



# Termodinâmica e Estrutura da Matéria

## Aula 2 – Conceitos Base

**Carlos A. Santos Silva**

Professor Associado Convidado

Cátedra WS – Energia

Departamento de Física

[carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt](mailto:carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt)



# Sumário

- Calor, Trabalho, Energia
- Sistema
- Propriedades, Estado, Processos
- Equilíbrio
- Volume Específico, Densidade
- Pressão
- Temperatura
- Lei Zero da Termodinâmica

# CONCEITOS BASE

# Trabalho, Energia, Calor e Potência

- Ao aplicarmos uma força a um objecto para movê-lo uma determinada distância ...
  - ... produzimos trabalho
  - ... transformamos energia
  - ... libertamos calor

## **Trabalho (J):**

- medida do movimento realizado pela aplicação de uma força ao longo de uma determinada distância e período de tempo

## **Energia (J):**

- Capacidade de um sistema realizar trabalho

## **Calor (J):**

- Quantidade de energia térmica transferida entre dois corpos a temperaturas diferentes

## **Potência ( $W=J/s$ )**

- Taxa à qual:
  - o trabalho é realizado,
  - a energia é convertida
  - o calor é libertado

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo}$$

# Unidades de Energia

- **Joule (J)**
  - Quantidade de energia de uma força de 1 N ao movimentar um objecto em 1 m
  - Calor necessário para que 1g de ar aumente um 1 K
- **Caloria (cal)**
  - Calor necessário para que 1g de água a 14.5º aumente 1 °C
  - **4.184 J**
  - Comida é em kcal ou Cal (1000 cal)
- **Watt-hora (Wh)**
  - $1\text{J/s} \times 3600\text{ s} = \mathbf{3600\text{ J}}$
- **British Thermal unit (Btu)**
  - Quantidade de energia necessária para aquecer 1 libra (0.454 kg) de água a 60º F em 1 °F
  - $1\ 055.056\text{ J} = \mathbf{1.055\text{ kJ}}$



# 1ª SÉRIE DE PROBLEMAS

# Lista de Problemas

- **Problema 1**

Sabendo que  $1\text{J}=1\text{Ws}$ , calcule o fator de conversão entre **J** e **kWh**.

*Solução:  $1\text{kWh}=3,6 \times 10^6 \text{ J}$*

- **Problema 2**

Em média, cada lar em Portugal consome  $12,96 \times 10^9 \text{ J}$  de energia elétrica por ano. Calcule o consumo médio diário em kWh.

*Solução:  $12,96 \times 10^9 \text{ J/ano} = 3,6 \times 10^3 \text{ kWh/ano} = 9,86 \text{ kWh/dia}$*

- **Problema 3**

Qual a potência em kW de um ar condicionado com uma potência de 9000 BTU/h para arrefecimento e 11500 BTU/h para aquecimento.

*Solução:  $9000 \text{ BTU/h} = 2,63 \text{ kW}$ ,  $11500 \text{ BTU/h} = 3,37 \text{ kW}$*

- **Problema 4**

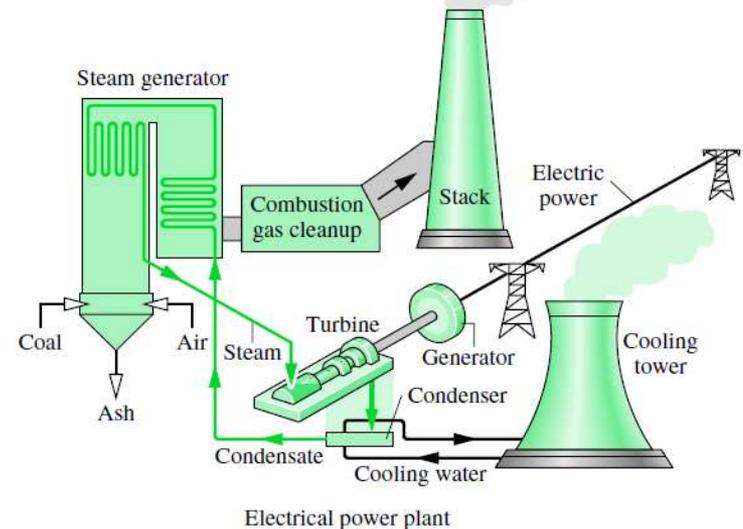
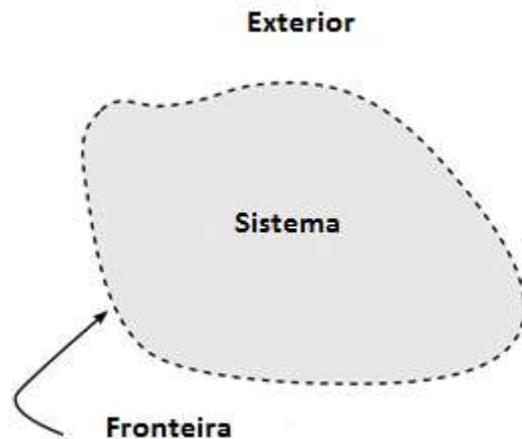
Qual o conteúdo energético de 100g de arroz Basmati em kcal, sabendo que 1 kg do mesmo arroz tem 14800 kJ.

