

## ESTUDO TÉRMICO DE GASES E SÓLIDOS

### 1. OBJETIVO

- Estudar o comportamento de um gás e de metais submetidos à variação de temperatura;
- Estudar (e aplicar experimentalmente) a equação de estado de um gás ideal.

### 2. INTRODUÇÃO

Várias propriedades físicas da matéria variam com o aumento ou diminuição da temperatura  $T$  em que estão inseridos. Propriedades como a condutividade elétrica, volume, condutividade térmica, etc, são dependentes de  $T$ , e até a definição de qual fase se encontra o material em questão (sólido, líquido ou gasoso) depende da temperatura do ambiente no qual este se encontra.

Explicar como sólidos, líquidos e gases comportam-se em diferentes temperaturas pode não ser tão fácil, e alguns fenômenos térmicos só podem ser compreendidos usando conhecimentos de Mecânica Quântica e/ou Mecânica Estatística. Felizmente, em ambientes não muito extremos (ou seja, em condições próximas de temperatura e pressão ambientes), modelos clássicos simples podem ajudar-nos a prever como a temperatura modifica as propriedades físicas da matéria.

Neste experimento, estudaremos como sólidos e gases comportam-se quando a temperatura varia. Nos sólidos, estudaremos como estes dilatam-se quando há uma variação de temperatura  $\Delta T$ . Nos gases, aplicaremos a equação de gases ideais, tomando o cuidado de verificar se as condições de aplicabilidade de tal modelo simples são satisfeitas.

#### a) Expansão Térmica de Metais

De uma maneira bem simplificada, a elevação da temperatura de um material qualquer corresponde ao aumento da energia de vibração de suas partículas. Como consequência disso, sob pressão constante, aumentam as distâncias médias entre as partículas, vista macroscopicamente, como um aumento no volume ocupado.

Gases e líquidos têm suas partículas livres para se moverem em qualquer direção. A elevação da temperatura provoca então, um aumento na separação média das partículas em todas as direções, ou seja, isotropicamente. No caso de sólidos, o aumento da separação entre as partículas pode não ser o mesmo em todas as direções.

Define-se o coeficiente de dilatação volumétrica médio ( $\bar{\beta}$ ) como a razão entre a variação relativa de volume ( $\Delta V/V$ ) sofrida por um material e a variação de temperatura ( $\Delta T$ ) a que foi submetido, ou seja,

$$\bar{\beta} = \frac{\Delta V}{V \Delta T} \quad (1)$$

Para um material isotrópico, a variação relativa no volume é o triplo da variação relativa de uma dimensão linear (L). Define-se assim, um coeficiente de dilatação linear médio ( $\bar{\alpha}$ ) dado por:

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \quad (2)$$

Onde  $\bar{\beta} = 3\bar{\alpha}$ . Corpos sólidos na forma de fio ou barra apresentam variação absoluta, no comprimento, muito maior que nas demais dimensões. Desse modo, pode-se medir essa variação com relativa segurança e obter o coeficiente de dilatação linear.

Nesta primeira parte da prática, será estudado como ocorre essa variação isotrópica da variação média entre as partículas de sólidos através da dilatação térmica de diferentes metais. Antes disso, porém, mostraremos como uma variação de temperatura altera as propriedades de um gás, e em quais condições este pode ser considerado ideal.

## B) Gases Ideais

Um gás é considerado ideal quando suas partículas não possuem interação entre si. Estritamente falando, não há na natureza nenhum tipo de gás com este comportamento. Contudo, se tomarmos gases reais em concentrações baixas e ocupando grandes volumes, podemos considerar que a distância entre as moléculas é grande o suficiente para a interação entre elas ser considerada desprezível.

Três variáveis são usadas para descrever o comportamento dos gases: *pressão (P)*, *temperatura (T)* e *volume (V)*. A Lei dos gases ideais pode ser relacionada a uma equação que descreve o comportamento de um gás em relação a essas três variáveis de estado e também em relação ao número de moles de um gás, essa é chamada equação de Clapeyron:

$$PV = nRT \quad (3)$$

---

### Constante universal dos gases (R)

$$8.205\,78 \times 10^{-2} \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$8.314\,51 \times 10^{-2} \text{ L}\cdot\text{bar}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$8.314\,51 \text{ L}\cdot\text{kPa}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$8.314\,51 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$62.364 \text{ L}\cdot\text{Torr}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$


---

Para se estudar o comportamento de um gás, obteremos relações entre suas variáveis de estado utilizando um aparato experimental, como mostrado abaixo, com certa quantidade de gás confinada em um reservatório no qual é possível controlar e medir as variáveis.

