

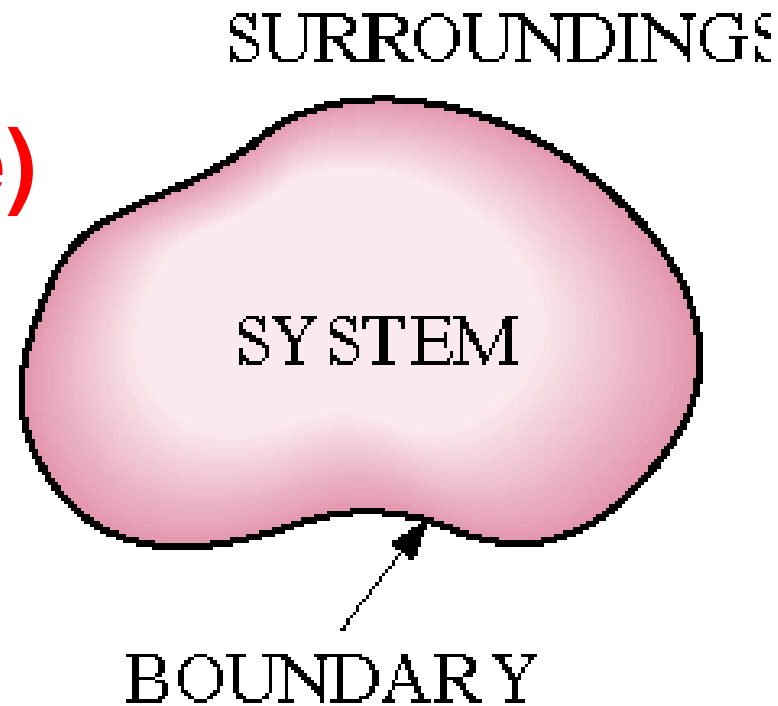


# Capítulo 2

- **Definição de Sistema**
- **Propriedades**
- **Equilíbrio Térmico**
- **Estado e Processo**
- **Calor e Trabalho**

# Sistema Termodinâmico

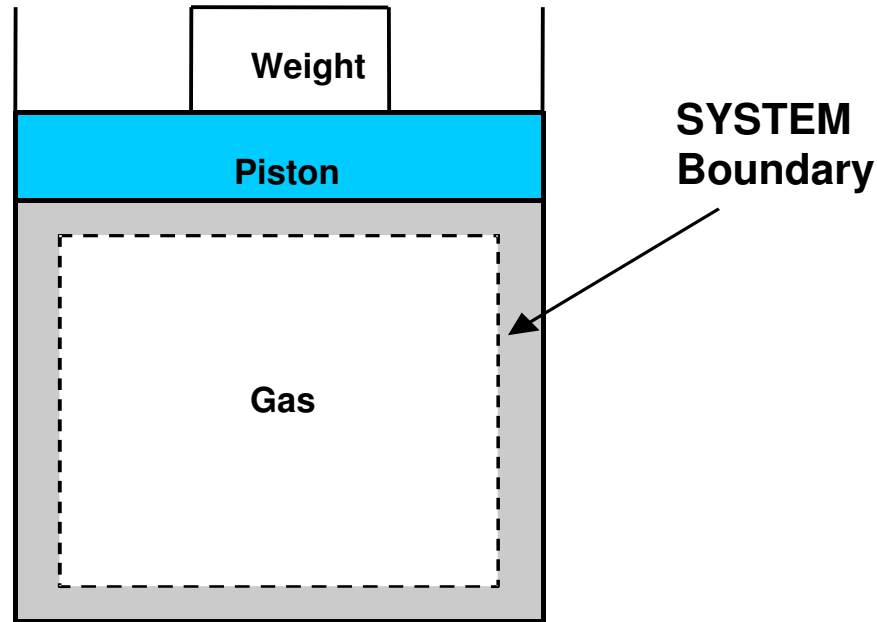
- Sistema Fechado
- Sistema Aberto  
(Volume de Controle)
- Sistema Isolado



# Sistema

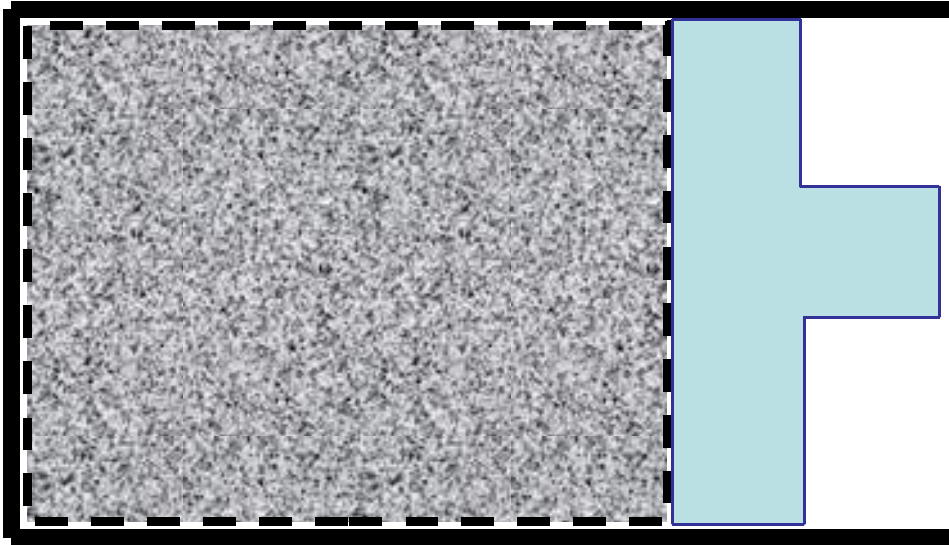
“Um sistema é uma região do espaço ou quantidade de matéria a ser estudada.”

O exemplo apresentado aqui é um sistema fechado (uma quantidade fixa de matéria).



- 2 tipos de sistema.
- O Primeiro é: Sistema fechado (ou massa fixa) – é formado de uma quantidade fixa de matéria e não permite transferência de massa pelas fronteiras

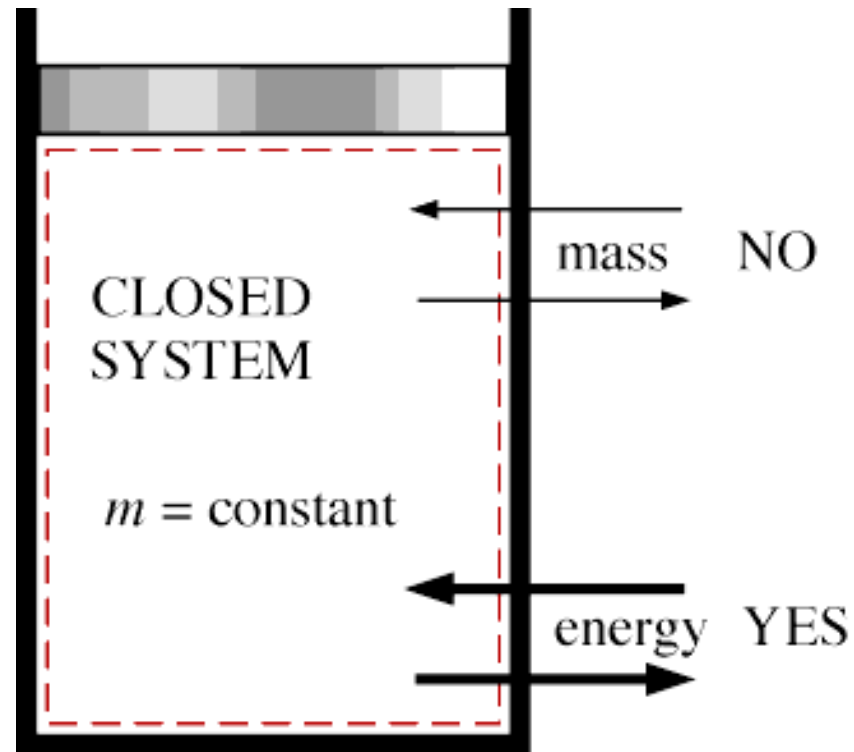
# Sistema Fechado



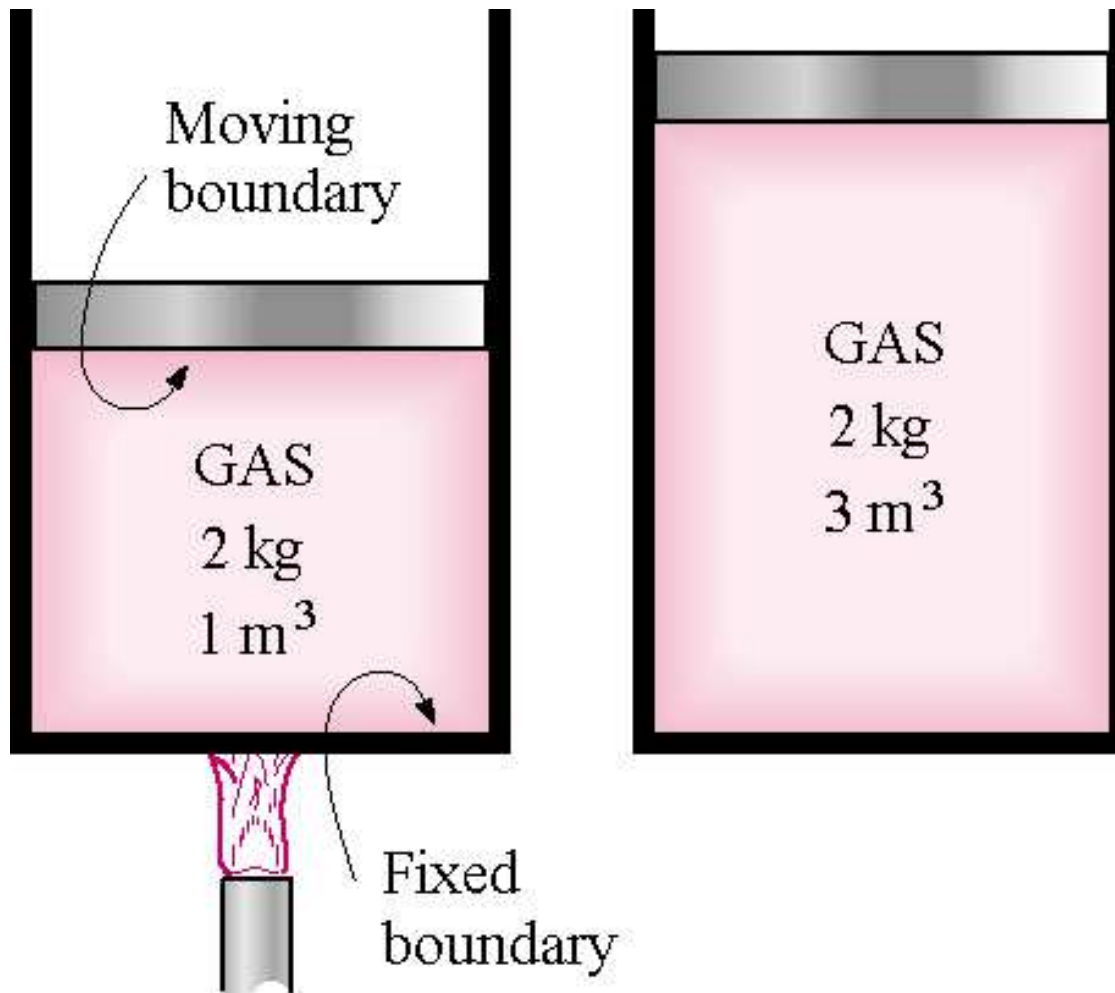
- Sistema fechado – não há fluxo de massa pela fronteira (tracejado).
- A massa indicada em cinza é o sistema a ser estudado.
- Fronteira pode se mover (pistão pode se deslocar)

# Fluxos Através da Fronteira de um S.F.

Energia, não massa, cruza a fronteira do S.F.



