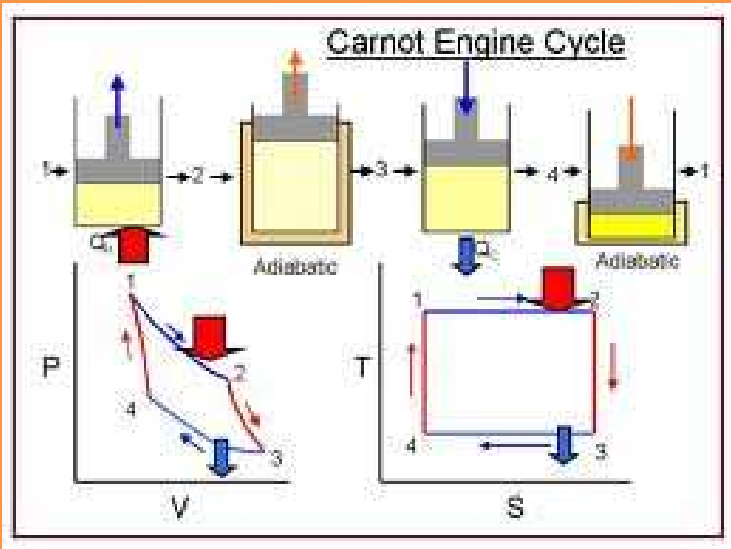


# Termodinâmica

## Capítulo 1

### Conceitos e Definições



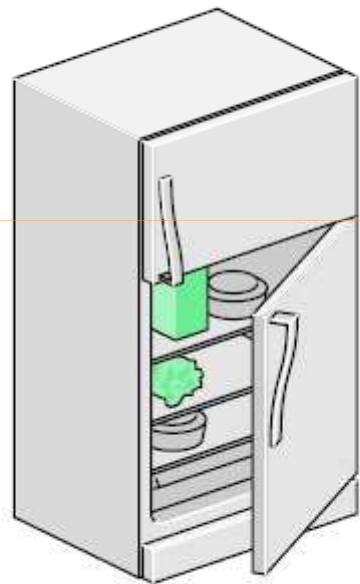
# Definição de termodinâmica

- *Termodinâmica estuda as relações de transferências de energia entre um sistema e seu meio ambiente e as variações resultantes na temperatura ou mudanças de estado.*

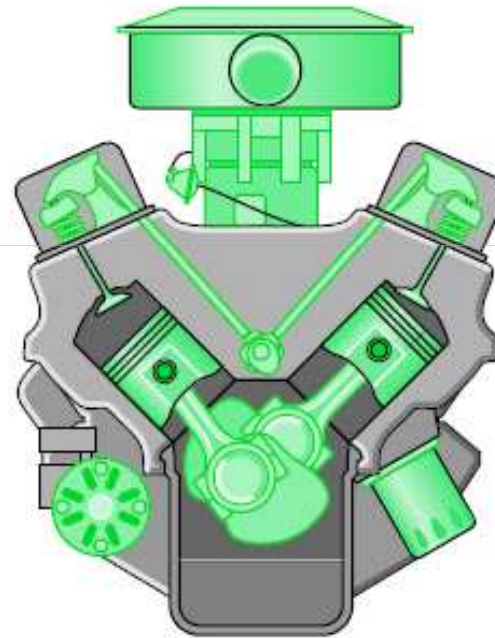
# Algumas áreas de utilização da Termodinâmica aplicada à Engenharia

- Sistemas de propulsão de aeronaves e foguetes
- Sistemas alternativos de energia
- Motores de automóveis
- Aplicações na bioengenharia
- Aplicações biomédicas
- Sistemas de combustão
- Compressores, bombas
- Resfriamento de equipamentos eletrônicos
- Sistemas criogênicos, separação e liquefação de gases
- Usinas de força movidas a combustível fóssil e nuclear
- Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado
- Turbinas a gás e a vapor

