

**PRÁTICA 14 – TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA - LEI DE BOYLE**

**1. OBJETIVO GERAL**

Estimar o volume inicial do conjunto gaseológico Emília com manômetro através da Lei de Boyle.

**2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Em um sistema composto de uma quantidade fixa de um gás, em uma dada temperatura (constante), observa-se que a pressão do sistema é inversamente proporcional ao volume ocupado pelo gás. Esta lei foi descoberta por Robert Boyle em 1662 e também verificada por Edme Mariotte, 17 anos depois. Ela pode ser enunciada como: “O produto entre a pressão e o volume de uma massa fixa de um gás é constante, para uma determinada temperatura”. Matematicamente descrito pela equação 01, onde  $c$  é uma constante.

$$PV = c \quad (01)$$

Para gases ideais a constante  $c$  assume o valor do produto entre o número de moles  $n$ , a constante dos gases  $R$  (de valor aproximadamente  $8,31 \text{ J/mol.K}$ ) e  $T$  a temperatura em que se encontra este gás, como pode ser visto na equação 02:

$$PV = nRT \quad (02)$$

Para transformações isotérmicas, ou seja, processos termodinâmicos a temperatura constante, em um sistema fechado, a massa do gás é constante e ocupa um volume  $V_0$  a uma pressão  $P_0$ , se a pressão variar para uma nova pressão  $P_1$  sem variação de temperatura, então seu volume mudará para um novo volume  $V_1$ . Como o produto  $nRT$  permanece constante, para  $N$  voltas, obtém-se a equação 03.

$$P_0 V_0 = P_N V_N \quad (03)$$

**3. MATERIAL UTILIZADO**

Conjunto gaseológico Emília com manômetro da CIDEPE



**4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL (Valor = 0,4)**

**4.1. Teste de vedação**

- 1) Feche a válvula de saída, confinando um volume inicial de ar, e gire o manípulo até a pressão de  $0,5 \text{ kgf/cm}^2$ .
- 2) Aguarde 60 segundos
- 3) Se a pressão se mantiver, prossiga o experimento, caso contrário, peçam a substituição do conjunto Emília.

**4.2. Equivalência de escala de pressão**

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 97800 \text{ Pa}$$

$$100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa}$$

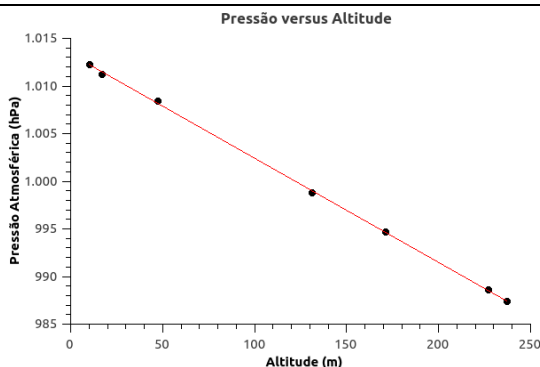
$$1 \text{ atm} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

**4.3. Determinação da pressão atmosférica local ( $P_{atm} = P_0$ )**

Alguns smartphones possuem sensor de pressão, e na Play Store ou no App Stores, existe alguns aplicativos que fornecem a pressão atmosférica local. Um aplicativo bem interessante é o Phyphox, pois através dele é possível fazer alguns experimentos de

física. Caso o seu smartphone não tenha o sensor de pressão, obtenha a pressão atmosférica local através da função linear obtida da regressão linear dos dados abaixo. A cidade de Pau dos Ferros não possui estação Meteorológica de Observação de Superfície automática. Como a pressão atmosférica é função da altitude, a tabela abaixo mostra os dados e o gráfico da pressão atmosférica para estações do nosso estado e de uma cidade da Paraíba versus altitude.

Altitude (m)	Pressão Atmosférica (hPa)	Localização
10	1012,3	Touros – Calcanhar
17	1011,3	Macau
47	1008,5	Natal
131	998,8	Apodi
171	994,7	Caicó
227	988,6	Santa Cruz
237	987,4	São Gonçalo (Sousa) – PB



Faça uma regressão linear com a calculadora, e com os coeficientes obtidos, faça uma interpolação para encontrar a pressão atmosférica em hPa para a UFERSA-Pau dos Ferros que está a uma altitude de 249 m. Anote o valor da pressão obtida em hPa ( $10^2\text{Pa}$ )

$P_{\text{atm\_UFERSA\_PDF}} =$  \_\_\_\_\_

Determinação da pressão atmosférica local

#### 4.4. Execução Experimental

##### 4.4.1. Ajustes iniciais

- 1) Abra a válvula de saída;
- 2) Gire o manípulo até tirar as folgas
- 3) Eleve o manípulo com indicado de leitura, e olhando de cima, gire a escala espelhada de modo que a imagem da “seta 0” do indicador de leitura fique sob a mesma;
- 4) Feche a válvula de saída;

