



UFTM- Universidade Federal do Triângulo mineiro  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

# INTRODUÇÃO

LITERATURA BASE: **CAPÍTULO 1:** SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M.  
**INTRODUÇÃO À TERMODINÂMICA DA ENGENHARIA QUÍMICA.** RIO DE JANEIRO:  
LTC, 2007.

PROF. RICARDO PIRES



# SISTEMAS TERMODINÂMICOS

► **SISTEMA (VOLUME DE CONTROLE): IDENTIFICA O OBJETO DA ANÁLISE**

► **VIZINHANÇA: TUDO O QUE É EXTERNO AO SISTEMA.**

► **FRONTEIRA:**

**SUPERFÍCIE REAL OU IMAGINÁRIA QUE SEPARA O SISTEMA DE SUA VIZINHANÇA.  
PODE ESTAR EM MOVIMENTO OU REPOUSO.**


**DEVE SER DEFINIDA CUIDADOSAMENTE ANTES DE SE PROCEDER A QUALQUER  
ANÁLISE TERMODINÂMICA.**

**SUA DEFINIÇÃO É ARBITRÁRIA E DEVER SER FEITA PELA CONVENIÊNCIA DA  
ANÁLISE A SER FEITA.**





## TIPOS DE SISTEMAS

- **SISTEMA FECHADO QUANTIDADE FIXA DE MATÉRIA. MASSA NÃO ENTRA, NEM SAI.**
  - **SISTEMA ISOLADO NÃO PERMITE PASSAGEM DE ENERGIA.**
  - **SISTEMA ADIABÁTICO NÃO PERMITE PASSAGEM DE CALOR.**
- 

# CONCEITO DE VOLUME DE CONTROLE E TIPOS DE SISTEMAS

Variação de  
energia

**Sistema isolado**

Variação de  
energia

**Sistema adiabático**

Variação de  
energia

**Sistema fechado**

Variação de  
energia e massa

**Sistema aberto**

$m_{\text{entra}}$

$m_{\text{sai}}$

$W$

$W$

$W$

$Q$

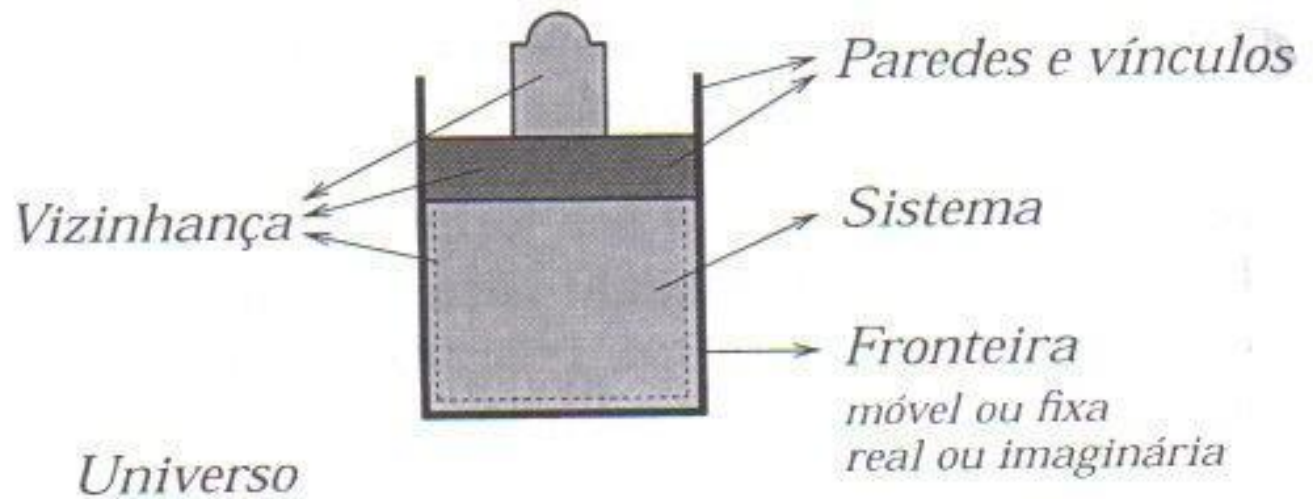
$Q$

## CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO DE UM SISTEMA

- **ESTADO ESTACIONÁRIO OU PERMANENTE** → OS VALORES DE TODAS AS VARIÁVEIS NO PROCESSO (T, P, V, VAZÕES, ETC) NÃO VARIAM COM O TEMPO.
- **ESTADO TRANSIENTE OU NÃO-ESTACIONÁRIO** → QUALQUER VARIÁVEL DO PROCESSO MUDA COM O TEMPO.

**Equilíbrio** é o estado termodinâmico caracterizado por um **valor uniforme** (o mesmo por todo o sistema) e **estacionário** (não varia com o tempo) das variáveis termodinâmicas.