# Exemplos

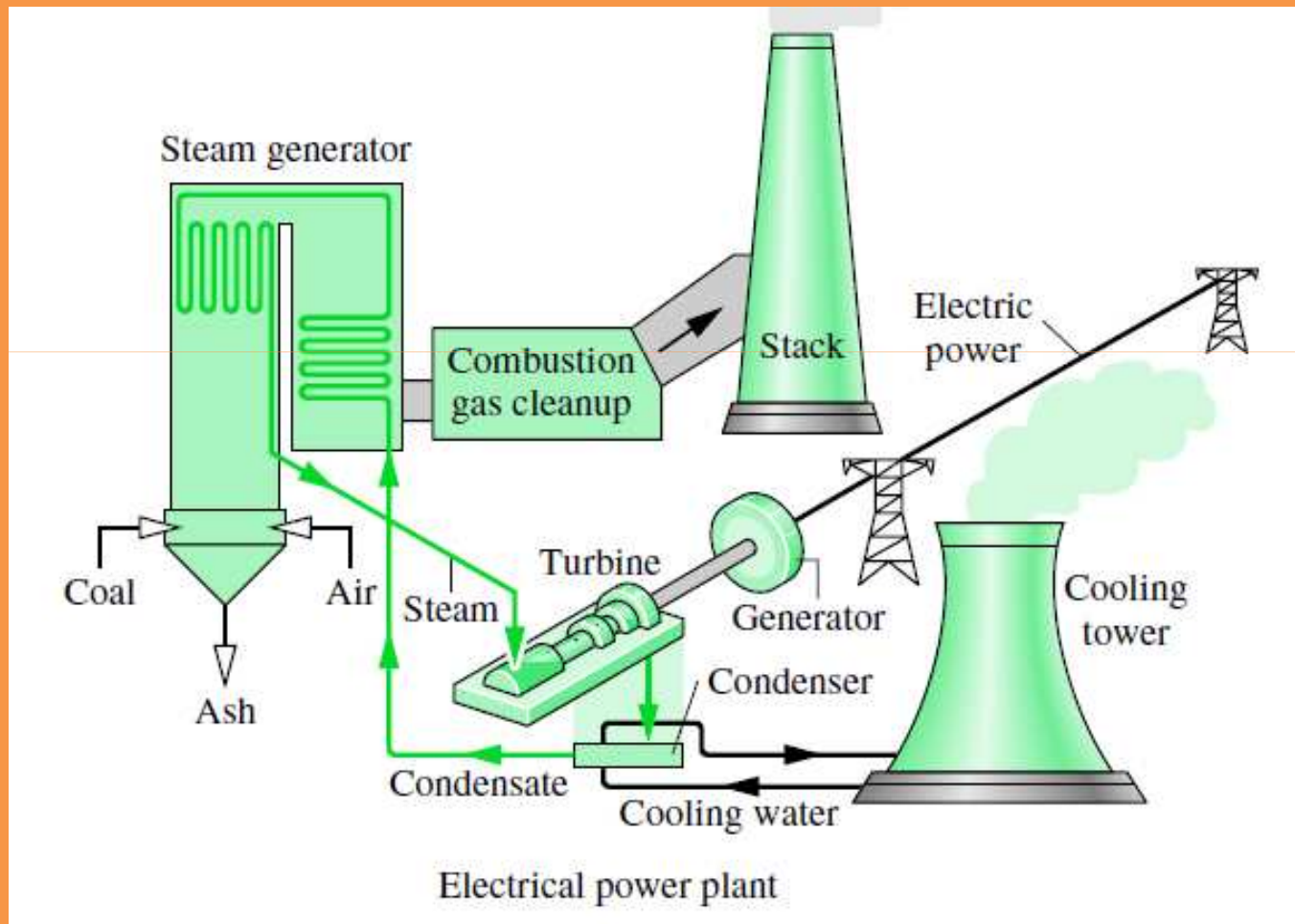


Refrigerator

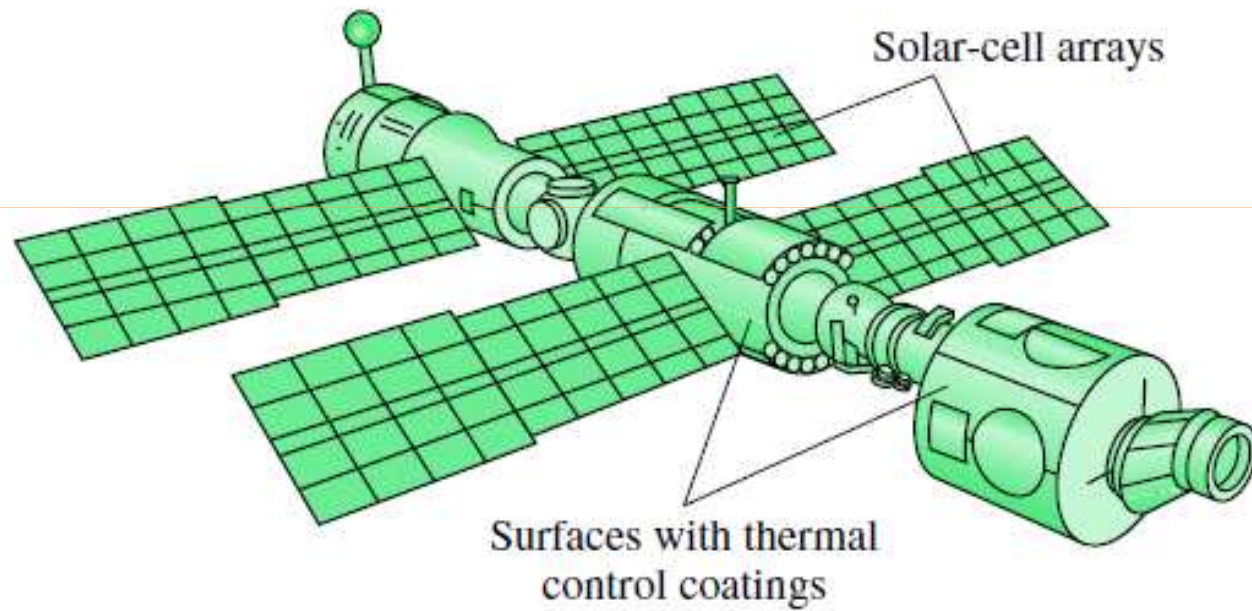


Automobile engine

# Exemplos



# Exemplos



International Space Station

# Rendimiento de máquinas térmicas ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{\textit{Energia Utilizada}}{\textit{Energia Fornecida}}$$

## Rendimentos aproximados de máquinas térmicas

<b>Máquina Térmica</b>	<b>Condições de Operação</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Motor de Automóvel a gasolina (velas)	ótima	25
	estável (100 km/h)	18
	estável (75 km/h)	12
Motor de caminhão (diesel)	carga plena	35
	meia carga	31
Locomotiva (diesel)	ótima	30
Turbina a gás (75 kW)		
a) com regeneração	ótima	16
b) sem regeneração	ótima	12
Turbina a gás ( >7500 kW)		
a) com regeneração	ótima	34
b) sem regeneração	ótima	25
Planta a vapor ( >35000 kW )	ótima	41



## Rendimentos aproximados de máquinas térmicas

<b>Conversor</b>	<b>Tipo de Conversão</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Forno doméstico	Química a Térmica	70
Bateria	Química a Elétrica	70
Bateria seca	Química a Elétrica	90
Célula de combustível	Química a Elétrica	70
Motor elétrico	Elétrica a Mecânica	90
Lâmpada fluorescente	Elétrica a Radiante	21
Lâmpada incandescente	Elétrica a Radiante	7
Foguetes	Química a Cinética	45
Motores de Avião (jato)	Química a Cinética	40
Turbina Elétrica	Potencial a Mecânica	95

# Definição de Sistemas

- ***Sistema***

É tudo aquilo que desejamos estudar.

O que quer que se encontre numa dada região do espaço rodeada por uma superfície real ou conceitual (fronteira).

- ***Vizinhança do sistema***

Tudo o que é externo ao sistema

Região do espaço exterior ao sistema, que pode influenciar o comportamento ou condição do sistema (pode ser isolado do sistema).

- ***Fronteira***

Delimita o sistema de sua vizinhança. Essa fronteira pode estar em repouso ou em movimento.

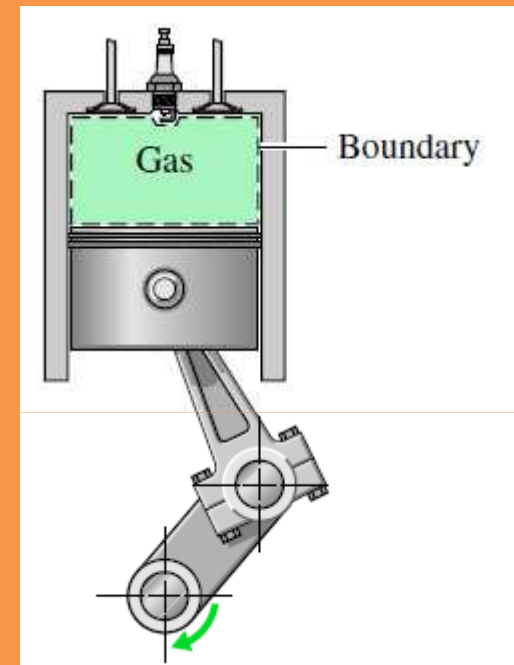
# Tipos de Sistemas

- ***Sistema Fechado:***

Quantidade de matéria encontra-se em estudo. Um sistema fechado sempre contém a mesma quantidade de matéria. Não pode ocorrer fluxo de massa através de suas fronteiras.