# S.F. com Fronteira Móvel

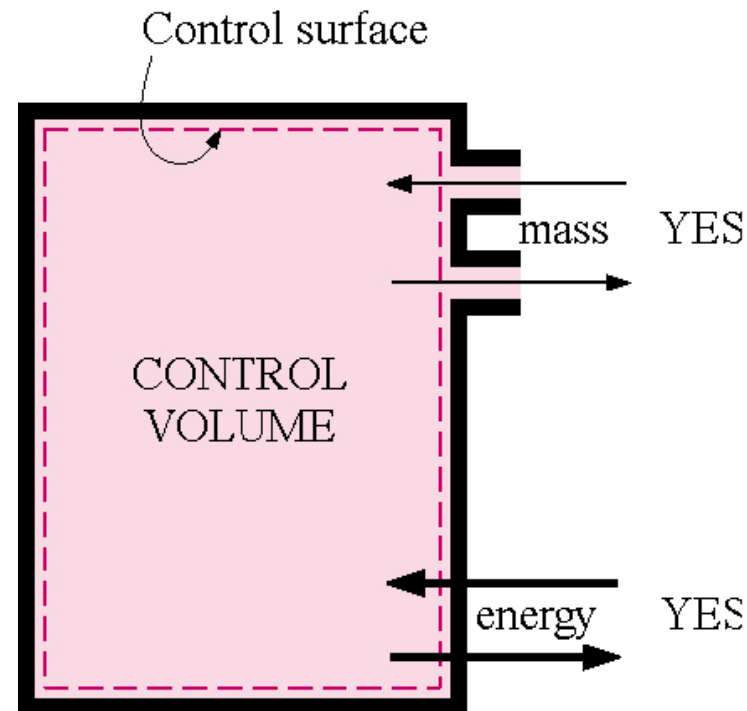


# Sistema Aberto

- O sistema é uma região de espaço a ser estudada.
- Este segundo tipo é o sistema aberto (volume de controle) : é uma região fixa do espaço e é aberto a fluxos de massa através da fronteira.

# Sistema Aberto (V.C.)

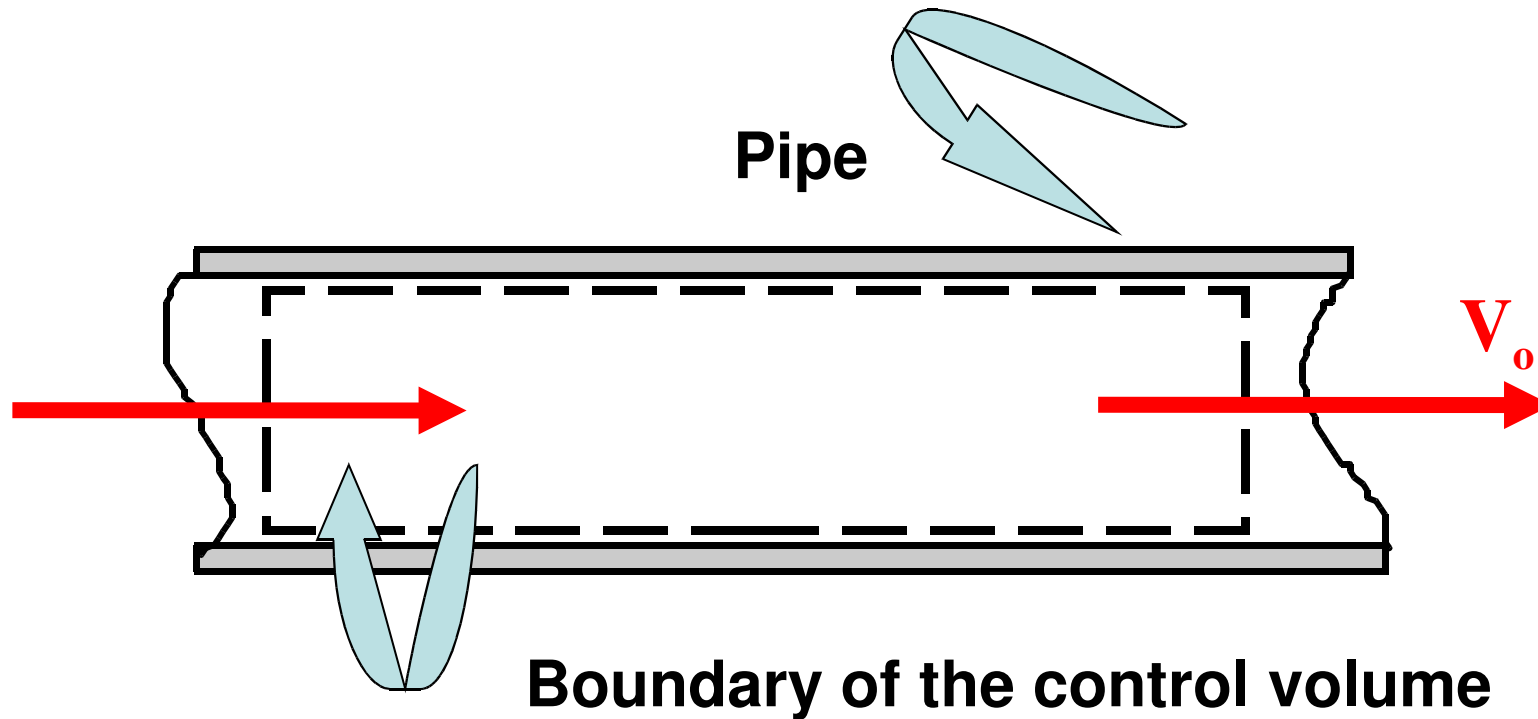
- V.C. – em geral a fronteira é fixa.
- **Massa e energia cruzam a fronteira.**
- Nos interessamos apenas pela região dentro da fronteira.





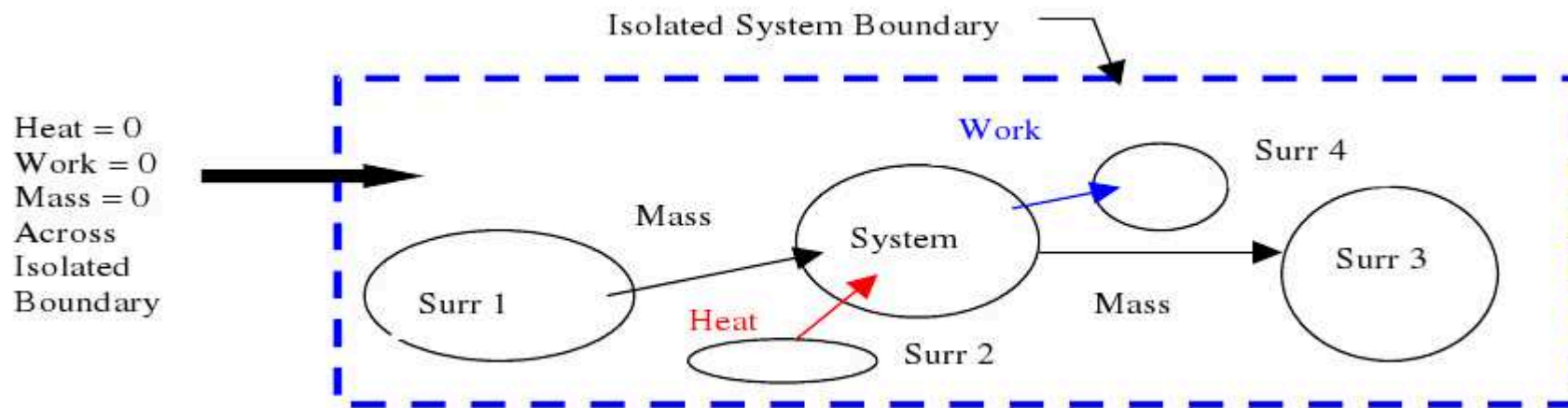
# Sistema Aberto (V.C.)

Este é um exemplo de um sistema aberto: é uma região do espaço que queremos estudar. Sua fronteira é conhecida como Volume de Controle.



# Sistema Isolado

Em um sistema isolado não há fluxos de massa, calor ou trabalho através da fronteira



# Questão

Considere uma garrafa de cerveja que é colocada em um refrigerador a  $3^{\circ}\text{C}$ . A garrafa de cerveja deve ser tratada como um sistema **fechado** ou **aberto**?

# Propriedade

Uma propriedade é uma característica de um sistema para a qual valores numéricos podem ser designados a fim de descrever o sistema.

- **Massa**
- **Temperatura**
- **Pressão**
- **Densidade**

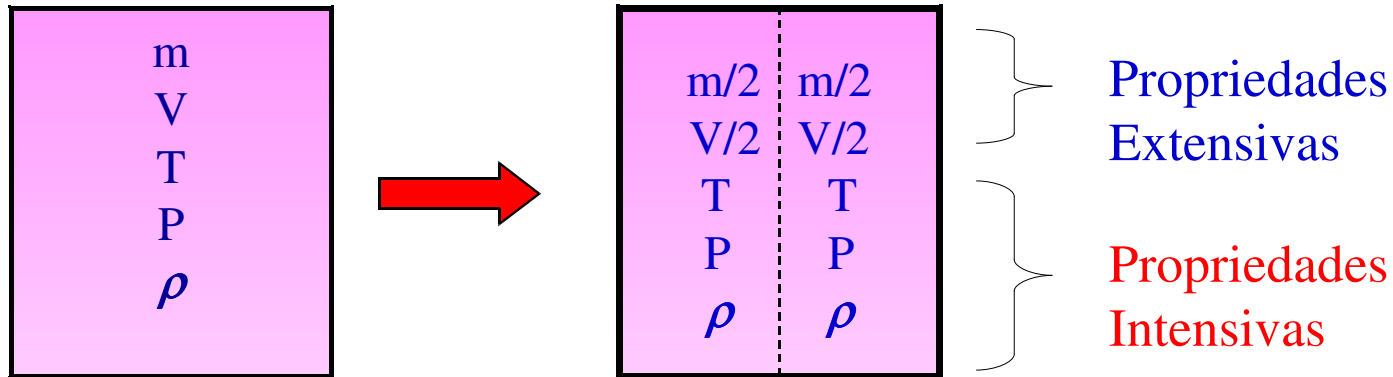
# Propr. Extensiva

- **Extensiva** : propriedades que podem ser contadas e cujo valor para todo o sistema é a soma dos valores das diferentes partes do sistema.
- Dependem da **extensão** do sistema.
- São normalmente simbolizadas por letras maiúsculas.
- Exemplos: Volume, Massa

# Propr. Intensiva

- **Intensiva** : propriedades que são independentes do tamanho (massa ou volume) do sistema.
- São normalmente simbolizadas por letras minúsculas.
- Exemplos: Densidade, Temperatura

# Propriedades



Propriedades extensivas por unidade de massa tornam-se intensivas

**Volume específico**  $v = \frac{\text{volume}}{\text{mass}} = \frac{V}{m} \left( \frac{m^3}{kg} \right)$

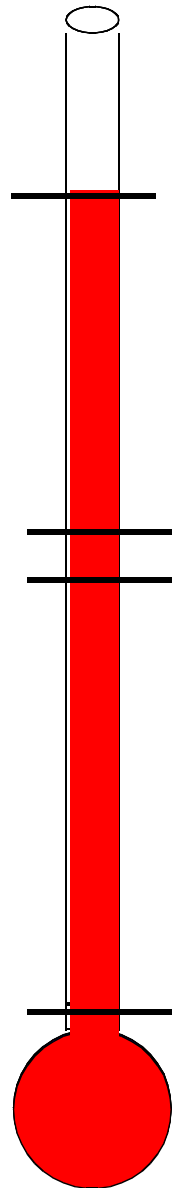
**densidade**  $\rho = \frac{\text{mass}}{\text{volume}} = \frac{m}{V} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$

# Questão

- Decida se as seguintes propriedades são intensivas ou extensivas:
- Volume, massa, peso, temperatura, densidade, volume específico, pressão, energia, quantidade de movimento, cor.



