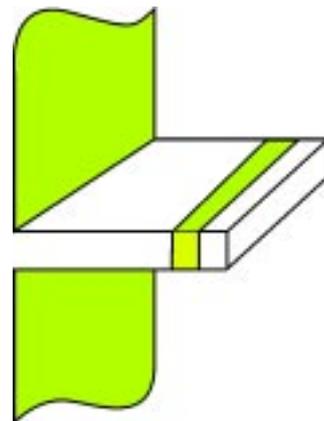


O princípio do uso de aletas é simples. Baseando-nos na lei de resfriamento de Newton, podemos escrever que:

$$q = h A_s \Delta T_s$$

, em que onde  $h$  é o coeficiente de troca de calor por convecção,  $A_s$  é a área superficial,  $T_s$  é a temperatura superficial e  $T_\infty$  é a temperatura do fluido ambiente. Para aumentar a dissipação de calor, poderemos aumentar  $h$ ,  $A_s$  e a diferença de temperaturas. Entretanto, a maneira mais fácil de se conseguir tal aumento é pelo aumento da área superficial.

Embora existam vários tipos de aletas, vamos analisar, uma aleta de seção reta constante,  $A$ , com perímetro  $P$ , como mostrado na figura abaixo.



Como sempre fazemos, o primeiro passo em qualquer análise térmica é entendermos quais os componentes de energia envolvidos no processo térmico. Para isto, vamos escrever a equação da 1.<sup>a</sup> Lei da Termodinâmica na sua forma mais geral:

$$\text{Energia Entrando} + \text{Energia sendo gerada} = \text{Energia Saindo} + \text{Energia sendo acumulada}$$

Supondo que a base da aleta esteja numa temperatura superior à do meio ambiente, numa seção de comprimento elementar  $dx$  localizada no meio da aleta, teremos energia entrando por condução dentro do material deste elemento e energia saindo do mesmo também por condução. Na grande maioria das aletas encontradas, não há geração interna de calor, (isto é, não há transformação de uma forma de energia em outra).

### 3.14 Ponto de fulgor

Fornece uma indicação da possível presença de compostos voláteis e inflamáveis no óleo. É definido como a menor temperatura, sob determinadas condições de teste, na qual o produto vaporiza-se em quantidade suficiente para formar com o ar uma mistura capaz de inflamar momentaneamente quando se aplica uma chama sobre a mesma.

Veja a classificação dos combustíveis, de acordo com o ponto de fulgor:

#### Líquido Inflamável

Todo aquele que possua ponto de fulgor inferior a 70°C (setenta graus centígrados) e pressão de vapor que não exceda 2,8 Kg/cm<sup>2</sup> absoluta a 37,7°C.

#### Líquido Combustível

Todo aquele que possua ponto de fulgor igual ou superior a 70°C (setenta graus centígrados) e inferior a 93,3°C (noventa e três graus e três décimos de graus centígrados).

#### Líquido Combustível De Classe I

Quando o líquido inflamável tem o ponto de fulgor abaixo de 37,7°C, ele se classifica com o líquido combustível de classe I.

#### Líquido Combustível De Classe II

Quando o líquido inflamável tem o ponto de fulgor superior a 37,7°C, ele se classifica como líquido combustível de classe II.

### 3.15 Ponto de Fluidez

É definido como a menor temperatura na qual o óleo lubrificante flui quando sujeito a resfriamento sob condições determinadas de teste. É principalmente controlado para avaliar o desempenho nas condições de uso em que o óleo é submetido a baixas temperaturas.

### 3.16 Incrustações

Existe uma especial atenção, em toda indústria que dispõe de caldeiras de média e alta pressão, quanto à presença de sais dissolvidos na água, isto porque eles afetam indesejavelmente as caldeiras, provocando incrustações nas paredes internas dos tubos de circulação de água.

As incrustações são causadas pelo calor aplicado (**queima de combustível**), que pode decompor certas substâncias dissolvidas na água formando produtos insolúveis e aderentes ou diminuir a solubilidade de outras substâncias, provocando sua cristalização sobre a superfície do metal. A **condutibilidade térmica** dessas incrustações é geralmente muito baixa e estudos comprovam que, em alguns casos, uma incrustação com apenas 0,1 mm de espessura, poderia causar um perigoso aumento de temperatura do metal dos tubos.

### 3.17 Desaeração d'água

A Desaeração, consiste no emprego de equipamentos, denominados “desaeradores”, para fazer a remoção do oxigênio livre e os gases contidos na água. A remoção do oxigênio e dos gases dissolvidos na água de alimentação de caldeiras em refinarias, é feita de duas formas: por desaeração química e desaeração mecânica.

Vamos tratar da desaeração mecânica que envolve o processo **convecção térmica**.

O princípio da desaeração mecânica nos desaeradores, consiste do seguinte:

A água a ser desaerada, ao entrar no desaerador é distribuída em cima de Bandejas pelas válvulas borrifadoras em forma de gotículas, recebe o vapor em contra corrente, que entra pela parte inferior do desaerador, distribuído pelo difusor. Este vapor em contra corrente com a água e em contato direto, aquece a água e os gases nela contidos. Devido ao equipamento e ao arraste provocado pela passagem do vapor, os gases que são mais voláteis tendem a subir, por convecção, para a parte superior do desaerador, escapando para a atmosfera. O vapor usado na desaeração, condensa e vai ao vaso de água desaerada.

