



USP

PQI 3222

**Química Ambiental e Fundamentos
de Termodinâmica**

Prof. Dr. Pedro de Alcantara Pessoa Filho
Prof. Dra. Marcela dos Passos Galluzzi Baltazar

Volume Específico e Massa Específica

→ O volume específico de uma substância é definido como o volume ocupado pela unidade de massa (v ou \bar{v}).

→ A massa específica de uma substância é definida como a massa associada à unidade de volume (ρ ou $\bar{\rho}$).

Base molar

No SI → kg/m^3 ; mol/m^3 ou kmol/m^3 na base molar

No SI → m^3/kg ; m^3/mol ou m^3/kmol na base molar

Um recipiente com volume interno de 1m^3 , contém $0,12\text{ m}^3$ de granito, $0,15\text{m}^3$ de areia e $0,2\text{m}^3$ de água líquida a 25°C . O restante do volume interno do recipiente ($0,53\text{ m}^3$) é ocupado por ar que apresenta massa específica igual a $1,15\text{ kg/m}^3$. Determine o volume específico e a massa específica da mistura contida no recipiente (consultar tabela anexa).

Tabela A.3 e A.4 — Propriedades de vários sólidos e líquidos

Sólido	c_p , kJ/kg K	ρ , kg/m ³	Líquido	c_p , kJ/kg K	ρ , kg/m ³
Aço (AISI302)	0,48	8050	Água	4,184	997
Alumínio	0,9	2700	Amônia	4,8	602
Areia (seca)	0,8	1500	Benzeno	1,72	879
Asfalto	0,92	2120	Butano	2,469	556
Borracha (macia)	1,67	1100	CCL ₄	0,83	1584
Carbono, diamante	0,51	3250	CO ₂	2,9	680
Carbono, grafite	0,61	2500	Etanol	2,456	783
Carvão	1,26	1350 (med)	Gasolina	2,08	750
Cobre	0,386	8900	Glicerina	2,40	1200
Concreto	0,88	2200	Metanol	2,55	787
Chumbo	0,128	11310	n-octano	2,1	692
Estanho	0,217	5730	Mercúrio	0,139	13560
Ferro fundido	0,42	7272	Óleo (leve)	1,8	910
Gelo (0°C)	2,04	917	Óleo de motor	1,9	885
Granito	0,89	2750	Propano	2,54	510
Lã	1,72	100	R-12	0,971	1310
Lã de vidro	0,66	200	R-22	1,43	1206
Latão, 60 – 40	0,38	8400	R-32	1,94	961
Madeira dura	1,26	720	R-125	1,41	1191
Madeira mole (pinho)	1,38	510	R-134a	1,43	1206
Níquel, 10% Cr	0,44	8666	Metais líquidos		
Papel	1,2	700	Bismuto	0,14	10040
Prata	0,235	10470	Chumbo	0,16	10660
Tijolo (comum)	0,84	1800	Mercúrio	0,14	13580
Tungstênio	0,13	19300	Na/K (56/44)	1,13	887
Vidro	0,8	2500	Sódio	1,38	929
Zinco	0,39	7144	Zinco	0,50	6570

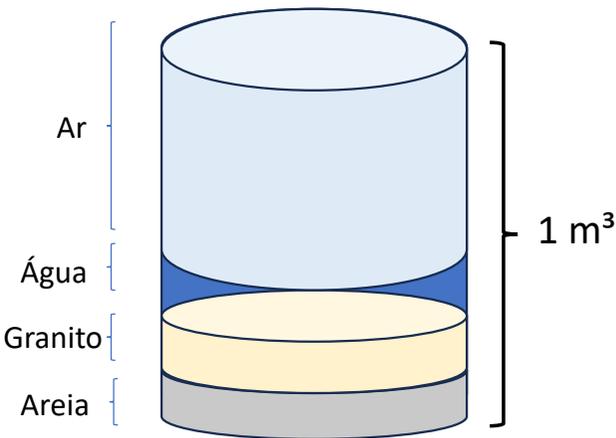
• Definições:

$$\rho = \frac{m \text{ (kg)}}{V \text{ (m}^3\text{)}}$$

$$v = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{m \text{ (kg)}}$$

Determine o volume específico e a massa específica da mistura contida

→ Preciso de m da mistura e v da mistura.