# Temperaturas



	<b>°C</b>	<b>°F</b>	<b>K</b>	<b>R</b>
<b>Boiling point</b>	<b>100</b>	<b>212</b>	<b>373.15</b>	<b>671.67</b>
<b>Triple point @ 0.006 atm, T = 0.01 °C</b>				
<b>Ice point</b>	<b>0.00</b>	<b>32.00</b>	<b>273.15</b>	<b>491.67</b>
<b>Absolute Zero</b>	<b>-273.15</b>	<b>-459.67</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

# Relações entre Temperaturas

- $T \text{ (R)} = T \text{ (}^\circ\text{F)} + 459.67$  [usar 460]
- $T \text{ (K)} = T \text{ (}^\circ\text{C)} + 273.15$  [usar 273]

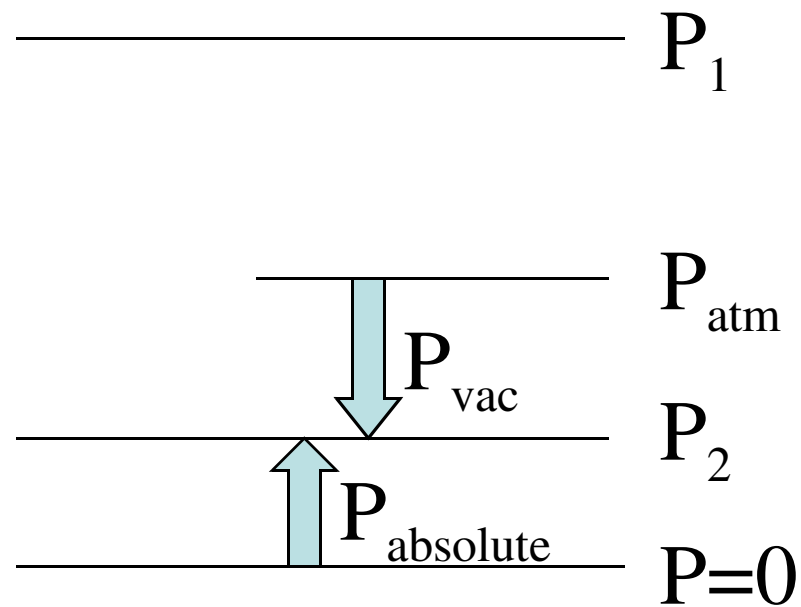
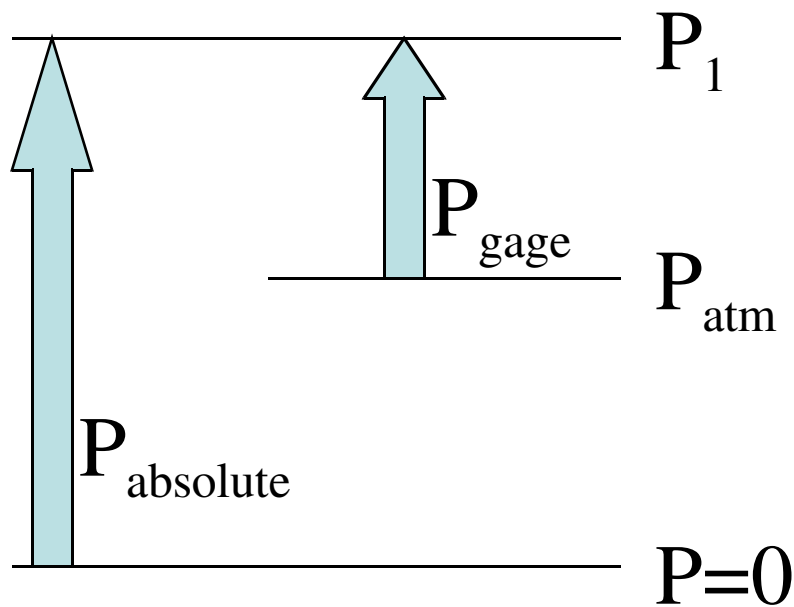
# Pressão

- Força normal exercida em uma (pequena) área. [pequena o suficiente para que mudanças sobre a área sejam desprezíveis, mas grande o suficiente para que os efeitos moleculares não sejam importantes.] => FORÇA/ÁREA
- Contínuo (abordagem macroscópica)

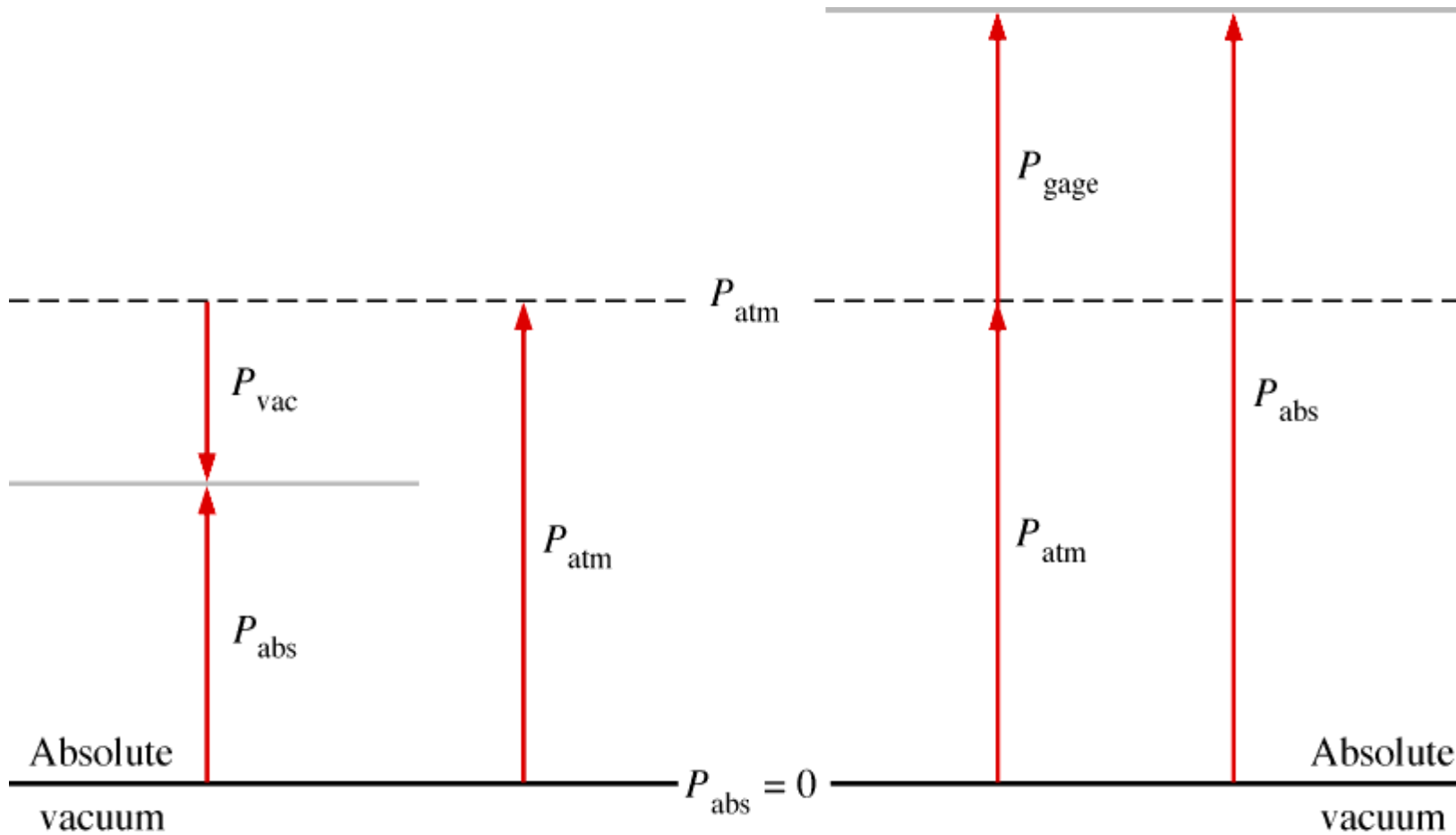
# Pressões

- Pressões acima da atmosférica

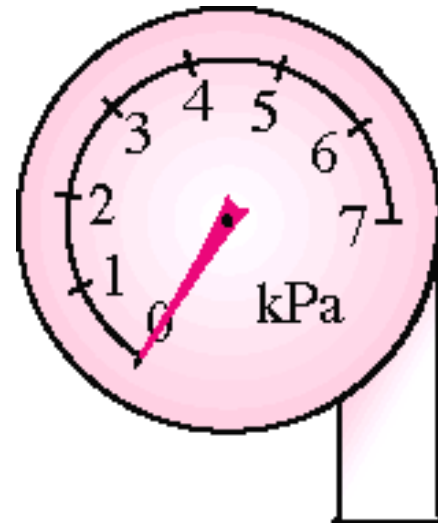
- Pressões abaixo da atmosférica (vácuo parcial)



# Pressões Barométrica, Absoluta, Manométrica e Vácuo



# Pressão Manométrica



$$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm}$$

$$(P > P_{atm})$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$$

$$(P < P_{atm})$$

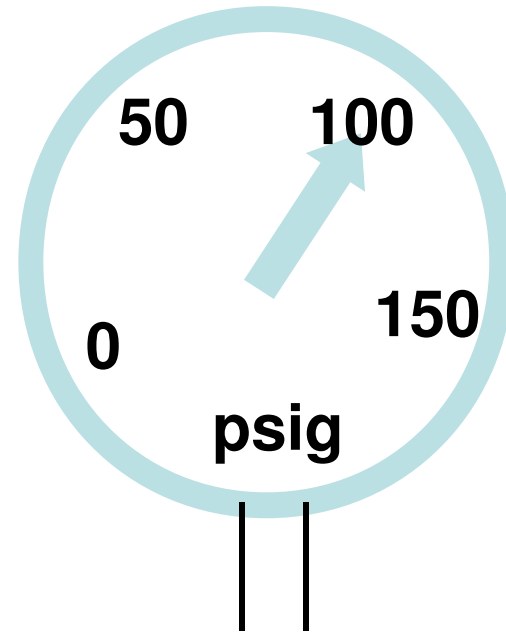
# No SI utiliza-se

- Pressão no SI : **Pascal**
- **1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>**
- **1 kPa = 1,000 N/m<sup>2</sup>**
- **1 bar = 100,000 N/m<sup>2</sup>**
- **1 MPa = 1,000,000 N/m<sup>2</sup>**

# No EES

- lbf/in<sup>2</sup> ou psi, usualmente com os sufixos “a” ou “g”, para absoluta ou manométrica (gage).

