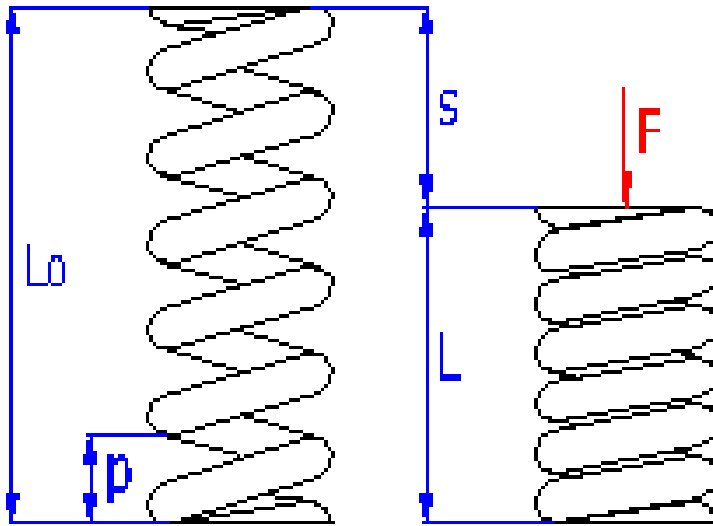


# Definições básicas

**Energia:** Capacidade de realizar trabalho



Aplicação de **Força**  
armazena energia  
no **sistema**

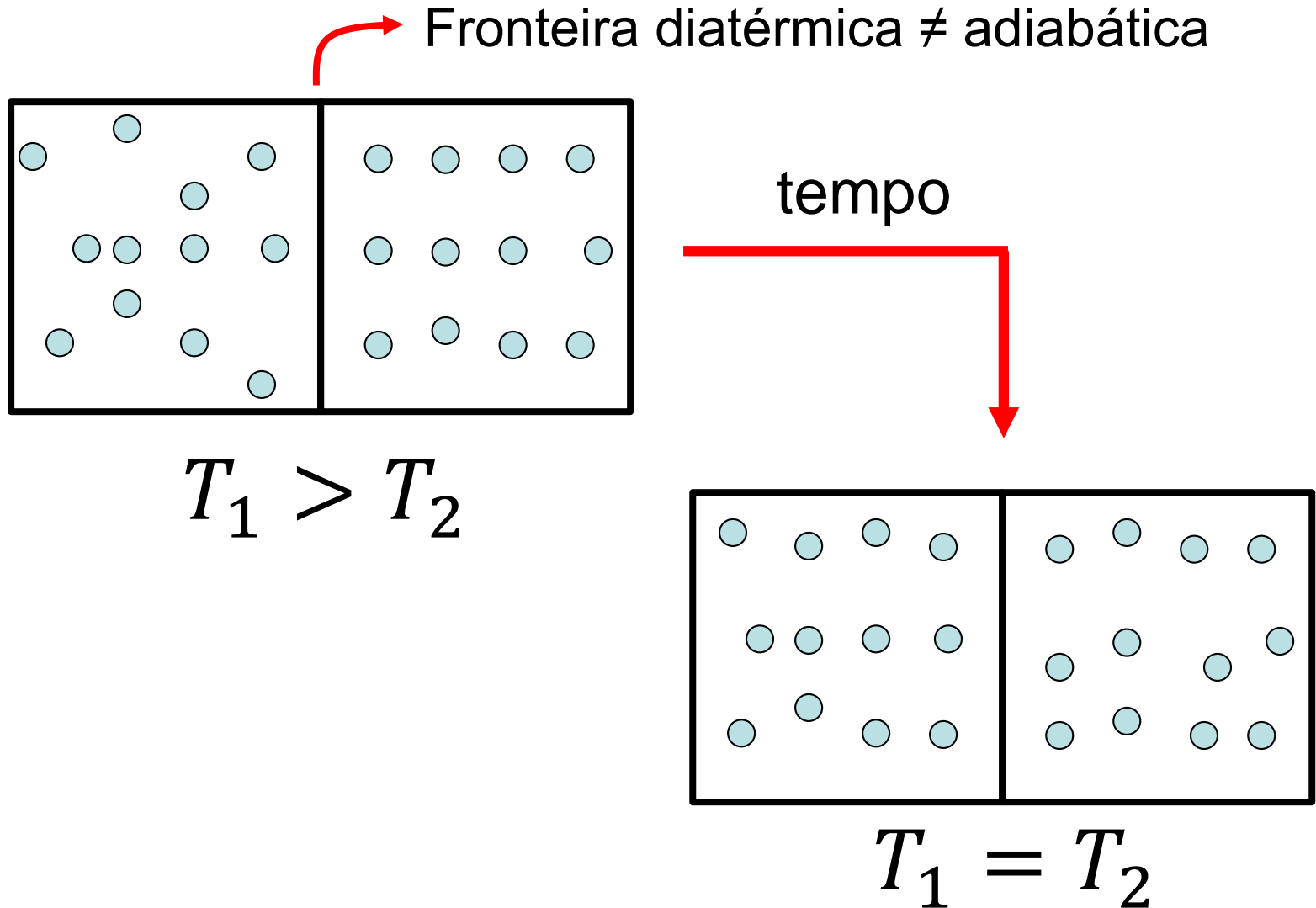
**Trabalho:** Fluxo de energia  
de forma organizada