$$V_{\text{mistura}} = 1 \text{ m}^3.$$

$$m_{\text{mistura}} = (\rho \cdot v)_{\text{granito}} + (\rho \cdot v)_{\text{areia}} + (\rho \cdot v)_{\text{água líquida}} + (\rho \cdot v)_{\text{ar}}$$

$$m_{\text{mistura}} = (2750 \cdot 0,12)_{\text{granito}} + (1500 \cdot 0,15)_{\text{areia}} + (997 \cdot 0,2)_{\text{água líquida}} + (1,15 \cdot 0,53)_{\text{ar}}$$

$$m_{\text{mistura}} = (330)_{\text{granito}} + (225)_{\text{areia}} + (199,4)_{\text{água líquida}} + (0,6)_{\text{ar}}$$

$$m_{\text{mistura}} = 755,0 \text{ kg.}$$

$$\rho = \frac{m \text{ (kg)}}{V \text{ (m}^3\text{)}} = \frac{755}{1} = 755 \text{ kg / m}^3$$

$$v = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{m \text{ (kg)}} = \frac{1}{755} = 0,0013 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Discussão - Phet

- Lei de Boyle

T constante 300 K		
Δ Volume	Pressão (atm)	P.V
5	12	60
7,5	8	60
10	6	60

a T constante, a pressão de um gás é inversamente proporcional ao volume. $\rightarrow C = PV$

- Lei de Charles

P constante ~ 6 atm	
Δ Temperatura	Volume
300	10
350	11,7
400	13,3

A P constante, o volume de um gás é proporcional à sua temperatura.

- Lei de Gay Lussac

V constante - 10nm	
Temperatura	Δ Pressão
300	~6
450	~9
550	~11
700	~14

A V constante, a pressão de um gás é proporcional à sua temperatura.

Aula 2 → Objetivo

- ✓ Introduzir conceitos fundamentais e definições que serão usadas no estudo da termodinâmica.**

CONCEITOS BÁSICOS

- **Sistema** - uma porção do espaço considerado como objeto de estudo; uma quantidade de matéria ou região no espaço
- **Fronteiras** - superfície real ou imaginária que separa o sistema da vizinhança; Limite do sistema; Define o volume de controle.
- **Vizinhança** - aquilo que é exterior ao sistema e com o qual o sistema pode, eventualmente, trocar energia e/ou matéria.

CONCEITOS BÁSICOS

Contato mecânico

Contato térmico

Rígidas

Móveis

Físicas

Imaginárias



FRONTEIRA



Aberto

Fechado

Isolado

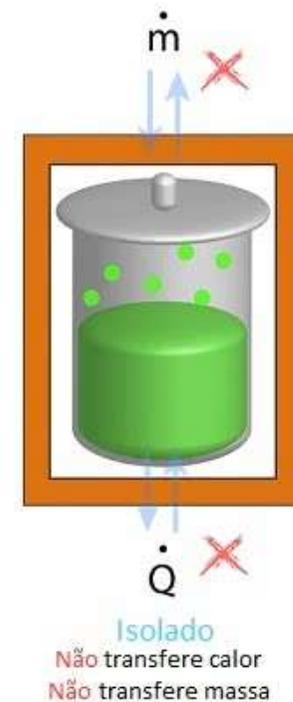
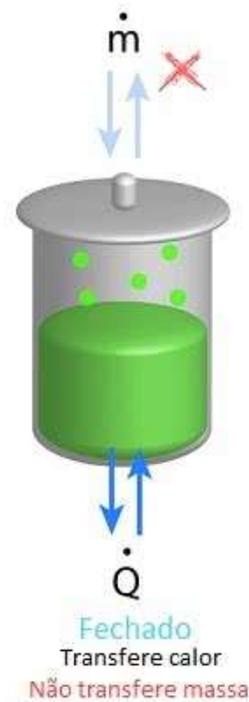