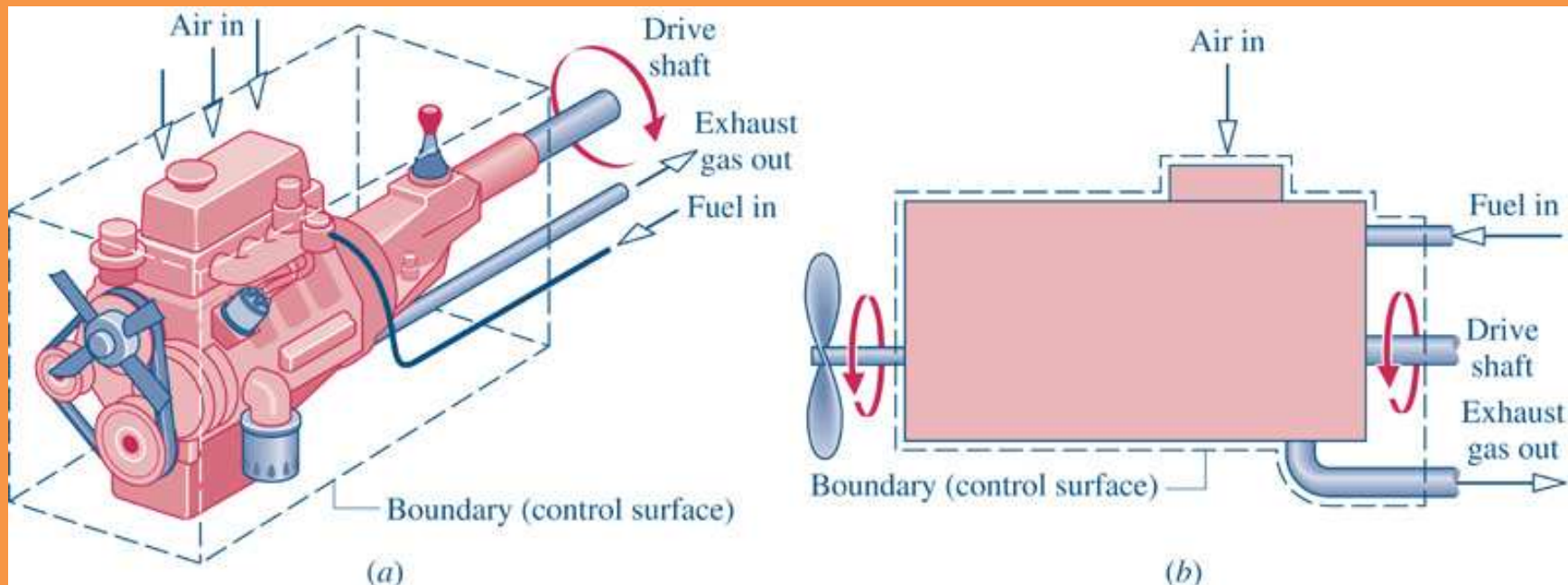
- ***Sistema Isolado:***

A fronteira do sistema é totalmente impermeável à energia e à matéria.



# Volume de Controle (sistema aberto)

- Uma região delimitada por uma fronteira prescrita. A massa pode cruzar a fronteira de um volume de controle.



# Abordagem Macroscópica da Termodinâmica

- Abordagem macroscópica da Termodinâmica (Termodinâmica Clássica) está preocupada com o comportamento geral o global. Nenhum modelo da estrutura da matéria em níveis molecular, atômico e subatômico é utilizado diretamente.

# Abordagem Microscópica da Termodinâmica

- Abordagem microscópica da Termodinâmica (Termodinâmica Estatística) se preocupa diretamente com a estrutura da matéria. O objetivo da termodinâmica estatística é caracterizar por meios estatísticos o comportamento médio das partículas que compõem o sistema de interesse e relacionar essa informação com o comportamento macroscópico observado do sistema

# Propriedade

- Qualquer característica macroscópica de um sistema, tal como massa, volume, energia, pressão e temperatura, para as quais um valor numérico pode ser atribuído num dado instante sem o conhecimento do comportamento prévio do sistema (história).

# Estado

- Condição de um sistema como descrito por suas propriedades.
- *Um estado pode ser especificado fornecendo-se o valor de um subconjunto de propriedades. Todas as outras propriedades podem ser determinadas a partir destas poucas.*



# Processo

- Quando qualquer uma das propriedades de um sistema é alterada, ocorre uma mudança de estado e diz-se que o sistema percorreu um **processo**.
- Um processo é uma transformação de um estado a outro.
- Um sistema é dito em **regime permanente** quando nenhuma de suas propriedades varia com o tempo.

# Distinguindo Propriedades de Não-propriedades

- Uma grandeza é uma propriedade se, e somente se, sua mudança de valor entre dois estados é independente do processo.

# Propriedade Extensiva

- Quando seu valor para o sistema como um todo é a soma de seus valores para as partes nas quais o sistema é dividido.
- Exemplo: massa, volume, energia. Dependem do tamanho ou da extensão de um sistema. Podem variar com o tempo.

# Propriedade Intensiva

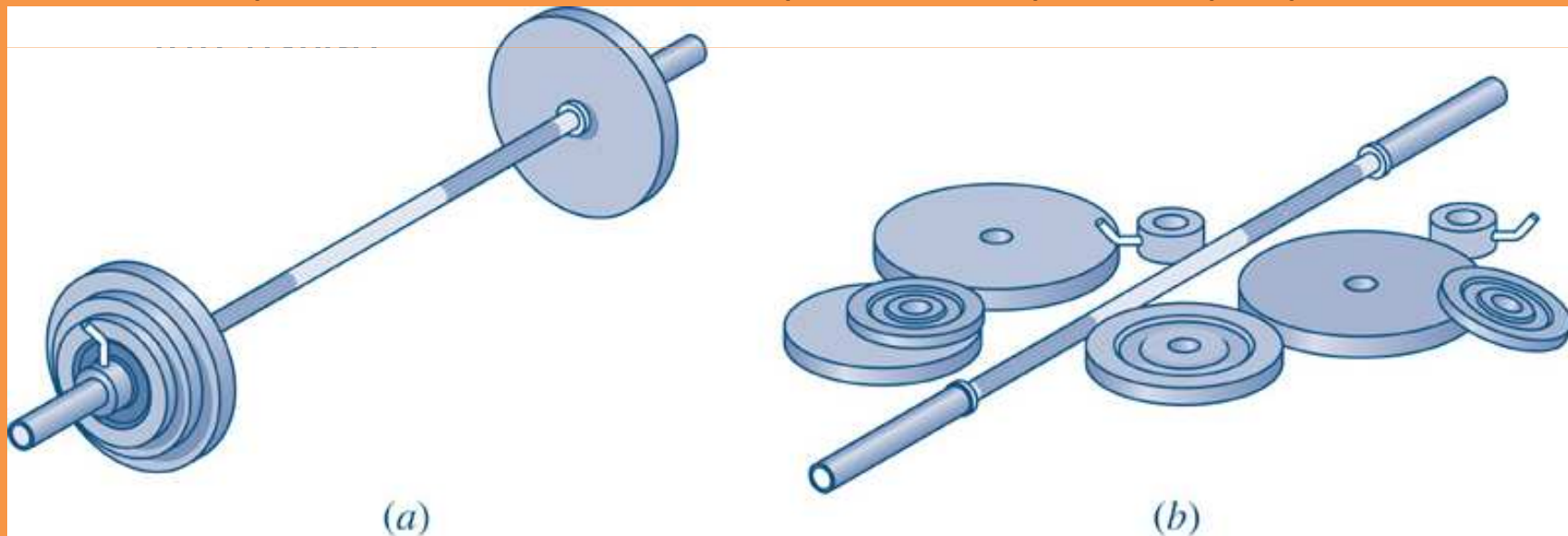
- Não são aditivas.
- Seus valores são independentes do tamanho ou da extensão de um sistema, e podem variar de local para local no interior de um sistema a qualquer momento. Podem ser funções da posição e do tempo.
- Exemplo: volume específico, pressão e temperatura

# Exemplo propriedade extensiva-intensiva

Um alteres em equilíbrio térmico

Massa e Volume = soma das partes (propriedade extensiva)

Temperatura - é a mesma para cada parte (propriedade



# Observações sobre propriedades intensivas e extensivas

- As **propriedades intensivas** só se definem em sistemas, em equilíbrio, isto é, quando o seu valor é o mesmo em todos os pontos do sistema.
- As propriedades intensivas por unidade de massa designam-se por **específicas**.
- As **propriedades extensivas** podem ser transferidas entre sistemas termodinâmicos