$$w = \int F \cdot dr$$

**Calor:** Fluxo de energia de  
forma desorganizada

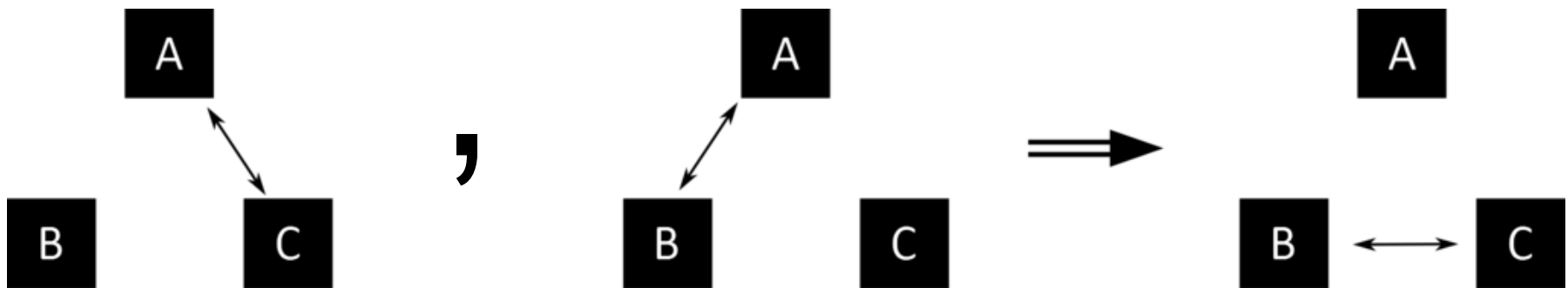
# Definições básicas

**Calor:** Fluxo de energia de forma desorganizada ( $q$ )



# Lei zero

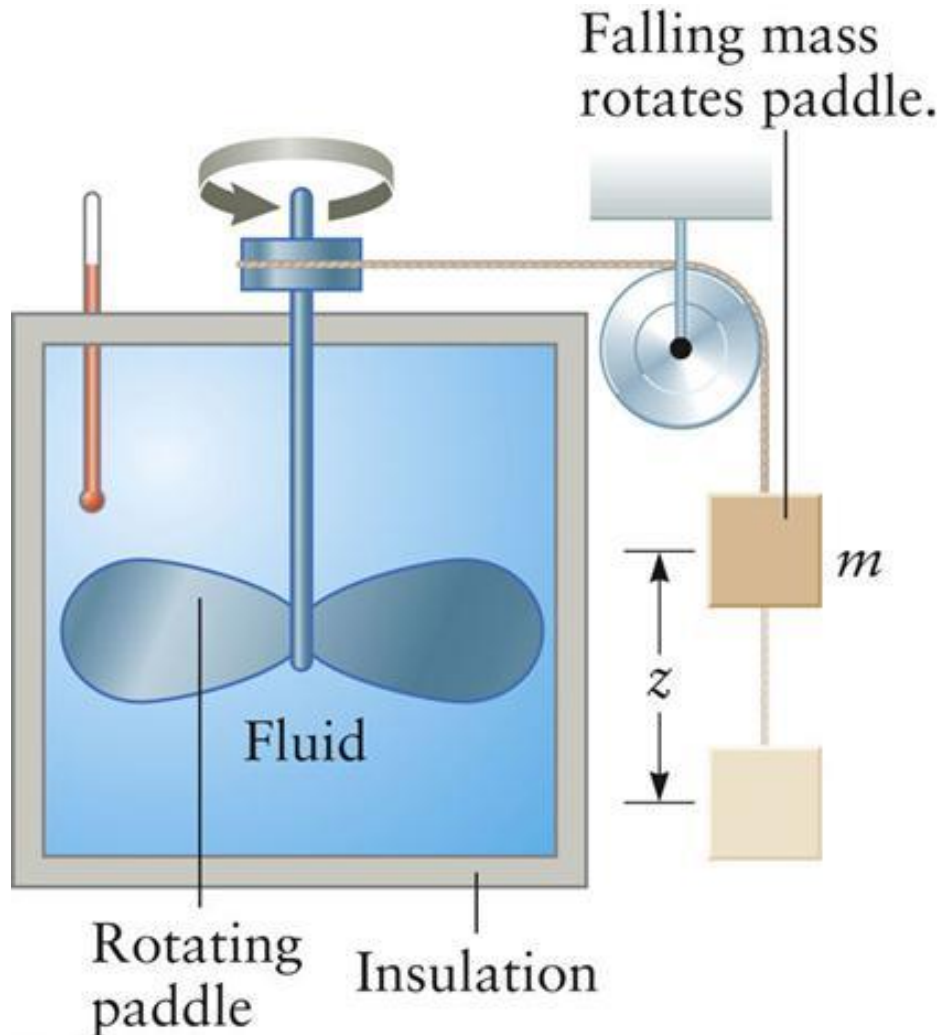
*“Se um sistema está em equilíbrio térmico com outro, um terceiro sistema em equilíbrio com o primeiro obrigatoriamente estará em equilíbrio com o segundo”*



Calor flui do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura

# Relação de calor e trabalho

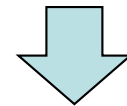
## Experimento de Joule



$$\Delta T \propto mgz$$

$$\Delta T \propto \Delta E_p$$

$$\Delta E_p = \underline{4,186} \Delta T$$



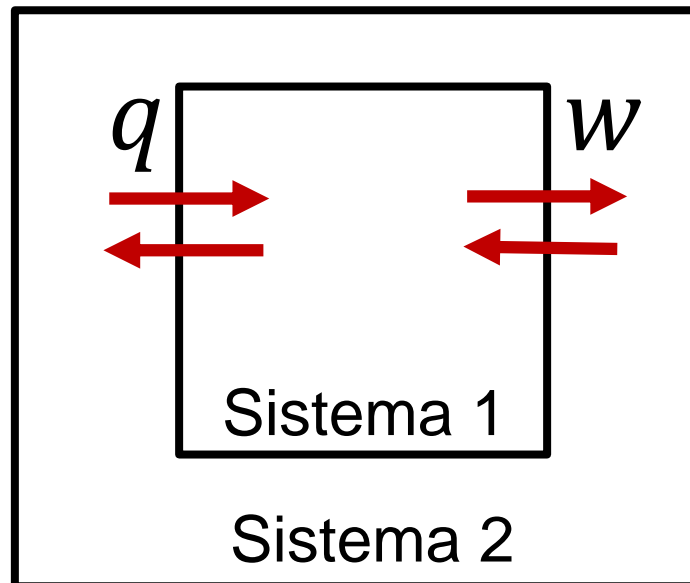
4,186 J (1 Caloria)  
necessários para  
aquecer 1 g de H<sub>2</sub>O  
em 1 °C

# Como diferenciar calor e trabalho

**Calor:** Fluxo de energia de forma desorganizada

**Trabalho:** Fluxo de energia de forma organizada

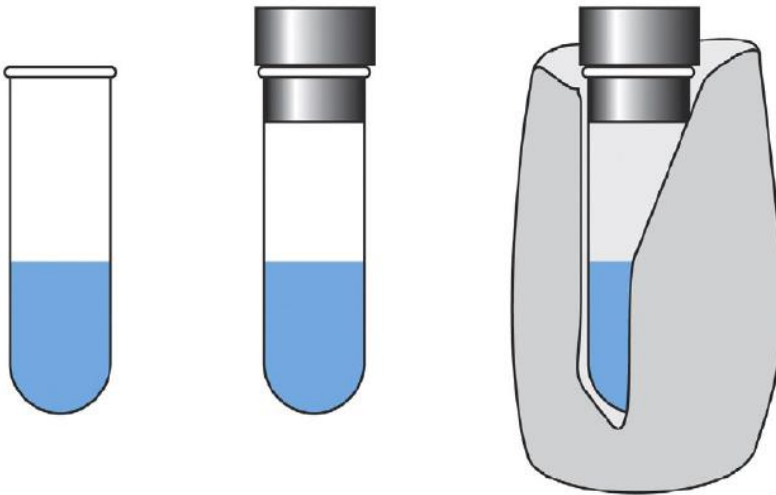
Não são propriedades do sistema! – Um gás não tem calor ou trabalho, mas sofre efeito deles



# Definições básicas

**Sistema:** Região de interesse sob estudo

**Vizinhança:** O que está fora da região de interesse



**Open**

**Closed**

**Isolated**

Aberto – troca matéria e energia  
Fechado – troca somente energia  
Isolado – Não troca nem matéria  
nem energia

Necessário escolher o sistema para saber da onde e para onde a energia vai ...