## Exercícios

- 01.** O verão de 2000 foi particularmente quente nos Estados Unidos da América. A diferença entre a máxima temperatura do verão e a mínima no inverno anterior foi de  $60^{\circ}\text{C}$ . Qual o valor dessa diferença na escala Fahrenheit?
- $108^{\circ}\text{F}$ .
  - $60^{\circ}\text{F}$ .
  - $140^{\circ}\text{F}$ .
  - $33^{\circ}\text{F}$ .
  - $92^{\circ}\text{F}$ .
- 02.** Sêmen bovino para inseminação artificial é conservado em nitrogênio líquido que, à pressão normal tem temperatura de 78 K. Calcule essa temperatura em:
- graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  - graus Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).
- 03.** A temperatura da cidade de Curitiba, em um certo dia, sofreu uma variação de  $15^{\circ}\text{C}$ . Na escala Fahrenheit, essa variação corresponde a:
- 59.
  - 45.
  - 27.
  - 18.
  - 9.
- 04.** Um operador verifica que uma certa temperatura obtida na escala Kelvin é igual ao correspondente valor na escala Fahrenheit acrescido de 145 unidades. Esta temperatura na escala Celsius é:
- $55^{\circ}\text{C}$ .
  - $60^{\circ}\text{C}$ .
  - $100^{\circ}\text{C}$ .
  - $120^{\circ}\text{C}$ .
  - $248^{\circ}\text{C}$ .
- 05.** Um termômetro está graduado numa escala X tal que  $60^{\circ}\text{X}$  correspondem a  $100^{\circ}\text{C}$  e  $-40^{\circ}\text{X}$  correspondem a  $0^{\circ}\text{C}$ . Uma temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  corresponde a que temperatura lida no termômetro de escala X?
- $28^{\circ}\text{X}$ .
  - $25^{\circ}\text{X}$ .
  - $18^{\circ}\text{X}$ .
  - $20^{\circ}\text{X}$ .
  - $30^{\circ}\text{X}$ .
- 06.** Em dois termômetros distintos, a escala termométrica utilizada é a Celsius, porém um deles está com defeito. Enquanto o termômetro A assinala  $74^{\circ}\text{C}$ , o termômetro B assinala  $70^{\circ}\text{C}$  e quando o termômetro A assinala  $22^{\circ}\text{C}$ , o B assinala  $20^{\circ}\text{C}$ . Apesar disto, ambos possuem uma temperatura em que o valor medido é idêntico. Este valor corresponde, na escala Kelvin, a:
- 293 K.
  - 273 K.
  - 253 K.
  - 243 K.
  - 223 K.
- 07.** Com o objetivo de recalibrar um velho termômetro com a escala totalmente apagada, um operador o coloca em equilíbrio térmico, primeiro, com gelo fundente e, depois, com água em ebulição sob pressão atmosférica normal. Em cada caso, ele anota a altura atingida pela coluna de mercúrio: 10,0cm e 30,0cm, respectivamente, medida sempre a partir do centro do bulbo. A seguir, ele espera que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o laboratório e verifica que, nesta situação, a altura da coluna de mercúrio é de 18,0cm. Qual a temperatura do laboratório na escala Celsius deste termômetro?
- $20^{\circ}\text{C}$ .
  - $30^{\circ}\text{C}$ .
  - $40^{\circ}\text{C}$ .
  - $50^{\circ}\text{C}$ .
  - $60^{\circ}\text{C}$ .
- 08.** Relativamente à temperatura  $-300^{\circ}\text{C}$  (trezentos graus Celsius negativos), pode-se afirmar que a mesma é:
- uma temperatura inatingível em quaisquer condições e em qualquer ponto do Universo.
  - a temperatura de vaporização do hidrogênio sob pressão normal, pois, abaixo dela, este elemento encontra-se no estado líquido.
  - a temperatura mais baixa conseguida até hoje em laboratório.
  - a temperatura média de inverno nas regiões mais frias da Terra.
  - a menor temperatura que um corpo pode atingir quando o mesmo está sujeito a uma pressão de 273 atm.

**09.** Se um termômetro indica  $99^{\circ}\text{C}$  no  $2^{\circ}$  ponto fixo e  $1^{\circ}\text{C}$  no  $1^{\circ}$  ponto fixo, pode-se afirmar que a única indicação correta será:

- a)  $50^{\circ}\text{C}$ .
- b)  $0^{\circ}\text{C}$ .
- c)  $20^{\circ}\text{C}$ .
- d) nenhuma indicação.
- e)  $15^{\circ}\text{C}$ .

**10.** Com respeito à temperatura, assinale a afirmativa mais correta:

- a) A escala Celsius é utilizada em todos os países do mundo e é uma escala absoluta. A escala Kelvin só é usada em alguns países e, por isso, é relativa.
- b) A Kelvin é uma escala absoluta, pois trata do estado de agitação das moléculas, e é usada em quase todos os países do mundo.
- c) A escala Celsius é uma escala relativa e representa, realmente, a agitação das moléculas.
- d) As escalas Celsius e Kelvin referem-se ao mesmo tipo de medida e só diferem de um valor constante e igual a 273.
- e) A escala Celsius é relativa ao ponto de fusão do gelo e de vapor da água e o intervalo é dividido em noventa e nove partes iguais.

**11.** Uma escala termométrica X é construída de modo que a temperatura de  $0^{\circ}\text{X}$  corresponde a  $-4^{\circ}\text{F}$ , e a temperatura de  $100^{\circ}\text{X}$  corresponde a  $68^{\circ}\text{F}$ . Nesta escala X, a temperatura de fusão do gelo vale:

- a)  $10^{\circ}\text{X}$ .
- b)  $20^{\circ}\text{X}$ .
- c)  $30^{\circ}\text{X}$ .
- d)  $40^{\circ}\text{X}$ .
- e)  $50^{\circ}\text{X}$ .

**12.** Pensando no movimento das partículas que compõem dois corpos A e B, o que significa dizer que A é mais quente do B?

**13.** Uma roda d'água converte em eletricidade, com uma eficiência de 30%, a energia de 200 litros de água por segundo, caindo de uma altura de 5,0 metros. A eletricidade gerada é utilizada para esquentar 50 litros de água de  $15^{\circ}\text{C}$  a  $65^{\circ}\text{C}$ . O tempo aproximado que leva a água para esquentar até a temperatura desejada é:

- a) 15 minutos.
- b) meia hora.
- c) uma hora.
- d) uma hora e meia.
- e) duas horas.

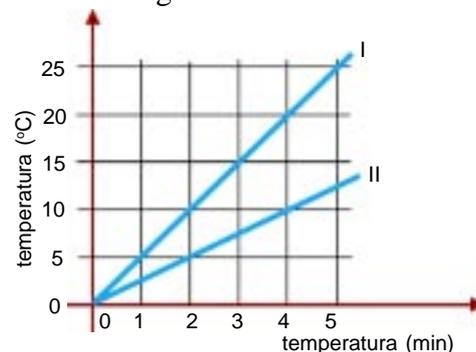
**14.** Massas iguais de cinco líquidos distintos, cujos calores específicos estão dados na tabela adiante, encontram-se armazenadas, separadamente e à mesma temperatura, dentro de cinco recipientes com bom isolamento e capacidade térmica desprezível. Se cada líquido receber a mesma quantidade de calor, suficiente apenas para aquecê-lo, mas sem alcançar seu ponto de ebulição, aquele que apresentará temperatura mais alta, após o aquecimento, será:

- a) a água.
- b) o petróleo.
- c) a glicerina.
- d) o leite.
- e) o mercúrio.

Tabela	
líquido	calor específico $\left(\frac{\text{J}}{\text{g}^{\circ}\text{C}}\right)$
água	4,19
petróleo	2,09
glicerina	2,43
leite	3,93
mercúrio	0,14

**15.** Massas iguais de água e óleo combustível foram aquecidas num calorímetro, separadamente, por meio de uma resistência elétrica que forneceu energia térmica com a mesma potência constante, ou seja, em intervalos de tempo iguais, cada uma das massas recebeu a mesma quantidade de calor. Os gráficos na figura adiante representam a temperatura desses líquidos no calorímetro em função do tempo, a partir do instante em que iniciou o aquecimento.

- a) Qual das retas, I ou II, é a da água, sabendo-se que seu calor específico é maior que o do óleo? Justifique sua resposta.
- b) Determine a razão entre os calores específicos da água e do óleo, usando os dados do gráfico.



**16.** Calor de combustão é a quantidade de calor liberada na queima de uma unidade de massa do combustível. O calor de combustão do gás de cozinha (GLP) é  $6000\text{kcal/kg}$ . Aproximadamente quantos litros de água, em temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ , podem ser aquecidos até a temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  com um bujão de gás de  $13\text{kg}$ ? Adote: calor específico da água:  $1,0\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ .

Despreze perdas de calor:

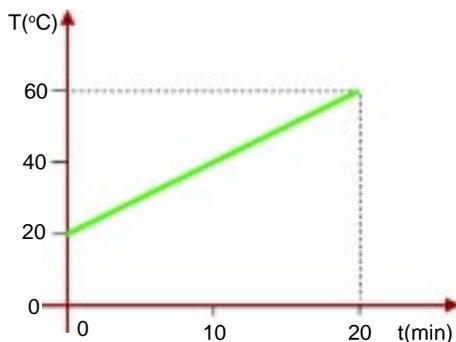
- 1 litro.
- 10 litros.
- 100 litros.
- 1000 litros.
- 6000 litros.

