

Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo



**PME 3344**

# **Termodinâmica Aplicada**

- 1) Introdução
- 2) Conceitos Fundamentais

## CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

**Disciplina:** PMC 3344 – Termodinâmica Aplicada

**Turmas:** 01, 02, 03 e 04– Horário: 3ª feira das 9:20 às 11:00

**Professores:** Alberto Hernandez Neto, Flávio Fiorelli, Maurício Silva Ferreira, Jurandir Yanagihara

**Período:** 2º Semestre de 2020

AULA	DATA	TÓPICO DO PROGRAMA	LISTA DE EXERCÍCIOS
01	18/08	Introdução / Conceitos termodinâmicos iniciais	
02	25/08	Substância Pura / Trabalho e Calor	
03	01/09*	Primeira Lei da Termodinâmica para Sistemas	LISTA 01 (03/09 A 09/09)
04	08/09	Primeira Lei da Termodinâmica para Sistemas	LISTA 02 (10/09 A 16/09)
05	15/09	Primeira Lei da Termodinâmica para Volume de Controle	LISTA 03 (17/09 A 23/09)
06	22/09	Segunda Lei da Termodinâmica para Sistemas	LISTA 04 (24/09 A 30/09)
08	29/09	Conceito de Entropia	
	06/10	<b>1ª. Prova</b>	
10	13/10	Segunda Lei da Termodinâmica para Volume de Controle	
11	20/10	Segunda Lei da Termodinâmica para Volume de Controle	LISTA 05 (22/10 A 28/10)
12	27/10	Ciclos Motores a Vapor	LISTA 06 (29/10 A 04/11)
13	03/11	Ciclos Motores a Vapor	
14	10/11	Ciclos Motores a Ar	LISTA 07 (05/11 A 11/11)
15	17/11	Ciclos Motores a Ar	
16	24/11	Ciclos de Refrigeração	LISTA 08 (19/11 A 25/11)
17	01/12	Ciclos de Refrigeração	
18	08/12	<b>2ª. Prova</b>	
19	15/12	<b>Prova substitutiva</b>	
20	a definir	<b>Prova de recuperação</b>	

### Livros recomendados:

1. Van Wylen, Borgnakke, C., Sonntag, R.E., Fundamentos da Termodinâmica, 7ª edição, Edgard Blucher, 2009.
2. Moran, M.J.; Shapiro, H.N. Princípios de termodinâmica para engenharia. LTC, 6ª edição, 2009.
3. Çengel, Y. A.; Boles, M. A. Termodinâmica. McGraw-Hill, 5. ed., 2006.

### Critério de aproveitamento:

$MF = (A + P1 + P2) / 3$  onde:

MF= média final;

A= média aritmética de avaliações realizadas ao longo do semestre;

P1= nota da 1ª prova;

P2= nota da 2ª prova.

A prova substitutiva contemplará todo o conteúdo da disciplina e será realizada somente nos casos de impossibilidade de comparecimento do aluno em uma das duas provas realizadas ao longo do semestre.

### Atendimento:

- Prof. Alberto ([ahneto@usp.br](mailto:ahneto@usp.br))
- Prof. Jurandir ([jiy@usp.br](mailto:jiy@usp.br))
- Prof. Maurício ([mausferreira@usp.br](mailto:mausferreira@usp.br))
- Prof. Fiorelli ([fiorelli@usp.br](mailto:fiorelli@usp.br))



## Livros sugeridos:

- ◆ Moran, M.J. Shapiro, H.N. Munson, B.R. DeWitt, D.P. Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos, LTC, 2005.
- ◆ Van Wylen, G.J. Borgnakke, C. Sonntag, R.E. Fundamentos da Termodinâmica, 7ª ed., Edgard Blücher, 2009.
- ◆ Moran, M.J. Shapiro, H.N. Princípios de Termodinâmica Para Engenharia. LTC, 6ª ed., 2009.
- ◆ Çengel, Y. A.; Boles, M. A. Termodinâmica. McGraw-Hill, 5ª ed., 2006.



Do grego

Termhe (calor) + Dynamis (potência) = Termodinâmica

"Termodinâmica é a ciência da energia e da entropia"

O objeto de estudo é a energia, suas transformações e seu aproveitamento.



- ❖ **Sistema termodinâmico** – quantidade de matéria com massa e identidade fixas sobre a qual nossa atenção é dirigida.
- ❖ **Volume de controle** – região do espaço sobre a qual nossa atenção é dirigida.
- ❖ **Vizinhança** – tudo que é externo ao sistema ou volume de controle.
- ❖ **Fronteira** – superfície real ou imaginária que separa o sistema da vizinhança. A fronteira não tem espessura, volume ou massa.