- **psia**: Absolute pressure
- **psig**: gage pressure





# Pressão Atmosférica

- 1 atm = 14.696 psia = 101,325 kPa  
= 1.01 bar = 760 mmHg
- 0 psig = 14.696 psia
- Pressão absoluta ( $P_{abs}$ ) = pressão manométrica (psig) + pressão atmosférica ( $P_{atm}$ )

# Equilíbrio

- Sistema em equilíbrio: suas propriedades não se alteram em qualquer ponto do sistema.
- Também conhecido como “equilíbrio termodinâmico” ou “equilíbrio total”.
- **Balanço** – Não ha desequilíbrio de potenciais (forças motrizes) no sistema.
- Quatro tipos diferentes de equilíbrio

# Tipos de Equilíbrio Termodinâmico

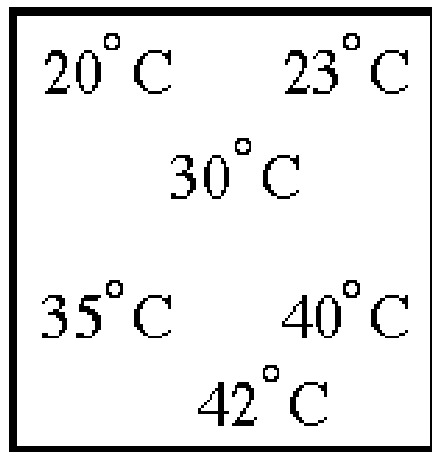
- Equilíbrio Térmico – Temperaturas não mudam com o tempo
- Equilíbrio Mecânico – Pressões não mudam com o tempo
- Equilíbrio Químico – Estruturas moleculares não mudam com o tempo
- Equilíbrio de Fase – A massa de cada fase não muda com o tempo (i.e., mesma composição líquido/gás or líquido/sólido)

# Equilíbrio Térmico

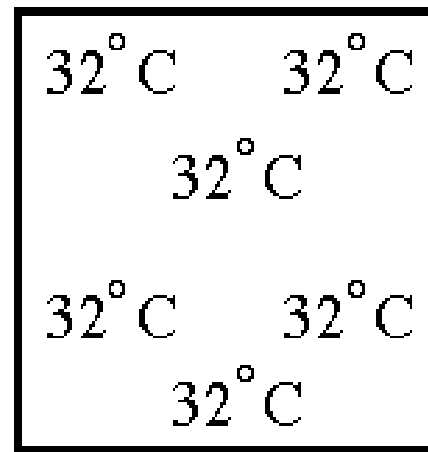
- Quando 2 corpos estão a uma mesma temperatura  $T$  e não há transferência de calor.

# Estado e Equilíbrio

- A Termodinâmica lida com estados de equilíbrio
- Um sistema termodinâmico está em equilíbrio se ele mantém **equilíbrios térmico, mecânico, de fase, e químico**



(a) Before



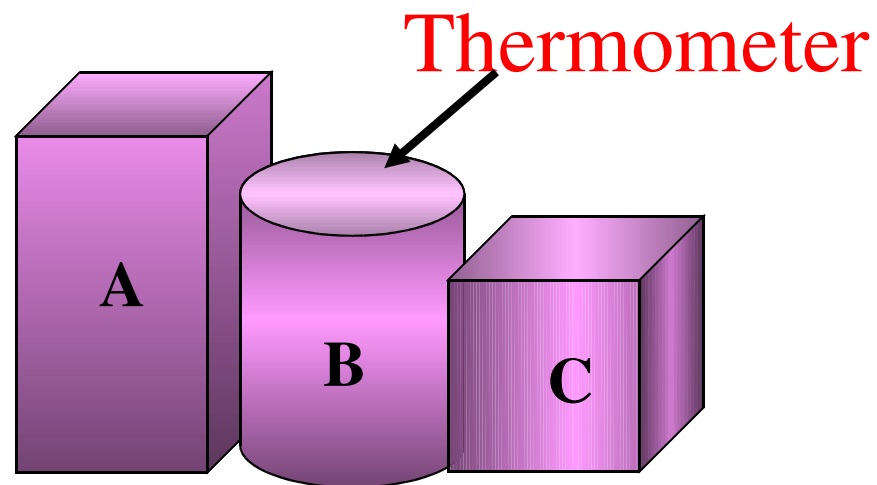
(b) After

# Lei Zero da Termodinâmica

- Se 2 sistemas estão em **equilíbrio térmico** com um terceiro sistema, eles também estão em equilíbrio entre eles.
- Proveniente da experiência comum (observação experimental).
- Não é derivado de outras leis
- Precede o desenvolvimento da primeira e da segunda leis da termodinâmica

# Lei Zero da Termodinâmica

- 2 corpos estão em *equilíbrio térmico* se ambos possuem a *mesma temperatura (medida)* mesmo se eles não estão em contato.



# Estado

- O estado de um sistema é definido pelos valores de suas propriedades.



# Postulado ou Princípio do Estado

- “The state of a simple compressible system is completely given by two independent, intensive properties.”
- Propriedades são independentes se uma pode tornar-se constante enquanto a outra varia.
- Aplicável apenas em equilíbrio.

# Sistema Simples

- Um sistema simples é aquele onde apenas um trabalho em modo de quasiequilíbrio se aplica.
- **Sistemas simples compressíveis**
- **Sistemas elásticos simples**
- **Sistemas magnéticos simples**
- **Sistemas eletrostáticos simples, etc.**

# Postulado do Estado

- O estado termodinâmico de um sistema simples compressível é completamente definido por **2 propriedades intensivas independentes**.

$$P = P(\rho, T)$$

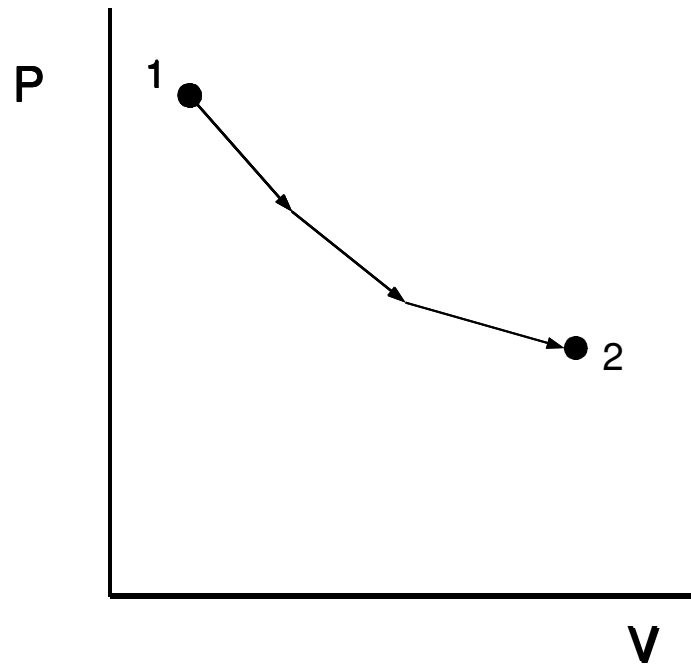
$$T = T(P, v)$$

\*  $\rho = 1/v$  : **propriedades dependentes**

\* **P e T são dependentes em sistemas multifásicos**

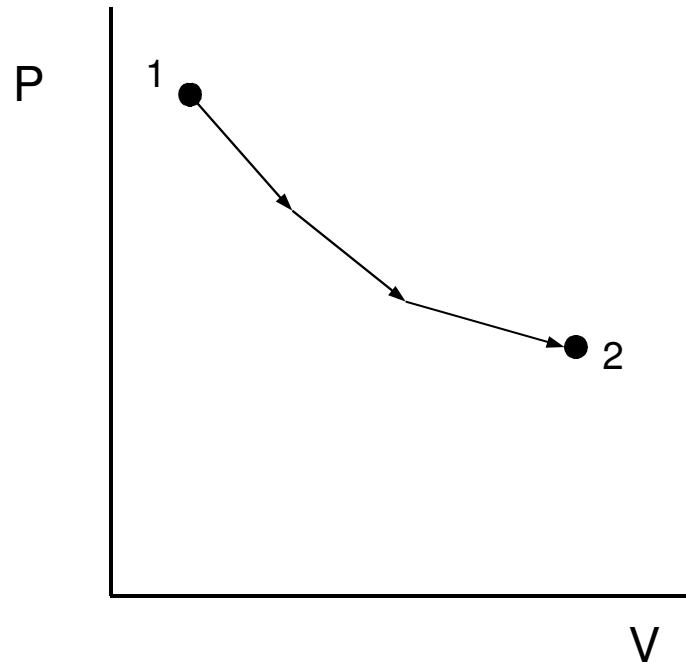
# Processo

- Mudança no estado de um sistema de um estado de equilíbrio para outro.

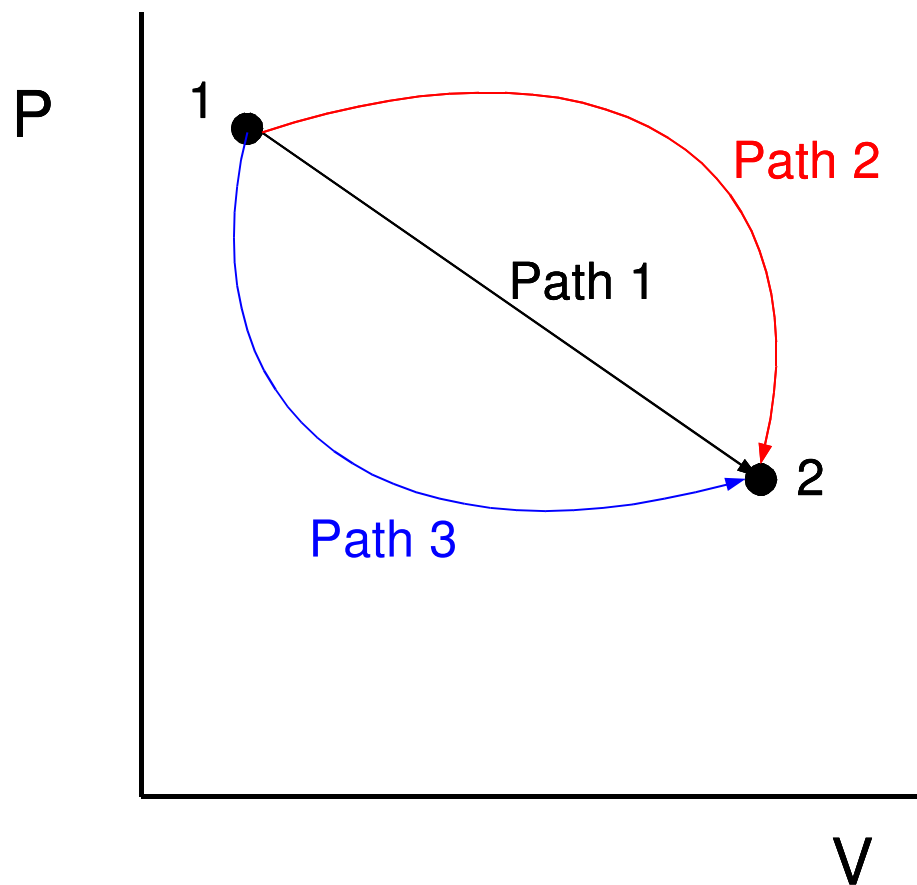


# Caminho

Série de estados  
pelos quais um  
sistema passa.