**17.** Na cozinha do refeitório de uma refinaria, há dois caldeirões com água, na temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  e outro na de  $80^{\circ}\text{C}$ . Quantos litros se deve pegar de cada um, de modo a resultarem, após a mistura, 10 litros de água a  $26^{\circ}\text{C}$ ?

**18.** Quando dois corpos de tamanhos diferentes estão em contato e em equilíbrio térmico, e ambos isolados do meio ambiente, pode-se dizer que:

- o corpo maior é o mais quente.
- o corpo menor é o mais quente.
- não há troca de calor entre os corpos.
- o corpo maior cede calor para o corpo menor.
- o corpo menor cede calor para o corpo maior.

**19.** O gráfico a seguir representa a temperatura em função do tempo para 1,0kg de um líquido não volátil, inicialmente a  $20^{\circ}\text{C}$ . A taxa de aquecimento foi constante e igual a  $4600\text{J}/\text{min}$ . Qual o calor específico desse líquido, em unidades de  $10^2\text{J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$ ?



**20.** Você vai acampar por três dias e leva bujõeszinhos de gás de 2kg; o calor de combustão do GLP (gás liquefeito de petróleo) é  $600\text{ cal/g}$ . Suponha que não haja perdas. Você utilizará o gás para aquecer 10L de água, desde  $16^{\circ}\text{C}$  até  $100^{\circ}\text{C}$ , por dia. O número de bujões necessários será:

Dados: densidade da água =  $1\text{ kg/L}$

- 2.
- 1.
- 5.
- 4.
- 3.

**21.** Uma estufa de  $8 \times 10^4\text{cm}^3$  de volume está cheia com um gás ideal, a uma temperatura de  $127^{\circ}\text{C}$ . Qual o inteiro mais próximo que representa a capacidade calorífica do gás, em  $\text{J/K}$ , assumindo que a pressão do gás é  $1 \times 10^5\text{N/m}^2$ ?

**22.** Dois corpos A e B, inicialmente nas temperaturas  $T_a = 90^{\circ}\text{C}$  e  $T_b = 20^{\circ}\text{C}$ , são postos em contacto e isolados termicamente do meio ambiente. Eles atingem o equilíbrio térmico na temperatura de  $45^{\circ}\text{C}$ . Nestas condições, podemos afirmar que o corpo A:

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

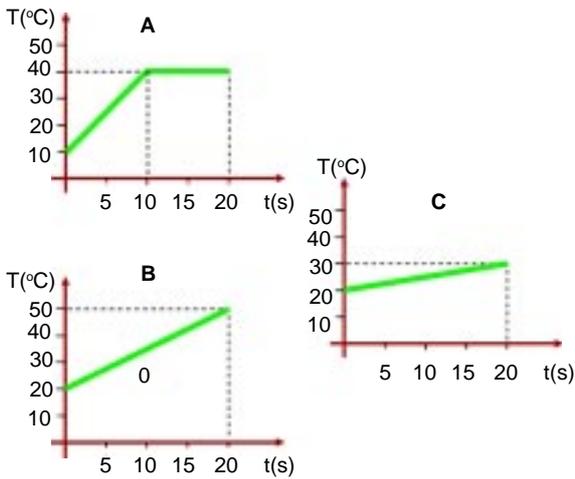
**23.** Uma certa quantidade de água a temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  é mantida num recipiente de vidro. Inicia-se então o aquecimento da água até a temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ . Desprezando-se a dilatação do recipiente, o nível da água em seu interior durante o aquecimento:

- mantém-se constante.
- aumenta somente.
- diminui somente.
- inicialmente aumenta e depois diminui.
- inicialmente diminui e depois aumenta.

**24.** O carvão, ao queimar, libera  $6.000\text{ cal}$  por grama. Queimando  $70\text{ g}$  desse carvão, 20% do calor liberado é usado para aquecer de  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $8\text{ kg}$  de um líquido. Não havendo mudança do estado de agregação, podemos afirmar que o calor específico desse líquido é:

- $0,8\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .
- $0,7\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .
- $0,6\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .
- $0,4\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .
- $0,2\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

**25.** Três sistemas físicos, A, B e C, recebem, cada um, calor de um aquecedor, em valores iguais por unidade de tempo, a saber,  $10\text{ cal/s}$ . A seguir, são vistos os gráficos de suas temperaturas em função do tempo, sendo  $t = 0\text{ s}$  o instante em que tem início a transferência de calor.



Sobre tais sistemas, é **incorreto** afirmar que:

- O sistema B tem menor capacidade térmica que o sistema C.
- Em  $t = 0$ , A, B e C estão em equilíbrio térmico.
- De  $t = 10$  s até  $t = 20$  s, cada aquecedor forneceu 100 cal.
- De  $t = 0$  até  $t = 10$  s, a capacidade térmica do sistema A é  $4 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ .
- A variação de temperatura sofrida por C entre  $t = 0$  s e  $t = 20$  s foi de  $+10$  K.

**26.** Uma tubulação de cobre e uma de alumínio, ambas de mesma massa, recebem a mesma quantidade de calor. Observa-se que o aumento de temperatura da tubulação de alumínio é menor que o da tubulação de cobre.

Isso acontece porque o alumínio tem

- calor específico maior que o do cobre.
- calor específico menor que o do cobre.
- condutividade térmica maior que a do cobre.
- condutividade térmica menor que a do cobre.

**27.** Aquece-se certa quantidade de água. A temperatura em que irá ferver depende da:

- temperatura inicial da água.
- massa da água.
- pressão ambiente.
- rapidez com que o calor é fornecido.
- quantidade total do calor fornecido.

**28.** Colocam-se 900 g de gelo na temperatura de  $0^\circ\text{C}$ , no interior de um forno de microondas de 1200W para ser transformado em água também a  $0^\circ\text{C}$ . Admitindo-se que toda a energia fornecida pelo forno será absorvida pelo gelo, devemos programá-lo para funcionar durante:

- 3 min.
- 4 min.
- 6 min.
- 12 min.
- 0,5 min.

**29.** O ar é capaz de reter uma certa concentração de vapor de água até atingir uma densidade de saturação. Quando a concentração de vapor de água atinge essa densidade de saturação, ocorre uma condensação, ou seja, a água muda do estado gasoso (vapor) para o estado líquido. Esta densidade de saturação depende da temperatura como mostra a tabela a seguir. A ‘umidade relativa’ (em %) é definida como ‘a razão entre a densidade de vapor de água existente no ambiente e a densidade de saturação’.

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Densidade de saturação ( $\text{g}/\text{m}^3$ )
10	11
12	12
14	14
16	16
18	18
20	20
22	22
24	24
26	26
28	28
30	31
32	34
34	36
36	41

- Em um certo dia frio ( $12^\circ\text{C}$ ), a umidade relativa é de 75%. Qual será a densidade relativa dentro de um quarto aquecido a  $24^\circ\text{C}$ .
- Em um certo dia quente ( $34^\circ\text{C}$ ), a umidade relativa é de 50%. Abaixo de qual temperatura, um copo de cerveja gelada passa a condensar o vapor de água (ficar “suado”)?

