



Faculdade de Engenharia Mecânica e Produção

Máquinas Térmicas

Conceitos e Definições Iniciais

Thiago Esterci Fernandes



Conteúdo

1	Principais aplicações de máquinas térmicas	2
1.1	Central termométrica	2
1.2	Sistemas de refrigeração	3
2	Tipos de motores	4
2.1	Motores Aeronáuticos	4
2.2	Motores de veículos terrestres	5
2.3	Motores de veículos aquático	6
2.4	Motores de foguetes	6
3	Aspectos ambientais	7
4	Revisão Termodinâmica	8
4.1	Sistema	8
4.2	Volume de controle	8
4.3	Macroscópico \times Microscópico	8
4.4	Fases da Matéria	9
4.5	Estado e propriedades de uma substância	9
4.6	Propriedades intensivas e extensivas	9
4.7	Propriedades de um sistema	10
4.8	Processos e ciclos	10
4.8.1	Ciclo termodinâmico	10
4.9	Unidade de massa, comprimento, tempo e força	10
4.9.1	Unidades básicas	11
4.10	Propriedades termodinâmicas	12
4.10.1	Energia	12
4.10.2	Volume específico	12
4.10.3	Pressão	12
4.10.4	Sensibilidade da temperatura	15
4.10.5	Igualdade de temperatura \equiv Equilíbrio térmico	15
4.10.6	A lei zero da termodinâmica	15
4.10.7	Escalas de temperatura	15
5	Exercícios	16
5.1	Questão 1	16
5.2	Questão 2	16

1 Principais aplicações de máquinas térmicas

1.1 Central termométrica

Centrais termoelétricas, como a exposta na Figura 1, tem o objetivo de gerar energia elétrica para a população.

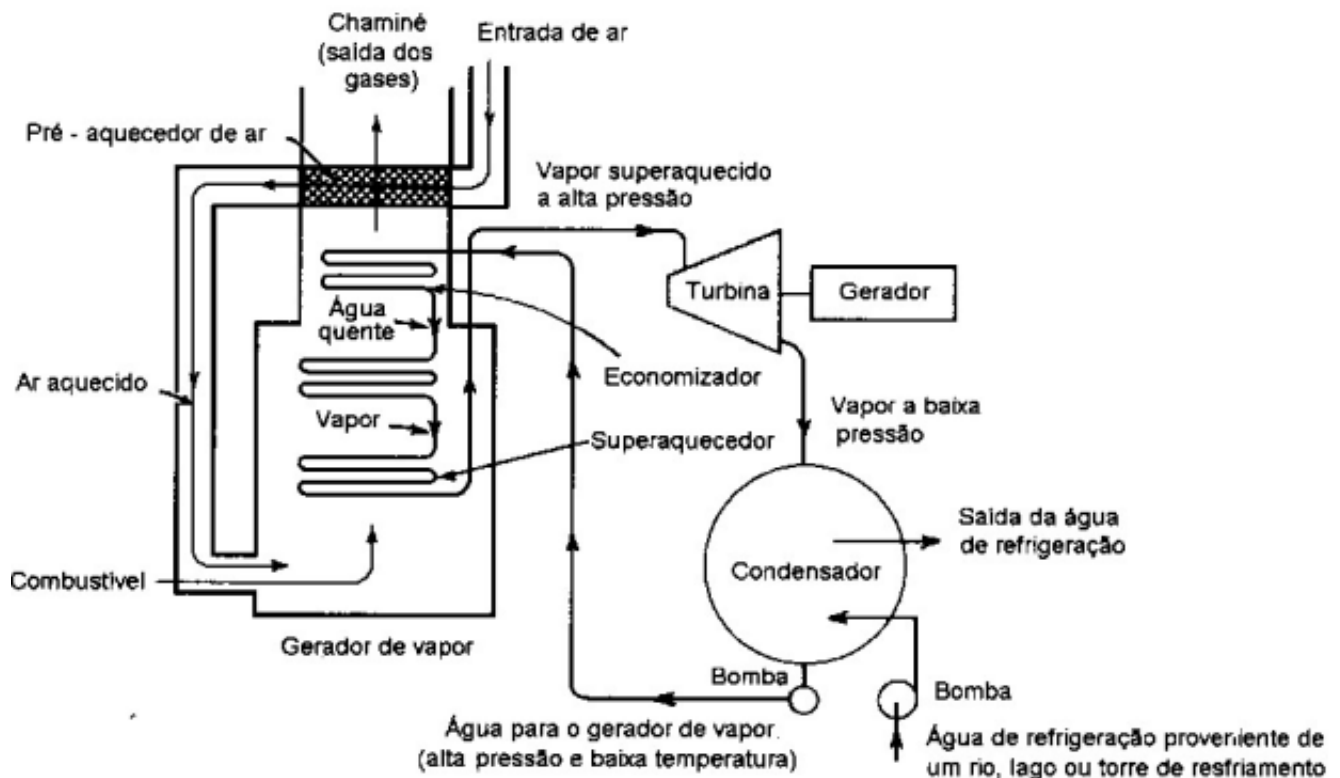


Figura 1: Central termoelétrica e seus componentes.