## EXEMPLO





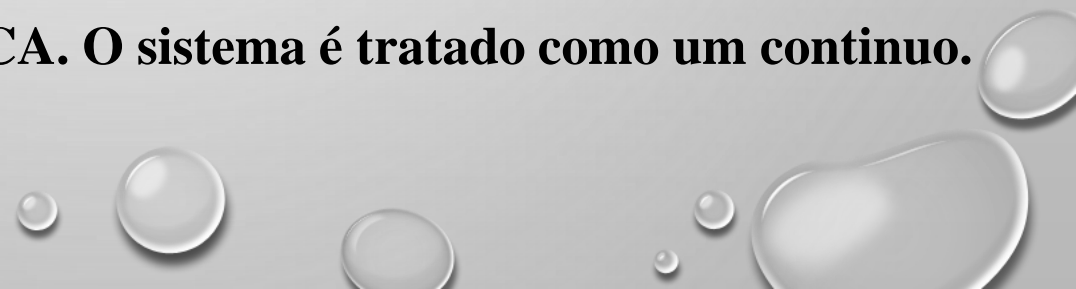


# ENFOQUES: MACRO E MICROSCÓPICO

**MICROSCÓPICO** - tratamento que leva em conta a **estrutura da matéria**.

É chamada de termodinâmica ESTATÍSTICA. O objetivo é caracterizar por meios estatísticos o comportamento médio das partículas e relacioná-lo com o **comportamento** macroscópico do sistema.

**MACROSCÓPICO** - trata do **comportamento global**, inteiro do sistema. **Nenhum modelo de estrutura molecular, atômica ou subatômica é utilizado diretamente.** Este tratamento é o aplicado na **TERMODINÂMICA CLÁSSICA**. O sistema é tratado como um contínuo.



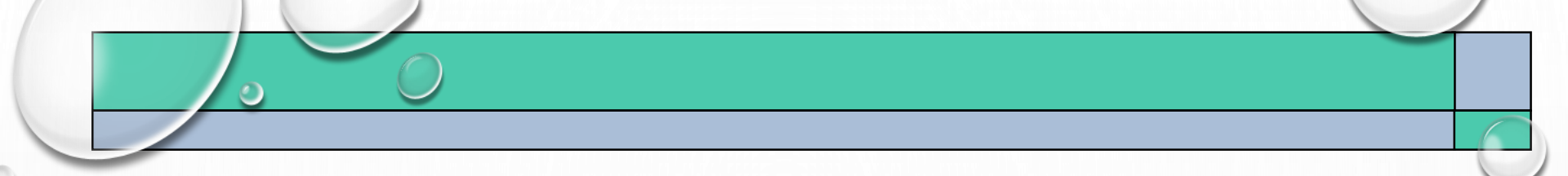
**ESTADO** - condição do sistema, como descrito por suas propriedades.

Para substâncias puras o estado pode ser caracterizado por propriedades macroscópicas como  $P$ ,  $T$  e  $V$ .

Cada propriedade da substância apresenta um valor em determinado estado e somente um determinado valor e essas propriedades têm o mesmo valor para um dado estado.

O estado, se caracteriza pelos valores de  $P$ ,  $T$ ,  $V$  e composição química (em caso de misturas), fica determinado independentemente de como se chegou a esses valores, ou seja, a independentemente do caminho percorrido para atingir esses valores.





**FASES** . Uma dada massa de água, por exemplo, pode existir sob várias formas (sólida, líquida e vapor).

**Uma fase é uma região homogênea da matéria.** Ex: um gás ou uma mistura de gases, um líquido ou uma solução líquida e um sólido cristalino.

Quando mais de uma fase coexistem, estas se separam entre si por meio de interfaces que são fronteiras entre as fases.

**Uma fase pode existir** a várias pressões e temperaturas ou, usando a terminologia da termodinâmica, **em vários estados.**





## PROPRIEDADES EXTENSIVAS E INTENSIVAS

**EXTENSIVAS** - Seu valor para o sistema inteiro é a soma dos valores das partes em que o sistema for subdividido. Dependem do tamanho e extensão do sistema. Seus valores podem variar com o tempo. Exemplo: massa, energia, volume.

**INTENSIVAS** - Não são aditivas, como no caso anterior. Seus valores não dependem do tamanho e extensão do sistema. Podem variar de um lugar para outro dentro do sistema em qualquer momento. Exemplo: temperatura, pressão, calor específico.

**Exercício.** Identifique as propriedades intensivas e as extensivas:

Pressão, Temperatura, Capacidade Calorífica, Entalpia, Massa Específica.





## PROCESSOS E EQUILÍBRIO.

**PROCESSO** - mudança de estado devido à variação de uma ou mais propriedades.






# EQUILÍBRIOS

Quando se iniciou a quantificação da temperatura permitiu estabelecer o que hoje chamamos de **equilíbrio térmico de um sistema**.