# Qual a energia total do meu sistema?

Para um sistema existe uma propriedade chamada energia  $E$  que é a soma de todo o tipo de energia do sistema

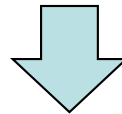
$$E = \sum_i^j E_i$$

Dependo do sistema e do que estamos estudando

$$[J] = kg \ m^2 \ s^{-2}$$

Uma dessas grandezas pode ser definida como:

$U$ : Energia interna ou energia termodinâmica



Existência de uma espécie a certa temperatura

# Energia interna

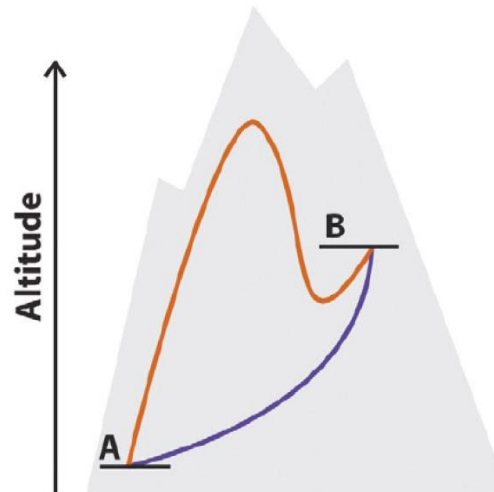
**U:** Energia interna

↪ Como qualquer energia, só é possível medir a variação

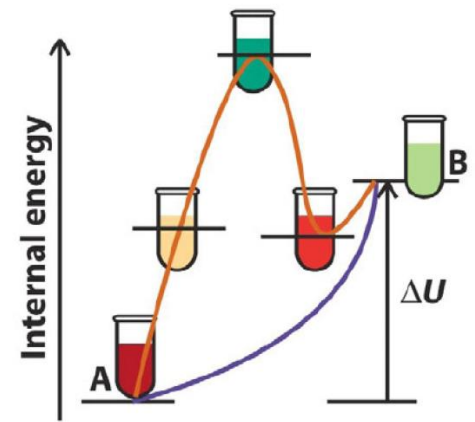
$$\Delta U = U_f - U_i$$

$$[\text{J}] = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$$

Energia interna é função de estado: independente do caminho realizado!  
 $w$  e  $q$  também são?



(a)



(b)



# Como calcular o valor de U (e pra que?)

**U:** Energia interna

↳ Considerando para um gás ideal

Energia cinética  $E_k = \frac{1}{2} m (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)$

Como  $PV_m = mv^2$  e  $PV_m = RT$ :  $E_k = \frac{3}{2} RT$

$$U_m(T) = U_m(0) + \frac{3}{2} RT$$

Existência do gás: ↳

Estrutura eletrônica,  
tamanho, etc...

↳ Energia cinética

# Para gás ideal

$$U_m(T) = U_m(0) + \frac{3}{2}RT$$

Existência do gás: 

Estrutura eletrônica,  
tamanho, forças  
intermoleculares, etc...

 Energia cinética

$U_m(0) = 0$  partícula pontual sem  
interações intermoleculares

$$U_m(T) = \frac{3}{2}RT$$

# Primeira lei da termodinâmica

*“A energia de um sistema isolado é constante”*

Ou seja:  $\Delta U = 0$

Da mesma forma:

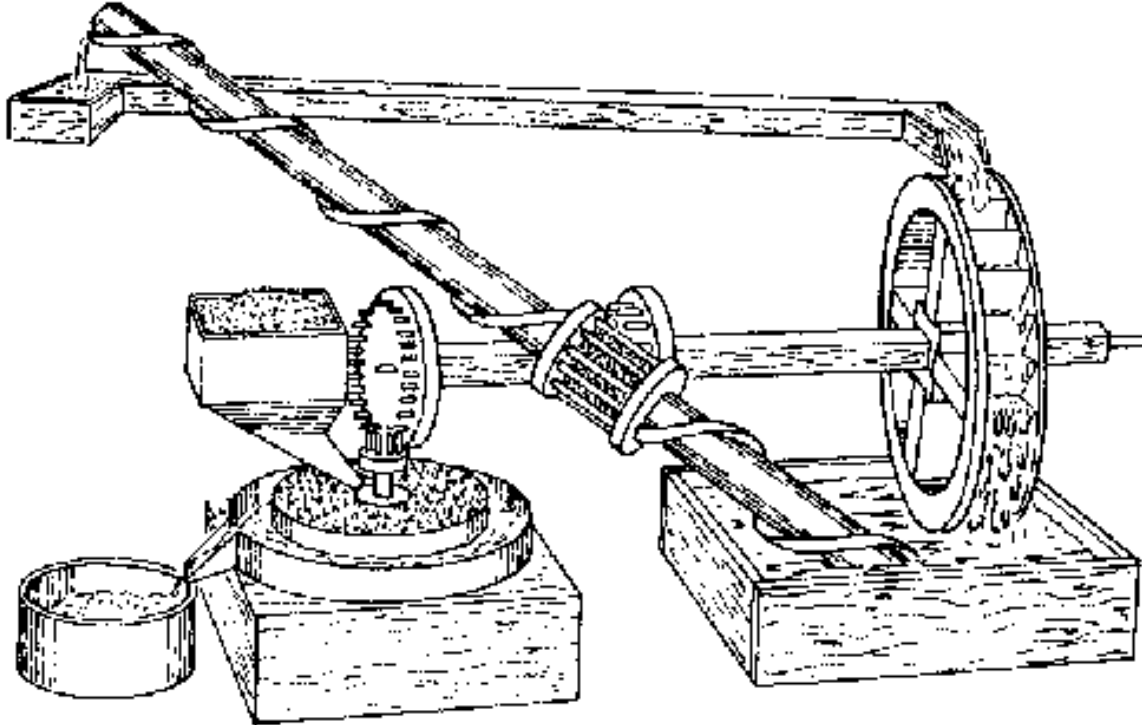
*“A mudança de energia interna em um sistema fechado é o saldo entre o calor doado/recebido e o trabalho feito/sofrido”*

Ou seja:  $\Delta U = q + w$

Ou ainda:

*“Maquinas moto perpétuas de primeiro tipo são impossíveis”*

# Sistemas moto perpétuos



Século 17

*The seekers after perpetual motion are trying to get something from nothing.*

—Sir Isaac Newton

*The Perpetual Quest*

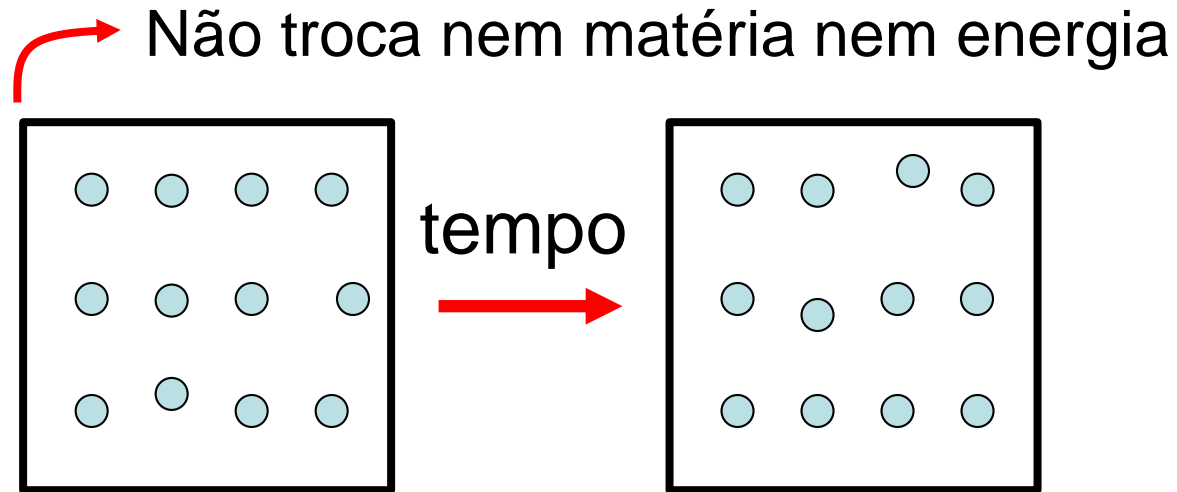
*Seekers of Perpetual Motion,  
Have fervent faith and saint's  
devotion.*