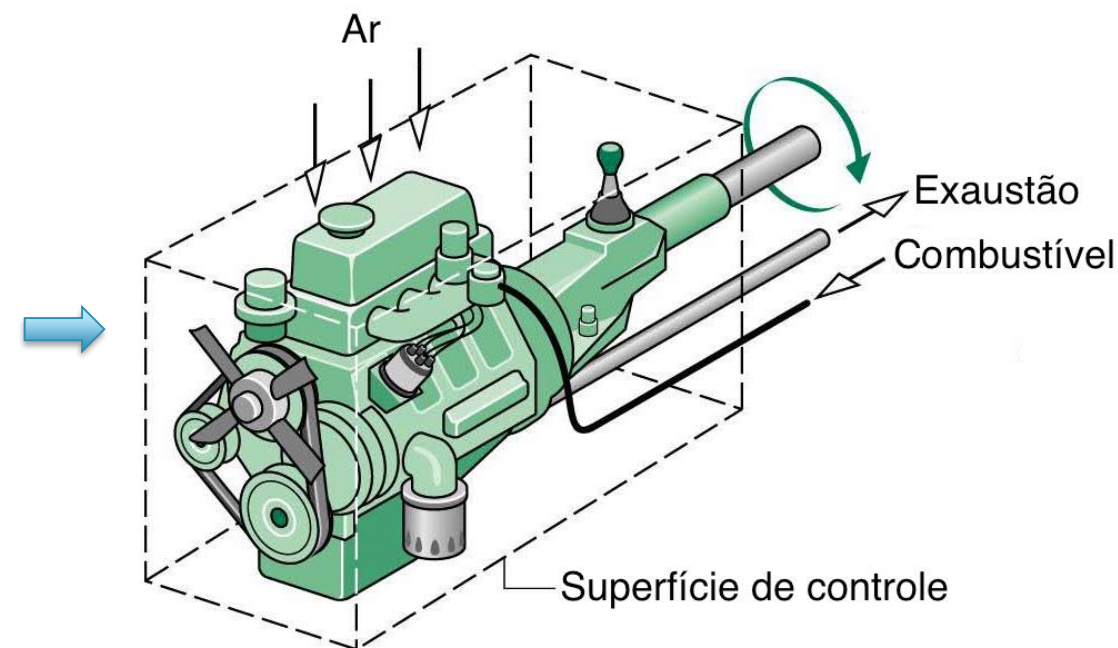
**Fronteira**

{  
Fixa  
Móvel

É importante reconhecer o tipo de sistema e indicá-lo no início da análise, pois as expressões dos princípios termodinâmicos são diferentes para sistemas e volumes de controle.

❖ Identificação sistema / volume de controle, exemplos:

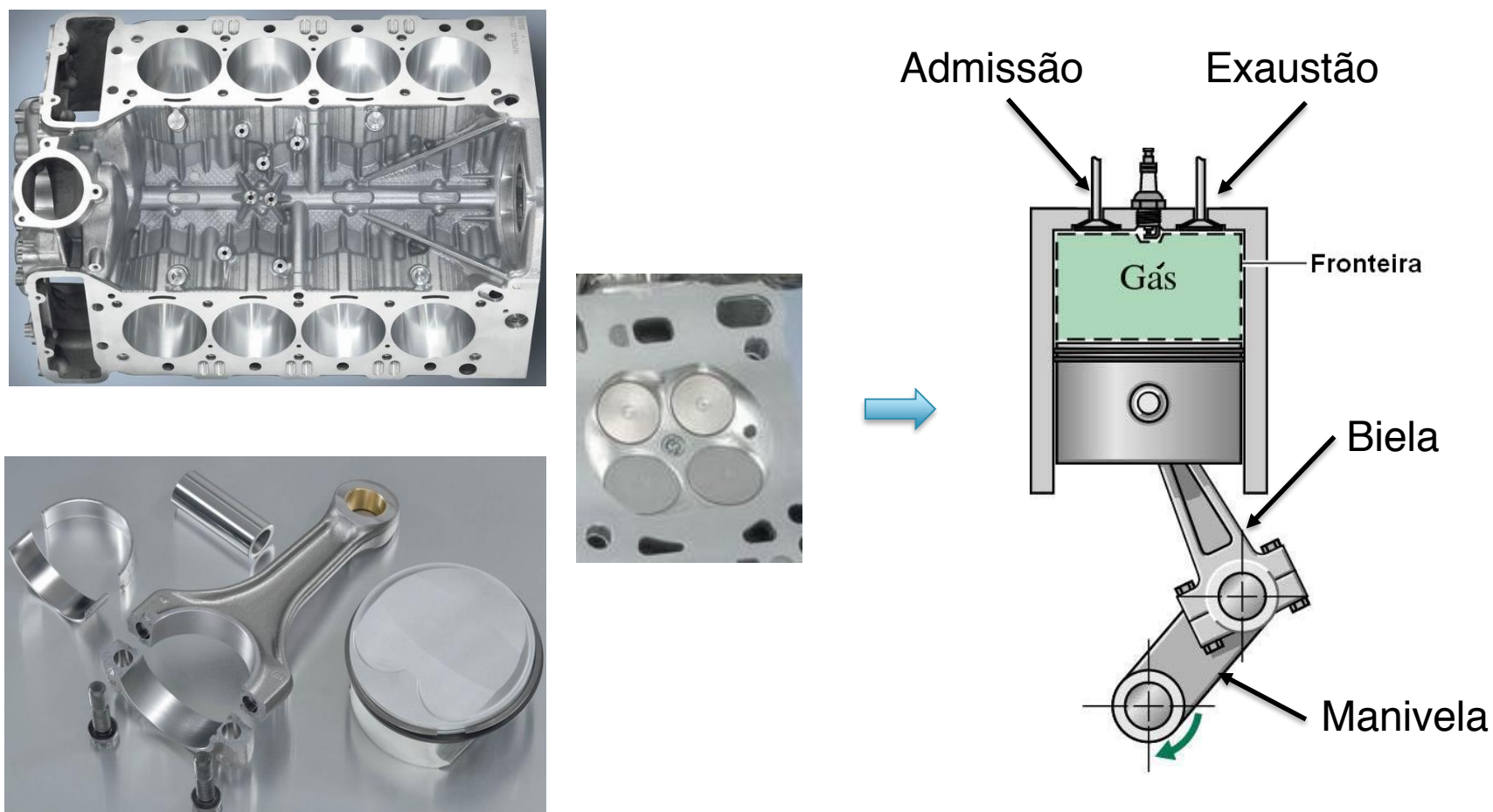
(a) Motor de combustão interna;