CONCEITOS BÁSICOS - SISTEMA

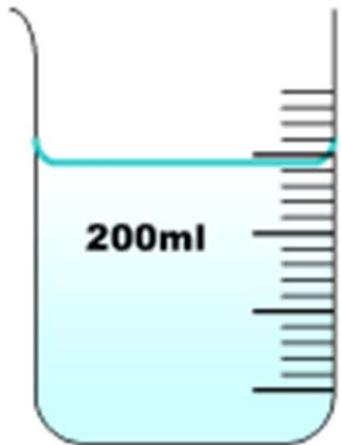
Aberto

Fechado

Isolado



CONCEITOS BÁSICOS - SISTEMA



Aberto

Fechado

Isolado



Aberto

Fechado

Isolado



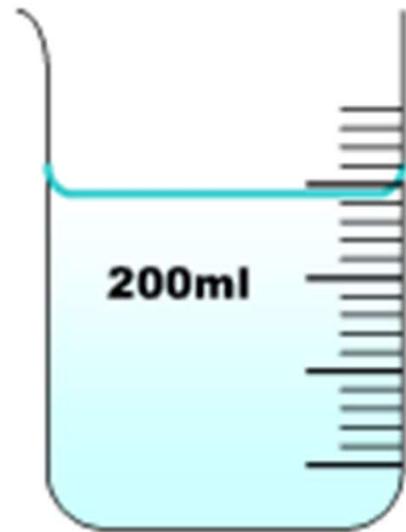
CONCEITOS BÁSICOS - FRONTEIRAS

Rígidas

Móveis

Físicas

Imaginárias



Imaginárias



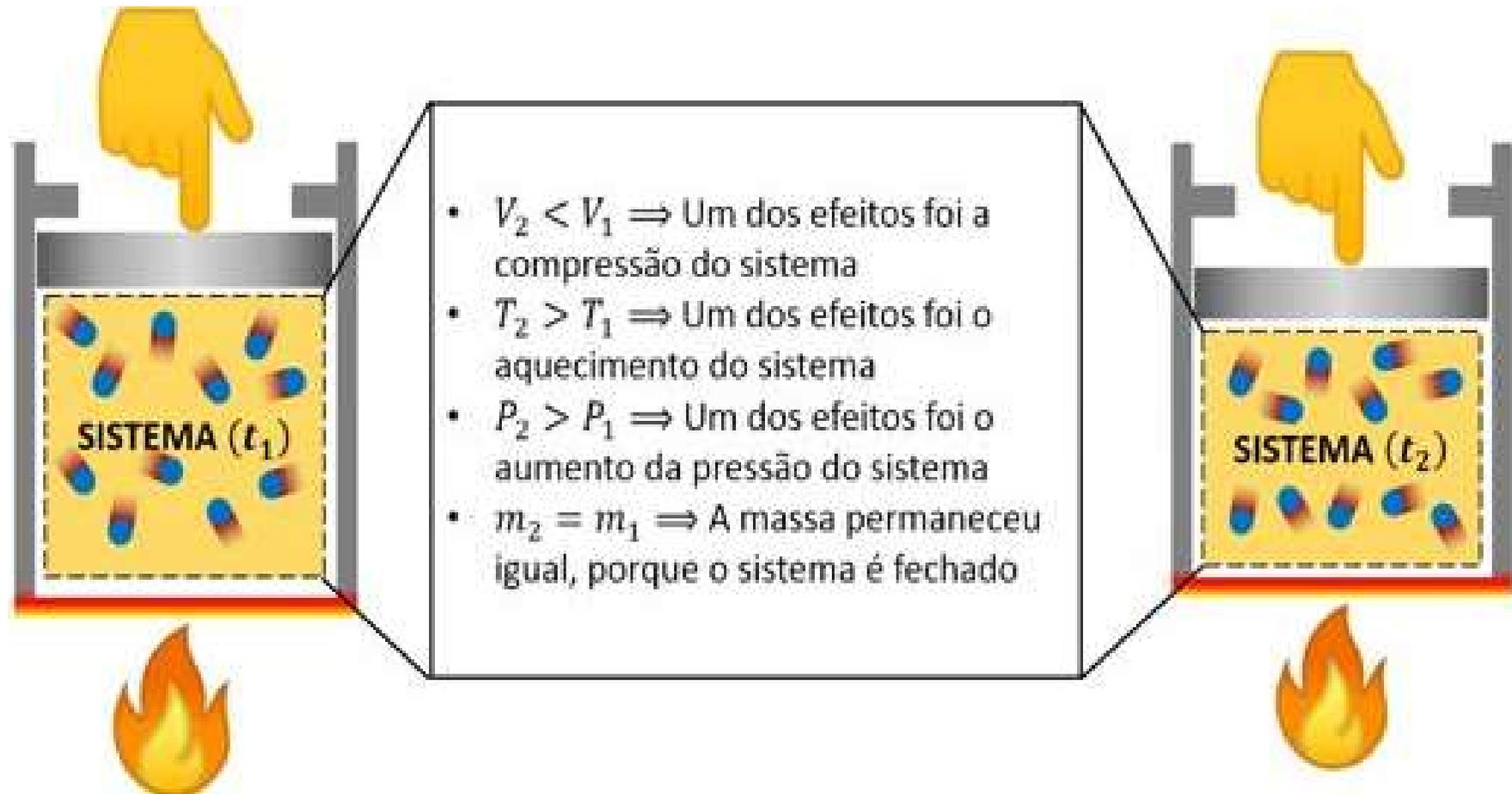
Móveis



Rígidas

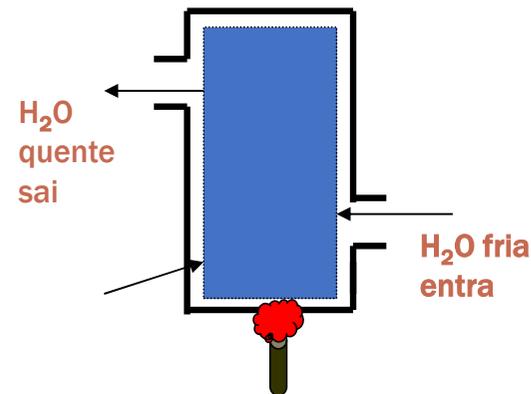
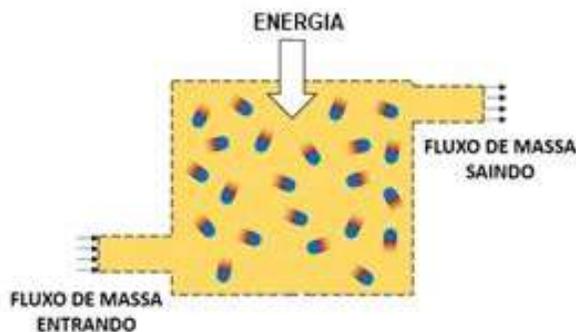
Físicas

CONCEITOS BÁSICOS - SISTEMAS

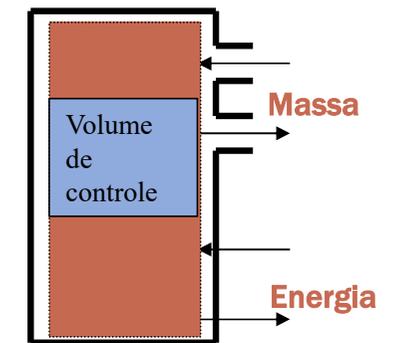


CONCEITOS BÁSICOS – VOLUMES DE CONTROLE

- Um sistema aberto (volume de controle) é uma região propriamente selecionada no espaço contendo um equipamento no qual existe fluxo de massa entrando e saindo.
- Massa e energia podem atravessar a envoltória.



Um sistema aberto (volume de controle) com uma saída/uma entrada



Massa e energia atravessando o volume de controle

CONCEITOS BÁSICOS – ESTADO E PROPRIEDADES



- Uma fase é definida como uma quantidade de matéria totalmente homogênea. É a região dentro de um sistema onde todas as propriedades são uniformes
- Em cada fase, a substância pode existir a várias pressões e temperaturas, ou, em vários estados.