*The Gods of Physics duly smite  
them*

*To be reborn ad infinitum.*

—Jonathan Harris

# Sistema isolado

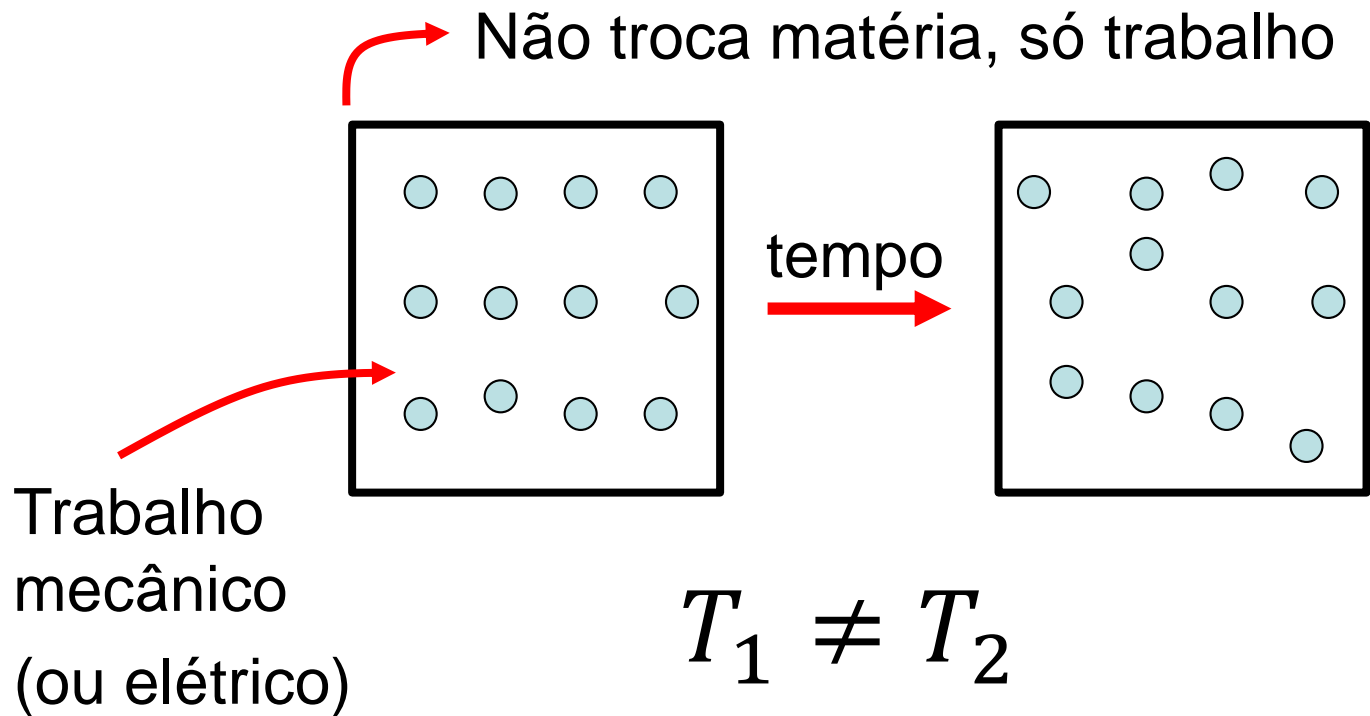


$$T_1 = T_2$$

$$U_1 = U_2$$

$$\Delta U = 0$$

# Sistema fechado adiabático

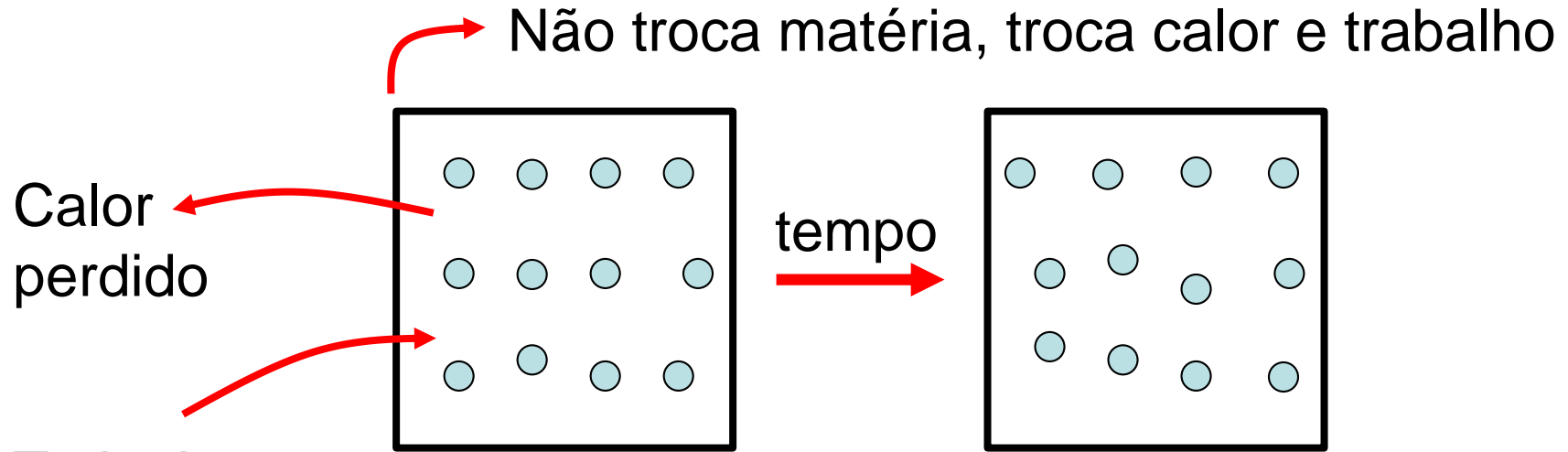


$$T_1 \neq T_2$$

$$U_1 \neq U_2$$

$$\Delta U = w_{ad}$$

# Sistema fechado diatérmico



Trabalho  
recebido

$$T_1 = T_2$$

$$q = -w$$

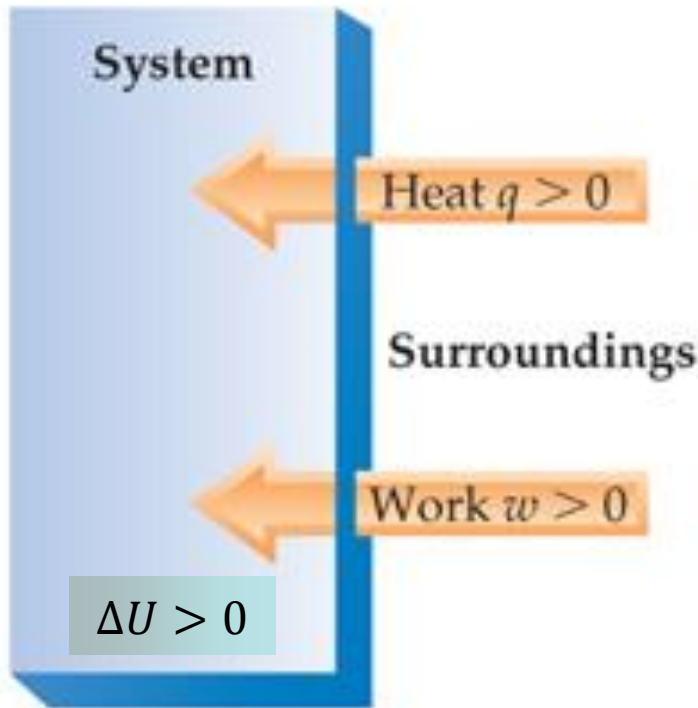
$$U_1 = U_2$$

$$q + w = 0$$

$$\Delta U = 0$$

$$\Delta U = q + w$$

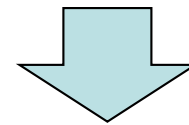
# Balanço entre calor e trabalho



▲ **Figure 4.6 Sign conventions for heat and work.** Heat,  $q$ , absorbed by a system and work,  $w$ , done on a system are both positive quantities. Both increase the internal energy,  $E$ , of the system, causing  $\Delta E$ , which equals  $q + w$ , to also be a positive quantity.