**Resp. - Volume de controle.**

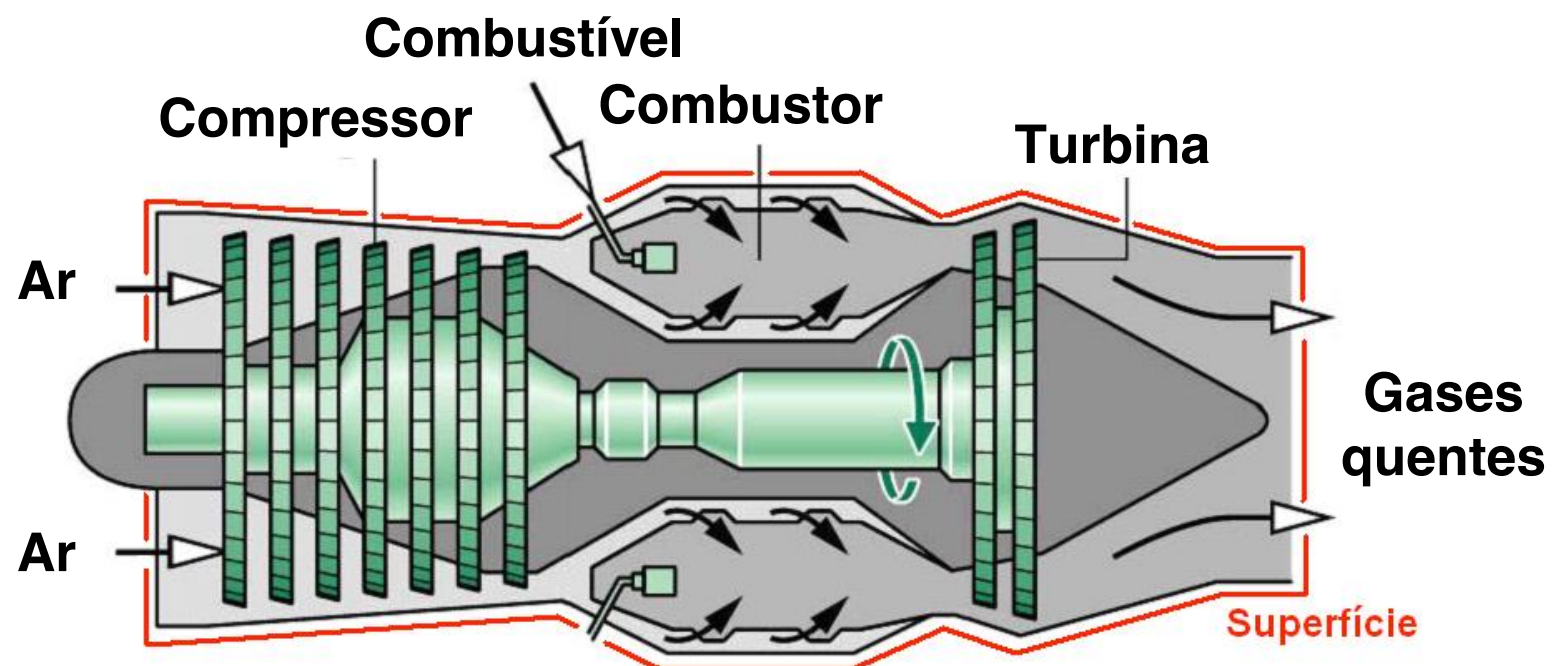


## (b) Cilindro de MCI (motor de combustão de interna);



**Resp. - Sistema (válvulas fechadas) ou VC com pelo menos uma válvula aberta.**

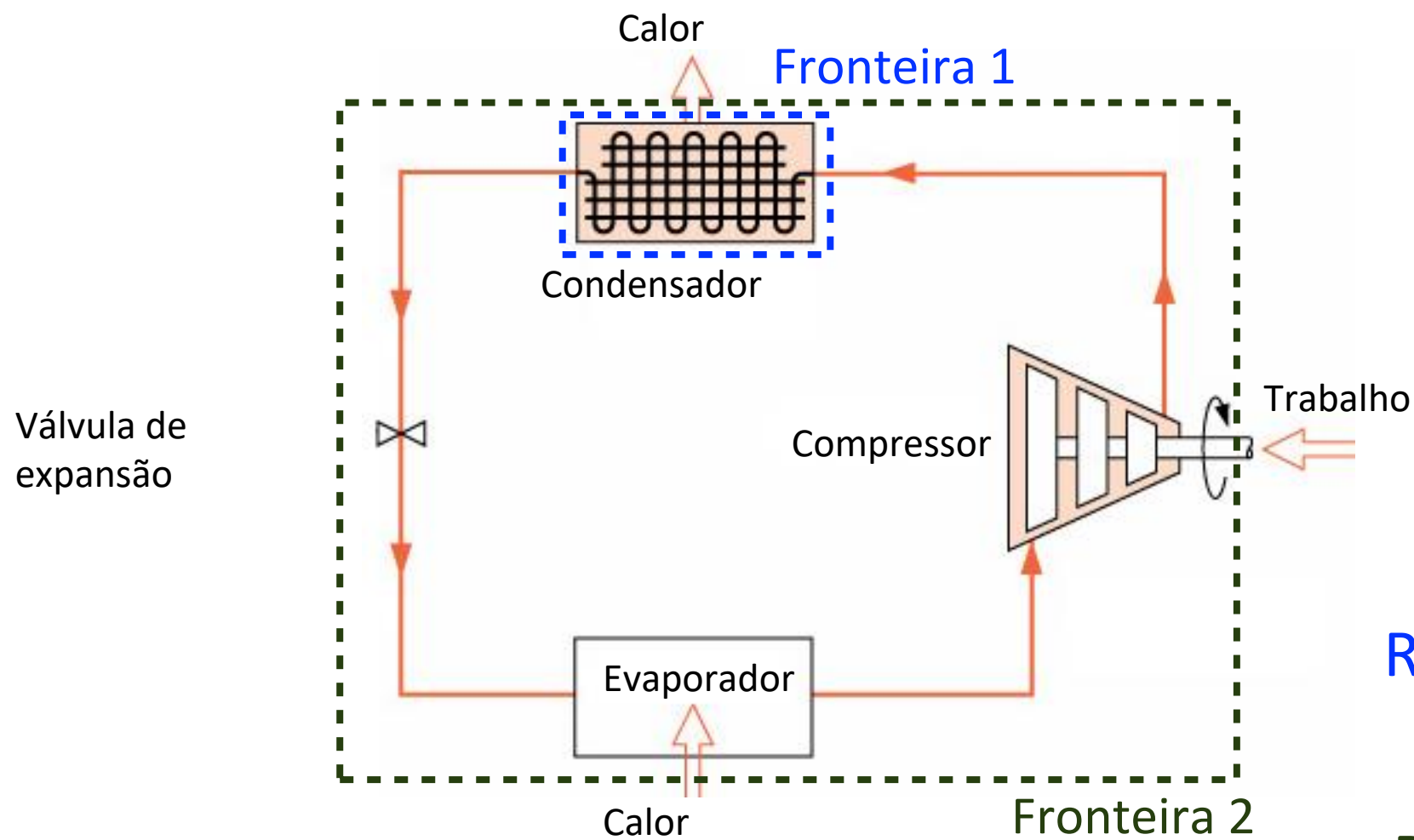
## (c) Motor a jato;



Resp. - Volume de controle.



## (d) Ciclo de refrigeração por compressor de vapor;



Resp. 1 - Volume de controle.

Resp. 2 - Sistema.



## (e) Ciclo motor a vapor;



Devemos apenas observar o que acontece na fronteira!



**Ponto de vista**

Microscópico

Macroscópico

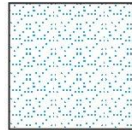

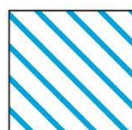
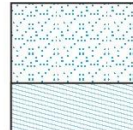
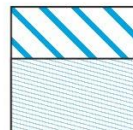
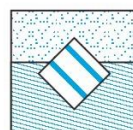
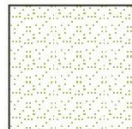
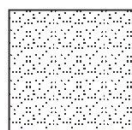
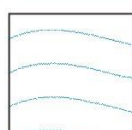
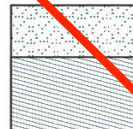
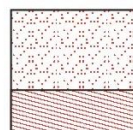
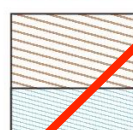
← Nosso ponto de vista

❖ **Ponto de vista microscópico** – ocupa-se da estrutura da matéria (Termodinâmica Estatística).

❖ **Ponto de vista macroscópico** – ocupa-se com o comportamento geral ou global (Termodinâmica Clássica).