**30.** Quantas calorias são necessárias para vaporizar 1,00 litro de água, se a sua temperatura é, inicialmente, igual a  $10,0^\circ\text{C}$ ?

Dados:

- calor específico da água:  $1,00 \text{ cal}/\text{g}^\circ\text{C}$ ;
  - densidade da água:  $1,00 \text{ g}/\text{cm}^3$ ;
  - calor latente de vaporização da água:  $540 \text{ cal}/\text{g}$ .
- $5,40 \times 10^4 \text{ cal}$ .
  - $6,30 \times 10^4 \text{ cal}$ .
  - $9,54 \times 10^4 \text{ cal}$ .
  - $5,40 \times 10^5 \text{ cal}$ .
  - $6,30 \times 10^5 \text{ cal}$ .

**31.** Qual o valor (em unidades de  $10^2$  calorias) do calor liberado, quando 10 g de vapor d'água na temperatura de  $100^\circ\text{C}$  condensam para formar água líquida na temperatura de  $10^\circ\text{C}$ ?

Dados:

- calor latente de vaporização da água: 540 cal/g
- calor específico da água: 10 cal/g $^\circ\text{C}$

**32.** Quando um corpo recebe calor:

- a) sua temperatura necessariamente se eleva.
- b) sua capacidade térmica diminui.
- c) o calor específico da substância que o constitui aumenta.
- d) pode eventualmente mudar seu estado de agregação.
- e) seu volume obrigatoriamente aumenta.

**33.** Marque a opção que apresenta a afirmativa **falsa**:

- a) uma substância não existe na fase líquida quando submetida a pressões abaixo daquela de seu ponto triplo.
- b) a sublimação de uma substância é possível se esta estiver submetida a pressões mais baixas que a do seu ponto triplo.
- c) uma substância só pode existir na fase líquida se a temperatura a que estiver submetida for mais elevada que sua temperatura crítica.
- d) uma substância não sofre condensação em temperaturas mais elevadas que sua temperatura crítica.
- e) na Lua, um bloco de gelo pode passar diretamente para a fase gasosa.

**34.** Num calorímetro, de capacidade térmica desprezível, que contém 60 g de gelo na temperatura de  $0^\circ\text{C}$ , injeta-se vapor d'água a ( $100^\circ\text{C}$ ), ambos sob pressão normal.

Quando se estabelece o equilíbrio térmico, há apenas 45 g de água no calorímetro. O calor de fusão do gelo é 80 cal/g, o calor de condensação do vapor d'água é 540 cal/g e o calor específico da água é 1,0 cal/g $^\circ\text{C}$ .

Calcule a massa do vapor d'água injetado.

**35.** Quando água pura é cuidadosamente resfriada, nas condições normais de pressão, pode permanecer no estado líquido até temperaturas inferiores a  $0^\circ\text{C}$ , num estado instável de "superfusão". Se o sistema é perturbado, por exemplo, por vibração, parte da água se trans-

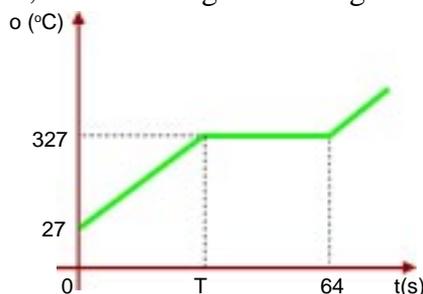
forma em gelo e o sistema se aquece até se estabilizar em  $0^\circ\text{C}$ . O calor latente de fusão da água é  $L = 80$  cal/g.

Considerando-se um recipiente termicamente isolado e de capacidade térmica desprezível, contendo um litro de água a  $-5,6^\circ\text{C}$ , à pressão normal, determine:

- a) A quantidade, em g, de gelo formada, quando o sistema é perturbado e atinge uma situação de equilíbrio em temperatura correspondente a  $0^\circ\text{C}$ .
- b) A temperatura final de equilíbrio do sistema e a quantidade de gelo existente (considerando-se o sistema inicial no estado de "superfusão" em  $-5,6^\circ\text{C}$ ), ao colocar-se, no recipiente, um bloco metálico de capacidade térmica  $C = 400$  cal/ $^\circ\text{C}$ , na temperatura de  $91^\circ\text{C}$ .

**36.** Um técnico, utilizando uma fonte térmica de potência eficaz igual a 100W, realiza uma experiência para determinar a quantidade de energia necessária para fundir completamente 100 g de chumbo, a partir da temperatura de  $27^\circ\text{C}$ .

Ele anota os dados da variação da temperatura em função do tempo, ao longo da experiência, e constrói o gráfico a seguir.



Se o chumbo tem calor específico igual a 0,13 J/g $^\circ\text{C}$  e calor latente de fusão igual a 25 J/g, então o instante  $T$  do gráfico, em segundos, e a energia total consumida, em joules, correspondem respectivamente, a:

- a) 25 e 2.500.
- b) 39 e 3.900.
- c) 25 e 5.200.
- d) 39 e 6.400.

**37.** Um centímetro cúbico de água passa a ocupar  $1671$  cm $^3$  quando evaporado à pressão de 1,0 atm. O calor de vaporização a essa pressão é de 539 cal/g. O valor que mais se aproxima do aumento de energia da água é

- a) 498 cal.
- b) 2082 cal.
- c) 498 J.
- d) 2082 J.
- e) 2424 J.

**38.** Nas panelas de pressão utilizadas para cozinhar alimentos:

- I. a temperatura dos alimentos aumenta enquanto a pressão interna se mantém constante;
- II. a temperatura dos alimentos se mantém constante enquanto a pressão interna aumenta;
- III. a temperatura e a pressão do vapor interno aumentam até o vapor ser expelido pela válvula de segurança;
- IV. a válvula de segurança abre-se devido à pressão exercida contra as paredes pelos alimentos sólidos;
- V. a temperatura de ebulição da água é maior pois a pressão interna é maior.

A(s) afirmativa(s) correta(s) é(são):

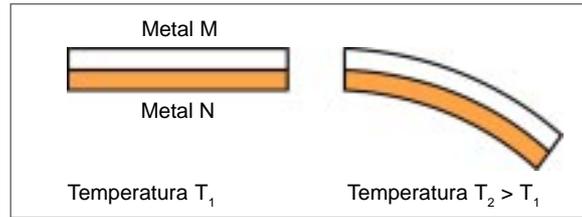
- a) II e III.
- b) III e V.
- c) III.
- d) II e V.
- e) I e IV.

**39.** Durante o dia, o ar próximo à areia da praia aquece-se mais rapidamente do que o ar próximo à superfície do mar. Desta forma, o ar aquecido do continente sobe e o ar mais frio do mar desloca-se para o continente, formando a brisa marítima. À noite, o ar sobre o oceano permanece aquecido mais tempo do que o ar sobre o continente, e o processo se inverte. Ocorre então a brisa terrestre.

Dentre as alternativas a seguir, indique a que explica, corretamente, o fenômeno apresentado.