Verificou-se que quando corpos quentes eram postos em contato com corpos frios, o mais quente esfriava-se e o mais frio aquecia-se, de forma que chegava-se a um estado final onde os corpos nos davam a mesma sensação térmica (de terem o mesmo nível de aquecimento) quando, então, não se percebia mais nenhuma mudança, ou seja, quando se atingia o que hoje chamamos de equilíbrio térmico.






# Equilíbrios

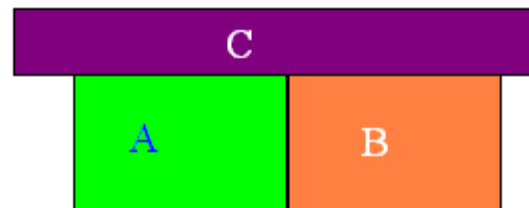
Quando temos um sistema em equilíbrio podemos dizer que as propriedades do sistema são as propriedades das substâncias ou substância que o compõe. Isso implica necessariamente que o valor da propriedade vale para todo o sistema.

Quando um sistema está em equilíbrio em relação a todas as possíveis mudanças de estado, diz-se que o sistema está em equilíbrio termodinâmico.



# A Lei Zero Da Termodinâmica.

Quando dois corpos têm igualdade de temperatura com um terceiro corpo, eles estão em equilíbrio térmico entre si → **lei zero da termodinâmica.**



Para medir a temperatura de um corpo coloca-se um termômetro em contato com esse corpo e espera-se algum tempo até que não se observe a variação do nível do mercúrio. Nesse instante dizemos que a temperatura do corpo é o valor determinado na escala do termômetro. Com base em que princípio nós podemos dizer que a temperatura do mercúrio é a mesma temperatura do corpo?



## DIMENSÕES E UNIDADES

grandeza	nome da unidade	símbolo da unidade	símbolo da dimensão
comprimento	metro	m	$L$
massa	kilograma	kg	$M$
tempo	segundo	s	$T$
temperatura	kelvin	K	$\theta$

factor	prefixo	símbolo	factor	prefixo	símbolo
$10^{18}$	exa-	E	$10^{-18}$	ato-	a
$10^{15}$	peta-	P	$10^{-15}$	femto-	f
$10^{12}$	tera-	T	$10^{-12}$	pico-	p
$10^9$	giga-	G	$10^{-9}$	nano-	n
$10^6$	mega-	M	$10^{-6}$	micro-	$\mu$
$10^3$	kilo-	k	$10^{-3}$	mili-	m
$10^2$	hecto-	h	$10^{-2}$	centi-	c
$10^1$	deca-	da	$10^{-1}$	deci-	d

# Medidas de COMPRIMENTO

Unidade	Símbolo	Equivalência
metro (SIU)	m	= 1 m
Bohr	$a_0$ , b	$\sim 5,29177 \times 10^{-11}$ m
Ångström	Å	= $10^{-10}$ m
Mícron	$\mu\text{m}$	= $\mu$ m = $10^{-6}$ m
unidade x	x	$\sim 1,002 \times 10^{-13}$ m
polegada	pol(")	= $2,54 \times 10^{-2}$ m
pé	pé(')	= 12 pol = 0,3048 m
jarda	jd	= 3 pés = 0,9144 m
milha	mi	= 1760 jd = 1609,344 m
milha náutica	m.n.	= 1852 m = 6076,1 pés
milha geográfica	m.g.	= 1855 m = 6087,15 pés
unidade astronómica	UA	= $1,49600 \times 10^{11}$ m
parsec	pc	$\sim 3,085\ 68 \times 10^{16}$ m
ano-luz	a.l.	$\sim 9,460\ 730\ 472\ 580\ 8 \times 10^{15}$ m
segundo-luz	s.l.	= $2,997\ 924\ 58 \times 10^8$ m

## Medidas de MASSA

Unidade	Símbolo	Equivalência
quilograma	kg	= 1 kg
massa do eletrón	$m_e$	$\sim 9,109\,39 \times 10^{-31} \text{ kg}$
dalton (massa atômica)	Da, u.m.a.	$\sim 1,660\,540 \times 10^{-27} \text{ kg}$
gamma	Y	= 1 dalton
tonelada (métrica)	t	= $10^3 \text{ kg}$
libra (avoirdupois)	lb	= 0,453 592 37 kg
onça (avoirdupois)	oz	$\sim 28,3495 \text{ g}$
onça (troy)	oz (troy)	$\sim 31,1035 \text{ g}$
grão	gr	= 64,798 91 mg

## Medidas de TEMPO

Unidade	Símbolo	Equivalência
segundo	s	1 s
u. a. de tempo	u.a.t.	$\sim 2,418\ 88 \times 10^{-17}$ s
minuto	min	= 60 s
hora	h	= 3600 s
dia	d	= 86400 s (convencionado)
semana	h	= 7 dias
mês	h	= 30 dias (convencionado)
ano	a	$\sim 31\ 556\ 952$ s
svedberg	Sv	= $\sim 10^{-13}$ s