**Fase:** Quantidade de matéria totalmente homogênea em composição química e em estrutura física. Em uma fase todas as propriedades são uniformes.

	Homogênea (fase única)	Heterogênea (várias fases)
<b>Componente único</b>	 Vapor  Água  Gelo	 Vapor e água  Gelo e água  Vapor, água e gelo
<b>Vários componentes</b>	 Ar  Gases de combustão  Água do mar	 Ar e ar líquido  Vapor de combustível, ar e combustível líquido  Água e óleo

**Fora do nosso escopo**



Substância pura: Composição química homogênea e invariável. Ela pode existir em mais de uma fase, porém sua composição química deve ser a mesma em cada fase.

*Exemplos:*

- ✦ Água;
- ✦ Fluidos refrigerantes (R12, R22, R134a, R410A, R404A);
- ✦ Gás Oxigênio;
- ✦ Gás Nitrogênio.

*Contra-exemplo:*

- ✦ Ar e "ar-líquido", duas fases com composição química diferente.





# Conceitos fundamentais

*Cada fase pode existir a várias pressões e temperaturas (propriedades macroscópicas mensuráveis) ou, melhor, em vários estados.*

*Cada estado termodinâmico pode ser identificado ou descrito por certas propriedades macroscópicas como, por exemplo, pressão e temperatura.*

*As propriedades termodinâmicas podem ser divididas em duas classes, as intensivas e as extensivas.*