##### 4.4.2. Pressão Interna $P_N$

Quando o experimento é iniciado, válvula de saída fechada, logo a pressão no interior é a pressão atmosférica. Assim,  $P_{\text{atm}}=P_0$ . Ao completar N voltas, a pressão absoluta no interior do conjunto é dada pela equação 04:

$$P_N = P_0 + P_{N\_MAN} \quad (04)$$

em que  $P_{N\_MAN}$  é a pressão obtida no manômetro. Observe que a pressão manométrica ( $P_{N\_MAN}$ ) está em  $\text{kgf/cm}^2$ , logo é necessário que a pressão atmosférica ( $P_0$ ) e  $P_{N\_MAN}$  esteja com a mesma unidade física, logo é mais interessante transformar as pressões para Pa, unidade física de pressão no sistema internacional. Observe que a pressão no interior aumenta devido a compressão produzida pelo giro do manípulo.

##### 4.4.3. Volume no interior do conjunto

O volume inicial  $V_0$  do gás confinado (ar) é aquele contido no interior do conjunto formado pelo manômetro, tubo de conexão, válvula e reservatório quando se inicia o experimento. A cada volta completa, o volume reduz  $\Delta V = 0,45$  ml por volta completa. Esse valor é fornecido pelo fabricante do conjunto, e também pode ser confirmado observando a variação de volume para 10 voltas. Para ficar mais fácil no momento de fazer os cálculos, transforme esse valor para  $\text{m}^3$ .

$\Delta V =$  \_\_\_\_\_

Assim, ao girar o manípulo com indicador de leitura N voltas, o volume é reduzido  $\Delta V$ , de tal forma que o novo volume  $V_N$  será dado pela equação 05:

$$V_N = V_0 - N\Delta V \quad (05)$$

#### 4.5. Obtenção dos dados

Execute o experimento para N voltas, faça as transformações necessárias e preencha o quadro 01:

Quadro 01: Dados obtidos com o experimento.

Número de voltas N	Pressão manométrica $P_{n\_man}$ (Pa)

#### 4.6. Análise teórica do Experimento

Através da mudança no ponteiro do manômetro, observe que a pressão no interior também é modificada (equação 04), e considerando que a Lei de Boyle é válida, equação 03, substituindo as equações 04 e 05 em 03 obtém-se:

$$P_0 V_0 = (P_0 + P_{N\_MAN})(V_0 - N\Delta V) \quad (06)$$

Manipulando a expressão 06, obtém-se a expressão 07:

$$P_0 N\Delta V = P_{N\_MAN}(V_0 - N\Delta V) \quad (07)$$

Para fazer uma regressão linear utilizando os dados medidos no experimento [2], é necessário fazer uma linearização em 07. Manipulando-a, obtém-se a expressão 08:

$$\frac{1}{P_{N\_MAN}} = \frac{V_0}{P_0 \Delta V} \frac{1}{N} - \frac{1}{P_0} \quad (08)$$

Considerando as variáveis  $X = 1/N$  e  $Y = 1/P_{N\_MAN}$ , e substituindo na expressão 08, obtém-se a expressão 09:

$$Y = \frac{V_0}{P_0 \Delta V} X - \frac{1}{P_0} \quad (09)$$

Na regressão linear é obtida uma função linear ( $Y=aX+b$ ) que melhor se ajusta aos dados experimentais, logo o relacionando a função linear com a expressão 09, obtém-se a relação entre os termos da função linear, o coeficiente angular **a** (equação 10), e o coeficiente linear ou intercepto **b** (equação 11):

$$a = \frac{V_0}{P_0 \Delta V} \quad (10)$$

$$b = -\frac{1}{P_0} \quad (11)$$

#### 4.7. Análise dos dados experimentais

4.7.1. Com os dados da tabela acima, faça o gráfico da  $1/P_{N\_MAN}$  versus  $1/N$  e a regressão linear.

4.7.2. Usando a equação 11, obtenha o valor de  $P_0$ , que é a pressão atmosférica local, e seu erro respectivo erro.

4.7.3. Calcule o erro relativo percentual da pressão  $P_0$ , considerando o valor de referência a pressão obtida na subseção 4.3. Observe que no cálculo do erro é necessário usar a técnica de propagação de erros.

4.7.4. Usando a equação 10, obtenha o volume  $V_0$  e seu respectivo erro padrão. Observe que no cálculo do erro é necessário usar a técnica de propagação de erros, e que apenas  $\Delta V$  não possui erro.

### 5. BIBLIOGRAFIA

[1] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física - Gravitação, Ondas e Termodinâmica - Volume 2. São Paulo: Grupo GEN, 2023. E-book. ISBN 9788521638568. Disponível em:

<https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521638568/>. Acesso em: 17 abr. 2024..

[2] Vertchenko, L., Dickman, A. G. Verificando a lei de Boyle em um laboratório didático usando grandezas estritamente mensuráveis. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 4, 4312 (2012). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000400012>