# Medidas de Massa, Comprimento, Tempo e Força

- SI – Sistema Internacional

**TABLE 1.2** Units and dimensions for Mass, Length, Time

Quantity	SI		
	Unit	Dimension	Symbol
mass	kilogram	M	kg
length	meter	L	m
time	second	t	s

- Unidade SI para Temperatura é o K (Kelvin)

**TABLE 1.4** SI Unit Prefixes

Factor	Prefix	Symbol
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto	h
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p

**TABLE 1.3**

Quantity	Dimensions	Units	Symbol	Name
Velocity	$Lt^{-1}$	m/s		
Acceleration	$Lt^{-2}$	$m/s^2$		
Force	$MLt^{-2}$	$kg\ m/s^2$	N	newtons
Pressure	$ML^{-1}t^{-2}$	$kg\ m/s^2\ (N/m^2)$	Pa	pascal
Energy	$ML^2t^{-2}$	$kg\ m^2/s^2\ (N\ m)$	J	joule
Power	$ML^2t^{-3}$	$kg\ m^2/s^3\ (J/s)$	W	watt

# Unidades Inglesas de Engenharia

- Comprimento : pé (ft)
- $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$ .      A polegada, in,  $12 \text{ in} = 1 \text{ ft}$
  
- Massa: a libra-massa, simbolizada por **lb**
- $1 \text{ lb} = 0,45359237 \text{ kg}$
  
- Força : a libra-força, simbolizada por **lbf**
- $1 \text{ lbf} = (1 \text{ lb}) * (32,1740 \text{ ft/s}^2) = 32,1740 \text{ lb.ft/s}^2$



# Volume Específico

- A matéria é considerada uniformemente distribuída ao longo de uma região (hipótese do contínuo). Quando as substâncias podem ser tratadas como um meio contínuo pode-se falar de propriedades termodinâmicas intensivas em “um ponto”.
- A massa específica,  $\rho$ , em um ponto é definida por:

$$\rho = \lim_{V \rightarrow V'} \left( \frac{m}{V} \right)$$

$V'$  é o menor volume no qual existe um valor definido para esta razão

A massa específica,  $m$ , é uma propriedade intensiva, que pode variar de ponto a ponto em um sistema

$$m = \int_V \rho dV$$

O volume específico,  $v$ , é definido como:  $v = 1/\rho$

$v$ , também é uma propriedade intensiva

# Base molar

- Quantidade de uma substância em base molar – razão da massa,  $m$  (kg), de uma substância pelo peso molecular,  $M$  (kg/kmol). Unidades no SI = kmol. Unidade inglesa = lbmol.
- O número de moléculas para 1 gmol é o número de Avogrado =  $6,022 \times 10^{23}$ .

$$n = \frac{m}{M}$$

Para assinalar que uma propriedade está em base molar uma barra é utilizada acima do símbolo. Logo,  $\bar{v}$ , significa o volume por kmol

$$\bar{v} = Mv$$

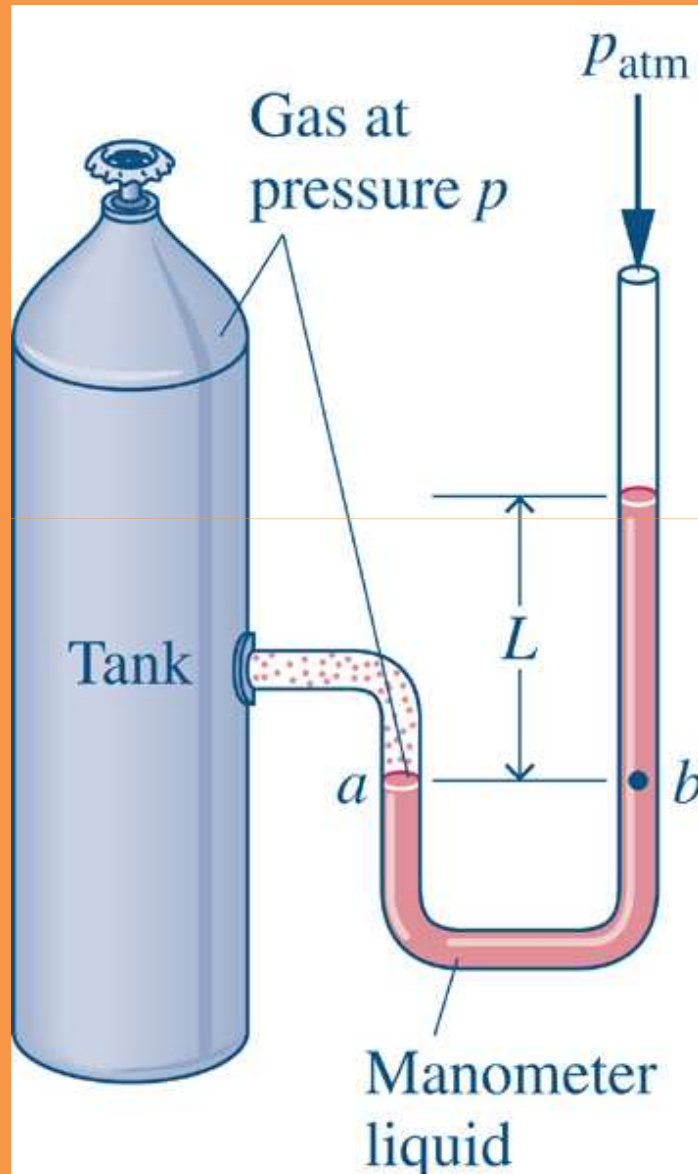
# Pressão

- A pressão  $p$  no ponto especificado é definida como o limite

$$p = \lim_{A \rightarrow A'} \left( \frac{F_{\text{normal}}}{A} \right)$$

- Onde  $A'$  é a menor área no qual existe um valor definido para esta razão.

# Medição de Pressão



Pressões relativas a mesma altura são iguais,  $p_a = p_b$

A pressão do gás é:

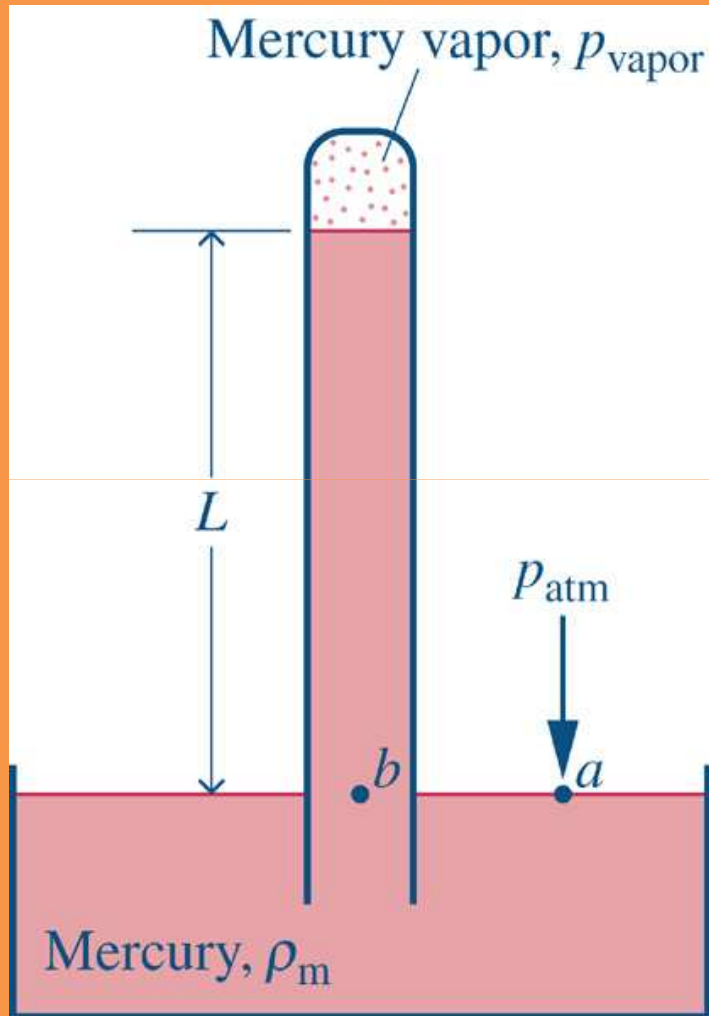
$$p - p_{atm} = \rho g L$$

$\rho$  = densidade do líquido

$g$  = aceleração da gravidade local

Ambas consideradas constantes.

# Barômetro de Mercúrio

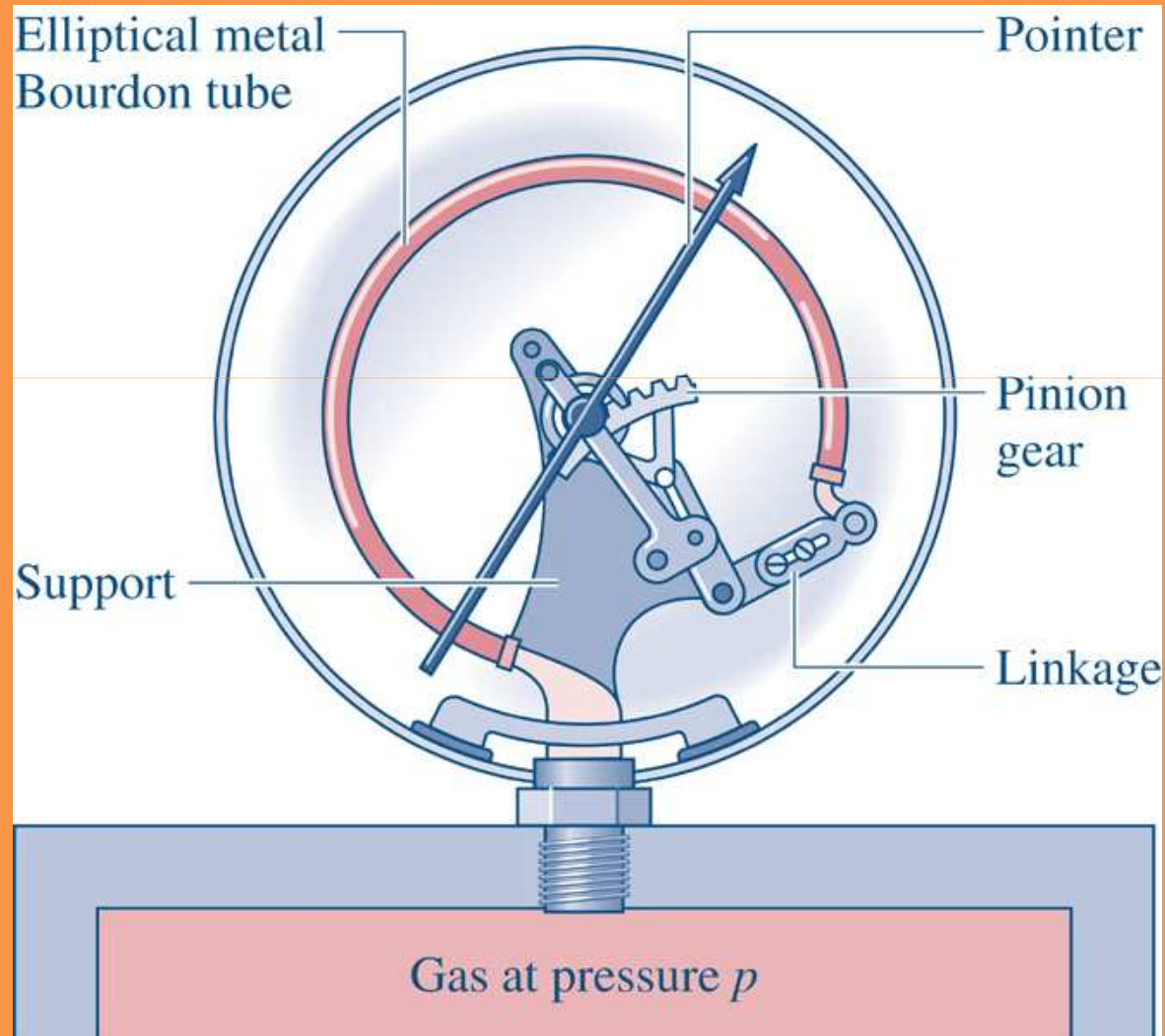


$$p_{\text{atm}} = p_{\text{vapor}} + \rho_m \cdot g \cdot L$$

*Como  $p_{\text{vapor}}$  é muito menor que a  $p_{\text{atm}}$  pode-se considerar que:*

$$p_{\text{atm}} = \rho_m \cdot g \cdot L$$

# Manômetro tipo tubo de Bourdon



# Unidades de pressão

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$$

Múltiplos do pascal

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ N/m}^2$$

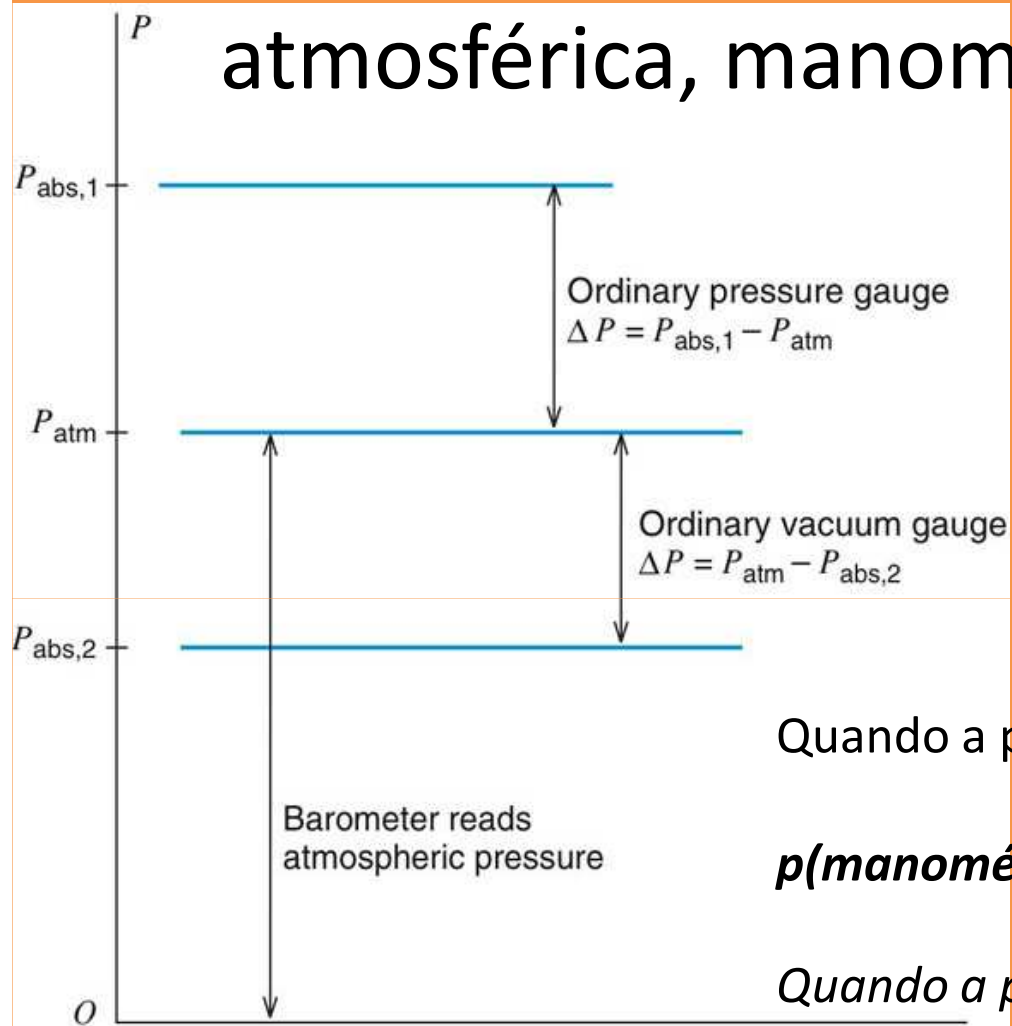
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Valor padrão de referência } 1 \text{ atm} &= 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 14,696 \text{ lbf/in}^2 \\ &= 760 \text{ mmHg} = 29,92 \text{ inHg} \end{aligned}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2, \text{ logo é aproximadamente } = 1 \text{ atm}$$