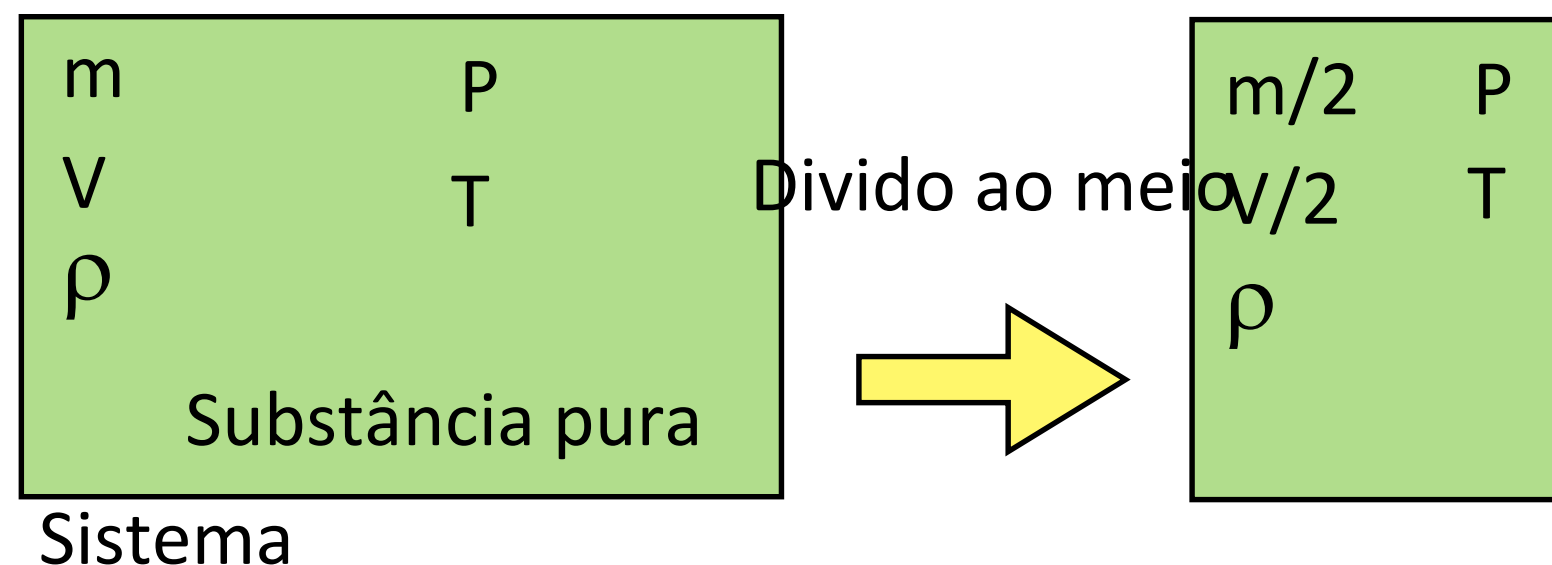
Propriedade intensiva: seu valor é independente da massa.

Propriedade extensivas: seu valor é dependente da massa.



## Intensivas ou extensivas?

- massa ( $m$ );
- volume ( $V$ );
- massa específica ( $\rho$ );
- pressão ( $P$ );
- temperatura ( $T$ ).



### Intensivas:

Pressão;

Temperatura;

Massa específica;

Energia interna específica ( $u$ );

Entalpia específica ( $h$ );

Entropia específica ( $s$ ).

### Extensivas:

Massa ( $m$ );

Volume ( $V$ );

Energia interna ( $U$ );

Entalpia ( $H$ );

Entropia ( $S$ ).



# Conceitos fundamentais

*Freqüentemente nos referimos não apenas às propriedades de uma substância, mas também às propriedades de um sistema.*

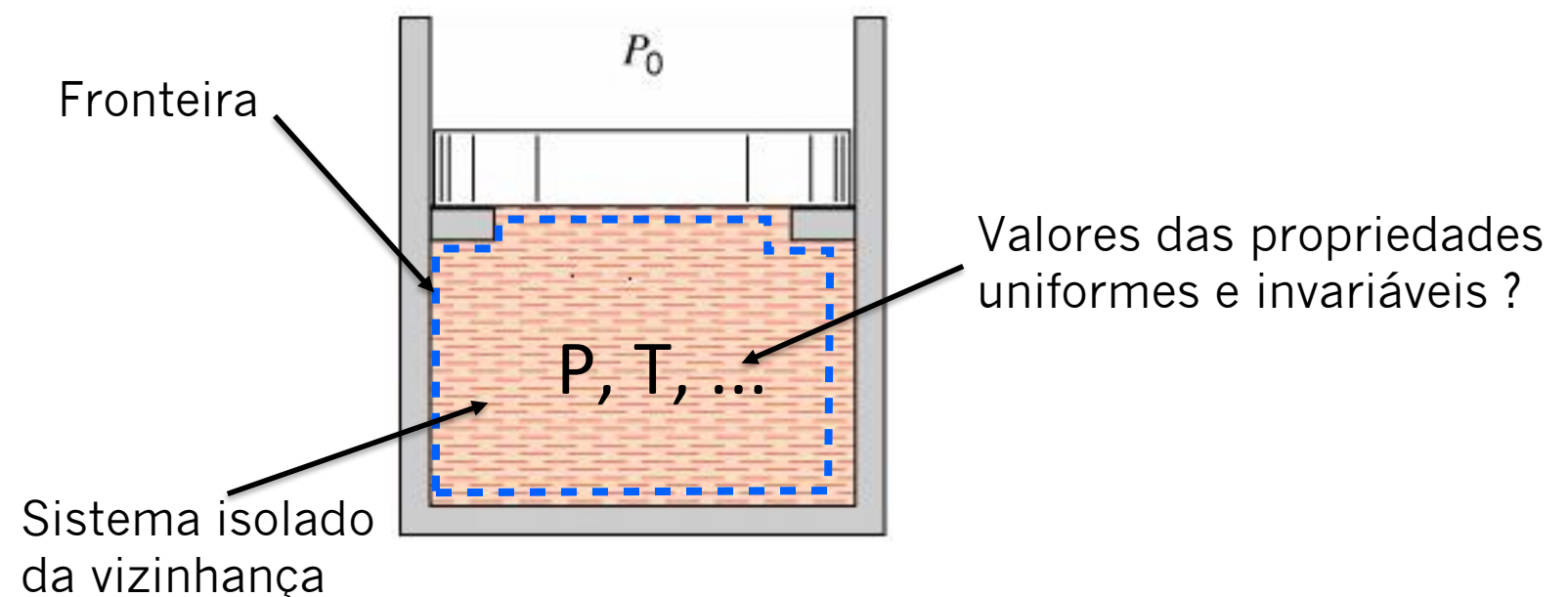


*Isso implica que o valor da propriedade tem significância para todo o sistema.*



*O que por sua vez implica no conceito de equilíbrio.*

**Exemplo: *verificação do equilíbrio***





*Quando o valor de pelo menos uma propriedade do sistema é alterado, ocorreu uma mudança de estado.*