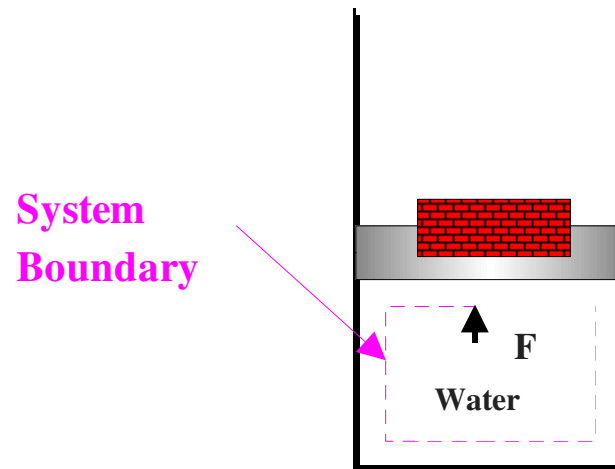


# As propriedades nos pontos extremos são independentes do processo



# Processo

Processo	Propriedade Constante
isobárico	pressão
isotérmico	temperatura
isovolumétrico	volume
isoentrópico	entropia



Constant Pressure Process

# ***Calor e Trabalho***

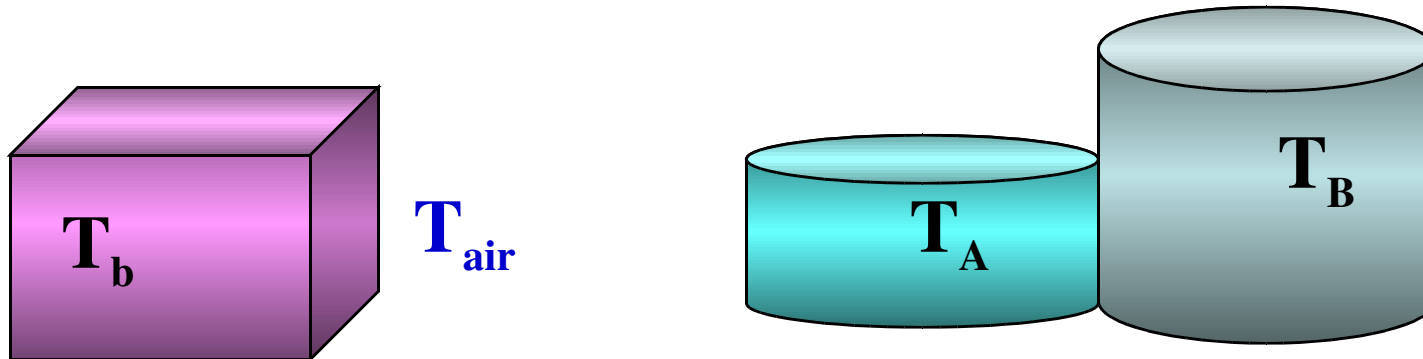
- Se a transferência de energia através das fronteiras de um sistema fechado deve-se a **diferenças de temperatura**, ela se chama **calor**; senão, ela se chama **trabalho**.



# ***Transferência de Calor***

Calor é uma forma de transporte de energia que ocorre devido apenas a diferenças de temperatura

$$Q = f(\Delta T)$$



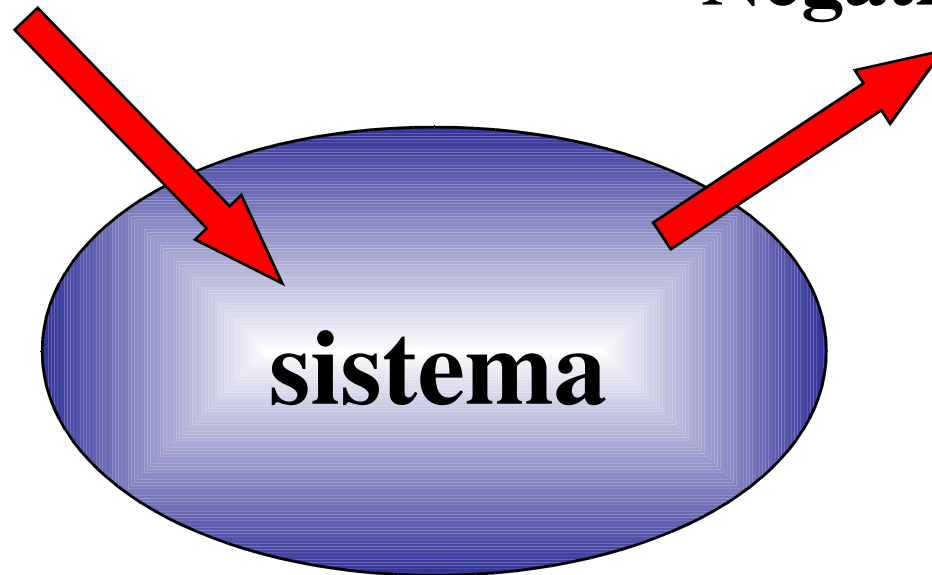
# ***Transferência de Calor***

- **Energia térmica (calor) pode ser transferida de ou para um sistema ou transformada em outra forma de energia**

# ***Convenção de Sinais***

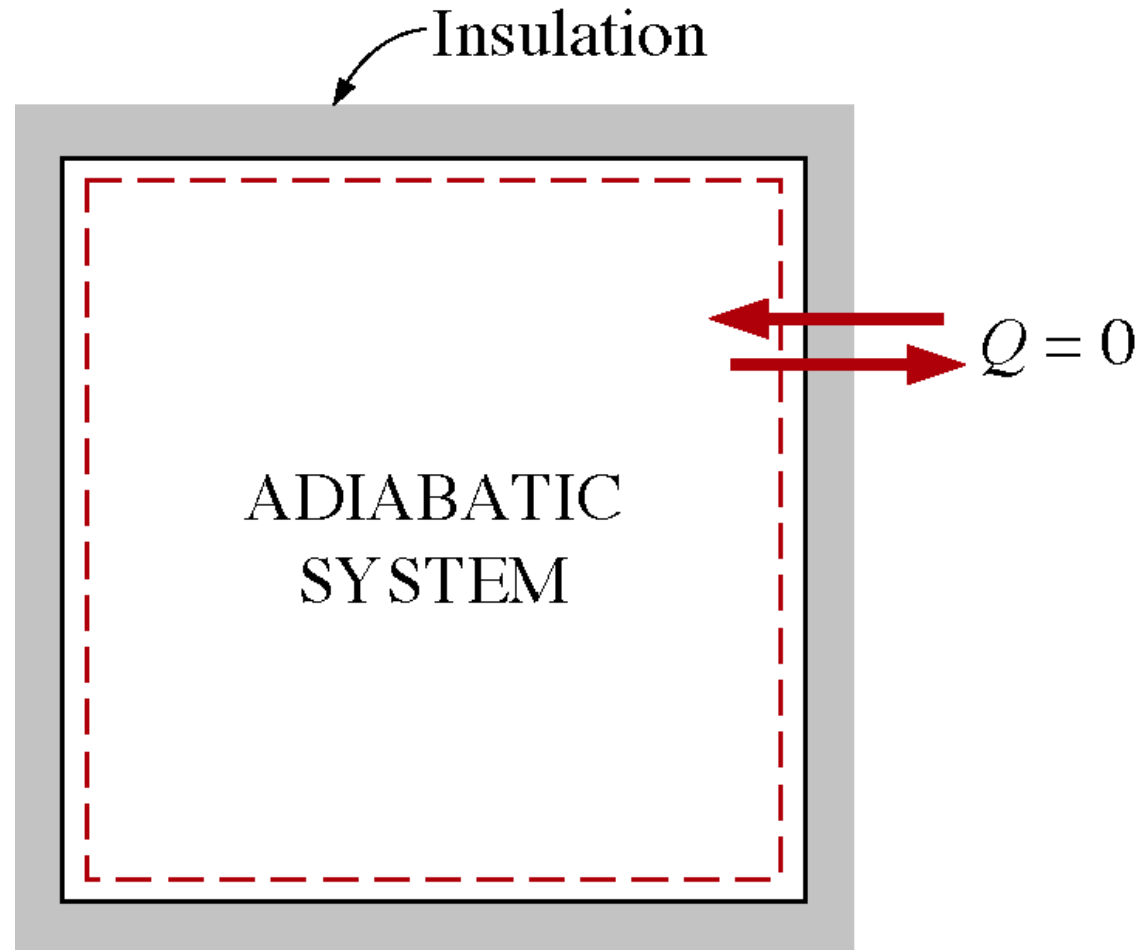
**Calor recebido =  
Positivo**

**Calor perdido =  
Negativo**



# ***Processo Adiabatico***

- Não há transferência (liquida) de calor



# ***Mais uma vez!***

- **$Q > 0$ : Calor transferido para o sistema**
- **$Q < 0$ : Calor transferido do sistema**
- **$Q = 0$ : adiabático**

# ***Quantidades Dependentes do Caminho***

- Até aqui, tudo o que vimos são diferenciais exatas
- Diferenciais exatas são independentes do caminho

**Diferencial Exata**

$$\int_{P_1}^{P_2} dP = P_2 - P_1$$

***P* é uma “função pontual”**

Transferência de calor e trabalho não  
são propriedades do sistema

$$Q = \int_1^2 \delta Q \neq Q_2 - Q_1$$

Não se pode definir  $Q_2$  (Q no estado 2) ou  $Q_1$ .

Q e W são **funções do caminho**, não “funções pontuais”

# ***Unidades de Calor***

- Btu ou kJ (**1 Btu = 1.055056 kJ**)
- Taxa de transferência de calor,  $\delta Q/dt$  :  
Btu/h, ft-lbf/h, J/s or Watts
- **1 kJ = 1 kN·m = 1 kPa·m<sup>3</sup>**