# Relação entre as pressões absoluta, atmosférica, manométrica e de vácuo



Pressão Manométrica Positiva

Pressão Atmosférica

Pressão Manométrica Negativa

Quando a  $p$  do sistema é maior que a  $p_{atm}$  local

$$p(\text{manométrica}) = p(\text{absoluta1}) - p_{atm}$$

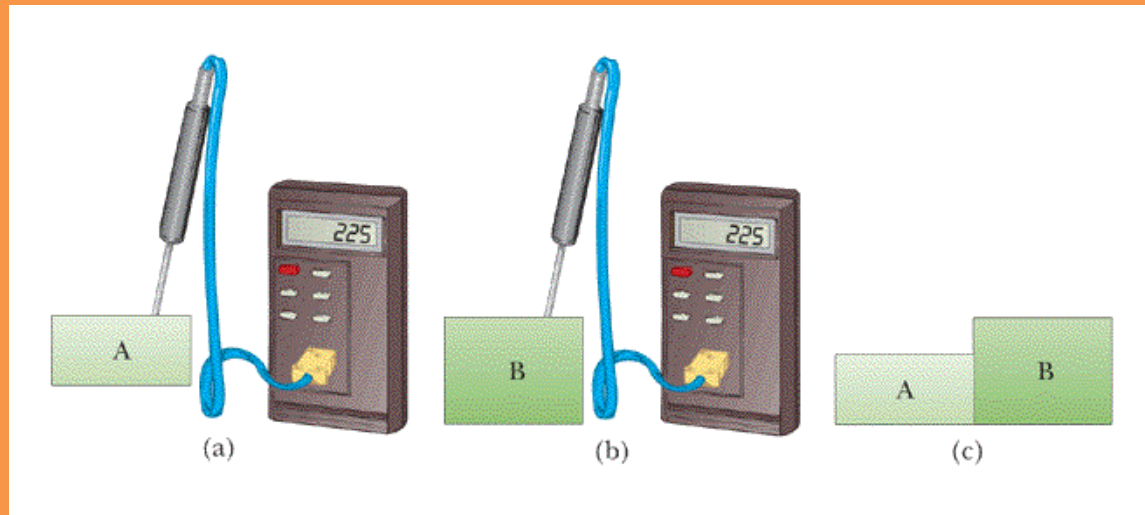
Quando a  $p_{atm}$  local é maior que a  $p$  do sistema  
(pressão de vácuo)

$$p(\text{vácuo}) = p_{atm} - p(\text{absoluta2})$$



# Lei Zero da Termodinâmica

- Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, eles estão em equilíbrio térmico entre si.
- O terceiro corpo é usualmente o termômetro.



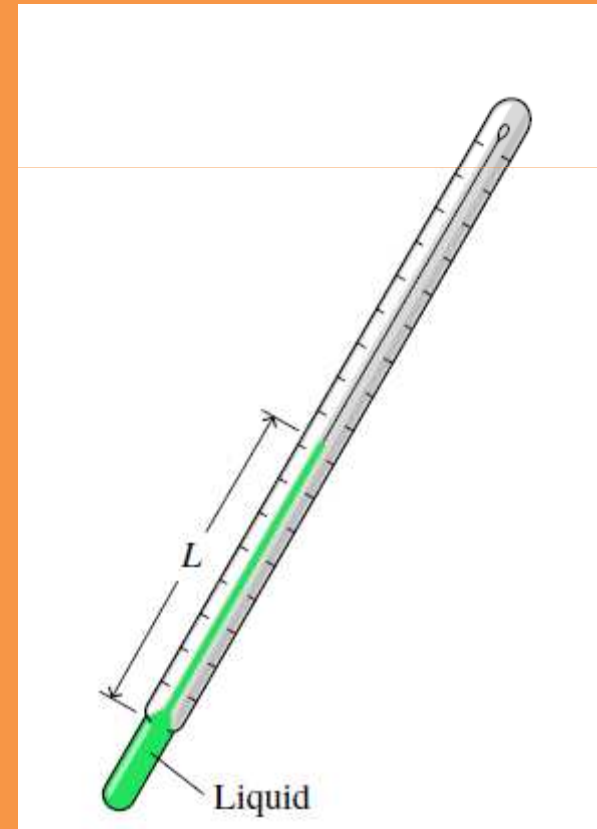
**Figura 1.** (a) Medida de temperatura do Bloco A; (b) Medida de Temperatura do bloco B.

# Termômetros

- Temperatura (conceitualmente)
- Propriedade que determina se um corpo está em equilíbrio térmico com outro corpo
- Propriedade termométrica: propriedade mensurável que varia conforme sua temperatura evolui.

# Termômetro de bulbo

- Termômetro de bulbo: consiste de um tubo de vidro capilar conectado a um bulbo cheio de um líquido, como o mercúrio ou álcool, e selado na sua extremidade.



# Termopares

- Baseados no princípio de que quando dois metais distintos são unidos uma força eletromotriz (fem), que é basicamente função da temperatura, será estabelecida no circuito.
- Feito de platina com uma pureza especificada e o outro é uma liga de platina e ródio. Também utilizam cobre e constantan (liga de cobre e níquel) e ferro e constantan.



# Sensores eletrorresistivos

- Baseados no fato de que a resistência elétrica de uma série de materiais varia de uma maneira previsível com a temperatura.
- Materiais usados são normalmente condutores (platina, níquel ou cobre) ou semicondutores.
- Que usam condutores – bulbo de resistência
- Que usam semicondutores - termistores



# Termômetros de radiação e pirômetros ópticos

- Não há necessidade de entrar em contato com o corpo cuja temperatura deve ser determinada.
- Vantagem quando se lida com corpos em movimento ou corpos com temperaturas elevadas



# Escalas de Temperatura

O zero absoluto da escala Rankine coincide com o zero absoluto da escala kelvin.

$$T(^{\circ}\text{R}) = 1,8.T(\text{K})$$

Escala Celsius e Fahrenheit

Acordo internacional – definido um ponto fixo padrão: ponto triplo da água. Este é o estado de equilíbrio entre vapor, gelo e água líquida, definida como 273,16 K.