*O caminho definido pela sucessão de estados que o sistema percorre é chamado de processo.*

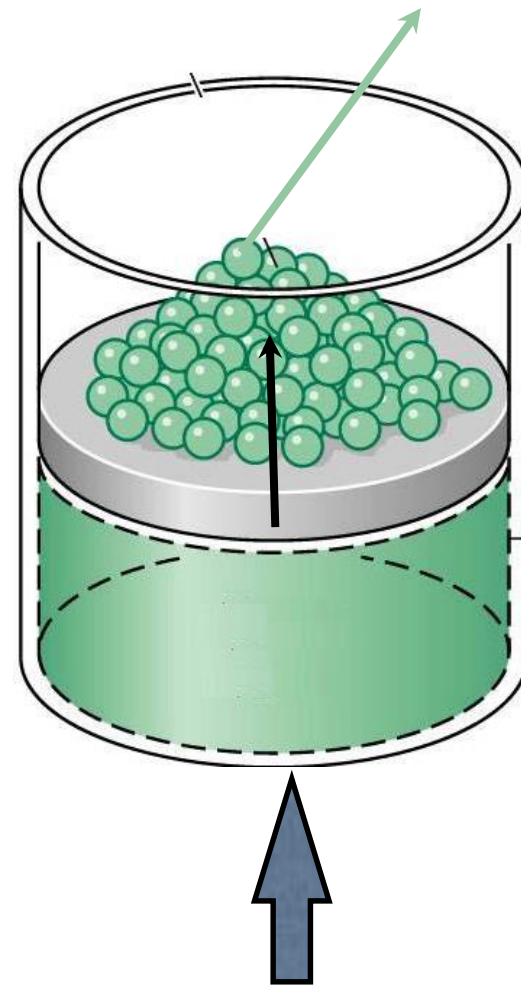


*Um ciclo termodinâmico é uma seqüência de processos que se inicia e termina em um mesmo estado.*

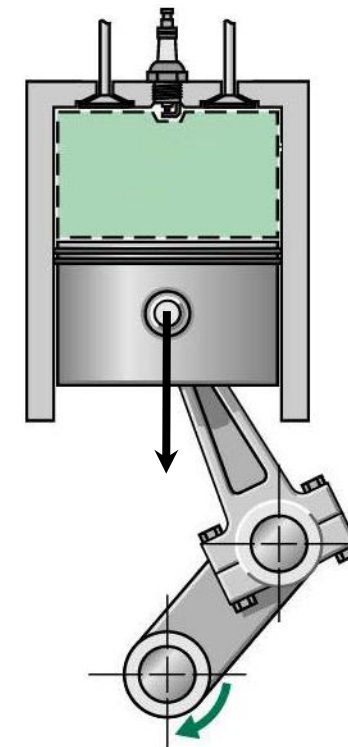


# Conceitos fundamentais

Processo de quase - equilíbrio: desvio do equilíbrio termodinâmico infinitesimal. Também chamado de quase-estático. Ausência de gradientes de temperatura, pressão e potencial químico.



?



Quase-equilíbrio





Processo isobárico - pressão constante.

Processo isotérmico - temperatura constante.

Processo isocórico - volume constante.

Processo isentálpico - entalpia constante.

Processo isentrópico - entropia constante.



## Unidades no Sistema Internacional

<b>Grandeza</b>	<b>Unidade no SI</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Plural</b>
<i>Massa</i>	quilograma	kg	quilogramas
<i>Comprimento</i>	metro	m	metros
<i>Tempo</i>	segundo	s	segundos
<i>Força</i>	newton	N	newtons
<i>Energia</i>	joule	J	joules
<i>Pressão</i>	pascal	Pa	pascals
<i>Temperatura</i>	kelvin	K	kelvins
<i>Quantidade de matéria</i>	mol	mol	mols
<i>Potência</i>	watt	W	watts



## Algumas propriedades importantes

Propriedades	Símbolo	Unidade
<i>Massa específica</i>	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
<i>Volume específico</i>	$v$	m <sup>3</sup> /kg
<i>Energia interna específica</i>	$u$	kJ/kg
<i>Energia interna</i>	$U$	kJ
<i>Entalpia específica</i>	$h$	kJ/kg
<i>Entalpia</i>	$H$	kJ
<i>Entropia específica</i>	$s$	kJ/(kg.K)
<i>Entropia</i>	$S$	kJ/K