Para tal ela é composta, principalmente, pelos seguintes componentes:

- Caldeira: tem função de vaporizar o fluido de trabalho, que neste caso é a água. Para tal ele queima combustível que pode ser de vários tipos como carvão, biodiesel e etanol e etc;
- Turbina: tem a função de transferir a energia do fluido de trabalho para o gerador de energia elétrica;
- Condensador: opera dentro do ciclo Rankine e é a fonte de refrigeração para baixar a temperatura do fluido de trabalho;
- Bomba: é utilizada para pressurizar o fluido de trabalho

Como toda planta de geração de energia, a termoelétrica exerce um processo de transformação da energia já disponível no meio. Primeiramente, na caldeira, a energia química é liberada através da combustão de um combustível que promove o aumento da energia térmica de um fluido

de trabalho. Posteriormente esse fluido de trabalho mais gira uma turbina que transforma, através de um gerador, energia cinética rotacional em energia elétrica.

1.2 Sistemas de refrigeração

Esse sistema tem como objetivo condicionar o ambiente. Um exemplo de sistema de refrigeração é a geladeira como exposto na Figura 2.

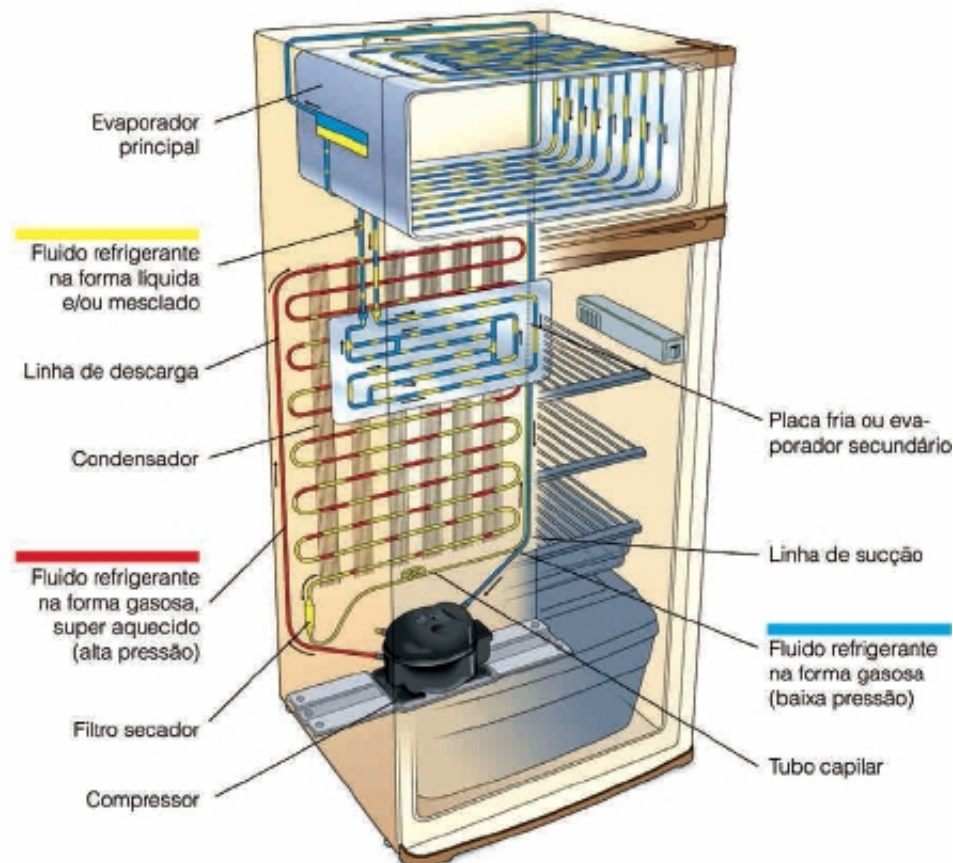


Figura 2: Componentes de uma geladeira

Como esse sistema transfere calor a favor do gradiente de temperaturas, ou seja, do ambiente interno mais frio para o ambiente externo mais quente, precisamos colocar trabalho no sistema. Neste caso, os principais componentes de um sistema de refrigeração são:

- Evaporador: responsável por trocar calor com o ambiente interno;
- Compressor: responsável por injetar trabalho no sistema;
- Condensador: responsável por trocar calor com o ambiente externo;
- Válvula de expansão: responsável por resfriar o o fluido de trabalho;

Esse tipo de sistema também pode ser utilizado de forma inversa como exposto na Figura 3.

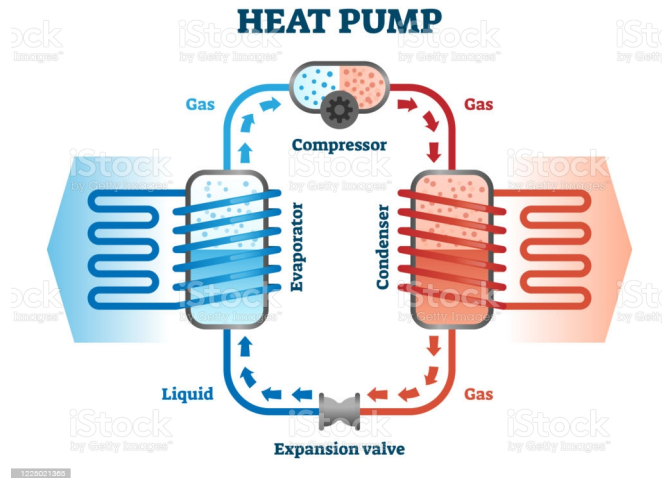


Figura 3: Bomba de calor

Com essa configuração ele o sistema é comumente chamado de bomba de calor e é utilizado para o aquecimento de residências ou de piscinas.