O intervalo de temperatura entre o gelo (273,15K) e o ponto de vapor é de 100 K, e na escala Celsius também de 100°C

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

Ponto triplo da água = 0,01°C e 0 K = -273,15°C

# Escalas de Temperatura

Graus Fahrenheit e graus Rankine

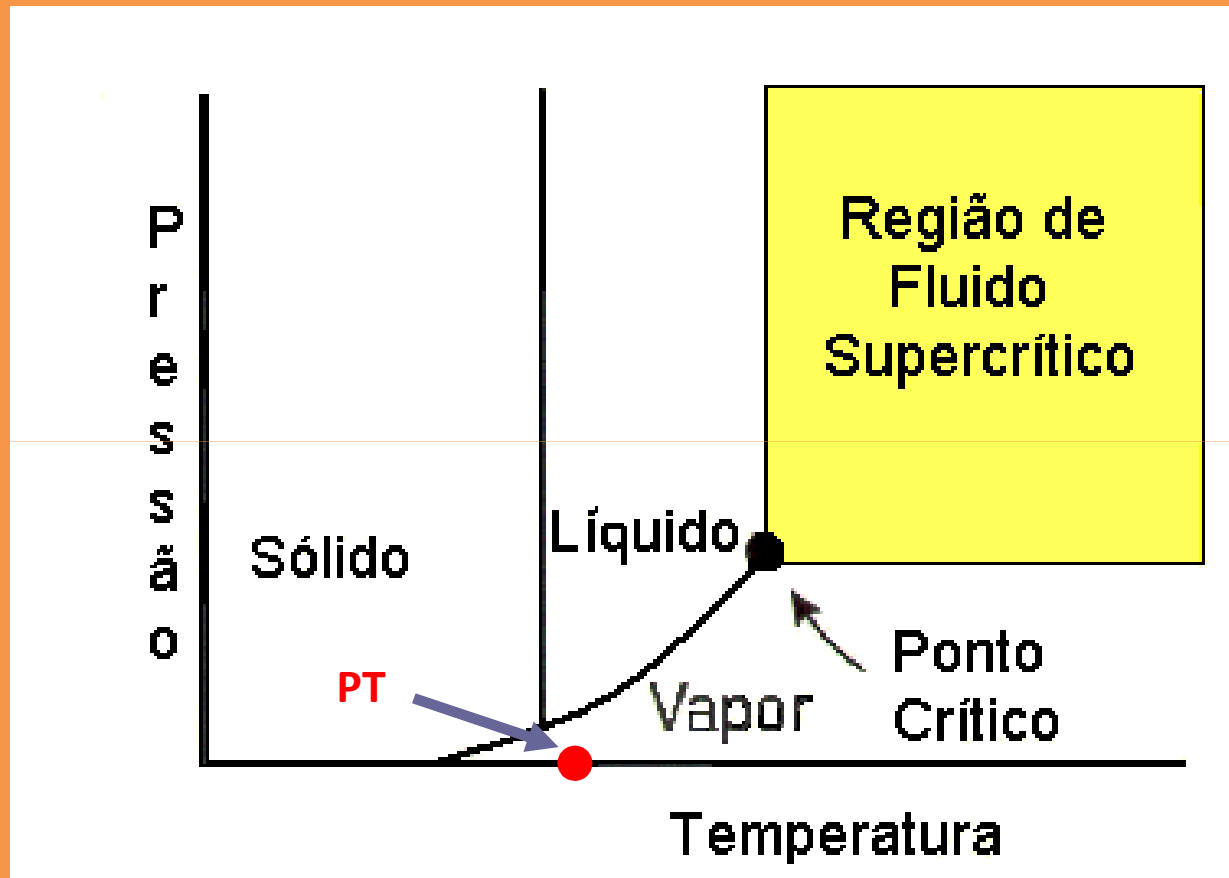
$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{R}) - 459,67$$

Graus Fahrenheit e graus Célsius

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8.T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

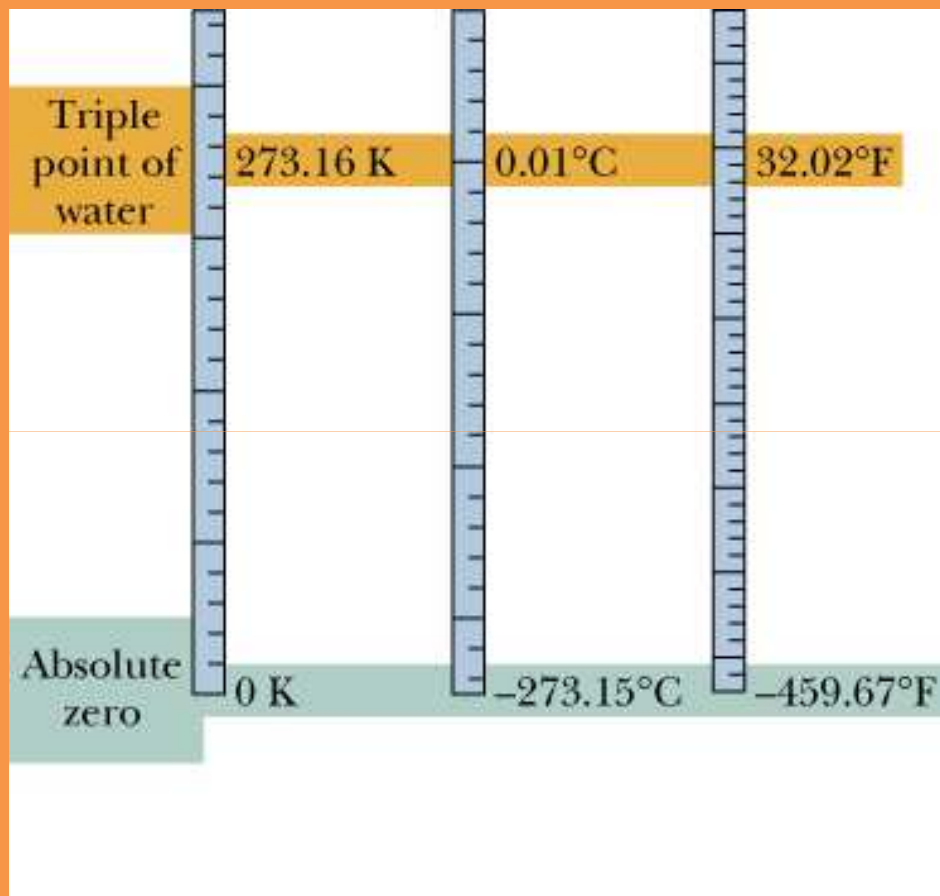


# Ponto Triplo da Água



Ponto triplo da água:  $T_3 = 273,16 \text{ K}$  ;  $P_3 = 4,58 \text{ mmHg}$

# Correspondência entre escalas de temperatura



Temperatura	°C	°F
Ebulição água	100	212
Congelamento água	0	32
Zero da Escala Fahrenheit	-18	0
Coincidência de Escalas	-40	-40