- O estado pode ser identificado ou descrito por propriedades macroscópicas observáveis como temperatura, pressão, massa específica.
- Estado é caracterização quantitativa do sistema em um dado tempo.

CONCEITOS BÁSICOS – ESTADO E PROPRIEDADES

- Uma fase é definida como uma quantidade de matéria totalmente homogênea. É a região dentro de um sistema onde todas as propriedades são uniformes
- Em cada fase, a substância pode existir a várias pressões e temperaturas, ou, em vários estados.
- O estado pode ser identificado ou descrito por propriedades macroscópicas observáveis como temperatura, pressão, massa específica.
- Estado é caracterização quantitativa do sistema em um dado tempo.
- Cada propriedade, em um dado estado, apresenta somente um valor e eles são sempre os mesmos para aquele estado.
- O estado não depende da forma como a substância chegou a ele.
- Variáveis (funções) de estado – propriedades do estado do sistema que depende apenas do estado do sistema em um dado tempo, e não do caminho.

CONCEITOS BÁSICOS – ESTADO TERMODINÂMICO

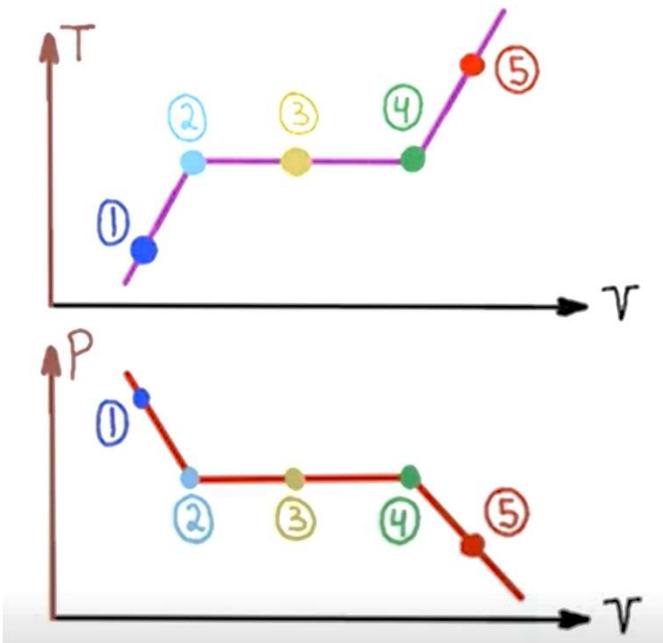
Estado líquido comprimido?