2 Tipos de motores

Nessa seção serão apresentados os principais tipos de motor para aplicações específicas.

2.1 Motores Aeronáuticos

Os motores aeronáuticos também são conhecidos como turbinas a gás como o exposto na Figura 4.

Os principais tipos de turbina a gás aeronáuticas são:

- Turbo fan;
- Turbo-jato
- Turbina
- Turbo-hélice;
- Turbo-eixo;

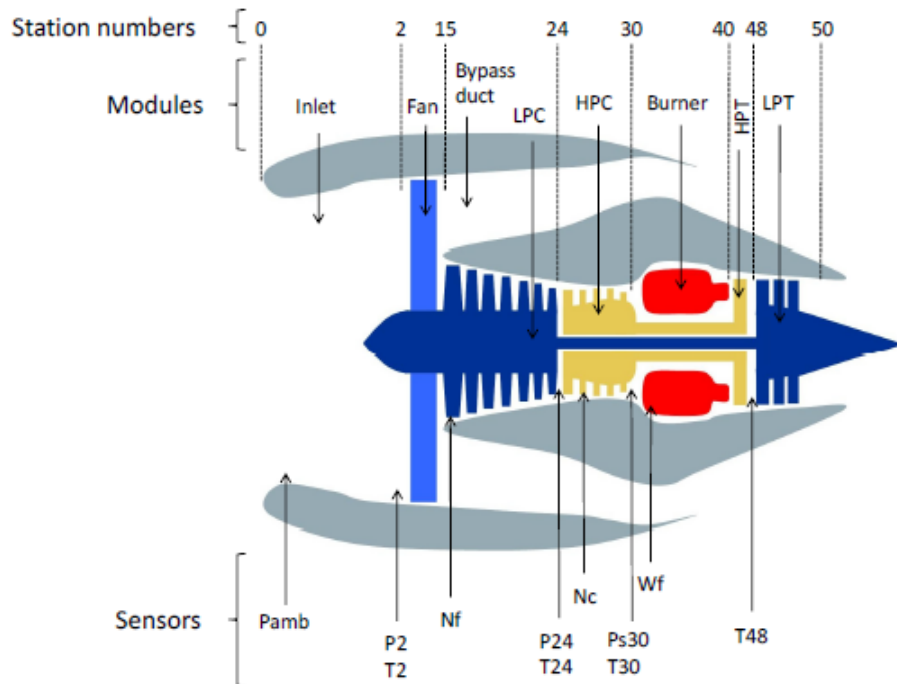


Figura 4: Componente de uma turbina a gás aeronáutica

2.2 Motores de veículos terrestres

Os motores de veículos terrestres são, tipicamente, de combustão interna como o motor de 4 tempos exposto na Figura 5.

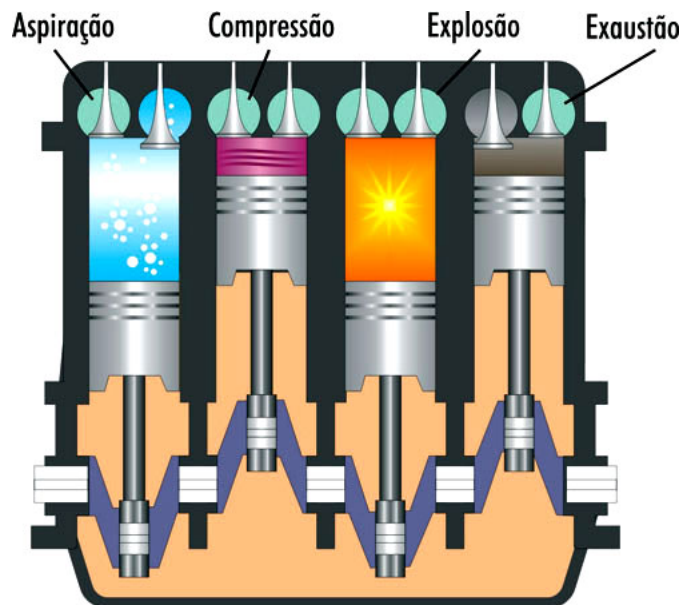


Figura 5: Funcionamento do motor 4 tempos

O motor 4 tempos recebe esse nome devido aos quatro processos apresentados na figura acima. Primeiro a mistura de ar-combustível é aspirada para dentro do cilindro. Depois ela é comprimida. Durante a compressão esse gás aumenta sua temperatura e pode entrar em combustão por isso ou uma centelha promove sua ignição. Essa ignição provoca a expansão desse gás que, depois de queimado é expelido durante a exaustão.

Os motores de combustão interna podem funcionar utilizando os seguintes ciclos:

- ciclo otto: necessita de centelha e é mais utilizado em carros de passeio;
- ciclo diesel: não necessita de centelha e é mais comumente usado em caminhões de transporte de minério, ônibus urbanos;

2.3 Motores de veículos aquático

Nessa modalidade de transporte os motores de combustão interna também são predominantes. Como exposto na Figura 6, a diferença é que nessa modalidade eles propõem os veículos através de uma hélice que fica dentro da água.