# Medidas de TEMPERATURA TERMODINÂMICA

Unidade	Símbolo	Equivalência
Kelvin	K	$= 1 \text{ K}$
grau Celsius	$^{\circ}\text{C}$	$= T (\text{K}) - 273,15$
grau Fahrenheit	$^{\circ}\text{F}$	$= 1,8 T (^{\circ}\text{C}) + 32$
Rankine	R	$= (5/9) \text{ K}$



## **Comprimento      L**

1 ft = 12 in (polegadas)    = 12 x 0,0254 m = 0,3048 m

1 milha = 1,6093 km

## **Área                      L<sup>2</sup>**

1 m<sup>2</sup> = 100 cm x 100 cm = 10<sup>4</sup> cm<sup>2</sup>

1 ft<sup>2</sup> = 0,092903 m<sup>2</sup>

1 in<sup>2</sup> = 0,000645 m<sup>2</sup>

## **Volume              L<sup>3</sup>**

1 m<sup>3</sup> = 1000 l


1 m<sup>3</sup> = 100 cm\* 100 cm\* 100 cm = 10<sup>6</sup> cm<sup>3</sup>

1 l = 1000 cm<sup>3</sup>

1 cm<sup>3</sup> = 1 ml

1 ft<sup>3</sup> = 0,028373 m<sup>3</sup>

1m<sup>3</sup> = 35,2452 ft<sup>3</sup>







**Massa M;**

$$1 \text{ lbm} = 0,45359237 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 2,05 \text{ lbm}$$

$$1 \text{ slug} = 14,594 \text{ kg}$$

**Massa específica M/L<sup>3</sup>,**

$$1 \text{ lbm/ft}^3 = 16,019 \text{ kg/m}^3$$

➡ dividindo duas propriedades extensivas tem-se uma propriedade intensiva



**Força  $F = m.a$**

$$1\text{N} = 1\text{ kg} * 1\text{ m/s}^2$$

$$1\text{ kgf} = 1\text{kg} * 9,806\text{ m/s}^2 = \mathbf{9,806\text{ N}}$$

$$1\text{ lbf} = 1\text{ (lbm)} * 32,174\text{ (ft/s}^2\text{)} = 32,174\text{ lbm*ft/s}^2$$

$$1\text{ lbf} = 32,174 \times 0,45359 * 0,3048\text{ N} = \mathbf{4,4482216\text{ N}}$$

**-Peso: força da gravidade sobre um corpo:  $\text{Peso} = m.g$**

**-Atenção: como força e massa são conceitos diferentes, um libra-força e um libra-massa são grandezas diferentes e suas unidades não se cancelam mutuamente. Quando uma equação possui as duas unidades, lbm e lbf, a constante  $g_c$  deve também aparecer na equação para torná-la dimensionalmente correta.**