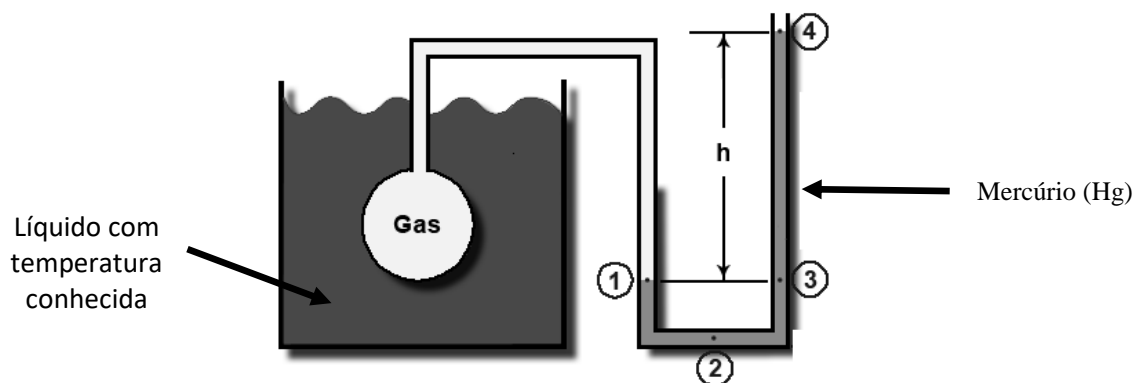


Figura 1 – Esquema de aparato experimental utilizado para estudar o comportamento de um gás em diferentes condições.

O reservatório de gás está conectado a um tubo em forma de ‘U’ com mercúrio em seu interior, chamado Manômetro de Mercúrio. A outra extremidade está aberta para a atmosfera. A temperatura do gás é controlada pela temperatura do líquido em que o reservatório está imerso.

A pressão do gás no reservatório pode ser determinada ou ajustada pela diferença de altura do nível da coluna de mercúrio, representada na figura por **h**.

De acordo com a hidrostática, a pressão nos pontos 1 e 3 do reservatório devem ser iguais, assim a pressão no ponto 1 é dada pela pressão do gás e a pressão no ponto 3 é dada pela soma da pressão atmosférica e da pressão da coluna de mercúrio acima dele. Assim:

$$P_1 = P_{\text{gás}}$$

$$P_3 = P_{\text{atm}} + \rho gh$$

Onde  $\rho$  é a densidade do mercúrio,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $P_{\text{atm}}$  é a pressão atmosférica local.

Assim, como as pressões nos pontos 1 e 3 são iguais, a pressão do gás é dada por:

$$P_{\text{gás}} = P_{\text{atm}} + \rho gh \quad (4)$$

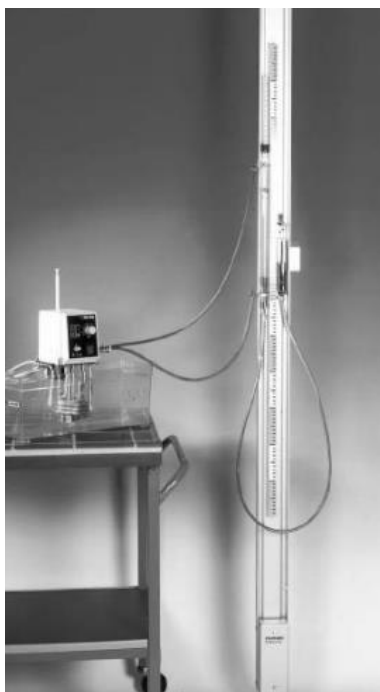
Podemos saber também o volume do gás, conhecendo o volume do reservatório e do manômetro.

Assim, conhecendo todas as variáveis com este aparato, podemos estudar as relações de um gás ideal.

### 3. MATERIAL

Para a prática de expansão térmica de metais, usaremos tubos metálicos, gerador de vapor, termômetro, suporte para medida de variação de tamanho dos tubos.

Para a prática de gases ideais, utilizaremos uma montagem igual a ilustrada na figura 2, contendo os seguintes itens:



- Reservatório de gás
- Manômetro de mercúrio
- Régua
- Reservatório de água com termostato e circulador de água
- Termômetros

Figura 2 – Montagem experimental.

Para esta montagem, o volume do reservatório onde o gás está contido é dado em mililitros (ml) e é determinado pela altura **a** que corresponde ao nível superior da borda da coluna de mercúrio, mais um volume de 1,01ml referente a parte superior do reservatório (parte laranja). Assim, o valor do volume deve ser dado por:

$$V = (0,1021).a + 1,01$$

A pressão é medida em kPa e o valor pode ser determinado por:

$$P_{\text{gás}} = 94,06 + 0,1333 h$$

onde o valor 94,06 corresponde a pressão atmosférica em Viçosa e 0,1333 ao produto  $\rho g$ .