Figura 6: Motor popa para Barco

2.4 Motores de foguetes

Como apresentado na Figura 7, os motores de foguete carregam o próprio oxidante e combustível. Essa característica permite que esse tipo de motor funcione independentemente do oxigênio presente no ambiente externo. Por esse motivo eles são a solução para transportes que operam fora da atmosfera.

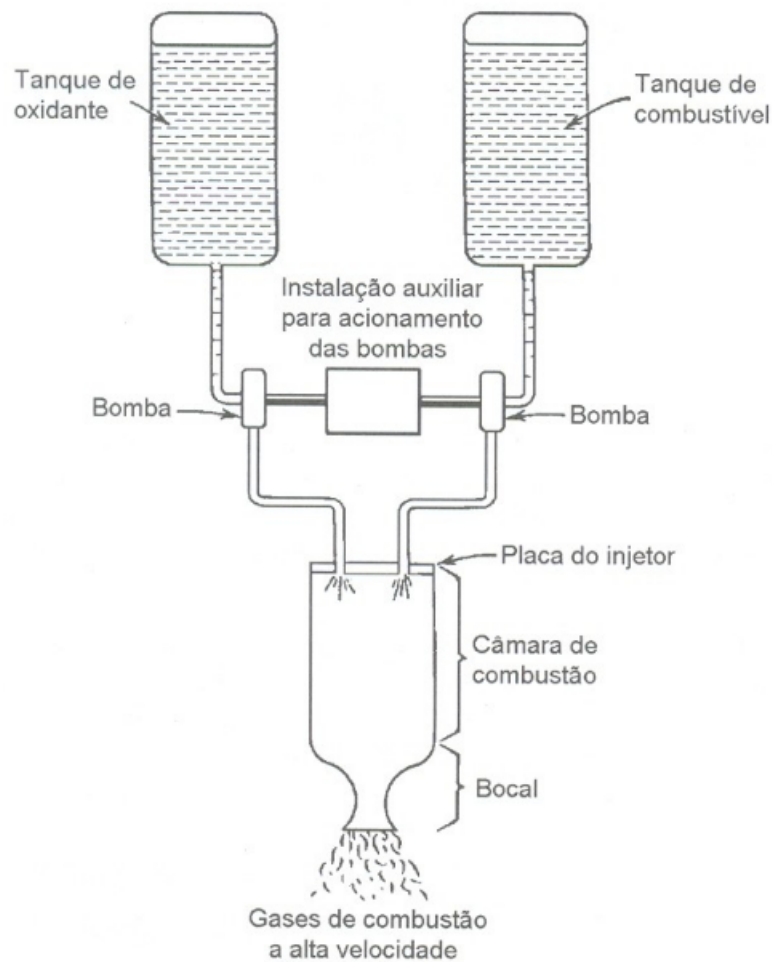


Figura 7: Motor de foguete

3 Aspectos ambientais

Mesmo que tenhamos explorado a utilidade e benefícios das máquinas térmicas, a consequência do uso dessas máquinas é um aspecto que não pode ser deixado de lado. Por mais eficientes que sejam as máquinas modernas, elas ainda deixam resíduos que não são consequência do seu uso. Por sua vez, esses subprodutos são depositados no ambiente em que habitamos e estabelecem relação direta com o meio. Nesse ponto, as principais consequências desses processos, bem como suas causas são:

- Efeito estufa gerada pela emissão de CO₂;
- Chuva ácida gerada pela emissão de óxidos de enxofre;
- Poluição de NO₂, CO, Particulados e Hidrocarbonetos não queimados;
- Destruição da camada de ozônio pela emissão de flúor e clorados de carbono (refrigeração);

4 Revisão Termodinâmica

4.1 Sistema

Um sistema, como o apresentado na Figura 8, se trata de uma quantidade definida de matéria com massa fixa. Além disso, o que é externo ao sistema recebe o nome de meio ou vizinhança e o que separa o meio do sistema são as fronteiras. Essas fronteiras podem ser fixas ou móveis e podem ou não isolar o sistema do meio. Portanto, pelas fronteiras podemos ter fluxo de calor e trabalho, porém não há fluxo de massa.

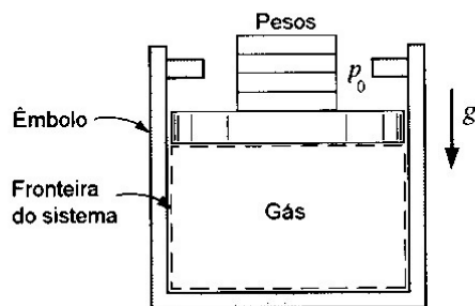


Figura 8: Representação de um sistema

4.2 Volume de controle

Por outro lado, um volume de controle, como o exposto na Figura 9, permite o fluxo de massa como também o de calor e trabalho. Esse volume é delimitado pelas superfícies de controle.