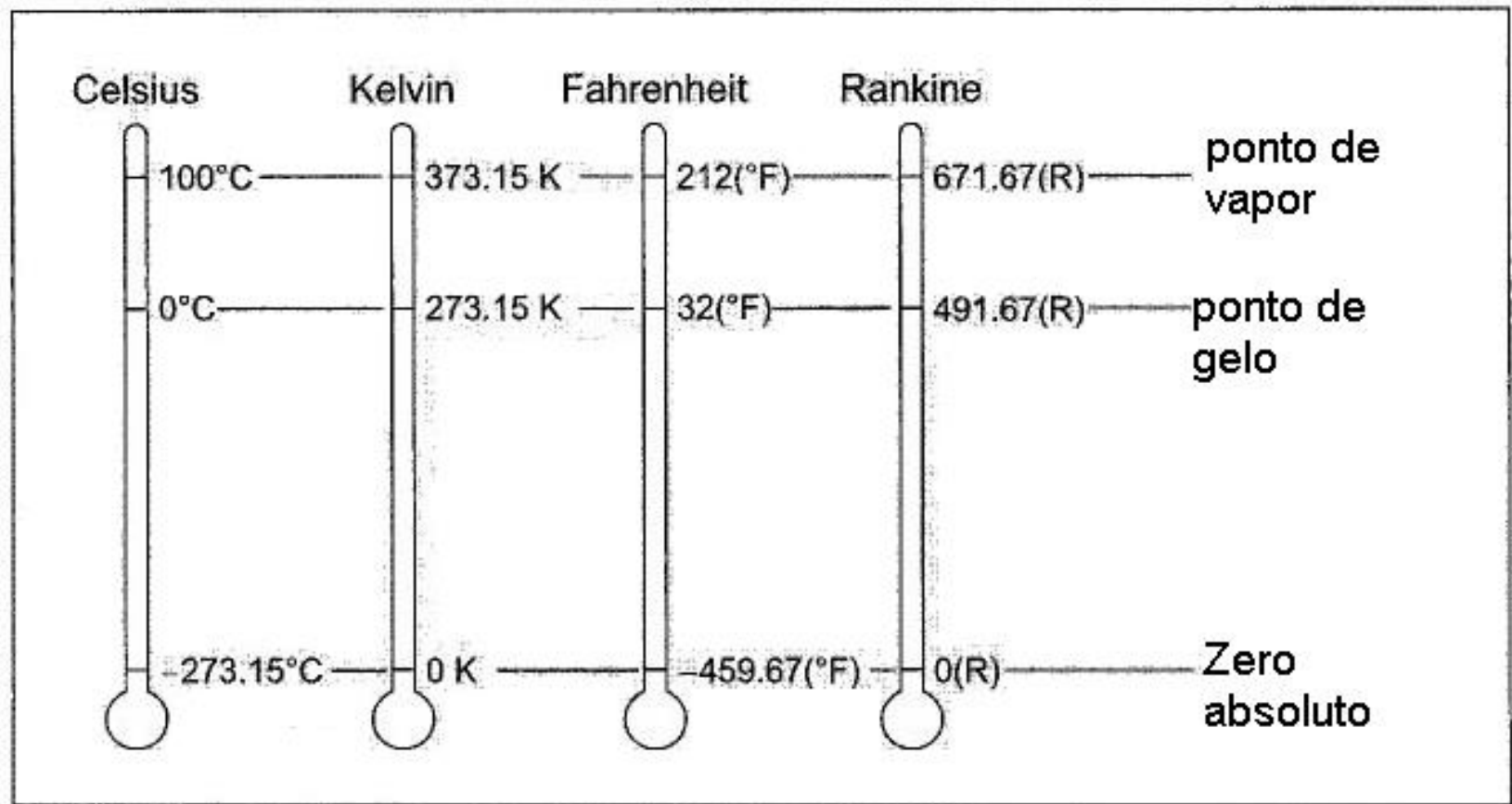
$$F = \frac{1}{g_c}ma$$

$$g_c = 9.806\,65\text{ kg m. kgf}^{-1}\text{s}^{-2}$$

$$g_c = 32,1740\text{ lbm.ft.lbf}^{-1}.\text{s}^{-2}$$

## TEMPERATURA

$$\begin{aligned}t^{\circ}\text{C} &= T \text{ K} - 273.15 & t(^{\circ}\text{F}) &= T(\text{R}) - 459.67 \\T(\text{R}) &= 1.8 T \text{ K} & t(^{\circ}\text{F}) &= 1.8 t^{\circ}\text{C} + 32 \\ \Delta T \text{ K} &= \Delta t^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$





**Pressão. F/A**

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

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9,806 \text{ N} \cdot 10^4 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = 98,06 \text{ kPa} = 0,09806 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ lbf/ft}^2 = 4,448215 \text{ N} \cdot 1 \text{ ft}^2 / (0,3048)^2 \text{ m}^2 = 47,88 \text{ Pa}$$

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

$$1 \text{ atm} = 101,32 \text{ kPa}$$

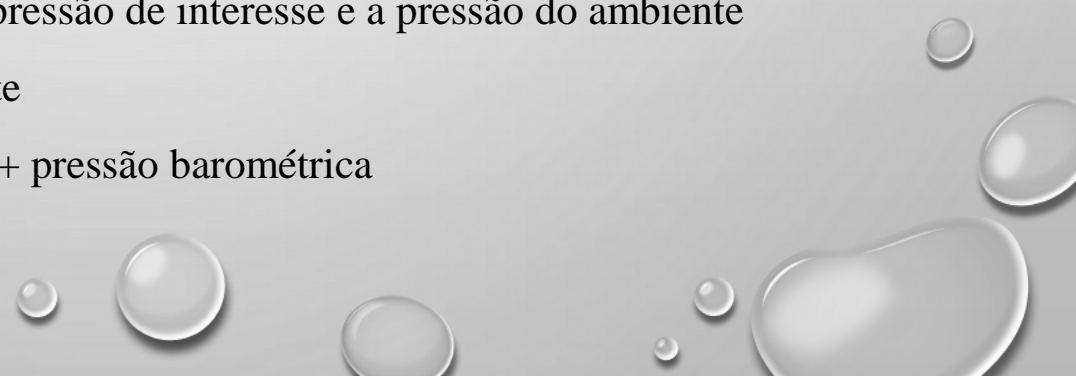
$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