$$\Delta U = q + w$$

$$dU = dq + dw$$

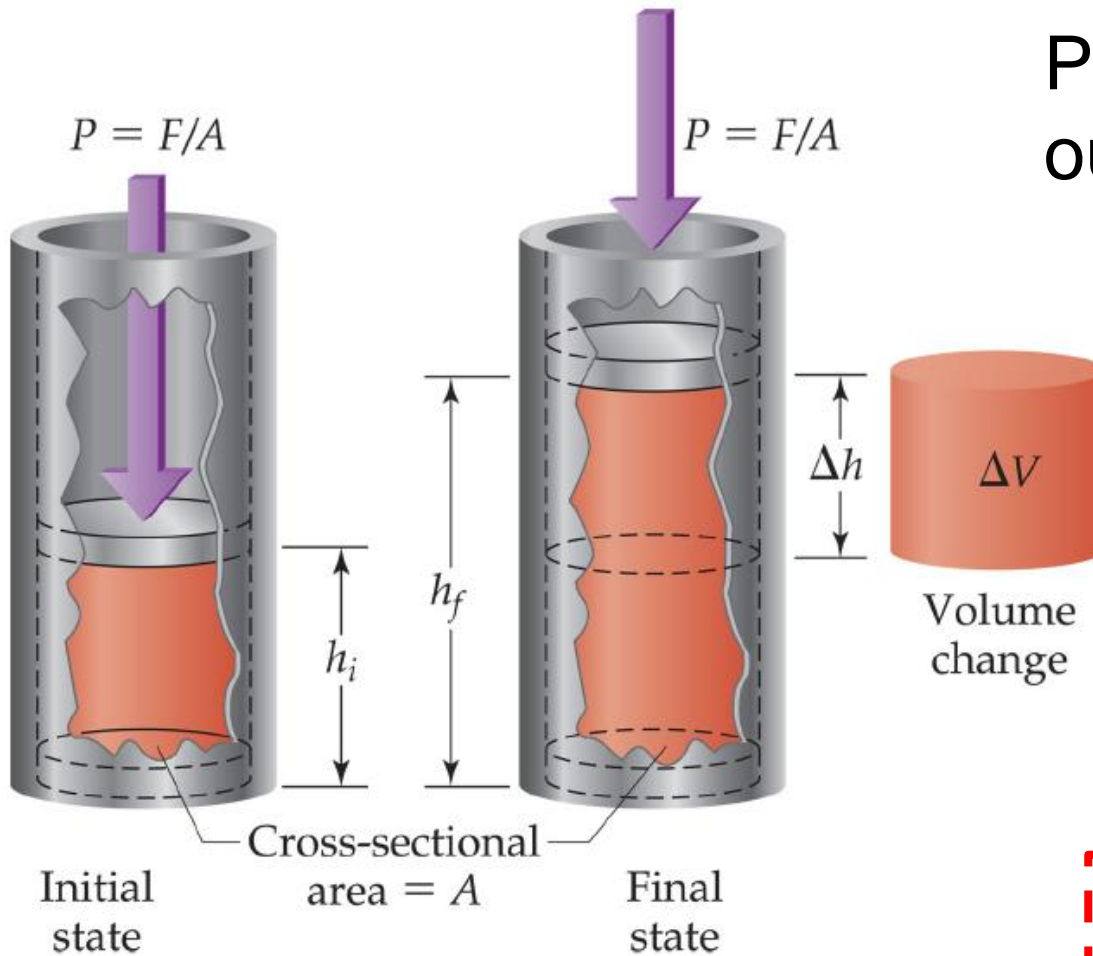


Descreve a variação de energia interna do sistema em estudo



# Calculando $w$

**Trabalho mecânico:** Criado por mudança de volume



Pode ser expansão  
ou compressão

$$dw = -Fdh$$

$$F = P \cdot A$$

$$dw = -PA dh$$

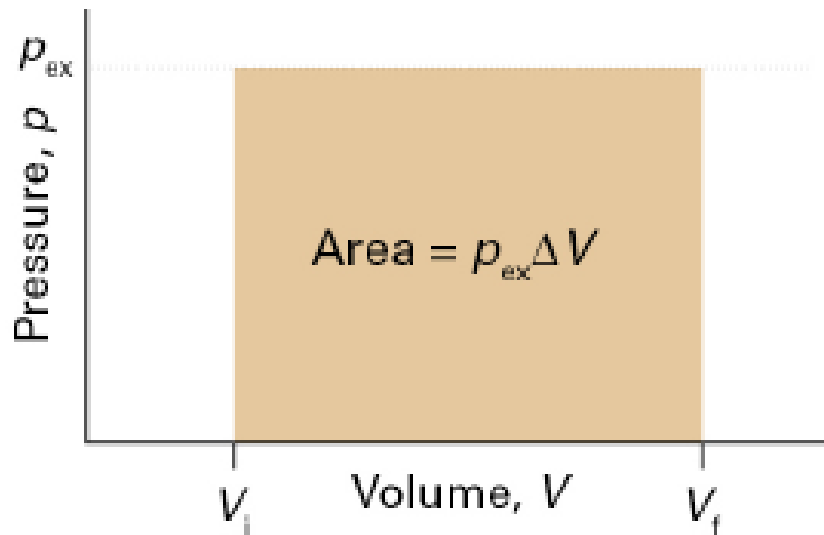
$$dw = -PdV$$

# Expansão contra P constante

$$dw = -PdV \quad \Rightarrow \quad w = - \int_{V_i}^{V_f} PdV$$

Caso específico: Expansão contra pressão constante

$$w = - \int_{V_i}^{V_f} PdV = -P \int_{V_i}^{V_f} dV = -P\Delta V$$



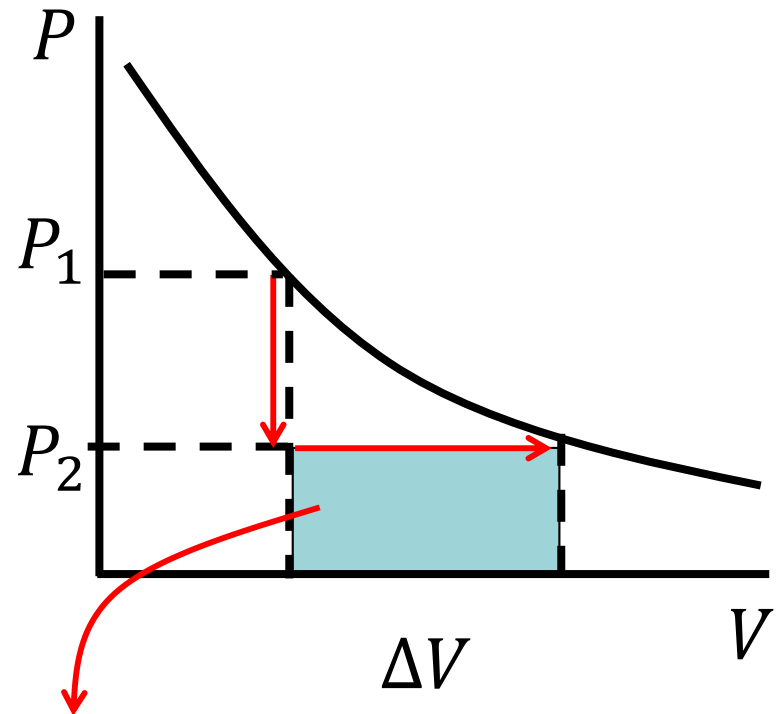
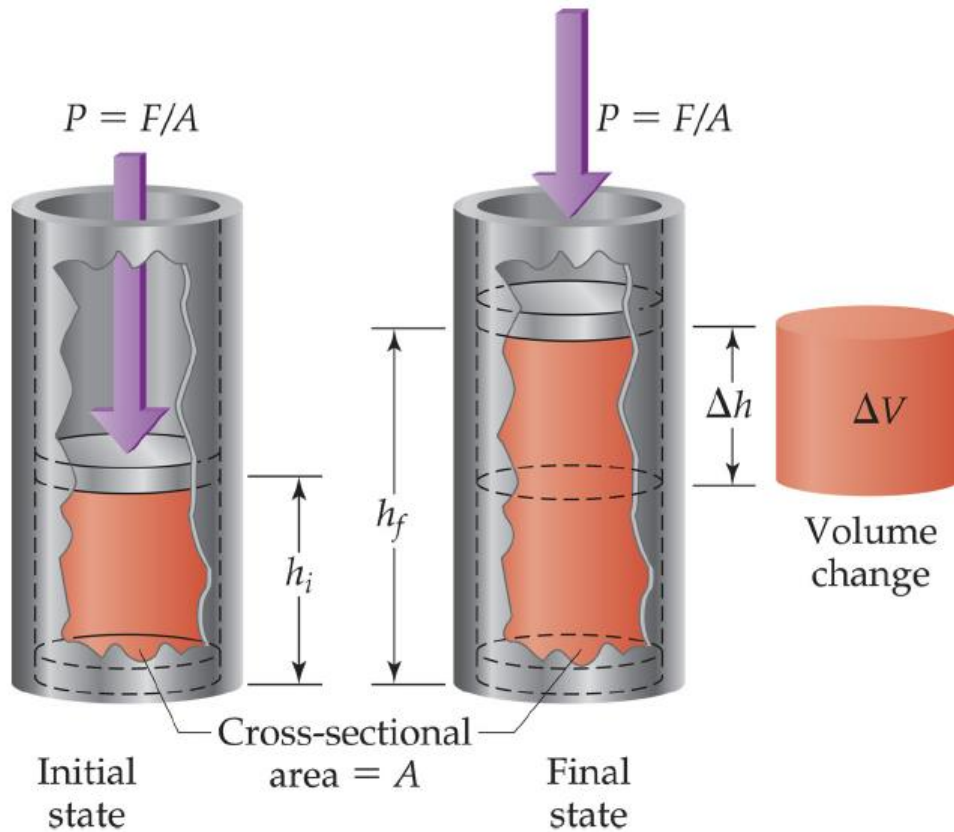
# Expansão livre