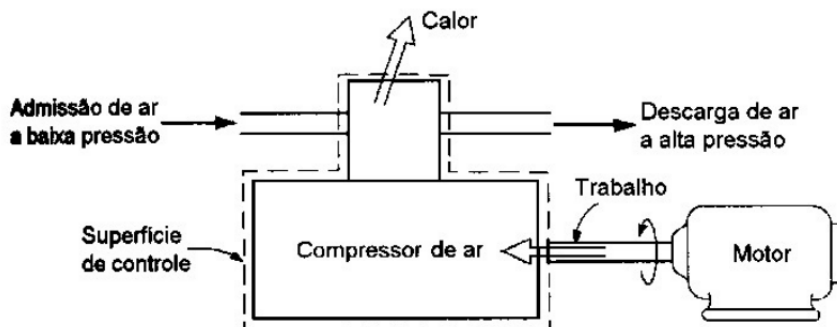


Figura 9: Representação de um volume de controle

4.3 Macroscópico \times Microscópico

A classificação de um estudo como micro ou macroscópico depende do chamado caminho livre médio λ . Essa propriedade é definida como distância média que uma partícula percorre entre colisões com as outras partículas pertencentes ao sistema. A magnitude das dimensões dos sistemas quando comparadas com λ definem essa classificação. Ou seja, Se λ é muito menor

que as dimensões do sistema, o sistema pode ser estudado de forma macroscópica. Entretanto caso o contrário ocorra, devemos estudá-lo de forma microscópica, uma vez que os eventos de interação partícula-sistema serão muito relevantes. As ferramentas para estudar, respectivamente, os sistemas macroscopicamente e microscopicamente são a Termodinâmica Clássica e a Termodinâmica Estatística.

4.4 Fases da Matéria

Fases ou estados da matéria são conjuntos de configurações que objetos macroscópicos podem apresentar. O estado físico tem relação com a velocidade do movimento das partículas de uma determinada substância. Canonicamente e segundo o meio em que foram estudados, são cinco os estados ou fases considerados:

- Sólido
- Líquido
- Gasoso
- Plasma
- Condensado de Bose-Einstein

Entretanto a disciplina só abordará as fases sólida, líquida e gasosa, com enfoque no subgrupo denominado fluídos formado pelos dois últimos estados físicos;

4.5 Estado e propriedades de uma substância

As propriedades físicas de um sistema como temperatura, pressão e massa específica tem relação direta com a forma que uma substância se comporta. Além disso, para uma substância específica essas propriedades apresentam apenas um valor relacionado ao estado no qual ela se encontra, independente da forma como esta chegou a esse estado. Dessa forma, é esperado que um estado específico seja descrito por essas propriedades, como também propriedades específicas podem determinar em qual estado a matéria se encontra.

4.6 Propriedades intensivas e extensivas

As propriedades intensivas são aquelas que não dependem da massa da substância como a temperatura, pressão e massa específica. Já as extensivas são o oposto, dependem da massa para serem determinadas como a massa, volume total e densidade.

Vale ressaltar que uma propriedade extensiva pode se tornar intensiva ao ser dividida pela massa. Essa estratégia é muito importante para a engenharia visto que permite que tais propriedades sejam consideradas em sistemas distintos.

4.7 Propriedades de um sistema

Uma propriedade pode ser considerada de um sistema se todos os elementos deste compartilharem o mesmo valor dessa propriedade. Além disso temos que o equilíbrio térmico é atingido quando não há, em nenhum ponto deste, tendência da temperatura variar com o tempo. De forma semelhante, um sistema em equilíbrio mecânico quando não houver tendência de alteração na pressão em nenhum ponto deste. Caso um sistema esteja em equilíbrio para todas as mudanças de estado possíveis ele se encontra em equilíbrio termodinâmico.

4.8 Processos e ciclos

Um processo termodinâmico é definido pela sucessão de alterações das propriedades termodinâmicas. Essas alterações também são conhecidas como mudança de estados termodinâmicos e, dependendo de como esses processos acontecem, podemos os nomearmos das seguintes formas:

- Isotérmico: é um processo a temperatura constante;
- Isobárico: é um processo a pressão constante;
- Isocórico: é um processo a volume constante;
- Isentrópico: é um processo a entropia constante.

4.8.1 Ciclo termodinâmico

Um ciclo termodinâmico é a aplicação de processos sucessivos em um sistema, de tal forma que o estado inicial desse sistema seja igual ao final. Dessa forma as propriedades termodinâmicas serão as mesmas no início e no final do ciclo. O ciclo de Carnot é um exemplo desse procedimento que foi extensivamente estudado durante a primeira revolução industrial para promover e sustentar as máquinas à vapor.

4.9 Unidade de massa, comprimento, tempo e força

A unidade básica de tempo é o segundo (s). Em 1967, a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) adotou a seguinte definição de segundo: O segundo é o tempo requerido para a ocorrência de 9.192.631.770 ciclos do ressonador que utiliza um feixe de átomos de césio-133. A unidade básica de comprimento é o metro (m). Em 1983, a CGPM adotou uma definição precisa do metro, em termos da velocidade da luz - o metro é o comprimento da trajetória percorrida pela luz no vácuo durante o intervalo de tempo de $1/299.792.458$ do segundo. No sistema de unidades SI, a unidade de massa é o quilograma (kg). Conforme adotado pela primeira CGPM em 1889, e ratificado em 1901, o quilograma corresponde à massa de um determinado cilindro de platina-irídio, mantido sob condições preestabelecidas no Escritório Internacional de Pesos e Medidas.