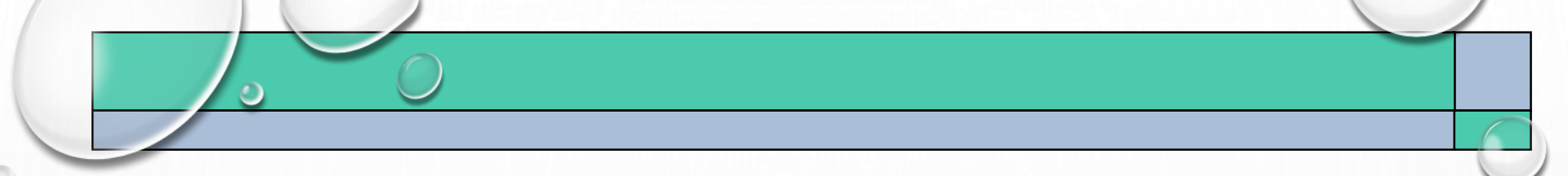
### Atenção:

**Pressão manométrica:** diferença entre a pressão de interesse e a pressão do ambiente


**Pressão barométrica:** pressão do ambiente

**Pressão absoluta** = pressão manométrica + pressão barométrica





**EXEMPLO:** UM MANÔMETRO A CONTRAPESO, COM UM ÊMBOLO DE 1 CM DE DIÂMETRO É USADO PARA MEDIÇÕES PRECISAS DE PRESSÃO. EM UMA SITUAÇÃO PARTICULAR, O EQUILÍBRIO É ALCANÇADO COM UMA MASSA DE 6,14 KG (INCLUINDO PISTÃO E PLATAFORMA). SE A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE LOCAL É  $9,82 \text{ m/s}^2$ , QUAL É A PRESSÃO MANOMÉTRICA MEDIDA? SE A PRESSÃO BAROMÉTRICA É IGUAL A 748 TORR, QUAL É A PRESSÃO ABSOLUTA?



# TRABALHO (W)

1. FORÇA (F) ATUANDO AO LONGO DE UMA DISTÂNCIA (L):  $dW = F \cdot DL$
2. MODIFICAÇÃO DE VOLUME DE UM FLUIDO – EXPANSÃO OU COMPRESSÃO DE UM FLUIDO NUM CILINDRO MEDIANTE MOVIMENTO DE UM PISTÃO:

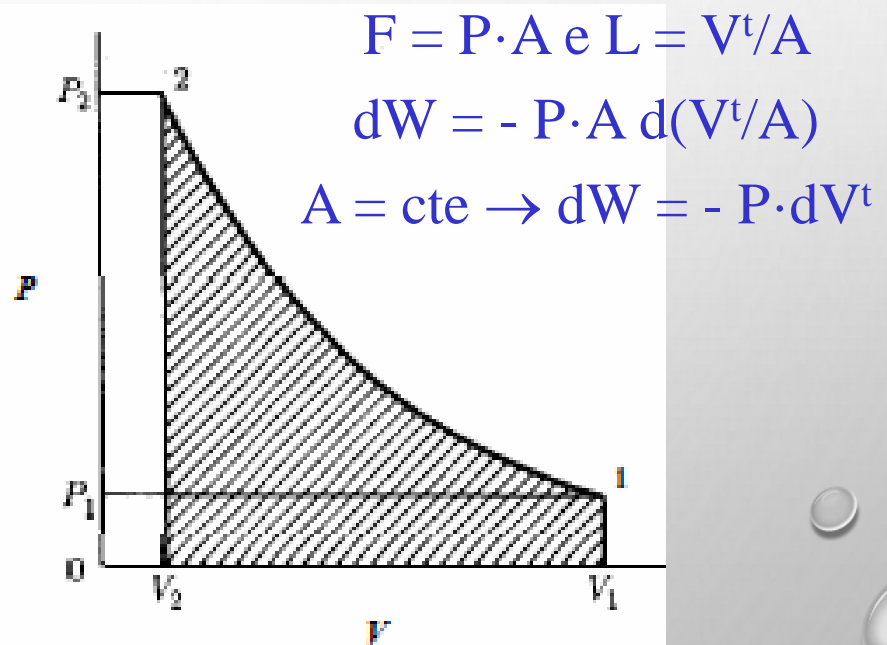
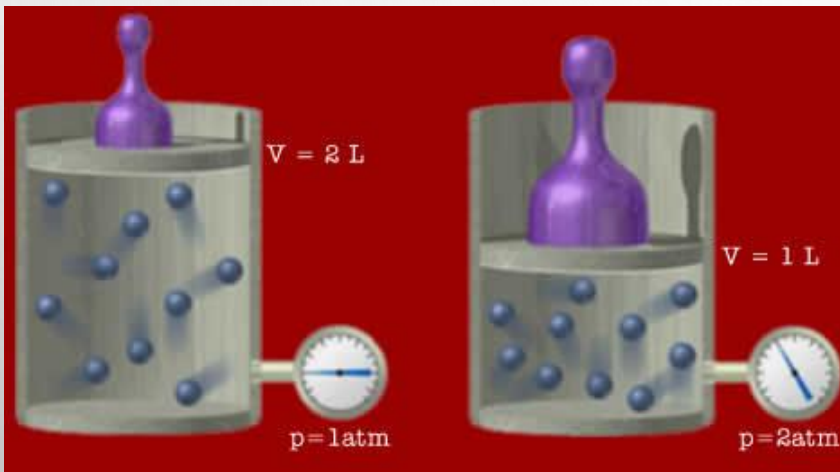