*Solução:  $14800 \text{ kJ/kg} = 3534,9 \text{ kJ/kg} = 353,5 \text{ kJ/100g}$*

# SISTEMA

# Definição

- **Sistema:**
  - Conjunto de elementos/componentes interligados que formam um conjunto organizado
- **Sistema termodinâmico**
  - Quantidade de matéria numa determinada região do espaço

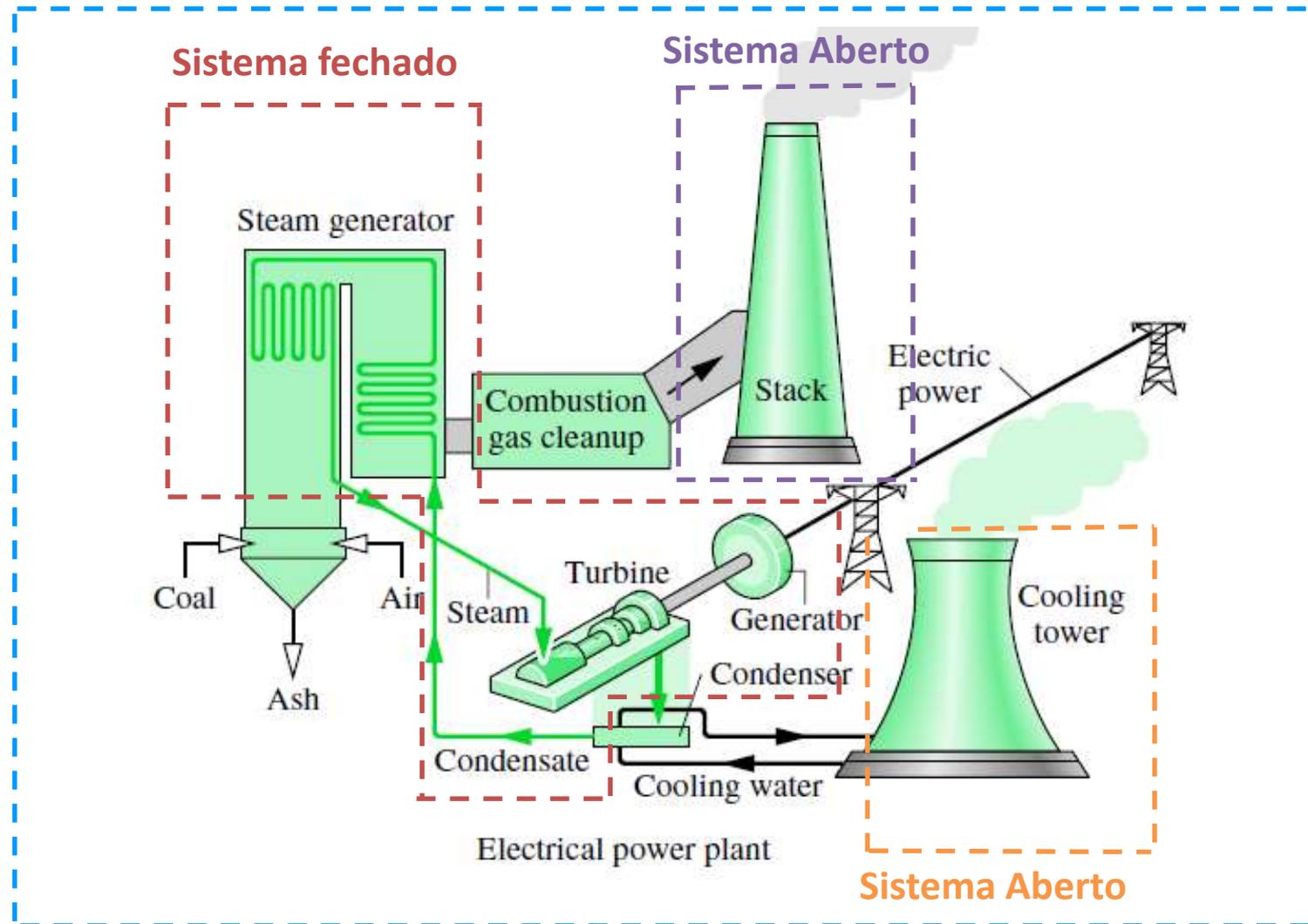


# Tipos de Sistema

- ***Sistema Isolado***
  - Não é possível trocas de matéria nem de energia (calor, trabalho) com o exterior
- **Sistema Fechado**
  - Não é possível trocas de matéria, mas pode haver trocas de energia com o exterior
- **Sistema Aberto / Volume de controlo**
  - É possível haver trocas de matéria e de energia com o exterior

# Exemplo

Sistema Aberto



# PROPRIEDADES, ESTADO, PROCESSOS

# Propriedade

- Característica macroscópica do sistema:
  - e.g. pressão, temperatura, volume, massa;
    - ***Intensiva***
      - Independente da quantidade de matéria do sistema
        - » E.g. pressão, temperatura
    - ***Extensiva***
      - Dependente da quantidade de matéria do sistema
        - » E.g. volume, massa

# Estado

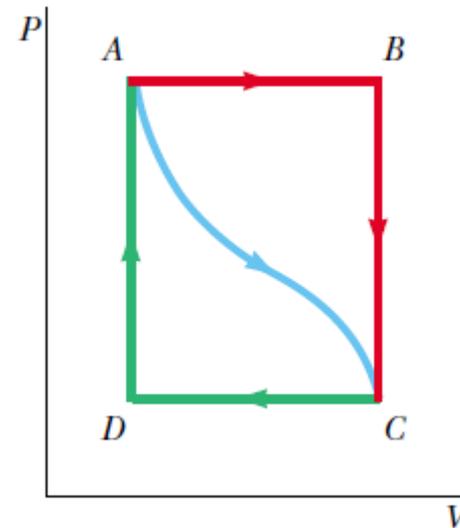