A temperatura, medida em graus Celsius deverá ser transformada em Kelvin seguindo a relação:

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

## 4. PROCEDIMENTOS

### a) Expansão Térmica

Na montagem utilizada (figura 3), um tubo metálico tem uma extremidade fixa e outra livre, cujo avanço pode ser medido diretamente por um micrômetro (figura 3a) ou indiretamente através do deslocamento angular de um eixo (figura 3b).

- 1) Meça a temperatura ambiente.
- 2) Coloque um dos tubos no suporte.
- 3) Para a montagem da figura 3(a) anote o valor inicial marcado pelo micrômetro. Para a montagem da figura 3(b) anote o ângulo inicial no mostrador.

- 4) Meça o comprimento do tubo à temperatura ambiente. Para a montagem da figura 3(a) o comprimento é medido da extremidade fixa ao suporte em contato com o micrômetro. Para a montagem da figura 3(b) o comprimento é medido da extremidade fixa até o meio do eixo usado para medida do deslocamento angular.
- 5) Meça a temperatura  $T_e$  do vapor na saída da mangueira conectada ao gerador de vapor.
- 6) Conecte a mangueira na extremidade fixa do tubo e acompanhe a variação do micrômetro ou do mostrador de ângulos.
- 7) Espere alguns minutos até que a leitura do micrômetro ou de ângulo estabilize e meça a temperatura  $T_s$  do vapor na saída do tubo. A temperatura  $T_v$  do vapor é considerada como a média entre esta medida e a realizada no item 5.
- 8) Anote o valor final do micrômetro ou do ângulo.
- 9) Repita o procedimento acima para os outros tubos.

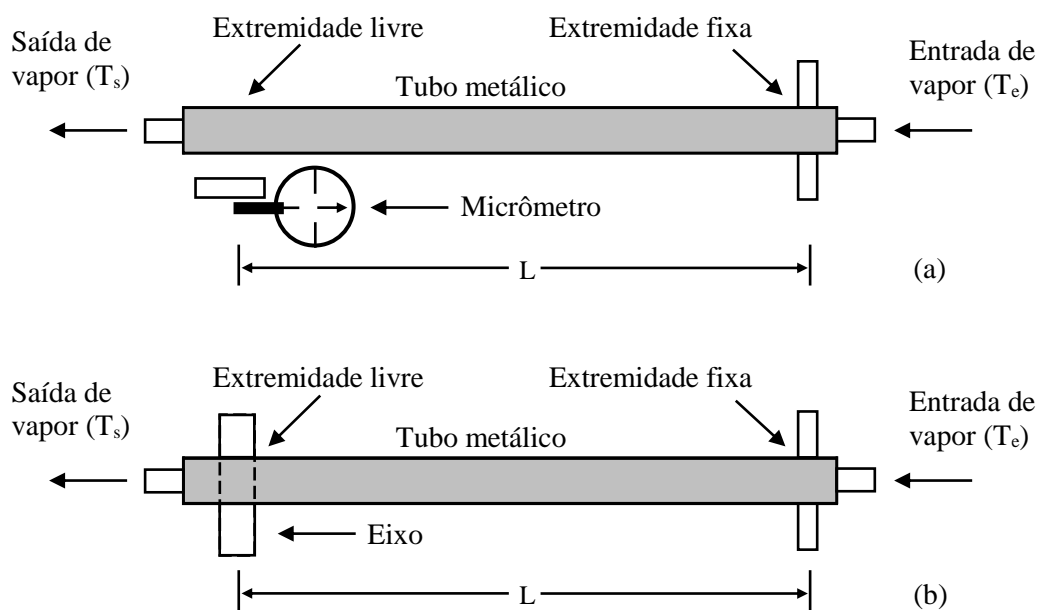


Figura 3: montagem do experimento (a) usando o micrômetro e (b) o deslocamento angular de um eixo.

Para o cálculo de  $\Delta L$  usando o deslocamento angular do eixo, usamos a expressão:

$$\Delta L = \frac{\pi \phi \Delta \theta}{360^\circ}, \quad \phi = 3,00 \text{ mm} \quad (3)$$

Material	Micrômetro	Ângulo		$\Delta T$ (°C)	$L_o$ (m)	$\alpha_{\text{obs}}$ ( $10^{-6}/^\circ\text{C}$ )
	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ m)	$\Delta \theta$ (grau)	$\Delta L$ ( $10^{-3}$ m)			
Cobre						
Alumínio						
Aço						
Latão						

Tabela 1: Valores medidos.