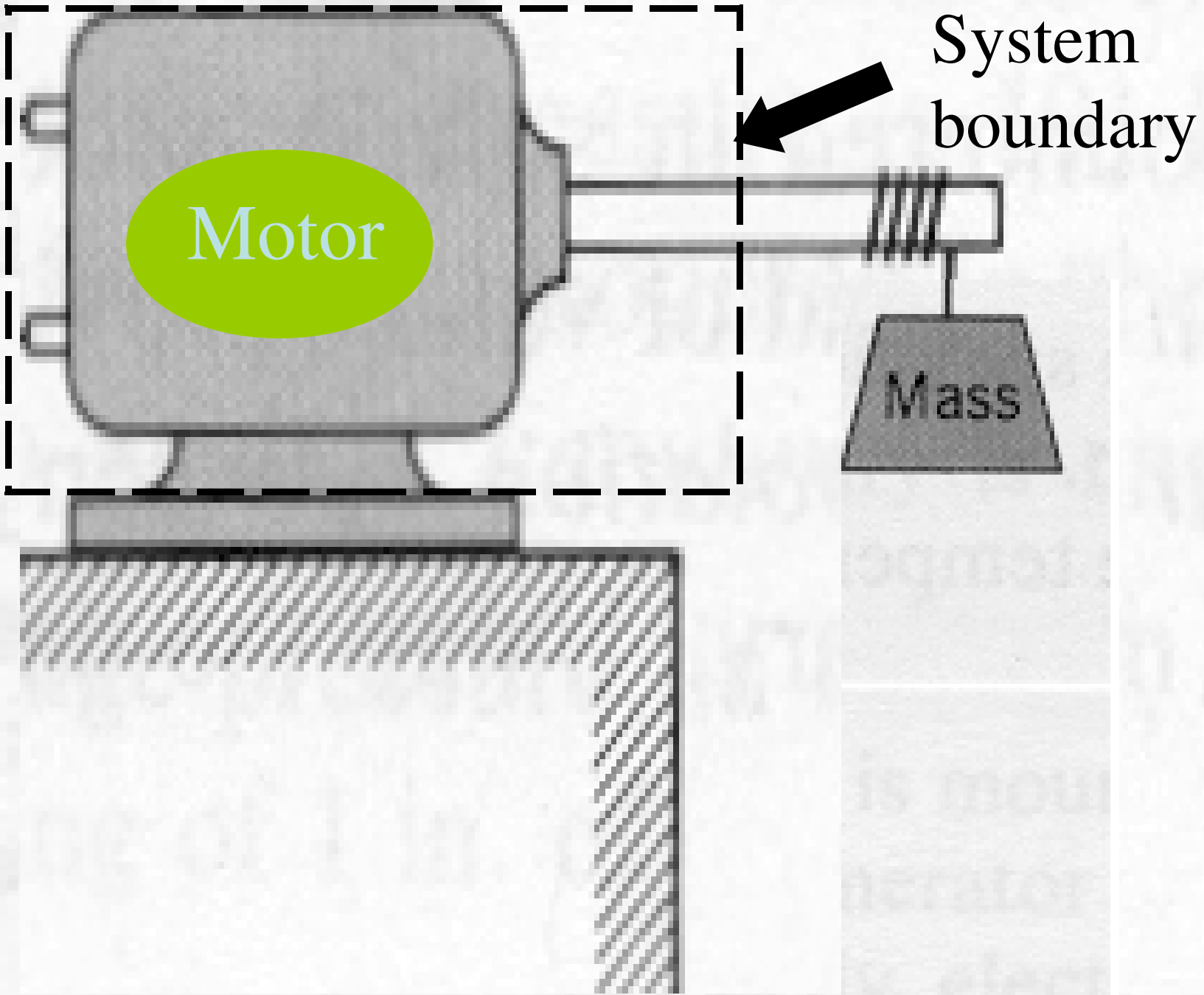


# ***Trabalho e Transferência de Calor***

- **Transferência de calor** é uma forma de interação do sistema com sua vizinhança.
- Outra forma de interação é o **trabalho.**

# ***Trabalho***

**Trabalho – é realizado pelo sistema (sobre a vizinhança) se o unico efeito na vizinhança poderia ser convertido no levantamento de um peso.**



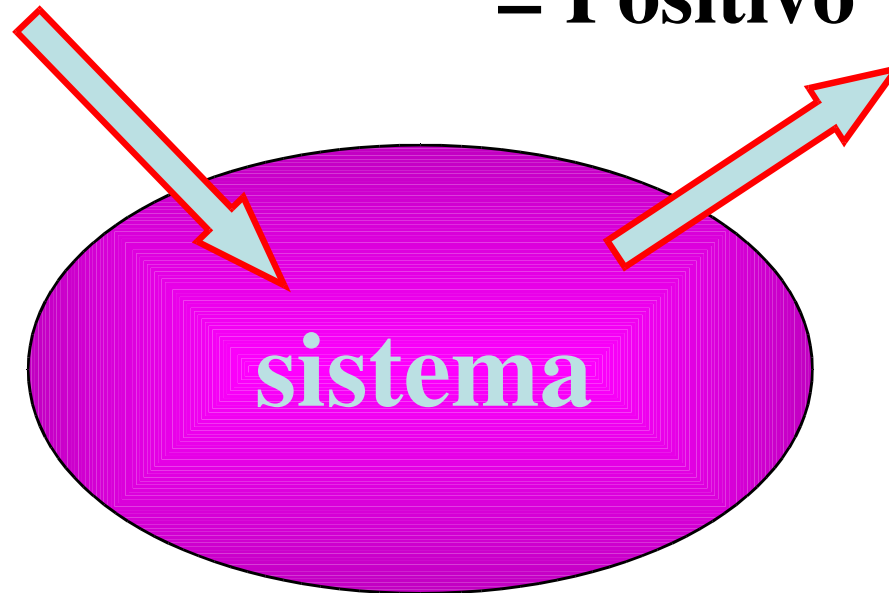
# ***Trabalho***

- Energia pode cruzar as fronteiras de um sistema nas formas de **calor ou trabalho**.
- Se a energia cruzando as fronteiras não é calor, ele só pode ser trabalho.
- Interação de energia que **não** é causada por diferença de temperatura.
- **Deslocamento de um pistão, rotação de um eixo, eletricidade, gravidade, força de uma mola, etc.**

# ***Convenção de Sinais***

**Trabalho fornecido =  
Negativo**

**Trabalho produzido  
= Positivo**



# ***Definição de Trabalho (Mecânica)***

Ele é definido em termos de uma força e de um deslocamento

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$$



**Onde  $F$  e  $ds$  são vetores....**

# ***Novamente***

**Trabalho – interação entre um sistema e sua vizinhança cuja **ação equivalente** pode ser o levantamento de um peso.**

**Convenção de sinais – oposto daquela para transferência de calor:**

**$W > 0$  : trabalho saindo**

**$W < 0$  : trabalho entrando**

# ***Trabalho Não é uma Propriedade do Sistema***

Utiliza-se também ***diferencial  
inexata,  $\delta$*** , para o trabalho.

$$W = \int_1^2 \delta W \neq W_2 - W_1$$



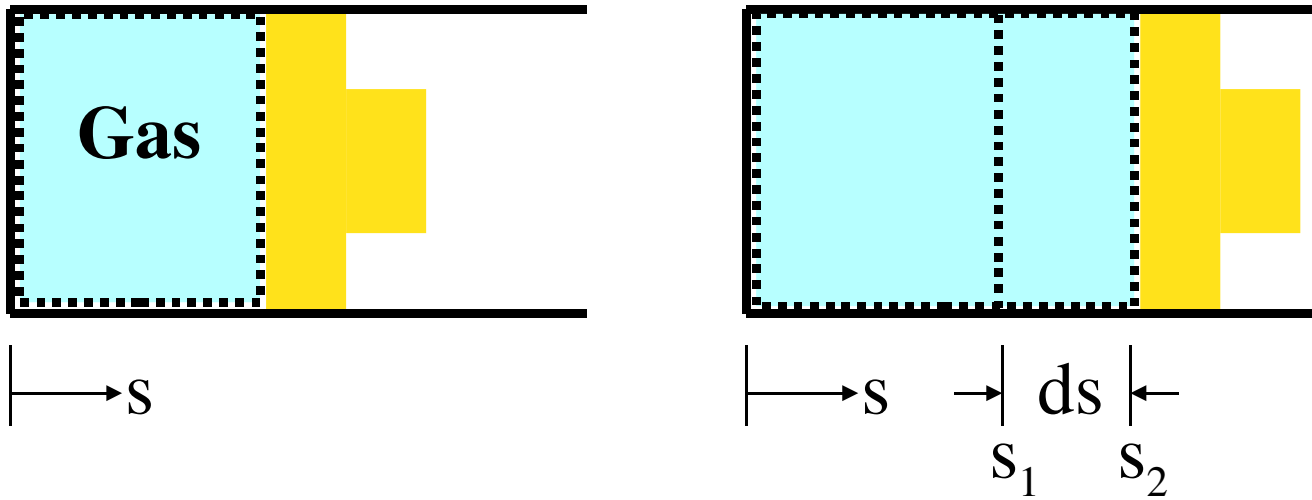
# ***Calor e Trabalho***

- **Transferência de calor e trabalho são fenômenos de fronteira – identificados nas fronteiras do sistema na medida que eles as cruzam.**
- **Um sistema possui energia, mas não possui calor nem trabalho.**
- **Calor e trabalho são funções do caminho. Sua magnitude depende do caminho seguido durante o processo assim como dos estados finais.**

# ***Unidades para Trabalho***

- **Btu or kJ, assim como para calor**
- **Taxa de trabalho,  $\delta W/dt$ :  
Btu/h, ft-lbf/h, J/s ou Watts**
- **Taxa de trabalho Potência**

# *Trabalho com Fronteira Móvel*

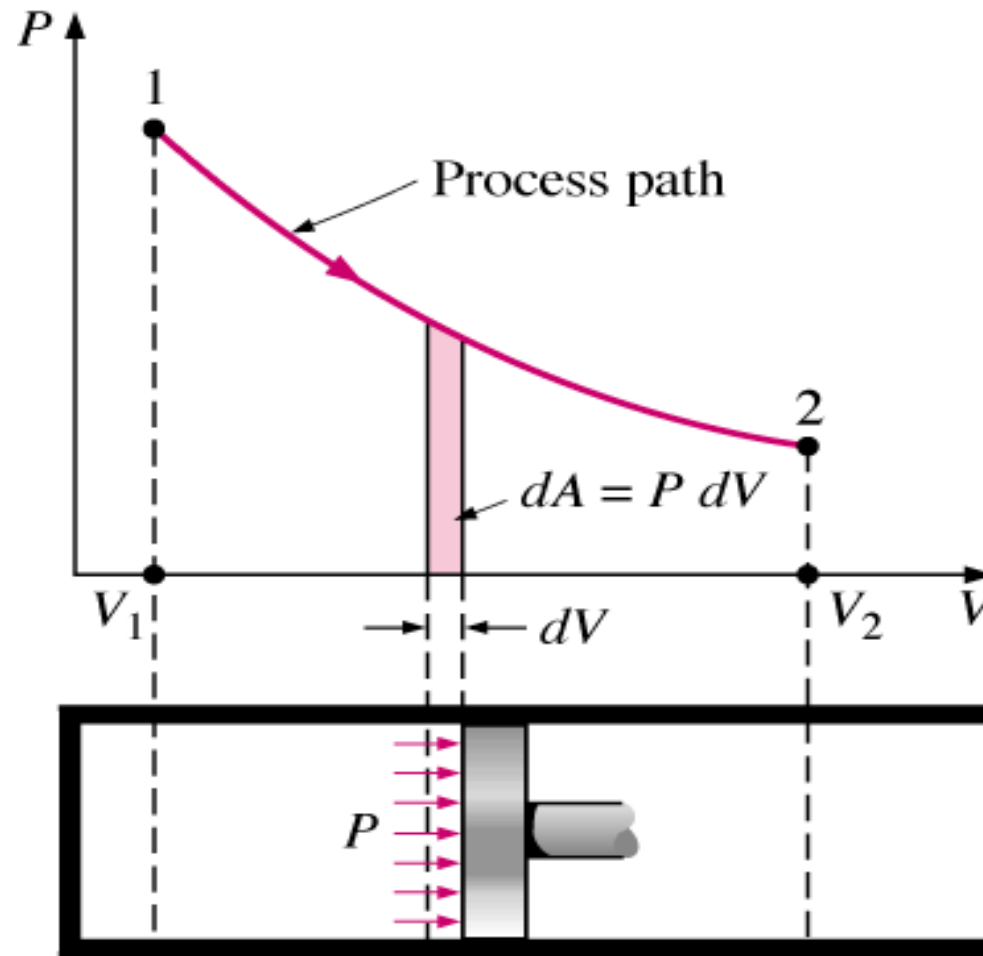


Quantidade diferencial de volume:

$$dV = A_{\text{piston}} \times ds$$

# Trabalho da Fronteira

- A força no pistão é:  $F = P \times A_{piston}$



***O Trabalho pode ser  
Avaliado:***

$$\delta W_b = F ds$$

**A força é dada por:**

$$F = PA$$

# ***Trabalho da Fronteira Movei***

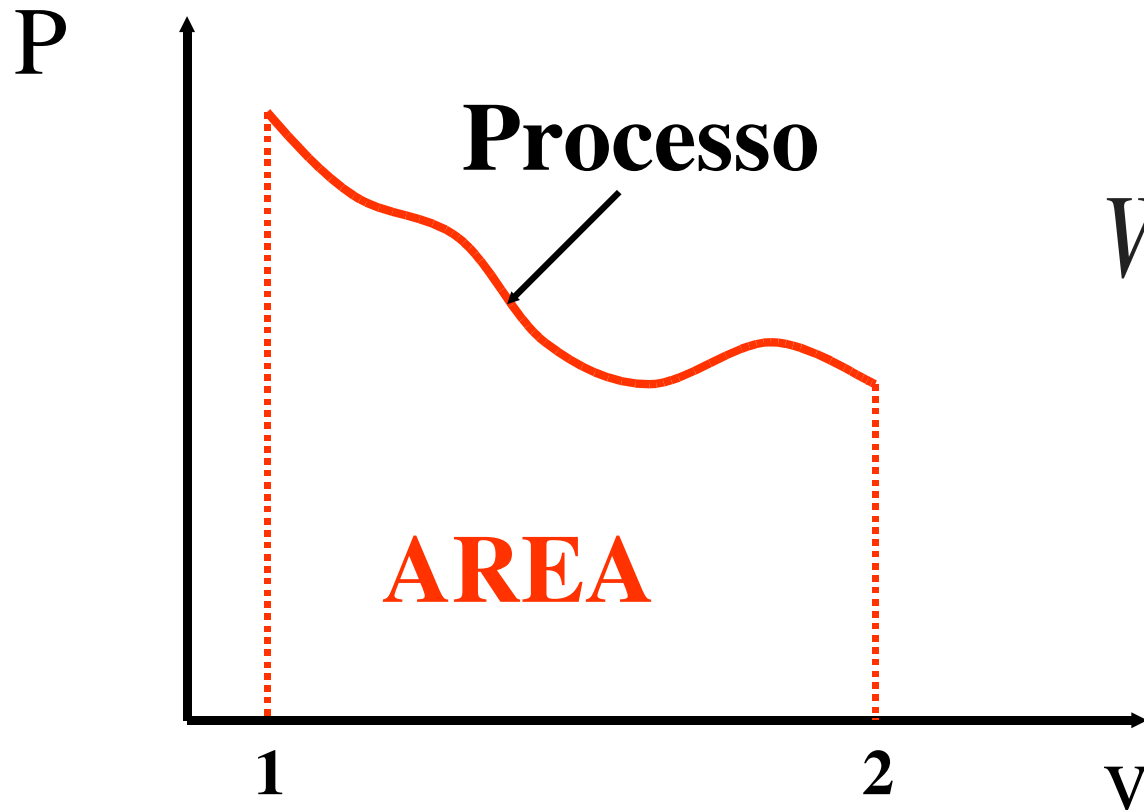
$$W = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_1^2 F ds$$

$$F = P \times A_{piston}$$

$$W = \int_1^2 F ds = \int_1^2 P \times A_{piston} ds$$

$$W = \int_1^2 P dV$$


# *O que uma integral representa em calculo?*



$$W_b = \int_1^2 P dV$$

# ***Trabalho da Fronteira***

**Trabalho em um sistema compressível fechado é dado por:**

$$W_b = \int_1^2 P dV$$

**Ele tem uma variedade de nomes: trabalho de compressão, trabalho de expansão, trabalho de fronteira, trabalho “PdV”**

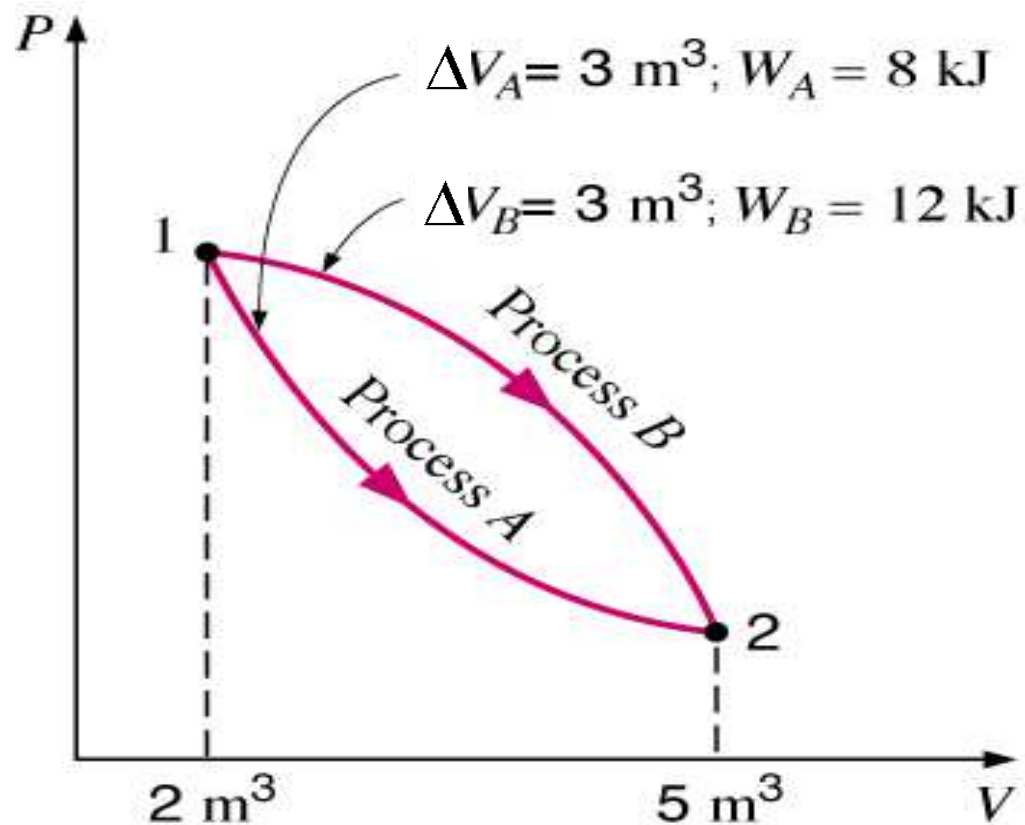


# ***Trabalhos de Compressão/Expansão***

Se  $P = P(V)$  é conhecido, o trabalho de compressão pode ser interpretado como a área sob a curva **pressão-volume**.

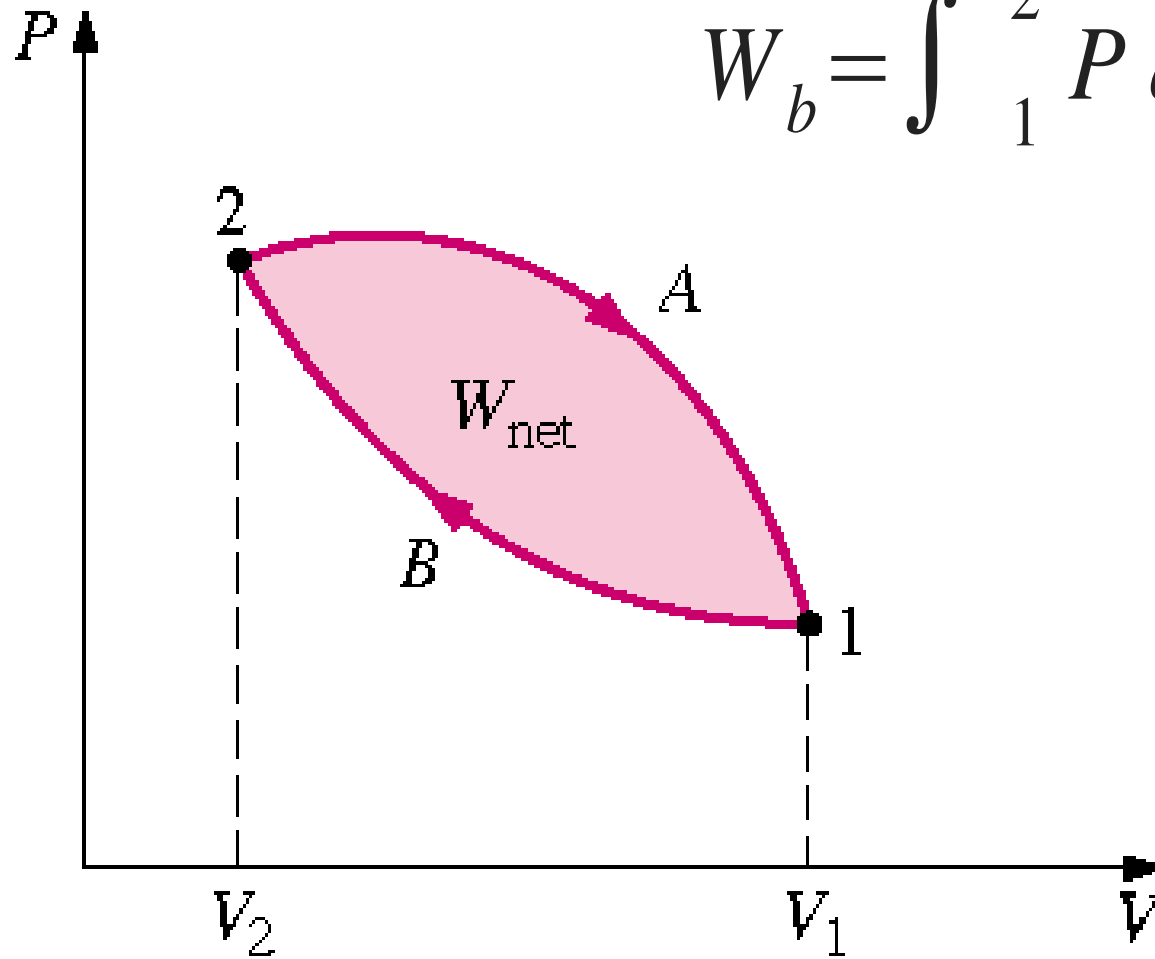
# Funções de Caminho

- **Calor e trabalho são associados ao processo, não ao estado!**



# *Trabalho líquido por ciclo*

$$W_b = \int_1^2 P dV$$



# ***IMPORTANTE!***

- **Para funções pontuais**

$$\oint dP = P_1 - P_1 = 0$$

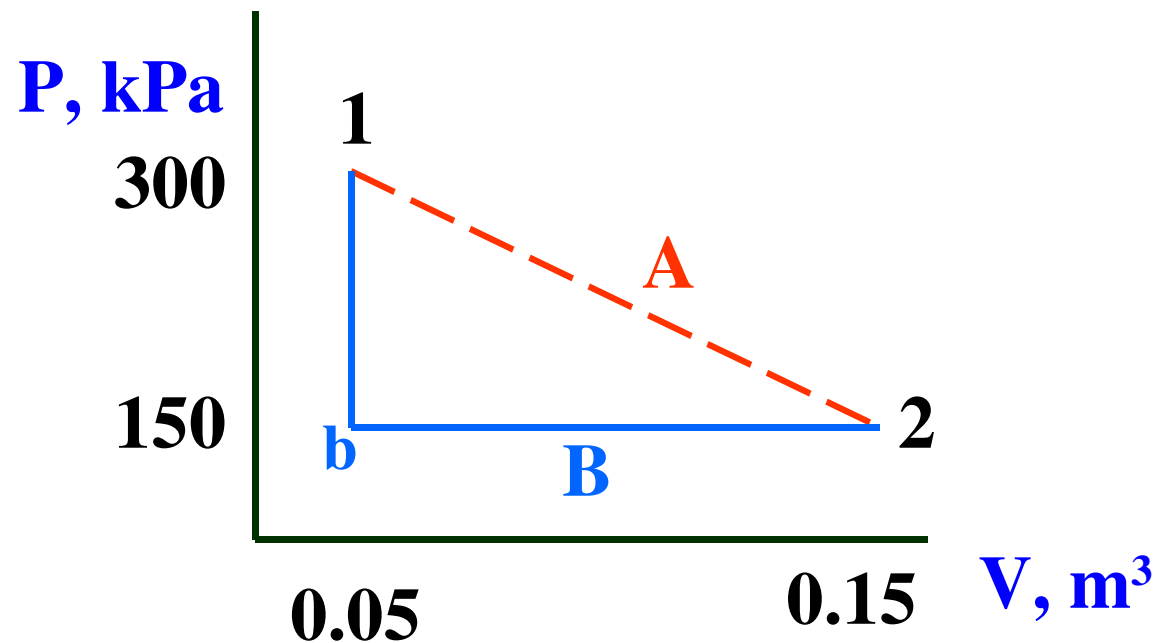
- **Para funções de caminho**

$$\oint \delta W = \oint PdV \neq 0$$

- **Possibilidade que dispositivos cíclicos (motores, usinas, etc.) produzam trabalho líquido.**

# Questão

Para um sistema pistão-cilindro, dois caminhos entre os pontos 1 e 2 são mostrados. Calcule o trabalho em kJ seguindo o caminho A ( $W_A$ ) e o caminho B ( $W_B$ ).