Figura 1.3: Diagrama PV



# TRABALHO (W)

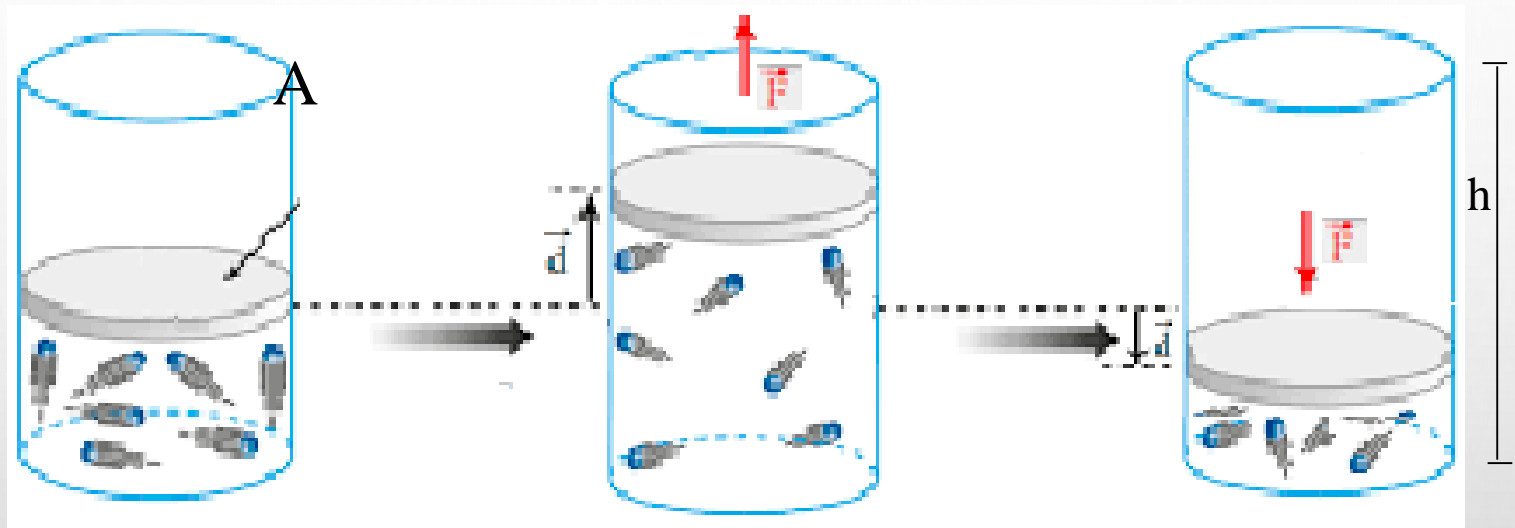
- ▶ TRABALHO É ENERGIA EM TRÂNSITO → NÃO É PROPRIEDADE, POIS DEPENDE DO CAMINHO (INTEGRAL DE LINHA)
- ▶ COMO W DEPENDE DO CAMINHO (NÃO É PROPRIEDADE), SEU DIFERENCIAL É INEXATO -  $dW = W \neq W_2 - W_1$

## CONVENÇÃO DE SINAIS E NOTACÃO

- ▶  $W < 0$ : REALIZADO PELO SISTEMA (SOBRE A VIZINHANÇA) - SETA SAINDO DO SISTEMA.
- ▶  $W > 0$ : REALIZADO SOBRE O SISTEMA (PELA VIZINHANÇA) - SETA ENTRANDO NO SISTEMA.
- ▶ ANALISAR SINAL DE  $W = - P \cdot DV^T$
- ▶ MUITOS PROCESSOS ENVOLVEM TAXA DE REALIZAÇÃO DE TRABALHO = POTÊNCIA
- ▶ UNIDADES DE TRABALHO: SI: 1J. SISTEMA INGLÊS: 1 LBF.FT
- ▶ UNIDADES DE POTÊNCIA: SI: 1 W (WATT) = 1 J/S E 1 KW =  $10^3$  W