Estado líquido saturado?

Mistura saturada?

Vapor saturado?

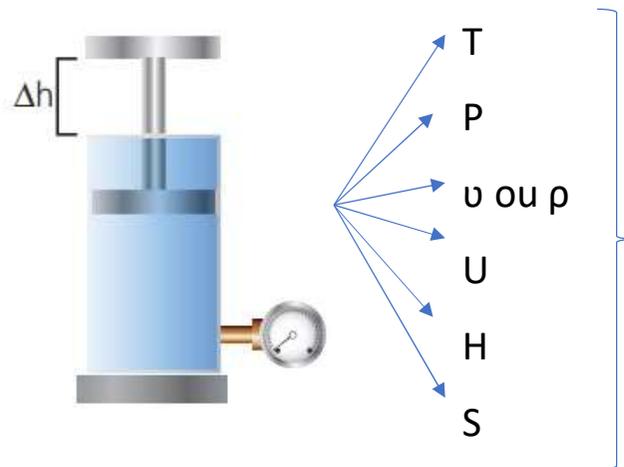
Vapor superaquecido?



“O estado de um sistema compressível simples pode ser completamente especificado por apenas duas propriedades intensivas independentes.”

CONCEITOS BÁSICOS – ESTADO TERMODINÂMICO

“O estado de um sistema compressível simples pode ser completamente especificado por apenas duas propriedades intensivas independentes.”



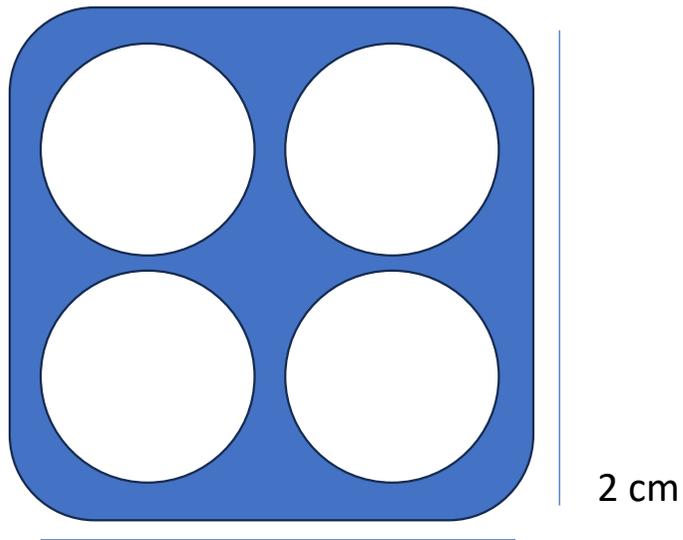
Com apenas duas propriedades, podemos definir completamente o estado termodinâmico.

CONCEITOS BÁSICOS – PROPRIEDADES

São características observáveis do sistema e que podem se dividir em duas classes: Intensivas e extensivas.

- **Propriedades intensivas** – quantidade física cujo valor independe do tamanho ou quantidade de matéria do sistema – Temperatura, Pressão, Massa específica, concentração
- **Propriedades extensivas** – quantidade física cujo valor depende do tamanho ou quantidade de matéria do sistema - o valor da propriedade para o sistema global é a soma de seus valores para as partes nas quais o sistema é dividido – Massa, Energia, Volume