- a) É um exemplo de convecção térmica e ocorre pelo fato de a água ter um calor específico maior do que a areia. Desta forma, a temperatura da areia se altera mais rapidamente.
- b) É um exemplo de condução térmica e ocorre pelo fato de a areia e a água serem bons condutores térmicos. Desta forma, o calor se dissipa rapidamente.
- c) É um exemplo de irradiação térmica e ocorre pelo fato de a areia e a água serem bons condutores térmicos. Desta forma, o calor se dissipa rapidamente.
- d) É um exemplo de convecção térmica e ocorre pelo fato de a água ter um calor específico menor do que a areia. Desta forma, a temperatura da areia se altera mais rapidamente.
- e) É um processo de estabelecimento do equilíbrio térmico e ocorre pelo fato de a água ter uma capacidade térmica desprezível.

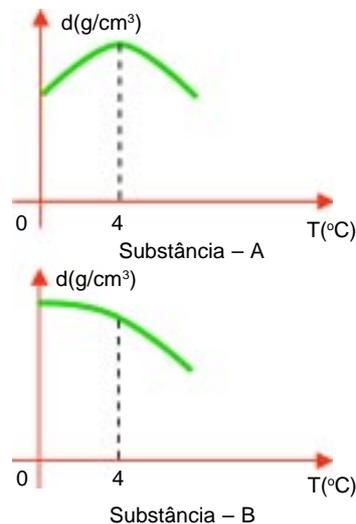
**40.** Duas lâminas de metais diferentes, M e N, são unidas rigidamente. Ao se aquecer o conjunto até uma certa temperatura, esse se deforma, conforme mostra a figura a seguir.



Com base na deformação observada, pode-se concluir que:

- a) a capacidade térmica do metal M é maior do que a capacidade térmica do metal N.
- b) a condutividade térmica do metal M é maior do que a condutividade térmica do metal N.
- c) a quantidade de calor absorvida pelo metal M é maior do que a quantidade de calor absorvida pelo metal N.
- d) o calor específico do metal M é maior do que o calor específico do metal N.
- e) o coeficiente de dilatação linear do metal M é maior do que o coeficiente de dilatação linear do metal N.

**41.** Duas substâncias A e B têm seus gráficos de densidade  $\times$  temperatura representados a seguir.



As substâncias são colocadas a  $4^\circ\text{C}$  em garrafas de vidro distintas, ocupando todo o volume das garrafas. Considere o coeficiente de dilatação do vidro das garrafas muito menor que o das substâncias A e B. As garrafas são, então, fechadas e colocadas em um refrigerador a  $0^\circ\text{C}$ . Após um longo período de tempo, pode-se dizer que

- a) a garrafa de A se quebra e a de B não.
- b) a garrafa de B se quebra e a de A não.

- c) as garrafas de A e B se quebram.
- d) as garrafas de A e B não se quebram.
- e) os dados fornecidos não são suficientes para se chegar a uma conclusão.

**42.** Indique a alternativa que associa corretamente o tipo predominante de transferência de calor que ocorre nos fenômenos, na seguinte seqüência:

- Aquecimento de uma barra de ferro quando sua extremidade é colocada numa chama acesa.
  - Aquecimento do corpo humano quando exposto ao sol.
  - Vento que sopra da terra para o mar durante a noite.
- a) convecção – condução – radiação.
  - b) convecção – radiação – condução.
  - c) condução – convecção – radiação.
  - d) condução – radiação – convecção.

**43.** Sabe-se que o calor específico da água é maior que o calor específico da terra e de seus constituintes (rocha, areia, etc.). Em face disso, pode-se afirmar que, nas regiões limítrofes entre a terra e o mar:

- a) durante o dia, há vento soprando do mar para a terra e, à noite, o vento sopra no sentido oposto.
- b) o vento sempre sopra no sentido terra-mar.
- c) durante o dia, o vento sopra da terra para o mar e, à noite o vento sopra do mar para a terra.
- d) o vento sempre sopra do mar para a terra.
- e) não há vento algum entre a terra e o mar.

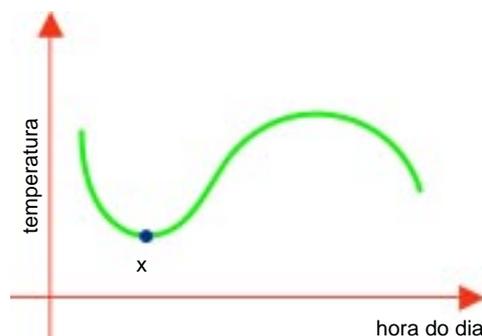
**44.** Uma estufa para flores, construída em alvenaria, com cobertura de vidro, mantém a temperatura interior bem mais elevada do que a exterior. Das seguintes afirmações:

- I. O calor entra por condução e sai muito pouco por convecção.
- II. O calor entra por radiação e sai muito pouco por convecção.
- III. O calor entra por radiação e sai muito pouco por condução.
- IV. O calor entra por condução e convecção e só pode sair por radiação.

A(s) alternativa(s) que pode(m) justificar a elevada temperatura do interior da estufa é(são):

- a) I, III.
- b) I, II.
- c) IV.
- d) II, III.
- e) II.

**45.** O gráfico a seguir representa a temperatura característica de um local em função da hora e do dia.



O ponto assinalado no gráfico pela letra X corresponde aproximadamente ao seguinte instante:

- a) momentos que precedem o nascer do sol.
- b) logo após o meio-dia.
- c) logo após o pôr-do-sol.
- d) momentos próximos à meia-noite.
- e) entre o pôr-do-sol e a meia-noite.

**46.** Tem-se uma barra cilíndrica de comprimento  $L = 50$  cm e base com área  $S = 10$  cm<sup>2</sup>. Uma de suas bases (A) é mantida em temperatura constante  $T_a = 100^\circ\text{C}$  e a outra (B) é mantida em contacto com uma mistura de água e gelo em temperatura  $T_b = 0^\circ\text{C}$ . A quantidade  $Q$  de calor que passa de A para B em função do tempo  $t$  é dada pela expressão:

$$Q = 0,5 (T_a - T_b) \cdot S \cdot t / L$$

onde  $t$  é medido em segundos. Nessas condições calcule:

- a) a quantidade de calor que passa em 1 segundo.
- b) quantos gramas de gelo derretem-se em 40 s.

**47.** Para se medir a quantidade de calor trocada entre dois corpos, em temperaturas diferentes, usa-se, dentre outras, a unidade joule (símbolo: J) ou a unidade caloria (símbolo: cal), que se relacionam por:  $\text{cal} = 4,18$  J (aproximadamente). Então, a quantidade de calor:  $Q = 1045$  J, corresponde, em kcal (quilocaloria), a:

- a) 418.
- b) 250.
- c) 41,8.
- d) 2,5.
- e) 0,25.

**48.** A figura I mostra uma barra metálica de secção transversal quadrada. Suponha que 10 cal fluam em regime estacionário através da barra, de um extremo para outro, em 2 minutos. Em seguida, a barra é cortada ao meio no sentido transversal e os dois pedaços são soldados como representa a figura II. O tempo necessário para que 10 cal fluam entre os extremos da barra assim formada é:



Figura I



Figura II

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

**49.** O chamado “efeito estufa”, devido ao excesso de gás carbônico presente na atmosfera, provocado pelos poluentes, faz aumentar a temperatura porque:

- a) a atmosfera é transparente à energia radiante do Sol e opaca às ondas de calor
- b) a atmosfera é opaca à energia radiante do Sol e transparente para ondas de calor.
- c) a atmosfera é transparente tanto para a energia radiante do Sol como para as ondas de calor.
- d) a atmosfera funciona como um meio refletor para a energia radiante e como meio absorvente para a energia térmica.