# Conceitos fundamentais

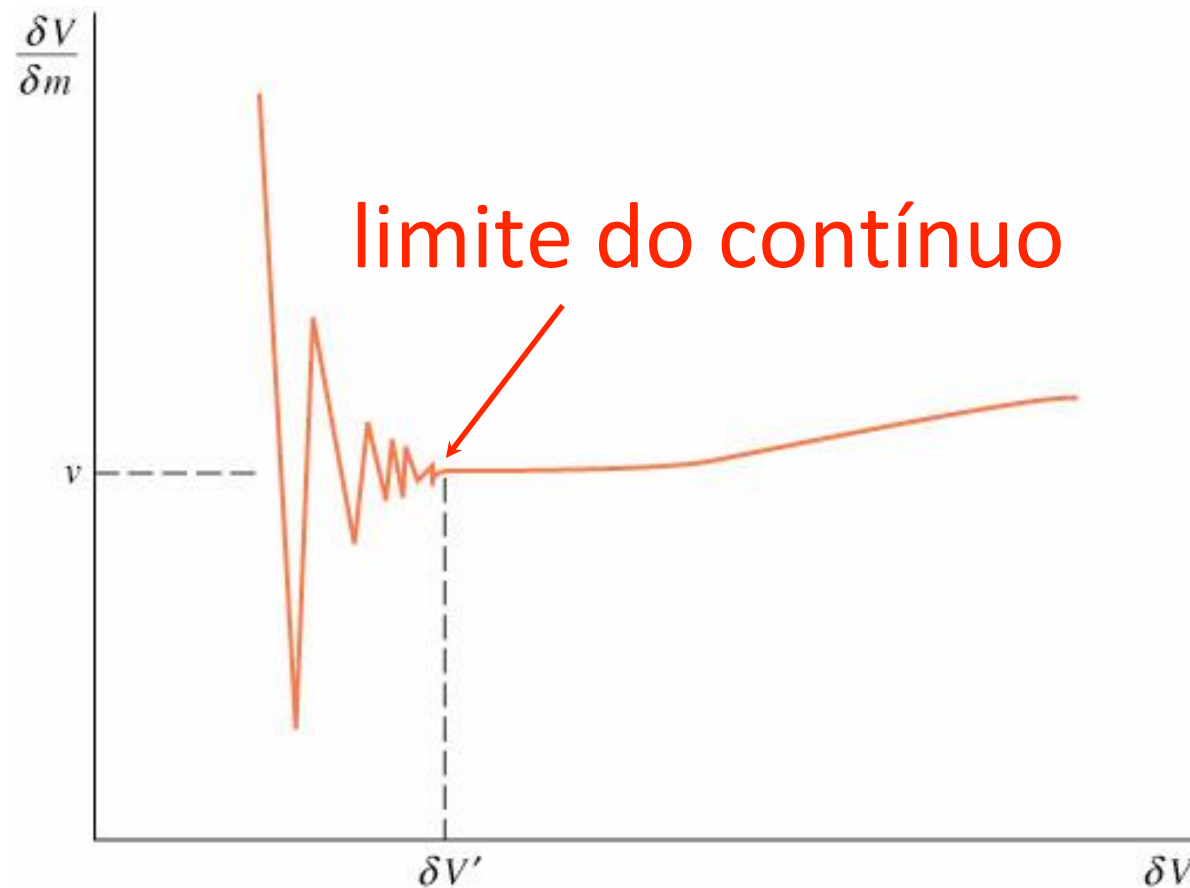
## Massa e volume específico

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$v = \frac{\text{volume}}{\text{massa}}$$



$$v = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V'} \frac{\delta V}{\delta m}$$