- Condição de um sistema descrito pelas suas propriedades em determinado instante
  - Para cada estado, as propriedades são fixas
  - Se uma das propriedades varia, o estado varia
  - Não é necessário indicar todas as propriedades
- ***Estado da matéria / Fase da matéria:***
  - *Sólido*
  - *Líquido*
  - *Gasoso*

# Processo

- Mudança de um sistema de um estado para outro
- Para descrever um processo, é preciso especificar:
  - Estado inicial
  - Estado final
  - Estados intermédios

# Exemplo

- **D → A:**
  - Aumento da Pressão
  - Volume Constante
- **A → B:**
  - Aumento do Volume
  - Pressão Constante
- **B → C:**
  - Diminuição da Pressão
  - Volume Constante
- **C → D:**
  - Diminuição do Volume
  - Pressão Constante



- **C → A:**
  - Diminuição da Pressão
  - Aumento do Volume

# EQUILÍBRIO

# Estado de equilíbrio

- **Equilíbrio termodinâmico:**
  - Um sistema termodinâmico diz-se em equilíbrio quando ao ser isolado do exterior não altera o seu estado
  - Implica a existência de diferentes tipos de equilíbrio
    - Térmico: não há troca de energia térmica (calor ou radiação)
    - Mecânico
    - Químico
    - Fase