**50.** As garrafas térmicas são frascos de paredes duplas, entre as quais é feito o vácuo. As faces destas paredes que estão frente a frente são espelhadas.

O vácuo entre as duas paredes tem a função de evitar:

- a) somente a condução.
- b) somente a irradiação.
- c) a condução e a convecção.
- d) somente a convecção.
- e) a condução e a irradiação.

**51.** Assinale a opção **incorreta**:

- a) A transferência de calor por condução só ocorre nos sólidos.
- b) A energia gerada no Sol alcança a Terra por radiação.
- c) Na transferência de calor por convecção, ocorre transporte de matéria.
- d) A transferência de calor por convecção ocorre nos gases e líquidos.
- e) Uma barra de alumínio conduz melhor o calor do que uma barra de madeira.

**52.** Um cozinheiro quer comprar uma panela que esquite rápida e uniformemente.

Ele deve procurar uma panela feita de um material que tenha

- a) alto calor específico e alta condutividade térmica.
- b) alto calor específico e baixa condutividade térmica.
- c) baixo calor específico e alta condutividade térmica.
- d) baixo calor específico e baixa condutividade térmica.

**53.** As refinarias usam grandes fornos, que possuem chaminés muito altas. A função PRINCIPAL dessas chaminés é:

- a) Transportar o ar das grandes alturas para o interior do forno por condutividade térmica.
- b) Lançar os gases residuais a grandes alturas por irradiação.
- c) Irradiar o calor a grandes alturas.
- d) Proporcionar maior renovação de ar na fornalha por convecção.
- e) Evitar a poluição da fumaça e fuligem.

**54.** Para que dois corpos possam trocar calor é necessário que:

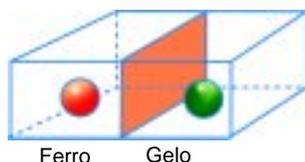
- I. estejam a diferentes temperaturas.
- II. tenham massas diferentes.
- III. exista um meio condutor de calor entre eles.

Quais são as afirmações corretas?

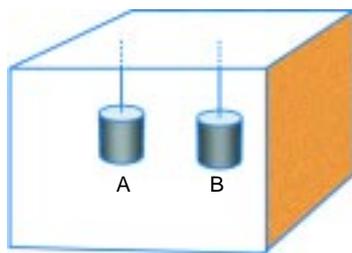
- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e II.
- d) Apenas I e III.
- e) I, II e III

**55.** No interior de um recipiente adiabático de capacidade térmica desprezível, colocamos 500 g de gelo (calor latente de fusão=80 cal/g) ( $0^{\circ}\text{C}$ ) e um corpo de ferro na temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ , como mostra a figura a seguir. Após 10 minutos, o sistema atinge o equilíbrio térmico, e observa-se que 15 g de gelo foram fundidos. O fluxo de calor que passou nesse tempo pela secção S foi de:

- 2 cal/s.
- 4 cal/s.
- 5 cal/s.
- 6 cal/s.
- 7 cal/s.



**56.** Na figura a seguir, está representada uma caixa totalmente fechada, cujas paredes não permitem a passagem de calor. No seu interior, fez-se vácuo. Nesta caixa, estão suspensos, presos por cabos isolantes térmicos, e sem tocar qualquer superfície da caixa, dois corpos, A e B, sendo, inicialmente, a temperatura de A maior do que a de B. Após algum tempo, verifica-se que A e B atingiram o equilíbrio térmico. Sobre tal situação, é correto afirmar que a transferência de calor entre A e B NÃO se deu:



- nem por condução, nem por convecção.
- nem por condução, nem por radiação.
- nem por convecção, nem por radiação.
- por condução, mas ocorreu por convecção e por radiação.
- por radiação, mas ocorreu por condução e por convecção.

**57.** Admita que o corpo humano transfira calor para o meio ambiente na razão de 2,0 kcal/min. Se esse calor pudesse ser aproveitado para aquecer água de  $20^{\circ}\text{C}$  até  $100^{\circ}\text{C}$ , a quantidade de calor transferido em 1,0 hora aqueceria uma quantidade de água, em kg, igual a:

Adote:

Calor específico da água =  $1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ .

- 1,2.
- 1,5.
- 1,8.
- 2,0.
- 2,5.

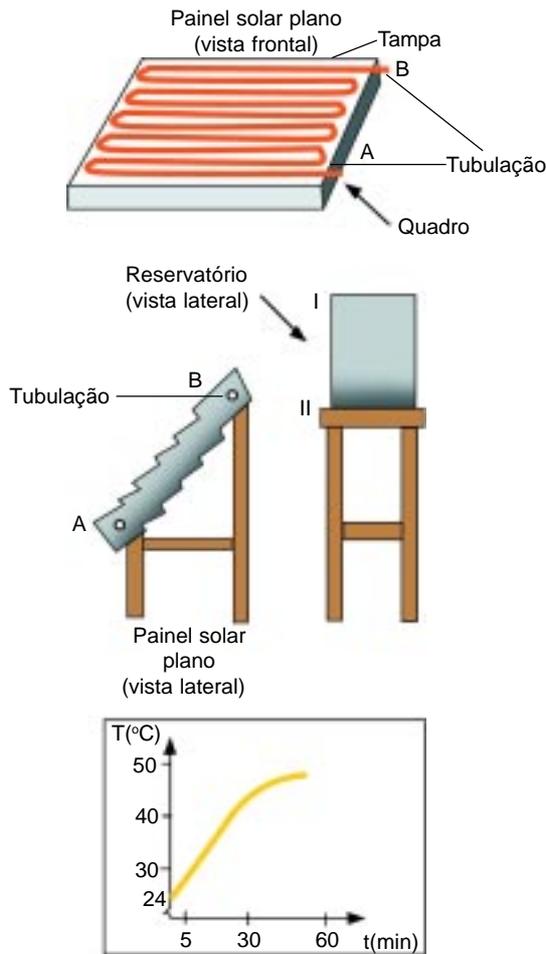
**58.** Um objeto com uma superfície exterior preta usualmente se aquece mais que um com uma superfície branca, quando ambos estão sob a luz do Sol. Isso é verdade para as roupas usadas pelos beduínos no deserto do Sinai: roupas pretas aquecem-se mais que roupas brancas, com uma diferença de temperatura entre as duas de até  $6^{\circ}\text{C}$ . Por que então um beduíno usa roupa preta? Ele não estaria diminuindo sua chance de sobrevivência nas duras condições do ambiente do deserto?

D. Halliday, R. Resnick & J. Walker. "Fundamentals of Physics", 5ª edição, 1997 (com adaptações).

Com relação ao assunto tratado no texto, julgue os itens a seguir.

- (1) A roupa preta do beduíno produz maior corrente de convecção que a branca.
- (2) Sabendo que a potência irradiada por unidade de área é proporcional à quarta potência de temperatura em kelvins, as informações do texto permitem concluir que a referida roupa preta irradia 30% de energia a mais que a roupa branca.
- (3) A perda de calor por irradiação da roupa preta para o ambiente é menor que a da roupa branca.
- (4) Uma maior circulação de ar embaixo da roupa do beduíno favorece uma maior evaporação do seu suor, o que ajuda o organismo a regular a sua temperatura.

