

A.03.03 – Balanço de Energia

(Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



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

Compiled on 2020-09-10 19h07m10s UTC



Enunciado

A 1ª lei da Termodinâmica estabelece que:

- ▶ Energia é uma quantidade conservada.

Este princípio da conservação da energia:

- ▶ É exhaustivamente confirmado em experimentos.



Balanço de Energia

Primeira Lei da Termodinâmica

Balanço de Energia

Tópicos de Leitura

Algumas Implicações

Logo, no universo físico:

- ▶ Não há processos físicos que criem energia,
- ▶ Nem processos físicos que destruam energia.
- ▶ Processos físicos podem apenas converter energia de uma forma a outra.

A Relatividade Especial de Einstein:

- ▶ Unificou as conservações de massa e de energia;
- ▶ Através da equivalência massa-energia expressa por $E_{eq} = c^2 m$.
- ▶ Assim, a quantidade $E_{tot} = c^2 m + E_{outras}$ do universo é conservada.



Aplicações

A 1ª lei é **central** em Termodinâmica.

Suas aplicações são **vastas** e incluem:

- ▶ Princípio em variedade de **deduções**;
- ▶ Instrumental na **definição** de **propriedades**.
- ▶ Cálculos de **processos** energéticos.

Exemplo: O que é, afinal, “energia”?

- ▶ “Energia é uma **quantidade** (escalar)
- ▶ que é **conservada** na natureza
- ▶ e que possui **unidades de $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$** .”

— Jack P. Holman (SMU)

Balanco de Energia

A 1ª lei é matematicamente expressa por meio de **balanço de energia**.

Em um **processo**, o balanço de energia é dado por:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Total de energia que} \\ \text{entra no sistema} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Total de energia} \\ \text{que sai do sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Variação líquida de} \\ \text{energia no sistema} \end{array} \right),$$

que matematicamente se escreve:

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1, \quad \text{para um processo 1-2.}$$

Assim, se E_1 , E_{ent} e E_{sai} são conhecidos, então: $E_2 = E_1 + E_{ent} - E_{sai}$.

Balanco de Energia – Formas

Processo	$\xrightarrow{d()}$	Diferencial	$\xrightarrow{/dt}$	Taxa
$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1$	$\xrightarrow{d()}$	$\delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist}$	$\xrightarrow{/dt}$	$\dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \frac{dE}{dt} \Big _{sist}$
(int.) $\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$		$\downarrow \div m$
$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$	$\xrightarrow{d()}$	$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$	$\xrightarrow{/dt}$	$\dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \frac{de}{dt} \Big _{sist}$

Balanco de Energia – E_{ent} , E_{sai}

Em **sistemas compressíveis simples**, E_{ent} e E_{sai} podem ser apenas nas formas de:

1. **calor** e
2. **trabalho**.

Assim, no balanço de energia:

$$E_{ent} = Q_{ent} + W_{ent}, \quad \text{e}$$

$$E_{sai} = Q_{sai} + W_{sai}.$$

Balço de Energia – E_{sist}

Em **sistemas clássicos** (pré-relativísticos) **não reativos**, $E_{sist} = E_{micro} + E_{macro}$:

1. $E_{micro} \equiv U_{sist}$, a **energia interna**, em kJ;
2. $E_{macro} = E_c + E_p$, a soma das energias **cinética**, e **potencial**, em kJ, onde:
3. $E_c = me_c = m\mathbb{V}^2/2$, com $\llbracket \mathbb{V} \rrbracket = \sqrt{\text{kJ/kg}} = \sqrt{1000} \text{ m/s} \approx 31,6 \text{ m/s} \approx 114 \text{ km/h}$, ou
4. $E_c = me_c = m\mathbb{v}^2/2000$, com $\llbracket \mathbb{v} \rrbracket = \text{m/s} = \sqrt{\text{J/kg}}$;
5. $E_p = me_p = mg\mathbb{Z}$, com $\llbracket g \rrbracket = \text{m/s}^2$, $\llbracket \mathbb{Z} \rrbracket = \text{km}$ e $\llbracket g\mathbb{Z} \rrbracket = \text{k(m/s)}^2 = \text{k(J/kg)}$, ou
6. $E_p = me_p = mgz/1000$, com $\llbracket g \rrbracket = \text{m/s}^2$ e $\llbracket z \rrbracket = \text{m}$.

Balço de Energia – Em Processo

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \rightarrow$$

$$(Q_{ent} + W_{ent}) - (Q_{sai} + W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 + E_{c,2} + E_{p,2}) - (U_1 + E_{c,1} + E_{p,1}) \rightarrow$$

$$(Q_{ent} - Q_{sai}) + (W_{ent} - W_{sai}) = \Delta E_{sist} = (U_2 - U_1) + (E_{c,2} - E_{c,1}) + (E_{p,2} - E_{p,1}) \rightarrow$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = \Delta U_{sist} + \Delta E_{c,sist} + \Delta E_{p,sist} \rightarrow$$

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = m[(u_2 - u_1) + (\mathbb{V}_2^2 - \mathbb{V}_1^2)/2 + g(\mathbb{Z}_2 - \mathbb{Z}_1)] \quad (\text{expl.})$$

$$Q - W = m[(u_2 - u_1) + (\mathbb{V}_2^2 - \mathbb{V}_1^2)/2 + g(\mathbb{Z}_2 - \mathbb{Z}_1)] \quad (\text{impl.})$$

Balço de Energia – Em Processo (cont.)

Δe_c , Δe_p não-negligíveis em sistemas fechados são de aplicações específicas:

- ▶ $\Delta e_c = 1 \text{ kJ/kg}$ implica, p. ex.; em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = (0; \sqrt{2}) \sqrt{\text{kJ/kg}} \approx (0; 161) \text{ km/h}$;
- ▶ ...ou em: $(\mathbb{V}_1; \mathbb{V}_2) = \dots \approx (110; 195) \text{ km/h}$;
- ▶ $\Delta e_p = 1 \text{ kJ/kg}$ implica em: $\Delta \mathbb{Z} \approx 0,102 \text{ km} = 102 \text{ m}$ para $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Assim, nos muitos outros casos, é possível negligenciá-las, simplificando o balanço:

$$Q_{liq,ent} - W_{liq,sai} = U_2 - U_1 = m(u_2 - u_1) \quad \text{ou} \quad Q - W = U_2 - U_1 = m(u_2 - u_1) \rightarrow$$

$$q_{liq,ent} - w_{liq,sai} = u_2 - u_1 \quad \quad \quad q - w = u_2 - u_1.$$

Tópicos de Leitura I



Çengel, Y. A. e Boles, M. A.

Termodinâmica 7ª Edição. Seções 2-6 e 4-2.

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