# Processo quasi-estático/quasi-equilíbrio

- Um processo cujas evoluções de estado para estado permanecem infinitesimalmente perto do equilíbrio
  - É um processo suficientemente lento para que a alteração das propriedades no sistema seja feita de forma uniforme
- É uma abstracção de um processo ideal que permite
  - Explicar qualitativamente o funcionamento dos sistemas
  - Deduzir relações entre propriedades em equilíbrio

# VOLUME ESPECÍFICO E DENSIDADE

# Definição

- Densidade é a razão entre a massa (kg) e o volume de um corpo (m<sup>3</sup>)

$$\rho = \lim_{V \rightarrow V'} \left( \frac{m}{V} \right)$$

- O volume específico é a propriedade recíproca, ou seja é o volume por unidade de massa

$$v = \frac{1}{\rho}$$

# PRESSÃO

# Definição

- Pressão é a força normal exercida por um fluido (gás ou líquido) por unidade de área

$$p = \lim_{A \rightarrow A'} \left( \frac{F_{\text{normal}}}{A} \right) \qquad 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

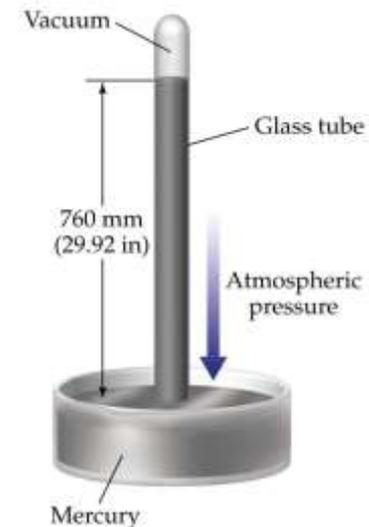
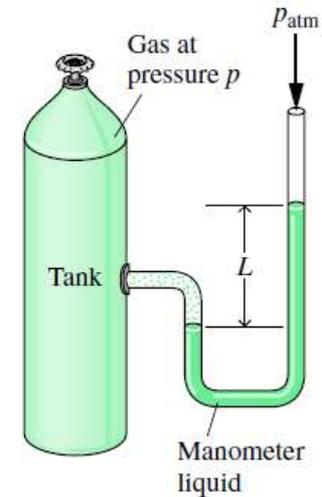
- Pressão absoluta
  - Pressão actual e medida em relação ao vácuo
- Pressão manométrica
  - Pressão relativa à pressão atmosférica

# Medição

- Manómetro
  - Mede pressão manométrica
  - Pressão é medida pelas diferenças de comprimento numa coluna de líquido
    - água, mercúrio

$$p - p_{atm} = \rho gh$$

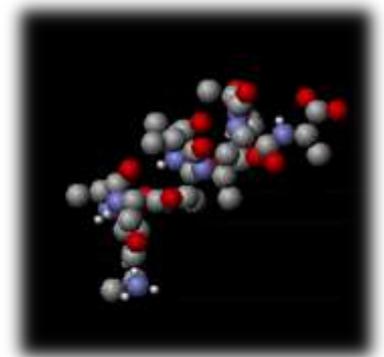
- Barómetro
  - Mede pressão atmosférica
$$p_{atm} = \rho gh$$



# TEMPERATURA

# Definição

- *É uma medida de “quão quente ou frio” um corpo está*
- É uma medida da energia cinética das partículas do um sistema em equilíbrio térmico