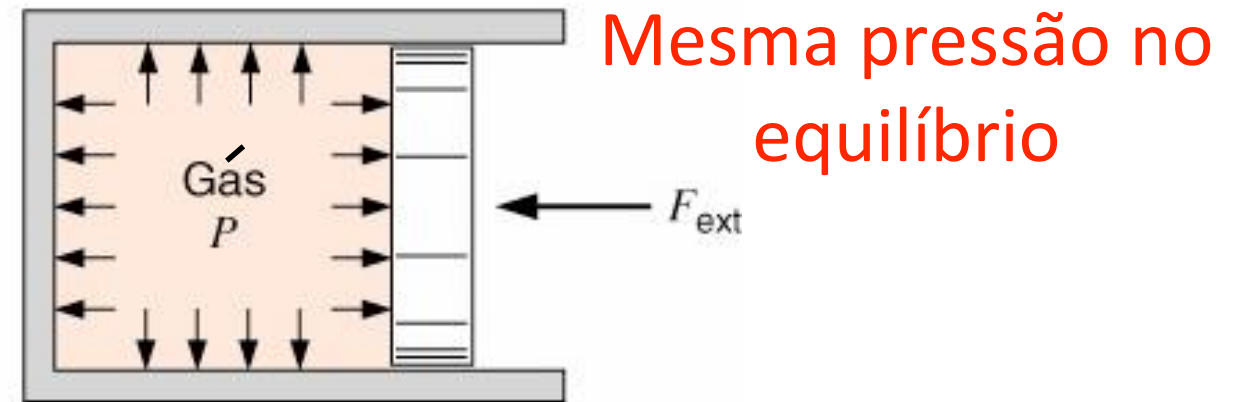


# Conceitos fundamentais

## Pressão

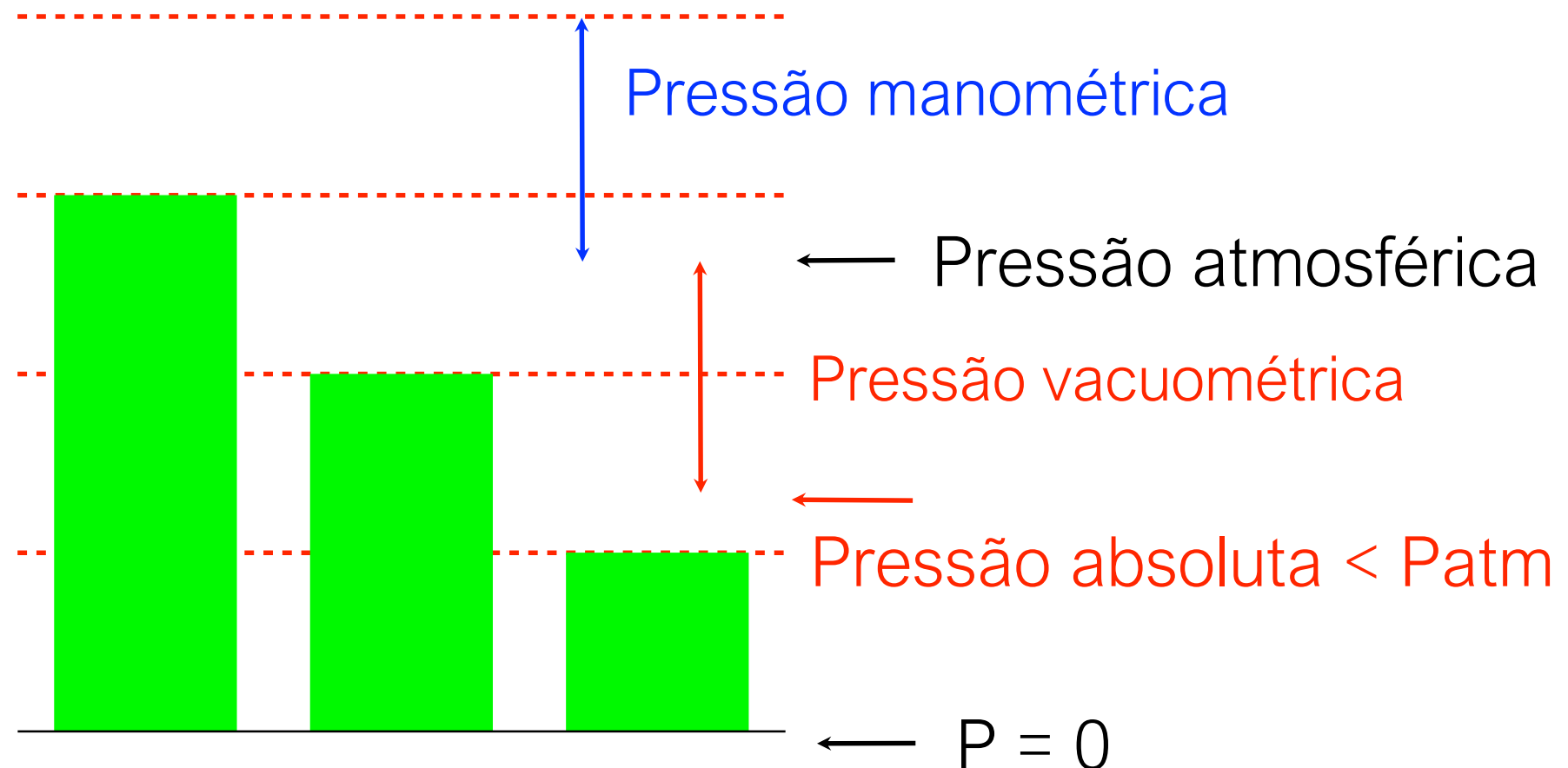
$$P = \lim_{\delta A \rightarrow \delta A'} \frac{\delta F_n}{\delta A}$$

Considere a situação:



Pressão absoluta > Patm

Em Termodinâmica  
trabalhamos com







## Energia

*A energia total ( $E$ ) de um sistema composto por uma substância compressível simples em um dado estado é:*

$$E = U + E_c + E_p$$

interna

cinética

potencial

Determinadas com base no referencial adotado



# Conceitos fundamentais

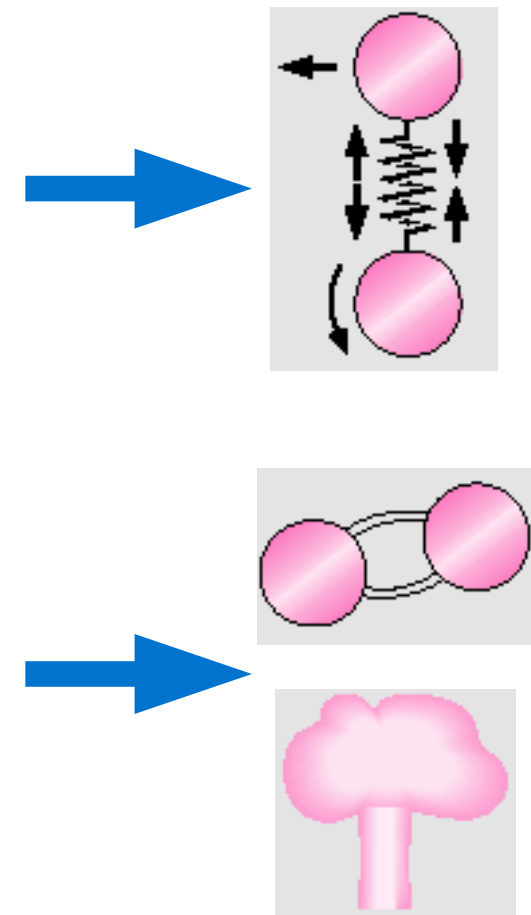
## Energia interna

Ponto de vista molecular:

❖ **Energia cinética molecular** - Movimento das moléculas (parcela “sensível”\*);

❖ **Energia potencial intermolecular** - Forças entre moléculas (parcela “latente”\*);

❖ **Energia potencial intramolecular** - Estrutura molecular e atômica (parcela química e nuclear).



\* Não utilizar os termos!