SISTEMA INGLÊS: 1 BTU/H, 1 LBF.FT/H E 1HP = 746 W

$$W = |\vec{F}| \cdot |\vec{d}| \cdot \cos \theta$$



$$dW = F \cdot dh \cdot \cos \theta$$

$$F = P \cdot A$$

$$dV = dh \cdot A$$

$$dW = P \cdot A \cdot \frac{dV}{A}$$

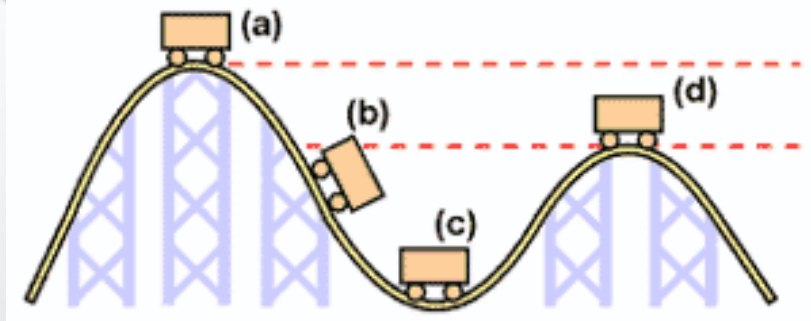
$$dh = \frac{dV}{A}$$

$$dW = P \cdot dV$$

$$dW = -P \cdot dV$$

**Convenção:** O trabalho será positivo se for realizado sobre o sistema e negativo se o contrário.

Para obedecer à convenção de sinais acrescentamos o sinal negativo e chegamos ao resultado final.



## ENERGIAS

- ENERGIA CINÉTICA

$$E_C = (MV^2)/2$$

- ENERGIA POTENCIAL

$$E_P = MGZ$$

## ENERGIAS EXTERNAS

# PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

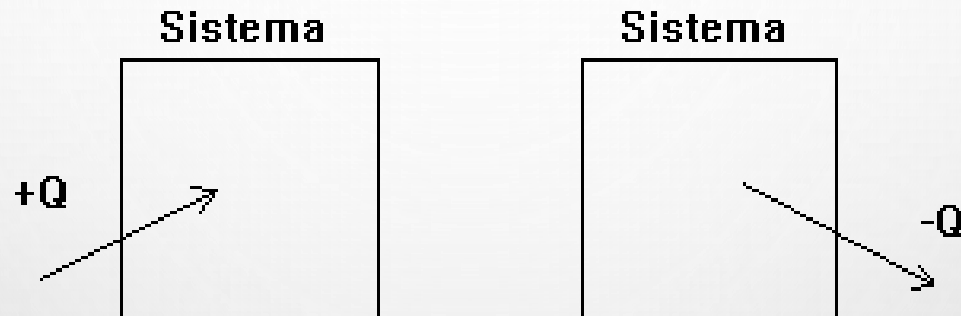
$$\Delta E_K + \Delta E_p = 0$$

Sem a presença de atrito

# CALOR

- CALOR = ENERGIA TRANSFERIDA PARA OU DE UM SISTEMA, UNICAMENTE POR DIFERENÇA DE TEMPERATURA.

## Convenção de Sinais e Notação



O calor não é uma propriedade - depende do caminho

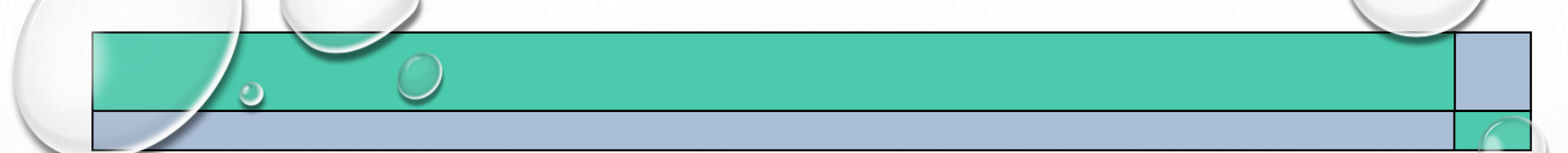
$dQ = Q \neq Q_2 - Q_1$

A integral é diferente de  $Q_2 - Q_1$  (Não existe calor no estado 2 nem no estado 1. Calor é energia em trânsito.)


Unidades:

SI:  $Q = J$ ;

Sistema Inglês:  $Q = \text{Btu}$  ou  $\text{cal}$



**Exemplo 1.5 (semelhante aos exercícios 1.15 e 1.16):** Um gás está confinado no interior de um cilindro por um pistão, diâmetro de 5 in, sobre o qual encontra-se um peso. A massa do pistão e do peso juntos é de 60 lbm. A aceleração da gravidade local é  $32,13 \text{ ft/s}^2$ , e a pressão da atmosfera é de 30,16 inHg.

- a) Qual é a força em lbf exercida sobre o gás pela atmosfera, o pistão e o peso, considerando que não há atrito entre o pistão e o cilindro?
  - b) Qual a pressão (absoluta) do gás em psia?
  - c) Se o gás no cilindro é aquecido, ele expande de forma que empurra o pistão e o peso para cima. Se o pistão e o peso são elevados 15 in, qual é o trabalho feito pelo gás em ft.lbf? Qual é a variação da energia potencial do pistão e do peso juntos?
- 



# REFERÊNCIAS

- . VAN NESS, H.C.; SMITH J. M.; ABBOTT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**, 7a Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
  - . KORETSKY, M. D. **Termodinâmica para Engenharia Química**, 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- 