CONCEITOS BÁSICOS – PROPRIEDADES



$T = 25^{\circ}\text{C}$

2 cm

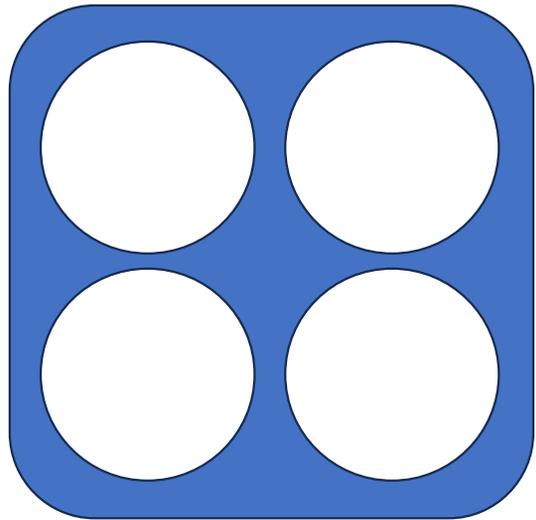
$P = 1 \text{ atm}$

$A = 4 \text{ cm}^2$

$m = 4 \text{ bolas}$

$\rho = 4 / 4 = 1 \text{ bola}/1\text{cm}^2$

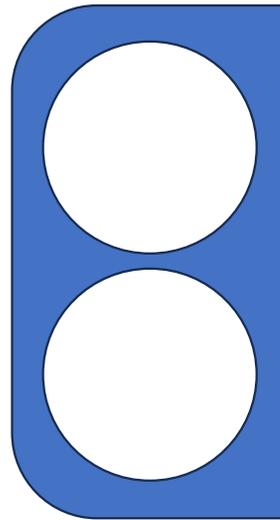
CONCEITOS BÁSICOS – PROPRIEDADES



2 cm

2 cm

$T = 25^{\circ}\text{C}$
 $P = 1 \text{ atm}$
 $A = 4 \text{ cm}^2$
 $m = 4 \text{ bolas}$
 $\rho = 4 / 4 = 1 \text{ bola}/1\text{cm}^2$



2 cm

1 cm

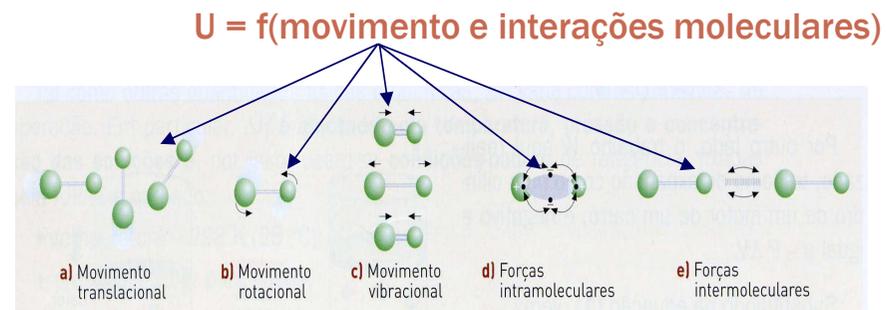
$T = 25^{\circ}\text{C}$
 $P = 1 \text{ atm}$
 $A = 2 \text{ cm}^2$
 $m = 2 \text{ bolas}$
 $\rho = 2 / 2 = 1 \text{ bola}/1\text{cm}^2$

$T =$ Intensiva
 $P =$ Intensiva
 $A =$ Extensiva
 $N =$ Extensiva
 $P =$ Intensiva

CONCEITOS BÁSICOS – ENERGIA INTERNA (U)

- Energia que se refere às moléculas internas à substância;
- Energia existente na matéria devido ao movimento e/ou forças inter e intramoleculares.
- Esta forma de energia pode ser decomposta em duas partes:
 - ✓ **Energia cinética interna:** devido à velocidade das moléculas
 - ✓ **Energia potencial interna:** devido às forças de atração entre as moléculas.
- As mudanças na velocidade das moléculas são identificadas, macroscopicamente, pela alteração da temperatura da substância (sistema), enquanto que as variações na posição são identificadas pela mudança de fase da substância

- Adição de Q ou W pode aumentar sua energia interna;
- Não são conhecidos valores absolutos;
- Só utilizam-se variações da energia interna.



CONCEITOS BÁSICOS – ENTALPIA (H)

- A entalpia mede a totalidade de energia *do sistema* - incluindo-se também a energia atrelada ao sistema em virtude das relações que este estabelece com a sua vizinhança.
- Entalpia específica é uma grandeza cuja variação depende apenas do estado inicial e final do sistema (= função de estado)

Energia dita
'intransferíveis' que as
moléculas possuem

Energia disponível nas mesmas
moléculas para realização de trabalho

$$H = U + (P \cdot V)$$

CONCEITOS BÁSICOS – Calores específicos

- O fluxo térmico é comumente analisado pelos efeitos que tem sobre as substâncias que recebem a energia.
 - ✓ Para elevar de 1 grau a temperatura de uma dada massa de qualquer material, é necessária uma certa quantidade de calor.
 - ✓ Esta quantidade de calor é a **capacidade calorífica** da substância
 - ✓ É comumente baseado em 1 mol ou em uma unidade de massa da substância