**59.** Aquecedores solares planos são dispositivos que já fazem parte da paisagem urbana de cidades de climas amenos. Consiste de um painel em forma de uma caixa de pequena profundidade, hermeticamente fechada por uma tampa de vidro transparente, cujos fundos e paredes internas são pintados com tinta preta fosca. No seu interior, existe uma tubulação em forma de serpentina cujas extremidades são conectadas às saídas de um reservatório de água. A figura a seguir ilustra um desses dispositivos, em que ainda não foram feitas as conexões hidráulicas. Para estudar o funcionamento de um aquecedor solar desse tipo, um grupo de estudantes construiu um pequeno protótipo e anotou a variação da temperatura da água no reservatório em função do tempo de exposição à radiação solar. Os resultados obtidos encontram-se no gráfico a seguir.



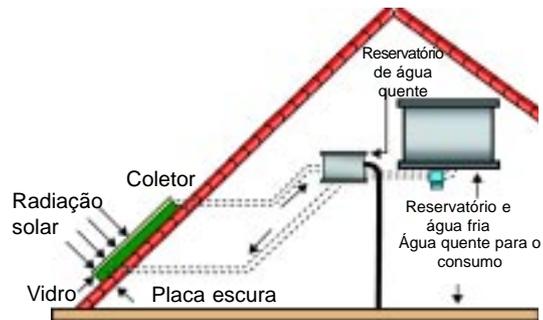
Com base nas informações do texto, e considerando que o calor específico da água é igual a  $4,2 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$  e que a massa de 1L de água corresponde a 1 kg, julgue os itens a seguir.

- (1) Para maior rendimento do dispositivo na cidade de Brasília, cuja latitude é de  $15^\circ$  Sul, o painel solar, em uma montagem sem partes móveis, deve ter sua face envidraçada voltada para o Leste e inclinada de  $15^\circ$  com relação à horizontal.
- (2) Para maior eficiência do dispositivo, a tampa de vidro deve ser de um material com máxima transmissão para a luz visível e máxima reflexão para a radiação infravermelha.
- (3) O esquema correto para se fazerem as conexões hidráulicas que permitem a maior circulação de água entre o painel e o reservatório é ligar a saída B do painel com a saída II do reservatório e a saída A do painel com a saída I do reservatório.

- (4) Considerando que o reservatório do protótipo construído pelos estudantes tenha 10 L de água, então a energia calorífica retida na água do reservatório ao término da primeira hora de exposição será maior que 1.100 kJ.
- (5) No experimento dos estudantes, a taxa média de variação da temperatura pelo tempo, na primeira meia hora de exposição do painel à radiação solar, é maior que  $1^\circ\text{C}$  por minuto.

**60.** O resultado da conversão direta de energia solar é uma das várias formas de energia alternativa de que se dispõe. O aquecimento solar é obtido por uma placa escura coberta por vidro, pela qual passa um tubo contendo água. A água circula, conforme mostra o esquema abaixo.

Fonte: Adaptado de PALZ, Wolfgang, "Energia solar e fontes alternativas". Hemus, 1981.



São feitas as seguintes afirmações quanto aos materiais utilizados no aquecedor solar:

- I. o reservatório de água quente deve ser metálico para conduzir melhor o calor.
- II. a cobertura de vidro tem como função reter melhor o calor, de forma semelhante ao que ocorre em uma estufa.
- III. a placa utilizada é escura para absorver melhor a energia radiante do Sol, aquecendo a água com maior eficiência.

Dentre as afirmações acima, pode-se dizer que, apenas está(ão) correta(s):

- a) I.
- b) I e II.
- c) II.
- d) I e III.
- e) II e III.

**61.** Uma garrafa de vidro e uma lata de alumínio, cada uma contendo 330 mL de refrigerante, são mantidas em um refrigerador pelo mesmo longo período de tempo. Ao retirá-las do refrigerador com as mãos desprotegidas, tem-se a sensação de que a lata está mais fria que a garrafa. É correto afirmar que:

- a) a lata está realmente mais fria, pois a cidade calorífica da garrafa é maior que a da lata.
- b) a lata está de fato menos fria que a garrafa, pois o vidro possui condutividade menor que o alumínio.
- c) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, possuem a mesma condutividade térmica, e a sensação deve-se à diferença nos calores específicos.
- d) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação deve-se ao fato de a condutividade térmica do alumínio ser maior que a do vidro.
- e) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação deve-se ao fato de a condutividade térmica do vidro ser maior que a do alumínio.

**62.** Assinale a alternativa **errada**.

- a) Os corpos dilatam-se sob efeito do calor.
- b) Dois corpos em equilíbrio térmico têm, necessariamente, a mesma temperatura.
- c) A transferência de calor faz-se do corpo mais frio para o mais quente.
- d) Quando um corpo absorve calor, sua energia térmica aumenta.
- e) Temperatura é a medida da energia térmica de um corpo.

**63.** O alumínio funde-se a  $666^{\circ}\text{C}$ . Isto é obtido à custa de energia elétrica, por eletrólise - transformação realizada a partir do óxido de alumínio a cerca de  $1000^{\circ}\text{C}$ .

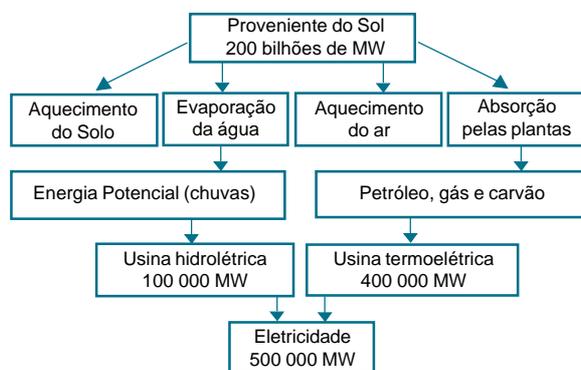
A produção brasileira de alumínio, no ano de 1985, foi da ordem de 550000 toneladas, tendo sido consumidos cerca de 20 kWh de energia elétrica por quilograma do metal. Nesse mesmo ano, estimou-se a produção de resíduos sólidos urbanos brasileiros formados por metais ferrosos e não-ferrosos em 3700 t/dia, das quais 1,5% estima-se corresponder ao alumínio.

([Dados adaptados de] FIGUEIREDO, P.J.M. A sociedade do lixo: resíduos, a questão energética e a crise ambiental. Piracicaba: UNIMEP, 1994).

Suponha que uma residência tenha objetos de alumínio em uso cuja massa total seja de 10 kg (painéis, janelas, latas, etc.) O consumo de energia elétrica mensal dessa residência é de 100 kWh. Sendo assim, na produção desses objetos utilizou-se uma quantidade de energia elétrica que poderia abastecer essa residência por um período de

- a) 1 mês.                      d) 4 meses.
- b) 2 meses.                  e) 5 meses.
- c) 3 meses.

O diagrama a seguir representa a energia solar que atinge a Terra e sua utilização na geração de eletricidade. A energia solar é responsável pela manutenção do ciclo da água, pela movimentação do ar, e pelo ciclo do carbono que ocorre através da fotossíntese dos vegetais, da decomposição e da respiração dos seres vivos, além da formação de combustíveis fósseis.



