

## A.03.04 – Modelos de Propriedades Energéticas (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci>

Compiled on 2020-06-03 18h57m37s UTC

## 1 Modelos de Propriedades Energéticas

- Energia Interna e Entalpia
- $U$  e  $H$  em Modelos de Substâncias

## 2 Tópicos de Leitura

# Energia Interna – Relação com Temperatura

O sistema fechado de massa  $m$ , ilustrado:

- Recebe uma diferencial de calor a volume constante,  $(\delta q)_V$ ;



# Energia Interna – Relação com Temperatura

O sistema fechado de massa  $m$ , ilustrado:

- Recebe uma diferencial de calor a volume constante,  $(\delta q)_V$ ;
- $m$  e  $V$  constantes implicam em  $v \equiv V/m$  constante, tal que  $(\delta q)_V = (\delta q)_v$ ;



# Energia Interna – Relação com Temperatura

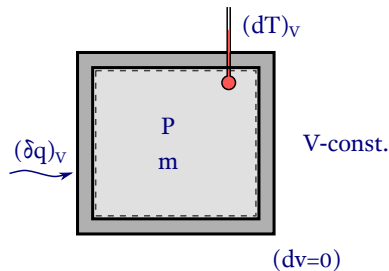
O sistema fechado de massa  $m$ , ilustrado:

- Recebe uma diferencial de calor a volume constante,  $(\delta q)_V$ ;
- $m$  e  $V$  constantes implicam em  $v \equiv V/m$  constante, tal que  $(\delta q)_V = (\delta q)_v$ ;
- A temperatura experimenta uma variação de  $(dT)_v$ .



## Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

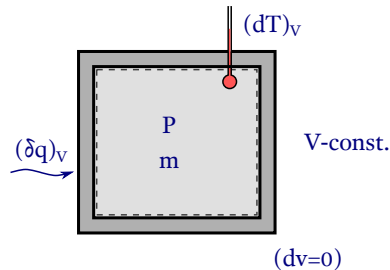
O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:



## Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

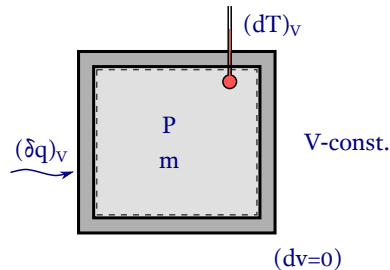
$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$$



## Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \longrightarrow$$
$$(\delta q)_v = du.$$



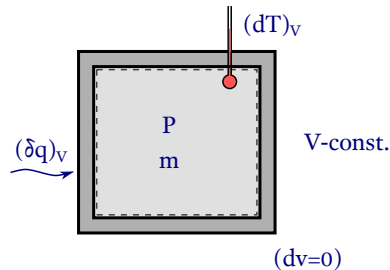


## Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \rightarrow$$
$$(\delta q)_v = du.$$

Assim, o calor transferido a volume constante a um sistema fechado é a variação de sua energia interna!

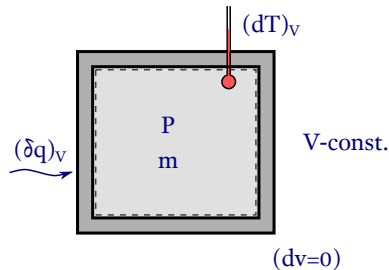


## Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se o **calor específico a volume constante** da substância do sistema,  $c_v$ , como

$$c_v \equiv \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v,$$

uma **propriedade** termodinâmica intensiva.



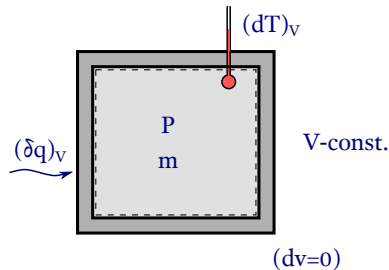
## Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se o **calor específico a volume constante** da substância do sistema,  $c_v$ , como

$$c_v \equiv \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v,$$

uma **propriedade** termodinâmica intensiva.

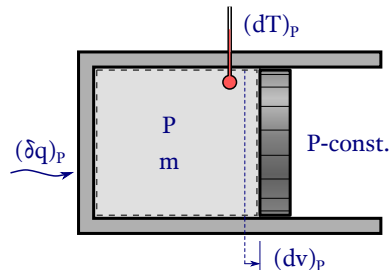
Ainda,  $C_v = (\partial U / \partial T)_v = m c_v$  é a **capacidade térmica a volume constante** do sistema.