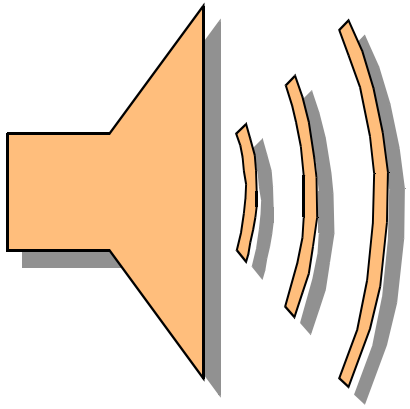


# *Processo Isométrico*

- Processo Isométrico -- **dV = 0**
- Aquecer ou resfriar a volume constante

$$W_b = \int_1^2 P dV = 0$$

- Mudanças de pressão são realizadas por transferência de calor.



***Outros tipos de trabalho  
além da Compressão e  
da Expansão***

# ***Trabalho de eixo***

$$W_{sh} = F s = \left( \frac{T}{r} \right) (2\pi r) n = 2\pi n T$$

$$\dot{W}_{sh} = \frac{\delta W_{sh}}{dt} = (2\pi \dot{n}) T = T\omega$$

- ***T*** : torque
- ***n*** : numero de voltas
- ***ω*** : velocidade angular



# ***Trabalhos Gravitacional e Cinético***

- **Trabalho gravitacional (=ΔPE):**

**(kJ)**

$$W_g = mg(z_2 - z_1)$$

- **Trabalho cinético (=ΔKE):**

**(kJ)**

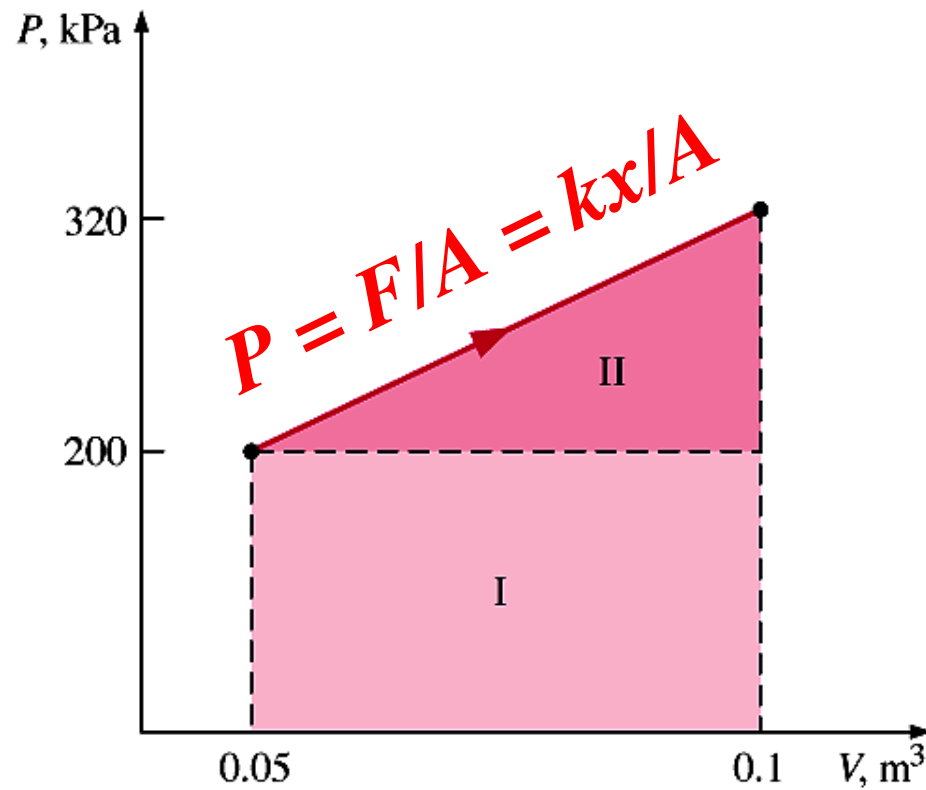
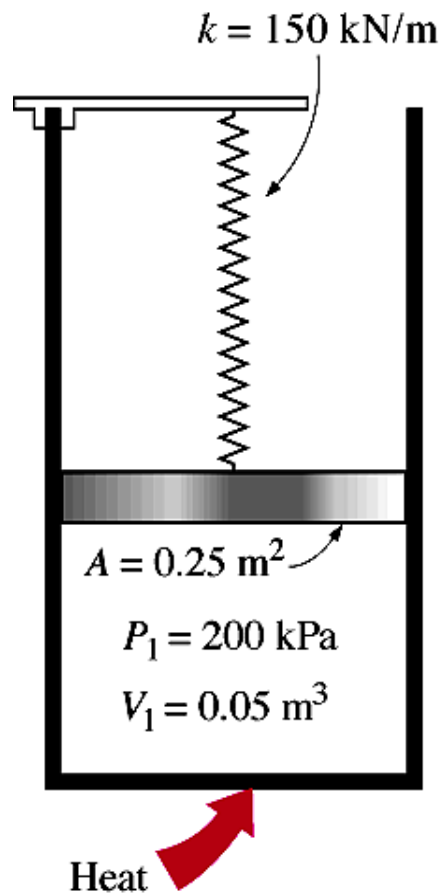
$$W_a = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2)$$

# ***Trabalho de Mola***

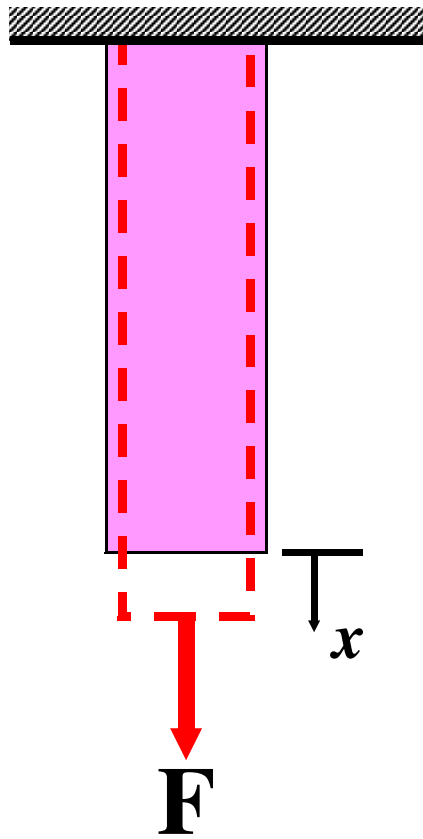
- Força da mola :  **$F = k x$**
- Trabalho da mola :  **$\delta W_{spring} = F dx$**

$$W_{spring} = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2)$$

# Expansão de um Gas Contra uma Mola



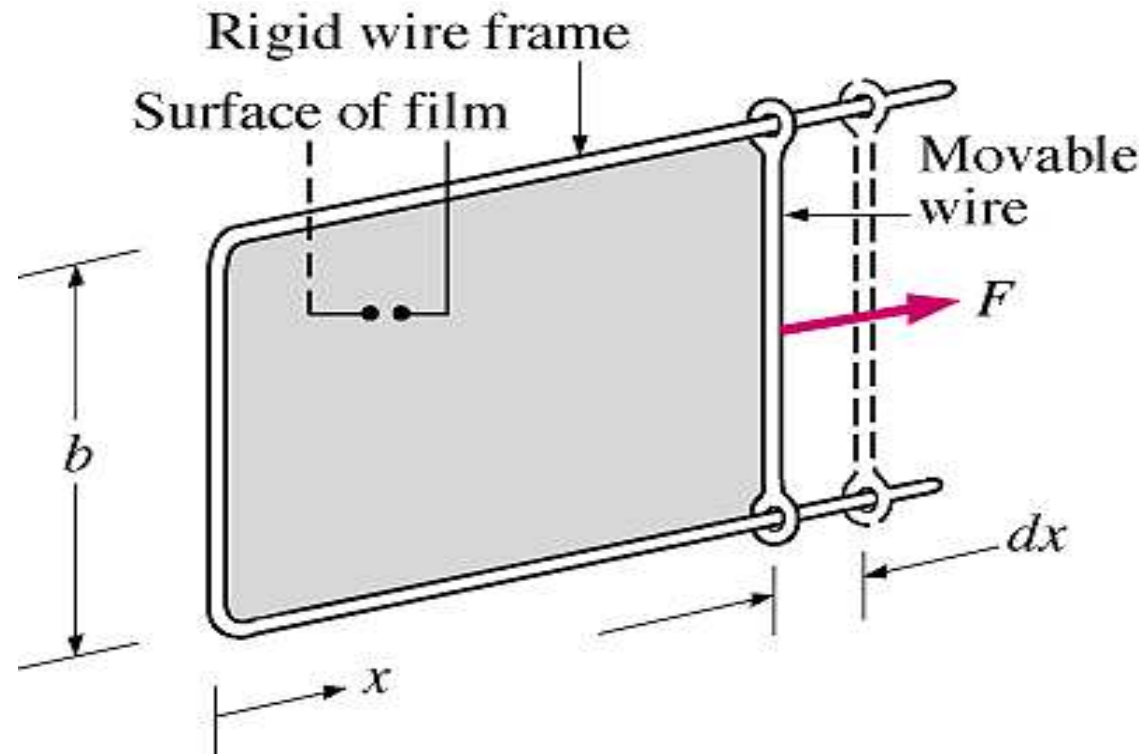
# ***Trabalho de Expansão/Contração de uma Barra Solida Elástica***



$$W_{elastic} = \int_1^2 \sigma_n dV = \int_1^2 \sigma_n A dx$$

**Tensão normal  $\sigma_n = F/A$**

# *Esticando um Filme Líquido*



$$W_{surface} = \int_1^2 \sigma_s dA$$

# ***Formas de Trabalho Não Mecânicas***

- **Trabalho elétrico**

$$\frac{\delta W}{dt} = -VI$$

- **Trabalho magnético**
- **Trabalho de polarização elétrica**

# ***Resumo:***

## ***Calor e Trabalho***

- São identificados apenas na fronteira do sistema (na medida em que cruzam a fronteira).
- São associados a processos (não a estados). **u** e **h** possuem valores definidos em qualquer estado, **q** e **w** não possuem
- São funções do caminho.
- Um sistema **não** possui trabalho ou calor.