✓ **Calores específicos** – relações entre a quantidade de calor trocada e a variação de temperatura sofrida pelo sistema.

$$\left. \frac{dQ}{dT} \right|_V = C_V \equiv \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$$

C_V - Capacidade calorífica a volume constante

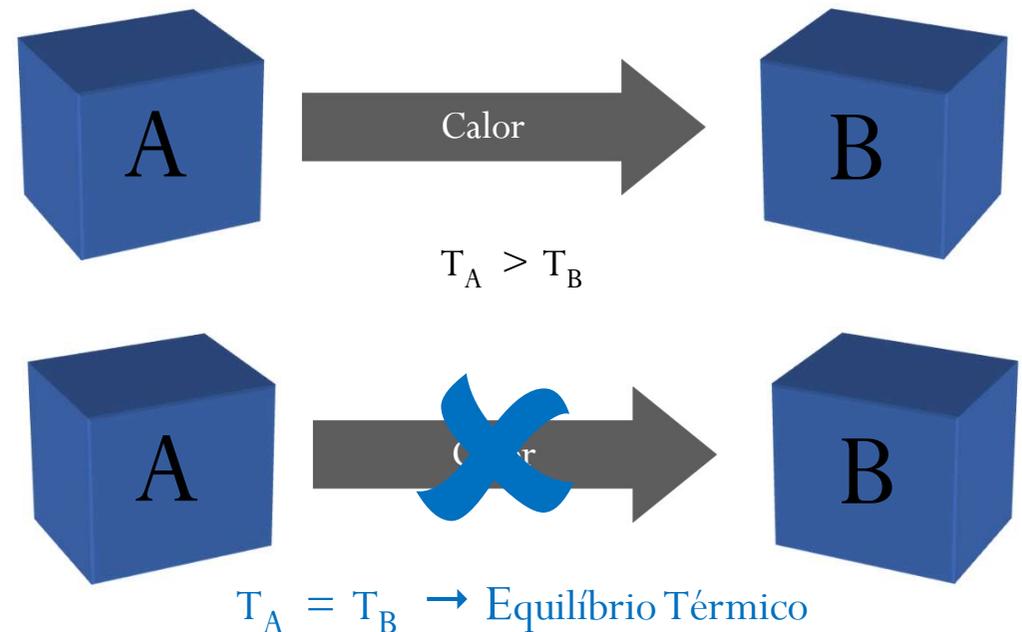
$$\left. \frac{dQ}{dT} \right|_P = C_P \equiv \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P$$

C_P - Capacidade calorífica a pressão constante

TRABALHO E CALOR

▪ **Calor (Q)** - Forma de transferência de energia como resultado apenas de diferença de temperatura.

- Energia em trânsito
- Representa uma quantidade de energia transferida entre um sistema e sua vizinhança
- Não é uma propriedade do sistema



TRABALHO E CALOR

▪ **Trabalho** – Transferência de energia por qualquer mecanismo que envolve movimento mecânico de / ou através as fronteiras do sistema.

- energia em trânsito
- não é propriedade do sistema

1. Realizado quando uma força atua em uma distância $W = \int F \cdot dl$

2. Expansão/compressão cilindro com pistão

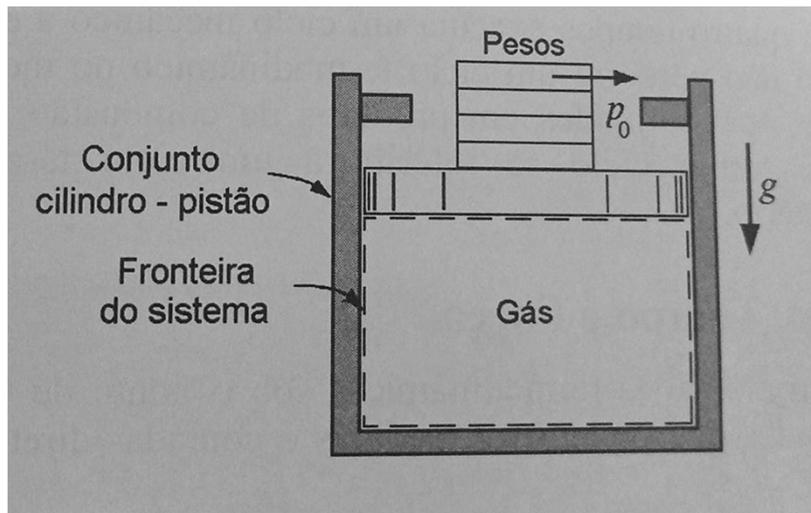
$$dW = F \cdot dl = P \cdot A \cdot d\left(\frac{V}{A}\right) = P \cdot dV$$