# Entalpia – Relação com Temperatura

O sistema fechado de massa  $m$ , ilustrado:

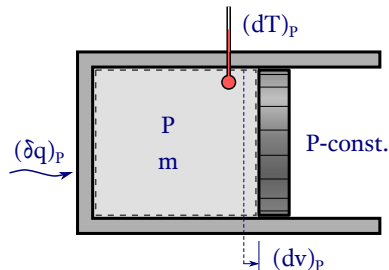
- Recebe uma diferencial de calor a pressão constante,  $(\delta q)_P$ ;



# Entalpia – Relação com Temperatura

O sistema fechado de massa  $m$ , ilustrado:

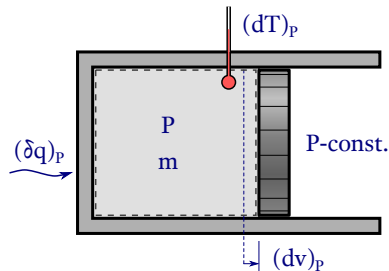
- Recebe uma diferencial de calor a pressão constante,  $(\delta q)_P$ ;
- Realiza uma diferencial de trabalho a pressão constante,  $(\delta w)_P = P dv$ ;



# Entalpia – Relação com Temperatura

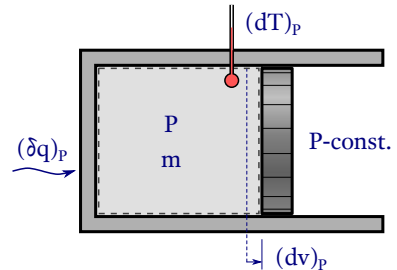
O sistema fechado de massa  $m$ , ilustrado:

- Recebe uma diferencial de calor a pressão constante,  $(\delta q)_P$ ;
- Realiza uma diferencial de trabalho a pressão constante,  $(\delta w)_P = P dv$ ;
- A temperatura experimenta uma variação de  $(dT)_P$ , possivelmente diferente de  $(dT)_v$ .



## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

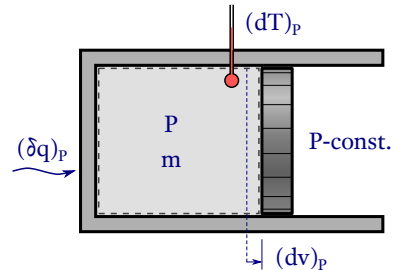
O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:



## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$$

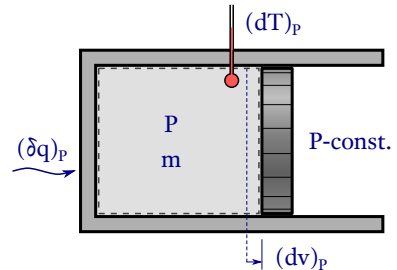




## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \longrightarrow$$
$$(\delta q)_P - (\delta w)_P = du$$



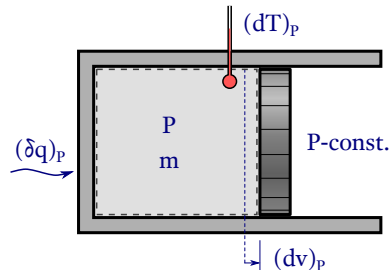
## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \rightarrow$$

$$(\delta q)_P - (\delta w)_P = du \quad \rightarrow$$

$$(\delta q)_P = du + P dv = d(u + Pv).$$



## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

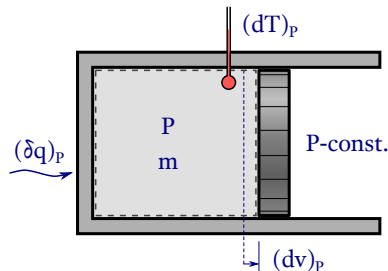
O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \rightarrow$$

$$(\delta q)_P - (\delta w)_P = du \quad \rightarrow$$

$$(\delta q)_P = du + P dv = d(u + Pv).$$

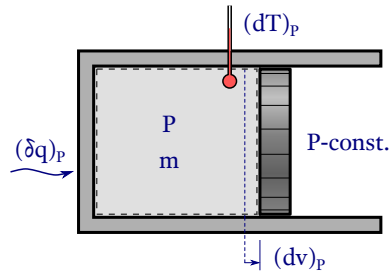
A quantidade  $(u + Pv)$  aparece frequentemente o suficiente para ser definida como uma nova propriedade.



## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Assim,

$$H \equiv U + PV \quad [\text{kJ}], \text{ e}$$



## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

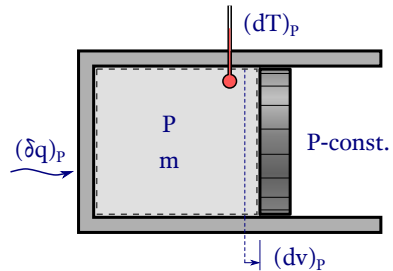
Assim,

$$H \equiv U + PV$$

$$[\text{kJ}], \text{ e}$$

$$h \equiv u + Pv$$

$$[\text{kJ/kg}],$$



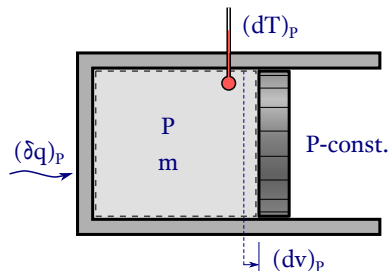
## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Assim,

$$H \equiv U + PV \quad [\text{kJ}], \text{ e}$$

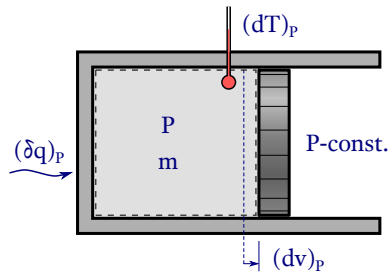
$$h \equiv u + Pv \quad [\text{kJ/kg}],$$

são a **entalpia** e a **entalpia específica**,  
respectivamente: novas propriedades  
termodinâmicas.



## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

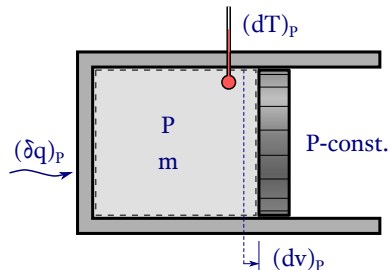
O termo origina do verbo grego “ενθάλπω”, que significa: “(eu) aqueço”, conforme a própria ilustração.



## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O termo origina do verbo grego “ενθάλπω”, que significa: “(eu) aqueço”, conforme a própria ilustração.

Da expressão  $(\delta q)_P = dh$ , tem-se que o calor transferido a pressão constante a um sistema fechado é a variação de sua entalpia!



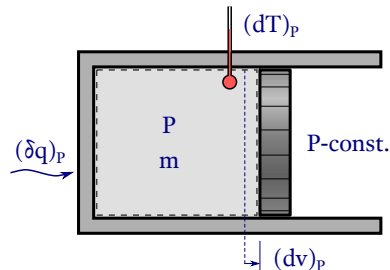


## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se o **calor específico a pressão constante** da substância do sistema,  $c_P$ , como

$$c_P \equiv \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_P,$$

uma **propriedade** termodinâmica intensiva.



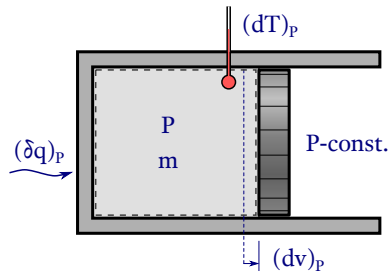
## Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se o **calor específico a pressão constante** da substância do sistema,  $c_P$ , como

$$c_P \equiv \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_P,$$

uma **propriedade** termodinâmica intensiva.

Ainda,  $C_P = (\partial H / \partial T)_P = m c_P$  é a **capacidade térmica a pressão constante** do sistema.



# Gás Ideal

Experimentos mostraram que para **gases ideais**—substâncias com equação de estado  $Pv = RT$ —a **energia interna é função da temperatura apenas**, ou seja:  $u:u(T)$ .

# Tópicos de Leitura I



Çengel, Y. A. e Boles, M. A.

*Termodinâmica 7ª Edição. Seções 4-3 a 4-5.*

AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.



Image by Free-Photos from pixabay.com