Comparação entre as escalas Kelvin, Celsius e Fahrenheit

## *Equações Principais*

$n = m/M$	(1 8)	Relação entre quantidades de matéria em uma base mássica, $m$ , e uma base molar, $n$ .
$T(^{\circ}\text{R}) = 1,8 T(\text{K})$	(1.16)	Relação entre as temperaturas Rankine e Kelvin.
$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$	(1 17)	Relação entre as temperaturas Celsius e Kelvin.
$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{R}) - 459,67$	(1 18)	Relação entre as temperaturas Fahrenheit e Rankine
$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8T(^{\circ}\text{C}) + 32$	(1 19)	Relação entre as temperaturas Fahrenheit e Celsius

## Fatores de conversão

### Massa e Massa Específica

$$\begin{aligned}1 \text{ kg} &= 2,2046 \text{ lb} \\1 \text{ g/cm}^3 &= 10^3 \text{ kg/m}^3 \\1 \text{ g/cm}^3 &= 62,428 \text{ lb/ft}^3 \\1 \text{ lb} &= 0,4536 \text{ kg} \\1 \text{ lb/ft}^3 &= 0,016018 \text{ g/cm}^3 \\1 \text{ lb/ft}^3 &= 16,018 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

### Comprimento

$$\begin{aligned}1 \text{ cm} &= 0,3937 \text{ in} \\1 \text{ m} &= 3,2808 \text{ ft} \\1 \text{ in} &= 2,54 \text{ cm} \\1 \text{ ft} &= 0,3048 \text{ m}\end{aligned}$$

### Velocidade

$$\begin{aligned}1 \text{ km/h} &= 0,62137 \text{ milha/h} \\1 \text{ milha/h} &= 1,6093 \text{ km/h}\end{aligned}$$

### Volume

$$\begin{aligned}1 \text{ cm}^3 &= 0,061024 \text{ in}^3 \\1 \text{ m}^3 &= 35,315 \text{ ft}^3 \\1 \text{ L} &= 10^{-3} \text{ m}^3 \\1 \text{ L} &= 0,0353 \text{ ft}^3 \\1 \text{ in}^3 &= 16,387 \text{ cm}^3 \\1 \text{ ft}^3 &= 0,028317 \text{ m}^3 \\1 \text{ gal} &= 0,13368 \text{ ft}^3 \\1 \text{ gal} &= 3,7854 \times 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

### Força

$$\begin{aligned}1 \text{ N} &= 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \\1 \text{ N} &= 0,22481 \text{ lbf} \\1 \text{ lbf} &= 32,174 \text{ lb} \cdot \text{ft/s}^2 \\1 \text{ lbf} &= 4,4482 \text{ N}\end{aligned}$$

### Pressão

$$\begin{aligned}1 \text{ Pa} &= 1 \text{ N/m}^2 \\&= 1,4504 \times 10^{-4} \text{ lbf/in}^2 \\1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ N/m}^2 \\1 \text{ atm} &= 1,01325 \text{ bar} \\1 \text{ lbf/in}^2 &= 6894,8 \text{ Pa} \\1 \text{ lbf/in}^2 &= 144 \text{ lbf/ft}^2 \\1 \text{ atm} &= 14,696 \text{ lbf/in}^2\end{aligned}$$

### Energia e Energia Específica

$$\begin{aligned}1 \text{ J} &= 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 0,73756 \text{ ft} \cdot \text{lbf} \\1 \text{ kJ} &= 737,56 \text{ ft} \cdot \text{lbf} \\1 \text{ kJ} &= 0,9478 \text{ Btu} \\1 \text{ kJ/kg} &= 0,42992 \text{ Btu/lb} \\1 \text{ ft} \cdot \text{lbf} &= 1,35582 \text{ J} \\1 \text{ Btu} &= 778,17 \text{ ft} \cdot \text{lbf} \\1 \text{ Btu} &= 1,0551 \text{ kJ} \\1 \text{ Btu/lb} &= 2,326 \text{ kJ/kg} \\1 \text{ kcal} &= 4,1868 \text{ kJ}\end{aligned}$$

### Taxa de Transferência de Energia

$$\begin{aligned}1 \text{ W} &= 1 \text{ J/s} = 3,413 \text{ Btu/h} \\1 \text{ kW} &= 1,341 \text{ HP} \\1 \text{ Btu/h} &= 0,293 \text{ W} \\1 \text{ hp} &= 2545 \text{ Btu/h} \\1 \text{ hp} &= 550 \text{ ft} \cdot \text{lbf/s} \\1 \text{ hp} &= 0,7457 \text{ kW}\end{aligned}$$

### Calor Específico

$$\begin{aligned}1 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} &= 0,238846 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{R} \\1 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K} &= 1 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{R} \\1 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{R} &= 4,1868 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}\end{aligned}$$

constantes

### Constante Universal dos Gases

$$\bar{R} = \begin{cases} 8,314 \text{ kJ/kmol K} \\ 1545 \text{ ft lbf/lbmol } ^\circ\text{R} \\ 1,986 \text{ Btu/lbmol } \cdot ^\circ\text{R} \end{cases}$$

### Aceleração-Padrão da Gravidade

$$g = \begin{cases} 9,80665 \text{ m/s}^2 \\ 32,174 \text{ ft/s}^2 \end{cases}$$

### Pressão Atmosférica Padrão

$$1 \text{ atm} = \begin{cases} 1,01325 \text{ bar} \\ 14,696 \text{ lbf/in}^2 \\ 760 \text{ mm Hg} = 29,92 \text{ in Hg} \end{cases}$$

### Relações entre Temperaturas

$$\begin{aligned} T(^{\circ}\text{R}) &= 1,8 T(\text{K}) \\ T(^{\circ}\text{C}) &= T(\text{K}) - 273,15 \\ T(^{\circ}\text{F}) &= T(^{\circ}\text{R}) - 459,67 \end{aligned}$$

# Projeto de Engenharia e Análise

- Projeto
- Processo de tomada de decisão em que princípios extraídos de engenharia e de outros campos, como economia e estatística, são aplicados, usualmente de forma interativa, de modo a planejar um sistema, um componente de um sistema ou num processo.

# Análise

- As análises voltadas a Termodinâmica envolvem direta ou indiretamente, uma ou mais de três leis básicas: princípio da conservação de massa, princípio da conservação de energia e 2ª Lei da Termodinâmica
- Além disso: relações entre as propriedades da substância ou substâncias em questão, 2ª Lei do Movimento de Newton, Modelo de Fourier para condução e princípios de engenharia econômica

# Metodologia para resolução de problemas de Termodinâmica

- 1 – Dado: enunciar de forma sucinta, com suas próprias palavras o que se conhece;
- 2 – Pede-se: enuncie concisamente, com suas próprias palavras, o que deve ser determinado;
- 3 – Diagrama esquemático e dados fornecidos: desenhe o esboço do sistema a ser considerado. Decida se a análise mais apropriada deve ser feita utilizando-se o conceito de sistema fechado ou volume de controle, identifique a fronteira. Liste todos os valores de propriedades



# Metodologia para resolução de problemas de Termodinâmica

- 4 – Modelo de Engenharia: liste as hipóteses simplificadoras e as idealizações feitas a fim de tornar o problema viável.
- 5 – Análise: usando as hipóteses e idealizações adotadas, simplifique as equações e as relações adequadas