Como exposto anteriormente, há um esforço científico voltado à definir nossas grandezas físicas de forma teórica, visto que tais propriedades podem variar com o tempo para um determinado sistema. Um exemplo disso é o próprio quilo que durante a história foi replicado e reconstruído com o objetivo de se tornar cada vez mais estável. Entretanto, mesmo sendo produzidos de

forma idêntica e sendo mantidos sob as mesmas condições, esses objetos ainda variam. A Heason Technology recentemente tenta produzir o objeto mais redondo do mundo. Seu objetivo é ajudar a resolver o problema de longa duração em medição; definindo o quilograma a partir da constante de Avogadro.

Essa esfera é feita de um único cristal de silício-28, com um diâmetro de 93,6 mm. Cada esfera custa cerca de £ 2,5 milhões cada e deve ser feita à mão por um fabricante mestre de lentes.

4.9.1 Unidades básicas

As unidades respeitam o padrão internacional apresentado abaixo na Tabela ??.

Fator	Prefixo	Símbolo
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	quilo	K
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p

Tabela 1: Prefixos das unidades do SI

1 mol de átomos de ^{12}C tem $6,02 \times 10^{23}$ átomos e pesa 12 gramas. Uma unidade associada, frequentemente utilizada em termodinâmica, é o mole, definido como a quantidade de substância que contém tantas partículas elementares quanto existem átomos em 0,012 kg de carbono-12. Essas partículas elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, elétrons, íons ou outras partículas ou grupos específicos. Por exemplo, um mole de oxigênio diatômico, que tem um peso molecular de 32 (comparado a 12 para o carbono), tem uma massa de 0,032 kg. O mole é usualmente chamado de grama-mol, porque ele corresponde a uma quantidade da substância, em gramas, numericamente igual ao peso molecular. O quilomole (kmol) que corresponde à quantidade da substância, em quilogramas, numericamente igual ao peso molecular.

No SI, a unidade de força é definida a partir da segunda lei de Newton.

$$F = ma \quad (1)$$

A unidade de força é o newton (N) que, por definição, é a força necessária para acelerar uma massa de 1 quilograma à razão de 1 metro por segundo, por segundo.

$$1\text{N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 \quad (2)$$

Deve-se observar que as unidades SI, que derivam de nomes próprios, são representadas por letras maiúsculas; as outras são representadas por letras minúsculas. O termo "peso" é frequentemente associado a um corpo, e é, às vezes, confundido com massa. A palavra peso é usada corretamente apenas quando está associada a força. Quando dizemos que um corpo pesa um certo valor, isto significa que está é a força com que o corpo é atraído pela Terra (ou por algum

outro corpo), isto é, o produto de sua massa pela aceleração local da gravidade. A massa de uma substância permanece constante variando-se a sua altitude, porém o seu peso varia conforme o valor da altitude.

4.10 Propriedades termodinâmicas

4.10.1 Energia

Um dos conceitos muito importantes na termodinâmica é o de energia. Energia pode ser definida, sem muita precisão, como a capacidade de produzir um efeito. É importante notar que energia pode ser acumulada num sistema e que também pode ser transferida de um sistema para outro (por exemplo, na forma de calor). Como a energia é armazenada em um sistema? Três formas de energia: 1. Energia potencial intermolecular, que é associada às forças entre moléculas. 2. Energia cinética molecular, que é associada à velocidade de translação das moléculas. 3. Energia intramolecular (relativa a cada molécula), que é associada com a estrutura molecular e atômica.

Termodinâmica clássica: Qual a quantidade de energia transferida para o sistema. Quais foram as mudanças de propriedades e de estado.

4.10.2 Volume específico

O volume específico de uma substância é definido como o volume ocupado pela unidade de massa e é reconhecido pelo símbolo ν . A massa específica de uma substância é definida como a massa associada à unidade de volume. Desta forma, a massa específica é igual ao inverso do volume específico. A massa específica é designada pelo símbolo ρ . Observe que estas duas propriedades são intensivas. Considere um pequeno volume δV de um sistema e a massa contida neste δV por δm . O volume específico é definido pela relação

$$\nu = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V'} \frac{\delta V}{\delta m} \quad (3)$$

onde $\delta V'$ é o menor volume no qual o sistema pode ser considerado como um meio contínuo. O volume específico e a massa específica são dados em base mássica ou molar. Um traço sobre o símbolo (letra minúscula) será usado para designar a propriedade na base molar. A unidade de volume específico, no sistema SI, é m^3/kg (m^3/mol ou $m^3/kmol$ na base molar) e a de massa específica é kg/m^3 (mol/m^3 ou $kmol/m^3$ na base molar). Embora a unidade de volume no sistema de unidades SI seja o metro cúbico, uma unidade de volume comumente usada é o litro (L), que é um nome especial dado a um volume correspondente a 0,001 metro cúbico, isto é, $1L = 10^{-3} m^3$.

4.10.3 Pressão

Normalmente fala-se de pressão quando lidamos com líquidos e gases e fala-se de tensão quando trata-se dos sólidos. A pressão num ponto de um fluido em repouso (em equilíbrio) é igual em todas as direções e definimos a pressão como a componente normal da força por unidade de área. Mais especificamente: seja δA uma área pequena e $\delta A'$ a menor área sobre a qual podemos

considerar o fluido como um meio contínuo. Se δF_n é a componente normal da força sobre δA , definimos pressão, p , como

$$p = \lim_{\delta A \rightarrow \delta A'} \frac{\delta F_n}{\delta A} \quad (4)$$

A unidade de pressão no Sistema Internacional é o pascal (Pa) e corresponde à força de 1 Newton agindo numa área de 1 metro quadrado. Isto é,

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad (5)$$

Já a atmosfera padrão, dada por

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} \quad (6)$$

que é ligeiramente maior que o bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa}$).