Considerando os valores esperados mostrados na tabela 2, calcule o erro percentual.

Material	$\alpha_{\text{esp}} (10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	Erro (%)
Cobre	17,25	
Alumínio	23,1	
Aço	11,97	
Latão	19	

Tabela 2: Valores esperados.

## b) Gases Ideais

**PARTE 1 – Verificar a Lei de Boyle-Mariotte**, a relação entre pressão e volume mantendo a temperatura constante.

$$PV = \text{constante}$$

- 1 – Ajuste a temperatura do termostato para um valor um pouco acima da temperatura ambiente ( $\sim 30^{\circ}\text{C}$ )
- 2 – No momento em que o termostato for ligado, a água irá circular pelo sistema
- 3 – Aguarde a luz indicadora do termostato começar a piscar, isso indica que a água já está na temperatura desejada. Verificar no termômetro acima do reservatório de gás se a temperatura está estabilizada.
- 4 – Retire a tampa do lado direito do tubo (como mostrado na figura 4).
- 5 – Varie a altura do lado direito do manômetro (como na figura 4), obtendo valores para **h** e o correspondente para **a**.
- 6 – Variar a altura do tubo entre 0 e 300 mm completando a tabela 3:

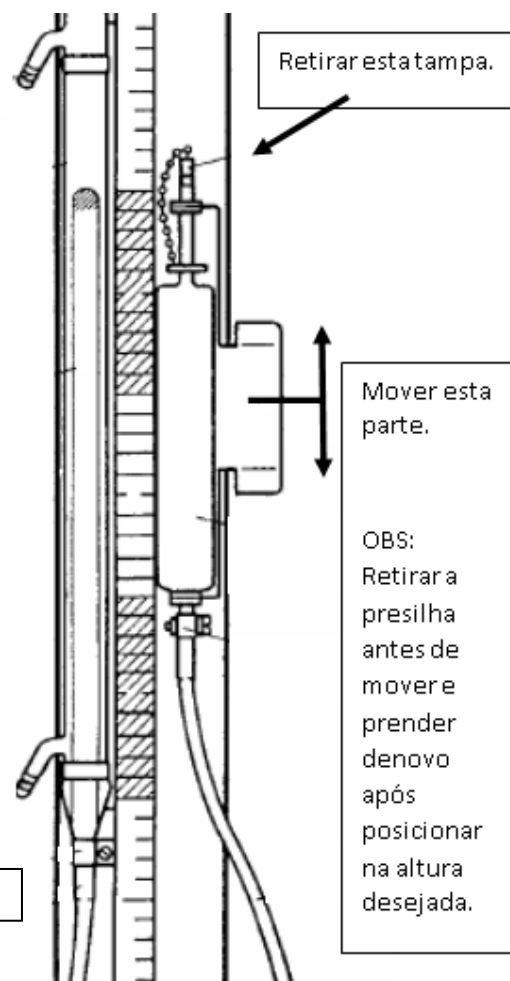


Figura 4 – Montagem experimental.

TABELA 3

h (mm)	P (kPa)	a (mm)	V (ml)

7 – Faça um gráfico de  $P \times 1/V$  em escala linear.

8 – Descreva o comportamento dessas variáveis de estado nessas condições.

## **PARTE 2 -** Verificar o comportamento de PV em relação a temperatura T

1 – Ajuste a temperatura do termostato para um valor um pouco acima da temperatura ambiente ( $\sim 30^\circ\text{C}$ )

2 – No momento em que o termostato for ligado, a água irá circular pelo sistema

3 – Aguarde a luz indicadora do termostato começar a piscar, isso indica que a água já está na temperatura desejada. Verificar no termômetro acima do reservatório de gás se a temperatura está estabilizada. Anote o valor de **T**, **h** e **a**.

*“Sugestão: inicie com um valor de  $h=0\text{mm}$ ”*

4 – Retire a tampa do lado direito do tubo (como mostrado na figura 4).

5 – Aumente a temperatura do termostato e aguarde a luz indicadora começar a piscar. Verifique no termômetro acima do reservatório de gás se a temperatura está estabilizada. Anote o valor de **T**, **h** e **a**.

6 – Repita o procedimento 5 para sete temperaturas.

**OBS: Não ultrapasse a temperatura de  $80^\circ\text{C}$ !!!**

7 – Complete a tabela 4

TABELA 4

T (K)	h (mm)	P (kPa)	a (mm)	V (ml)	PV

8 – Faça o gráfico de PV x T e descreva o comportamento do gás nessas condições.

9 – Por regressão linear obtenha e analise os valores dos coeficientes.

10 – Faça uma estimativa do número de moles de gás contido no reservatório.