**64.** De acordo com este diagrama, uma das modalidades de produção de energia elétrica envolve combustíveis fósseis. A modalidade de produção, o combustível e a escala de tempo típica associada à formação desse combustível são, respectivamente,

- a) hidroelétricas – chuvas – um dia.
- b) hidroelétricas – aquecimento do solo – um mês.
- c) termoeletricas – petróleo – 200 anos.
- d) termoeletricas – aquecimento do solo – um milhão de anos.
- e) termoeletricas – petróleo – 500 milhões de anos.

**65.** No diagrama estão representadas as duas modalidades mais comuns de usinas elétricas, as hidroelétricas e as termoeletricas. No Brasil, a construção de usinas hidroelétricas deve ser incentivada porque essas

- I. Utilizam fontes renováveis, o que não ocorre com as termoeletricas que utilizam fontes que necessitam de bilhões de anos para serem reabastecidas.
- II. Apresentam impacto ambiental nulo, pelo represamento das águas no curso normal dos rios.
- III. Aumentam o índice pluviométrico da região de seca do Nordeste, pelo represamento de águas.

Das três afirmações lidas, somente

- a) I está correta.            d) I e II estão corretas.
- b) II está correta.          e) II e III estão corretas.
- c) III está correta.

**66.** Um trocador de calor, de uma refinaria, à temperatura ambiente, é acionado para conduzir vapor em seu interior. O fato do vapor estar a uma temperatura superior à ambiente faz com que o trocador dilate. Podemos considerar que sua dilatação volumétrica é:

- a) menor que a de um corpo maciço de mesmo volume, fabricado com o mesmo material;
- b) maior que a de um corpo maciço de mesmo volume, fabricado com o mesmo material;
- c) igual a de um corpo maciço de mesmo volume, fabricado com o mesmo material;
- d) tanto maior quanto maior for a espessura do trocador;
- e) proporcional ao volume de vapor, independente da temperatura.

**67.** Em um forno, utilizado para a queima de GLP, encontra-se uma peça sólida, cujo volume vale  $8\text{cm}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ . A temperatura da peça, quando o forno é acionado, varia para  $920^\circ\text{C}$  e o coeficiente de dilatação linear sólido ( $12 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ ) pode ser considerado constante. Supondo que a pressão interna da cavidade seja sempre igual à externa, a variação percentual do volume da cavidade foi de:

- a) 2,5 %.
- b) 2,8 %.
- c) 3,0 %.
- d) 3,2 %.
- e) 4,6 %.

**68.** Suponha um recipiente, com capacidade de 1,0 litro, cheio gasolina, cujo coeficiente de dilatação volumétrica é duas vezes maior que o coeficiente do material do recipiente. Qual a quantidade de gasolina que transbordará, quando o conjunto sofrer uma variação de temperatura de  $30^\circ\text{C}$ ? Dado:  $\gamma_{\text{RECIPIENTE}} = 1 \cdot 10^{-50}^\circ\text{C}^{-1}$

- a)  $0,01\text{ cm}^3$ .
- b)  $0,09\text{ cm}^3$ .
- c)  $0,30\text{ cm}^3$ .
- d)  $0,60\text{ cm}^3$ .
- e)  $1,00\text{ cm}^3$ .

**69.** Duas barras, uma de aço e outra de vidro, têm, quando a  $0^\circ\text{C}$ , comprimentos iguais a  $L_0$ . Aquecidas a  $100^\circ\text{C}$ , a diferença de comprimento entre elas é de 1 cm. Os coeficientes de dilatação do aço e do vidro são, respectivamente,  $\alpha_{\text{Aço}} = 12 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$  e  $\alpha_{\text{Vidro}} = 8 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ .

- Determine, em metros, o comprimento  $L_0$ .
- a) 25 m.
  - b) 30 m.
  - c) 45 m.
  - d) 50 m.
  - e) 65 m.

**70.** O princípio da Desaeração Mecânica, utilizado nas refinarias, consiste do seguinte: a água a ser desaerada, ao entrar no desaerador é distribuída em cima de bandejas, pelas válvulas borrifadas, em forma de gotículas, e recebe o vapor em contra corrente, que entra pela parte inferior do desaerador, distribuído pelo difusor. Este vapor, em contra corrente com a água e em contato direto, aquece a água e os gases nela contidos que, por serem mais voláteis tendem a subir para a parte superior do desaerador, escapando para a atmosfera.

Supondo que, na estrutura das bandejas, existe uma haste feita de um metal, cujo coeficiente de dilatação linear é  $2 \cdot 10^{-5}^\circ\text{C}^{-1}$ , com 8 m de comprimento a  $30^\circ\text{C}$  e que, em contato com o vapor, distribuído pelo difusor, é aquecida até  $120^\circ\text{C}$ , determine, em cm, a sua dilatação:

- a) 0,23 cm.
- b) 0,89 cm.
- c) 1,22 cm.
- d) 1,44 cm.
- e) 2,45 cm.

**71.** O tanque de gasolina de um automóvel, com capacidade de 60 litros, possui um reservatório auxiliar de retorno, com volume de 0,48 litros, que permanece vazio quando o tanque está completamente cheio. Um motorista enche o tanque quando a temperatura máxima que o combustível pode alcançar, desprezando-se a dilatação do tanque, é igual a:

$$\gamma_{\text{gasolina}} = 2,0 \times 10^{-4}^\circ\text{C}^{-1}$$

- a)  $60^\circ\text{C}$ .
- b)  $70^\circ\text{C}$ .
- c)  $80^\circ\text{C}$ .
- d)  $90^\circ\text{C}$ .
- e)  $100^\circ\text{C}$ .

**72.** O dono de um posto de gasolina recebeu 4000 litros de combustível, por volta das 12 horas, quando a temperatura era de  $35^\circ\text{C}$ . Ao cair da tarde, uma massa polar vinda do sul baixou a temperatura para  $15^\circ\text{C}$  e permaneceu até que toda a gasolina fosse totalmente vendida. Qual foi o prejuízo, em litros de combustível, que o dono do posto sofreu?

(Dados: o coeficiente de dilatação do combustível é de  $2,0 \cdot 10^{-4}^\circ\text{C}^{-1}$ )

- a) 4 litros.
- b) 8 litros.
- c) 16 litros.
- d) 36 litros.
- e) 60 litros.



## Princípios Éticos da Petrobras

*A honestidade, a dignidade, o respeito, a lealdade, o decoro, o zelo, a eficácia e a consciência dos princípios éticos são os valores maiores que orientam a relação da Petrobras com seus empregados, clientes, concorrentes, parceiros, fornecedores, acionistas, Governo e demais segmentos da sociedade.*

*A atuação da Companhia busca atingir níveis crescentes de competitividade e lucratividade, sem descuidar da busca do bem comum, que é traduzido pela valorização de seus empregados enquanto seres humanos, pelo respeito ao meio ambiente, pela observância às normas de segurança e por sua contribuição ao desenvolvimento nacional.*

*As informações veiculadas interna ou externamente pela Companhia devem ser verdadeiras, visando a uma relação de respeito e transparência com seus empregados e a sociedade.*

*A Petrobras considera que a vida particular dos empregados é um assunto pessoal, desde que as atividades deles não prejudiquem a imagem ou os interesses da Companhia.*

*Na Petrobras, as decisões são pautadas no resultado do julgamento, considerando a justiça, legalidade, competência e honestidade.*