Em muitas investigações termodinâmicas preocupa-se com a pressão absoluta. A maioria dos manômetros de pressão e de vácuo, entretanto, mostram a diferença entre a pressão absoluta e a atmosférica, diferença esta chamada de pressão manométrica ou efetiva.

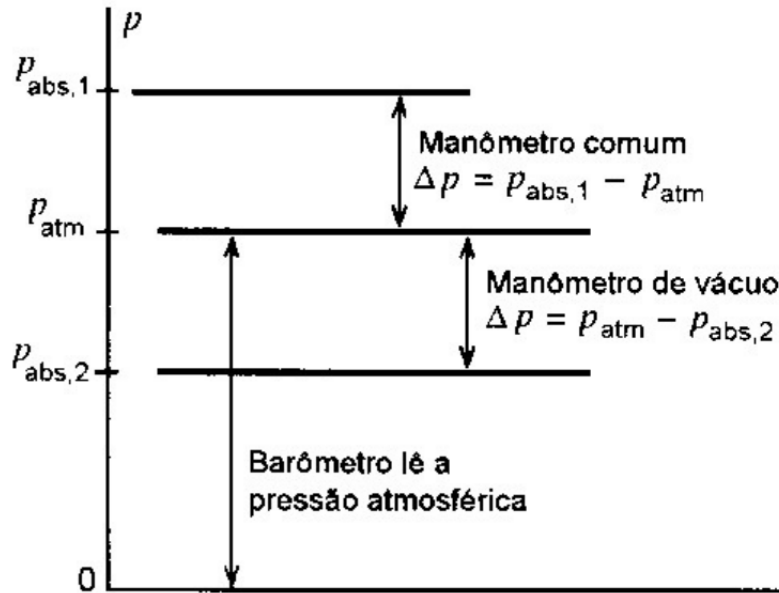


Figura 10: Diagrama de pressões medidas pelos manômetros

As pressões, abaixo da atmosférica e ligeiramente acima, e as diferenças de pressão (por exemplo, através de um orifício em um tubo) são medidas frequentemente com um manômetro que contém água, mercúrio, álcool, óleo ou outros fluidos. Pelos princípios da hidrostática podemos concluir que, para uma diferença de nível de L metros, a diferença de pressões, em pascal, é dada pela relação:

$$\Delta p = \rho L g \quad (7)$$

onde ρ é a massa específica do fluido e g é a aceleração local da gravidade. O valor padrão adotado para a aceleração da gravidade é $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

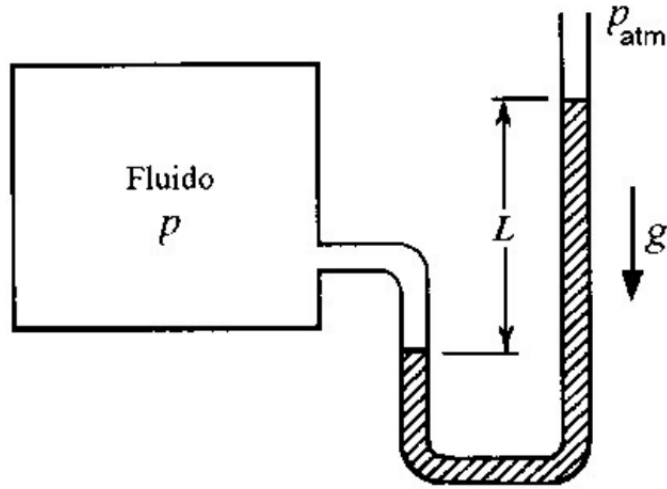


Figura 11: Manômetro em U

Exemplo:

Um manômetro de mercúrio é utilizado para medir a pressão no recipiente mostrado na Figura 11 anterior. O mercúrio apresenta massa específica igual a 13590 kg/m^3 e a diferença entre as alturas das colunas foi medida e é igual a $0,24 \text{ m}$. Determine a pressão no recipiente.

Solução:

O manômetro mede a pressão relativa, ou seja, a diferença entre a pressão no recipiente e a pressão atmosférica. Deste modo,

$$\Delta P = P_{\text{manométrico}} = \rho L g = 13590 \times 0,24 \times 9,81 = 31996 \text{ Pa} = 31,996 \text{ kPa} = 0,316 \text{ atm} \quad (8)$$

A pressão absoluta no recipiente é dada por:

$$P_A = P_{\text{recipiente}} = \Delta P + P_{\text{atm}} \quad (9)$$

Assim, nós precisamos conhecer o valor da pressão atmosférica, que é medida com um barômetro, para determinar o valor da pressão absoluta no recipiente. Se admitirmos que a pressão atmosférica é igual a 750 mm de Hg, a pressão absoluta no recipiente é:

$$P_{\text{recipiente}} = \Delta P + P_{\text{atm}} = 13590 \times 0,750 \times 9,81 + 31985 = 131984 \text{ Pa} = 1,303 \text{ atm} \quad (10)$$

4.10.4 Sensibilidade da temperatura

Estamos acostumados a noção de "temperatura" pela sensação de calor ou frio quando tocamos um objeto. Ao colocarmos um corpo quente em contato com um corpo frio, o corpo quente resfria e o corpo frio aquece. Se esses corpos permanecerem em contato por algum tempo, eles parecerão ter o mesmo grau de aquecimento ou resfriamento. A nossa sensação não é bastante segura. Corpos frios podem parecer quentes e corpos de materiais diferentes, que estão a mesma temperatura, parecem estar a temperaturas diferentes. Devido a essas dificuldades para definir temperatura, definimos igualdade de temperatura.