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} P_{ex} \cdot dV$$

CONCEITOS BÁSICOS

- **Processo** - É uma transformação de um estado a outro, devido à variação em qualquer das propriedades do sistema causada por transporte, transferência ou transformação de massa e/ou energia.
 - Se um sistema apresenta os mesmos valores de suas propriedades em tempos diferentes, ele está no mesmo estado nestes tempos.
 - ✓ Um sistema é dito, então, estar em **estado estacionário** se nenhuma de suas propriedades varia com o tempo.
- **Ciclo** - É um processo, ou mais especificamente uma série (sequência) de processos, onde o estado inicial e o estado final do sistema (substância) coincidem.
 - No final de um ciclo, todas as propriedades têm os mesmos valores que eles tinham no início.

CONCEITOS BÁSICOS – PROCESSO DE QUASE EQUILÍBRIO



Uma vez que as propriedades descrevem o estado de um sistema apenas quando ele está no equilíbrio, como podemos descrever estados de um sistema durante um processo, quando não existe equilíbrio?

Um processo de quase-equilíbrio é aquele em que o desvio do equilíbrio termodinâmico é infinitesimal e todos os estados pelos quais o sistema passa durante o processo podem ser considerados como estado de equilíbrio.

SUA VEZ!

No conjunto cilindro-pistão da Figura Er1.1, tem-se 0,1 kg de ar. O diâmetro do pistão é igual a 0,1 m, a sua massa é igual a 20 kg e a pressão atmosférica, p_{atm} , é igual a 101,3 kPa. Determine o tipo de Sistema, a fronteira e a pressão do ar, considerando o equilíbrio mecânico.

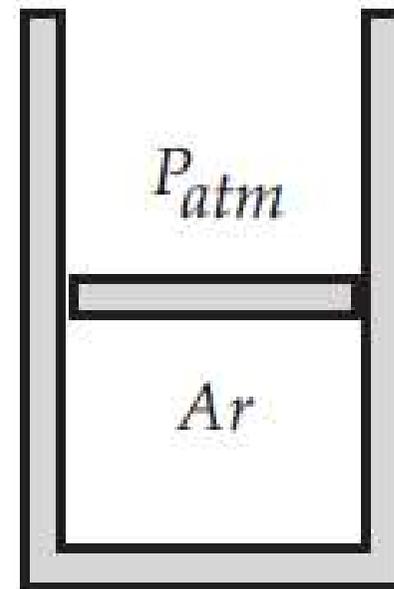


Figura Er1.1

DISCUSSÃO

Quais são as forças que atuam no sistema?

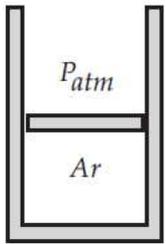


Figura Er1.1

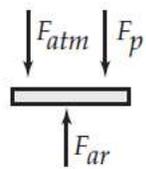


Figura Er1.1-a

Dados e considerações

- Fluido: ar.
- Massa: $m = 0,1$ kg.
- Diâmetro do pistão: $d = 0,1$ m.
- Massa do pistão: $m_p = 20$ kg.
- $p_{atm} = 101,3$ kPa.
- Aceleração da gravidade: $g = 9,81$ m/s².

$$\mathbf{F_{ar} = F_p + F_{atm}}$$

$$F_{ar} = p_{ar} \frac{\pi D^2}{4}$$

$$F_{atm} = p_{atm} \frac{\pi D^2}{4}$$

$$F_p = m_p g$$

$$F_{ar} = p_{ar} \frac{\pi D^2}{4} =$$

$$F_{atm} = p_{atm} \frac{\pi D^2}{4} = 101300 \cdot \left(\frac{0,1^2 \pi}{4}\right) = \mathbf{795,6 N}$$

$$F_p = m_p g = 20 \cdot 9,81 = \mathbf{196,2 N}$$

$$\mathbf{F_{ar} = F_p + F_{atm}}$$

$$p_{ar} \frac{\pi D^2}{4} = 795,6 + 196,2$$

$$p_{ar} \frac{\pi 0,1^2}{4} = 795,6 + 196,2$$

$$p_{ar} = \mathbf{126,3 kPa}$$



SCAN ME