

A.03.03 – Balanço de Energia (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



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

Compiled on 2020-04-09 16h30m42s

1 Balanço de Energia

- Primeira Lei da Termodinâmica
- Balanço de Energia

2 Tópicos de Leitura

Enunciado

A 1ª lei da Termodinâmica estabelece que:

- Energia é uma quantidade conservada.

Enunciado

A 1ª lei da Termodinâmica estabelece que:

- Energia é uma quantidade conservada.

Este princípio da conservação da energia:

- É exhaustivamente confirmado em experimentos.

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- Não há processos físicos que criem energia,
- Nem processos físicos que destruam energia.

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

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

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- 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;

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- 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 $E_{eq} = c^2m$.

Algumas Implicações

Logo, no universo observável:

- 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 $E_{eq} = c^2m$.
- Assim, a quantidade $E_{tot} = c^2m + E_{outras}$ do universo é conservada.

Aplicações

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

Suas aplicações são **vastas** e incluem:

- Princípio em variedade de **deduções**;

Aplicações

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

Suas aplicações são **vastas** e incluem:

- Princípio em variedade de **deduções**;
- Instrumental na **definição** de **propriedades**.

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.

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”?

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”?

— Jack P. Holman (SMU)

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)

— Jack P. Holman (SMU)

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

— Jack P. Holman (SMU)

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)

Balanço de Energia

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

Balanço de Energia

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

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

Balanco de Energia

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

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

$$\left(\begin{array}{c} \text{Total de energia que} \\ \text{entra no sistema} \end{array} \right) -$$

Balanço de Energia

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

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

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

Balanco de Energia

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

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

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

Balanço 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:

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

Balanço 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: $E_2 = E_1 + E_{ent} - E_{sai}$.

Balanço de Energia – Formas

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

Balanço de Energia – Formas

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()}$$

Balanço de Energia – Formas

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist}$$

Balanço de Energia – Formas

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt}$$

Balanco de Energia – Formas

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist}$$

Balanco de Energia – Formas

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \xrightarrow{d()} \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist}$$

$$\downarrow \div m$$

Balanço de Energia – Formas

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist}$$

$$\downarrow \div m$$

$$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1$$

Balço de Energia – Formas

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \xrightarrow{d()} \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist}$$

$$\downarrow \div m$$

$$\downarrow \div m$$

$$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 \xrightarrow{d()}$$

Balanco de Energia – Formas

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist}$$

$$\downarrow \div m$$

$$\downarrow \div m$$

$$e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 \quad \xrightarrow{d()} \quad \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$$

Balanco de Energia – Formas

$$\begin{array}{ccc}
 E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist} \\
 \downarrow \div m & & \downarrow \div m \qquad \qquad \qquad \downarrow \div m \\
 e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt}
 \end{array}$$

Balanco de Energia – Formas

$$\begin{array}{ccc}
 E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist} \\
 \downarrow \div m & & \downarrow \div m \qquad \qquad \qquad \downarrow \div m \\
 e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right|_{sist}
 \end{array}$$

Balanco de Energia – Formas

$$\begin{array}{ccc}
 E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist} \\
 \downarrow \div m & & \downarrow \div m \qquad \qquad \qquad \downarrow \div m \\
 e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right|_{sist}
 \end{array}$$

Balanco de Energia – Formas

$$\begin{array}{ccc}
 E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist} \\
 \downarrow \div m & & \downarrow \div m \qquad \qquad \qquad \downarrow \div m \\
 e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right|_{sist}
 \end{array}$$

Balanco de Energia – Formas

$$\begin{array}{ccc}
 E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist} \\
 \downarrow \div m & & \downarrow \div m \qquad \qquad \qquad \downarrow \div m \\
 e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right|_{sist}
 \end{array}$$

Balanço de Energia – Formas

$$\begin{array}{ccc}
 E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist} \\
 \downarrow \div m & & \downarrow \div m \qquad \qquad \qquad \downarrow \div m \\
 e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right|_{sist}
 \end{array}$$

Balanço de Energia – Formas

$$\begin{array}{ccc}
 E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sist} = E_2 - E_1 & \xrightarrow{d()} & \delta E_{ent} - \delta E_{sai} = dE_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{E}_{ent} - \dot{E}_{sai} = \left. \frac{dE}{dt} \right|_{sist} \\
 \downarrow \div m & & \downarrow \div m \qquad \qquad \qquad \downarrow \div m \\
 e_{ent} - e_{sai} = \Delta e_{sist} = e_2 - e_1 & \xrightarrow{d()} & \delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \xrightarrow{/dt} \quad \dot{e}_{ent} - \dot{e}_{sai} = \left. \frac{de}{dt} \right|_{sist}
 \end{array}$$

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

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

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

Balço 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.

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:

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:

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

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:

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

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

Balanço de Energia – E_{sist}
Em sistemas clássicos¹ não reativos, E_{sist} inclui as formas:

Balanco de Energia — E_{sist} Em sistemas clássicos¹ não reativos, E_{sist} inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**, U_{sist} ,

Balanco de Energia — E_{sist} Em sistemas clássicos¹ não reativos, E_{sist} inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**, U_{sist} , além das formas macroscópicas:

Balanco de Energia — E_{sist}

Em sistemas clássicos¹ não reativos, E_{sist} inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**, U_{sist} , além das formas macroscópicas:
- ② **Cinética**, $E_c = m\mathbb{V}^2/2$.
- ③ **trabalho**.
- ④ **trabalho**.
- ⑤ **trabalho**.

Assim, no balanço de energia:

Balanco de Energia — E_{sist}

Em sistemas clássicos¹ não reativos, E_{sist} inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**, U_{sist} , além das formas macroscópicas:
- ② **Cinética**, $E_c = m\mathbb{V}^2/2$.
- ③ **trabalho**.
- ④ **trabalho**.
- ⑤ **trabalho**.

Assim, no balanço de energia:

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

Balanco de Energia – E_{sist}

Em sistemas clássicos¹ não reativos, E_{sist} inclui as formas:

- ① Microscópicas, agrupadas na **energia interna**, U_{sist} , além das formas macroscópicas:
- ② **Cinética**, $E_c = m\mathbb{V}^2/2$.
- ③ **trabalho**.
- ④ **trabalho**.
- ⑤ **trabalho**.

Assim, no balanço de energia:

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

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

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.



Image by David Mark from pixabay.com