4.10.5 Igualdade de temperatura \equiv Equilíbrio térmico

Consideremos dois blocos de cobre, um quente e outro frio, cada um em contato com um termômetro de mercúrio. Se os blocos são colocados em contato térmico, a resistência elétrica do bloco quente decresce com o tempo e a do bloco frio cresce com o tempo. Após um tempo, nenhuma mudança na resistência é observada. Quando os blocos são colocados em contato térmico, o comprimento de um dos lados do bloco quente decresce e o do bloco frio cresce com o tempo. Após um tempo, nenhuma mudança nos comprimentos é observada. A coluna de mercúrio do termômetro no corpo quente cai e no corpo frio se eleva; após certo tempo nenhuma mudança nas alturas das colunas de mercúrio é observada. Dizemos que os dois corpos estão em equilíbrio térmico se não apresentarem alterações em qualquer propriedade mensurável quando colocados em contato térmico.

4.10.6 A lei zero da termodinâmica

Consideremos agora os mesmos blocos de cobre e, também, outro termômetro. Coloquemos em contato térmico o termômetro com UM dos blocos, até que a igualdade de temperatura seja estabelecida, e então removamo-lo. Coloquemos, então, o termômetro em contato com o SEGUNDO bloco de cobre. Suponhamos que não ocorra mudança no nível de mercúrio do termômetro durante esta operação. Podemos então dizer que os dois blocos estão em equilíbrio térmico com o termômetro dado. A lei zero da termodinâmica diz que, quando dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, eles terão equilíbrio térmico entre si.

$$\text{SE } TA = TC \text{ E } TB = TC \text{ ENTÃO } TA = TB \quad (11)$$

Isso parece bastante óbvio para nós porque estamos familiarizados com essa experiência. Entretanto, sendo este fato não deduzível de outras leis e uma vez que na apresentação da termodinâmica ela precede a primeira e a segunda leis, recebe a denominação de "lei zero da termodinâmica". Esta lei constitui a base para a medição da temperatura, porque podemos colocar números no termômetro de mercúrio e sempre que um corpo tiver igualdade de temperatura com o termômetro poderemos dizer que o corpo apresenta a temperatura lida no termômetro.

4.10.7 Escalas de temperatura

A escala usada para medir temperatura no sistema de unidades SI é a Celsius, cujo símbolo é $^{\circ}\text{C}$. Anteriormente foi chamada de escala centígrada, mas agora tem esta denominação em

honra ao astrônomo sueco Anders Celsius (1701 - 1744) que a idealizou. Esta escala era baseada em dois pontos fixos, facilmente reproduzíveis, o ponto de fusão do gelo e o de vaporização da água. A temperatura de fusão do gelo é definida como a temperatura de uma mistura de gelo e água, que está em equilíbrio com ar saturado à pressão de 1.0 atm (0,101325 MPa). A temperatura de vaporização da água é a temperatura em que a água e o vapor se encontram em equilíbrio a pressão de 1 atm. Na escala Celsius, esses dois pontos recebiam os valores 0 e 100. Na Décima Conferência de Pesos e Medidas, em 1954, a escala Celsius foi redefinida em função de um único ponto fixo e da escala de temperatura do gás perfeito. O ponto fixo é o ponto triplo da água (o estado em que as fases sólida, líquida e vapor coexistem em equilíbrio). A magnitude do grau é definida em função da escala de temperatura do gás perfeito, que será discutida posteriormente. Os aspectos importantes dessa nova escala são o único ponto fixo e a definição da magnitude do grau. O ponto triplo da água recebe o valor 0,01 °C. Nessa escala, o ponto de vaporização determinado experimentalmente é 100,00 °C. Assim há uma concordância essencial entre a escala velha de temperatura com a nova. Deve-se observar que ainda não consideramos uma escala absoluta de temperatura. A possibilidade de tal escala surge da segunda lei da termodinâmica. Com base na segunda lei da termodinâmica podemos definir uma escala de temperatura que é independente da substância termométrica. A escala absoluta relacionada à escala Celsius é chamada de escala Kelvin (em honra a William Thompson, 1824 - 1907, que é também conhecido como Lord Kelvin) e indicada por K (sem o símbolo de grau). A relação entre essas escalas é:

$$K = ^\circ C + 273 \quad (12)$$

5 Exercícios

5.1 Questão 1

Os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água na escala Fahrenheit são, respectivamente, 32° F e 212° F. Um termômetro A, graduado na escala Fahrenheit, e outro B, graduado na escala Celsius, são colocados simultaneamente em um frasco contendo água quente. Verifica-se que o termômetro A apresenta uma leitura que supera em 80 unidades a leitura do termômetro B. Podemos afirmar que a temperatura da água no frasco é:

- a) 60° C
- b) 80° C
- c) 112° C
- d) 50° F
- e) 112° F

5.2 Questão 2

Qual a importância da pressão e da temperatura como propriedades?