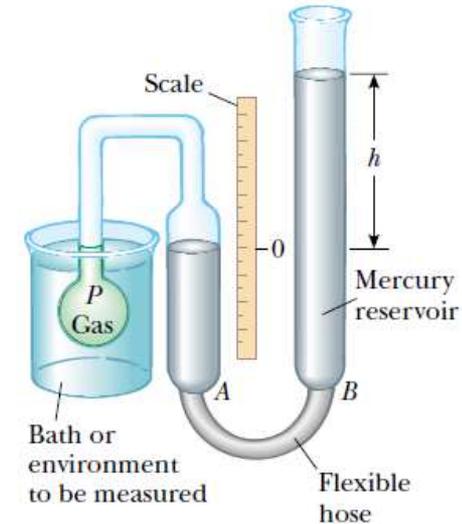


# Escalas

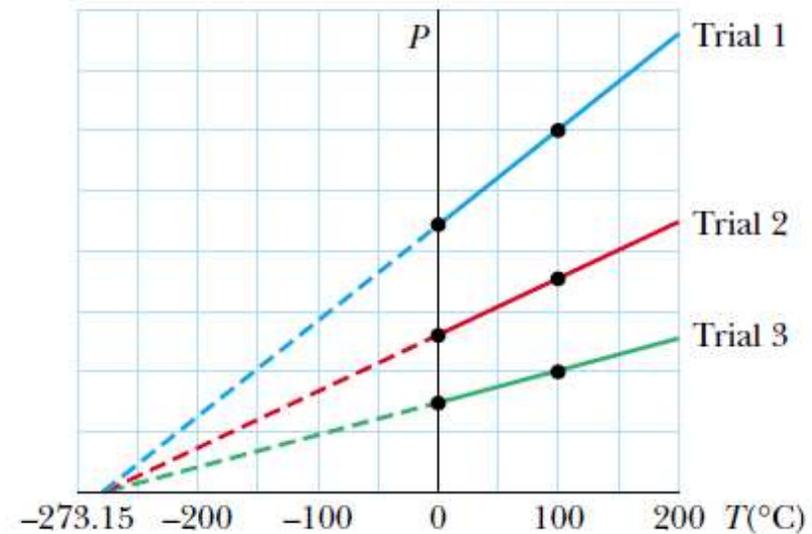
- Celsius (graus centígrados)
    - 0°C: congelação de água
    - 100°C: ebulição da água
  - Fahrenheit
    - 32°F: congelação de água
    - 212°F: ebulição da água
- $T(^{\circ}\text{F})=1,8\times T(^{\circ}\text{C})+32$
- Estas escalas não são independentes das propriedades de uma substância (água)

# Medição

- Com o termómetro de gás de Jolly, é possível medir a temperatura através da variação da altura do mercúrio
- Utilizando gases diferentes, as temperaturas têm de ser iguais
- Assim se conclui que para pressão 0, a temperatura seria de  $-273,15^{\circ}\text{C}$



**Termómetro de gás de Jolly**



# Escala de Kelvin

- Escala absoluta de temperatura

$$T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

$$\Delta T(K) = \Delta T(^{\circ}\text{C})$$

# Escala de Rankine

- Escala absoluta de temperatura

$$T(R) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$$

$$\Delta T(R) = \Delta T(^{\circ}\text{F})$$

# Expansão térmica de materiais

- Os termómetros baseiam-se no princípio da expansão térmica dos sólidos

- $\alpha$ : coeficiente de expansão linear

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

- $\beta$ : coeficiente de expansão volúmico

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

$$\beta = 3 \alpha$$



Material	Average Linear Expansion Coefficient ( $\alpha$ )( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$	Material	Average Volume Expansion Coefficient ( $\beta$ )( $^{\circ}\text{C}$ ) $^{-1}$
Aluminum	$24 \times 10^{-6}$	Alcohol, ethyl	$1.12 \times 10^{-4}$
Brass and bronze	$19 \times 10^{-6}$	Benzene	$1.24 \times 10^{-4}$
Copper	$17 \times 10^{-6}$	Acetone	$1.5 \times 10^{-4}$
Glass (ordinary)	$9 \times 10^{-6}$	Glycerin	$4.85 \times 10^{-4}$
Glass (Pyrex)	$3.2 \times 10^{-6}$	Mercury	$1.82 \times 10^{-4}$
Lead	$29 \times 10^{-6}$	Turpentine	$9.0 \times 10^{-4}$
Steel	$11 \times 10^{-6}$	Gasoline	$9.6 \times 10^{-4}$
Invar (Ni-Fe alloy)	$0.9 \times 10^{-6}$	Air <sup>a</sup> at 0 $^{\circ}\text{C}$	$3.67 \times 10^{-3}$
Concrete	$12 \times 10^{-6}$	Helium <sup>a</sup>	$3.665 \times 10^{-3}$

# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

# Lei zero da termodinâmica

- Se os objetos A e B em separado estiverem em equilíbrio térmico com um mesmo objeto C, então A e B estão em equilíbrio térmico