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV, \quad P = 0$$

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV = -P \int_{V_i}^{V_f} dV = 0$$

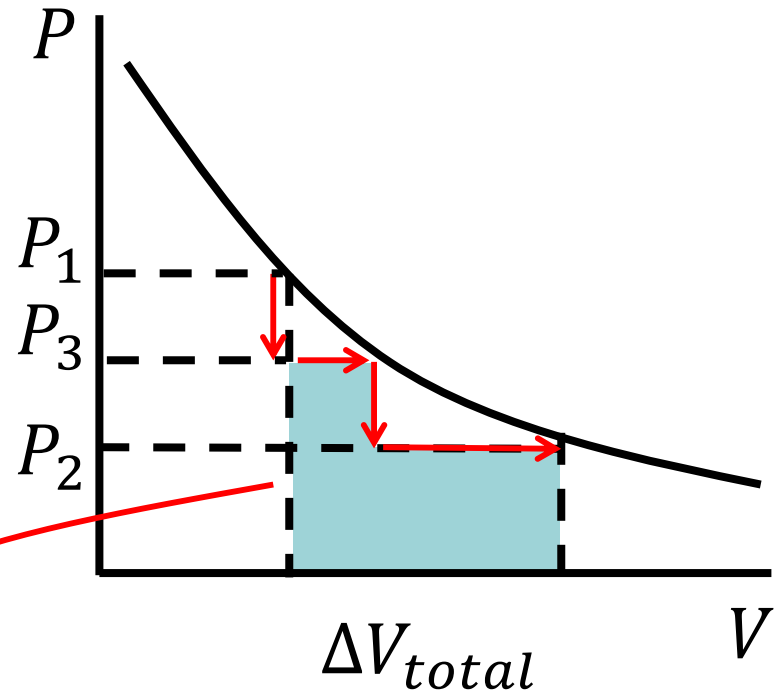
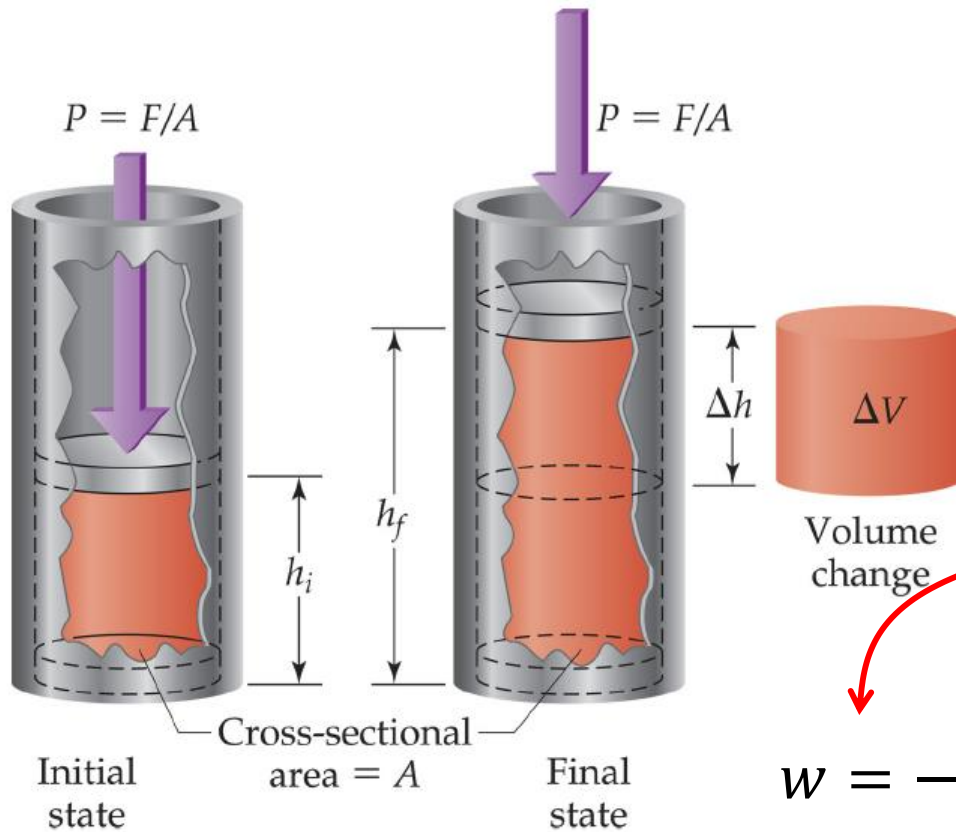
Se  $P=0$  não existe força contrária e o cilindro expande para qualquer volume sem precisar gastar energia – **trabalho realizado é nulo**

# Reversibilidade



Súbita diminuição de pressão causa a expansão

# Reversibilidade

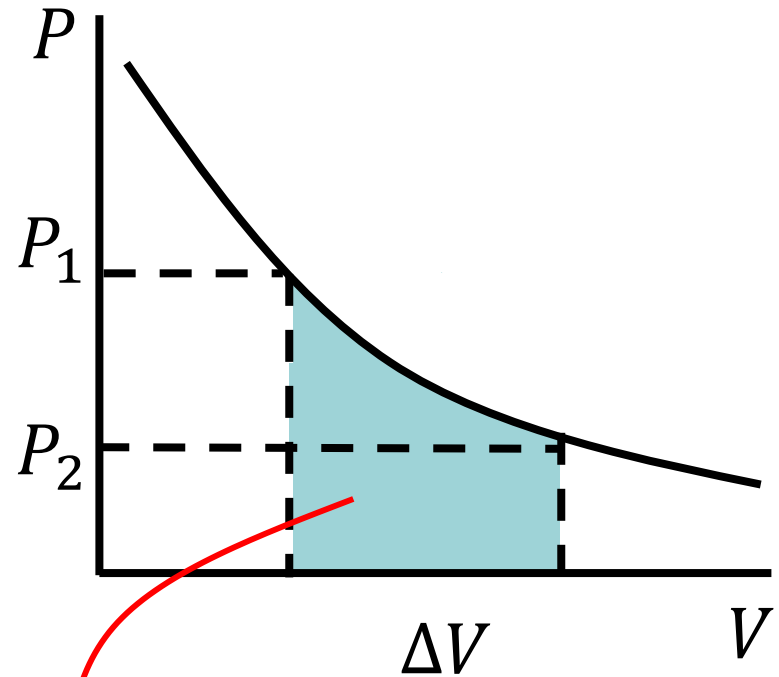
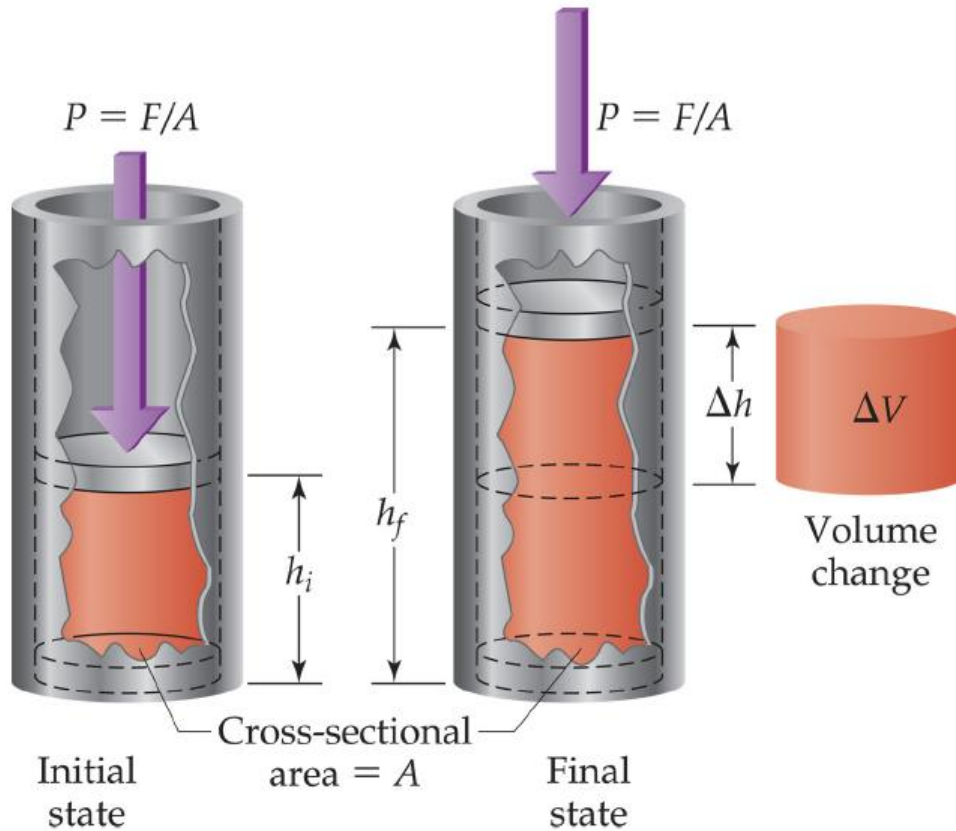


$$w = -P_2 \Delta V_{total} - \Delta P_{(3-2)} \Delta V_{(3-2)} - \dots$$

Podemos dividir em mais passos cada vez menores

$$w = - \sum_i \Delta P_i \Delta V_i$$

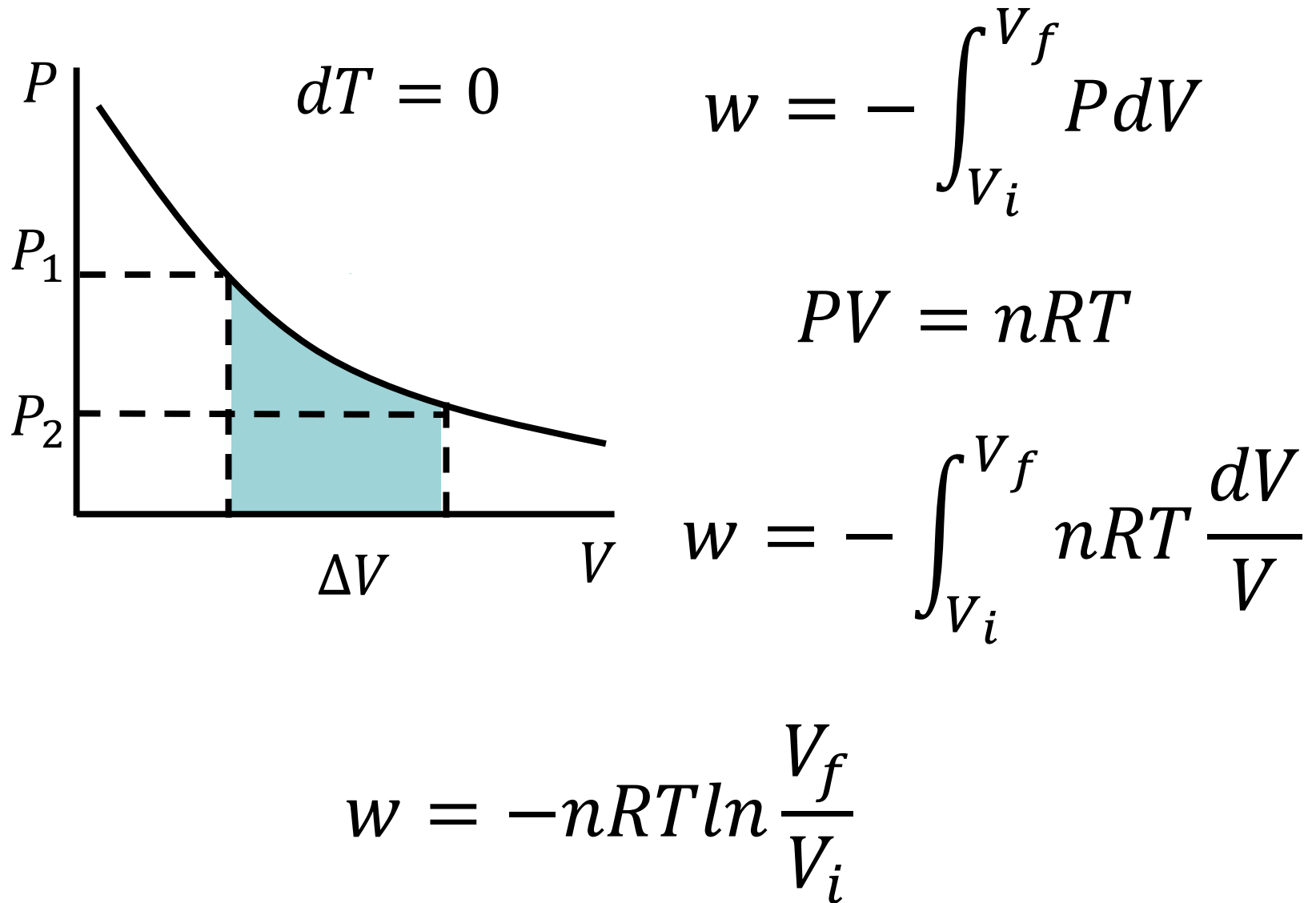
# Reversibilidade



$$w = - \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Trabalho reversível é o **trabalho máximo** realizado de forma **infinitesimal**

# Expansão isotérmica irreversível



# Para qualquer transformação ...

