

ESTUDO EXPERIMENTAL DA LEI DE BOYLE: APLICAÇÃO PRÁTICA DA LEI DE BOYLE EM AR ATMOSFÉRICO POR MEIO DE VIDEOANÁLISE¹

NORMANDIA, Gabriel Conceição²
DA ROCHA, Carlos Antônio³
BERTUOLA, Alberto Carlos⁴

RESUMO

Este trabalho consiste na construção de um aparato capaz de verificar experimentalmente a lei de Boyle, por meio da prática pedagógica contemporânea de videoanálise. Esse aparato contém uma seringa com a ponta vedada e utilizada na posição vertical, de modo que seja possível colocar algumas massas sobre o êmbolo acoplado a ela e, com isso, aumentar a pressão do gás no interior da seringa. Com o aparato experimental montado, filma-se o experimento e, utilizando a videoanálise, determinam-se os pares de valores experimentais de volume e pressão no interior da seringa durante as posições de equilíbrio do sistema após cada acréscimo de massa sobre o êmbolo. Por fim, com o auxílio de uma curva ajuste dos dados experimentais, determina-se o valor experimental do número de mols de ar presente na seringa. O valor experimental obtido pelo diagrama P-V de Boyle vale $n = (4,60 \pm 0,07)10^{-3}$ mols. Pode-se compará-lo com um outro valor experimental de referência $n_r = (4,90 \pm 0,08)10^{-3}$ mols obtido pela lei dos gases ideais.

Palavras-chave: lei de Boyle, gases ideais, videoanálise, modelagem matemática.

INTRODUÇÃO

O estudo dos gases possui uma importância singular na sociedade, pois são incontáveis os sistemas que possuem os gases como base de seu funcionamento. Portanto é de grande valia descrever seu comportamento. Para isso, pode-se utilizar a modelagem matemática. Segundo Bassanezi (2002) a modelagem matemática consiste em transformar problemas reais em problemas matemáticos.

Entretanto, a diversidade de elementos do mundo real faz com que descrever o comportamento de um gás matematicamente não seja algo trivial; portanto, é vantajoso definir um modelo geral para esse estudo, sendo adotado aqui o dos gases ideais.

Segundo Young e Freedman (2008), um gás ideal é aquele que obedece a equação de estado dada na equação (1),

$$P = \frac{nRT}{V}. \quad (1)$$

O parâmetro n na equação (1) é o número de mols e a constante dos gases ideais possui o valor de $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$. V é o volume do gás, em m^3 e T é a temperatura na escala absoluta Kelvin.

¹ Projeto de iniciação científica.

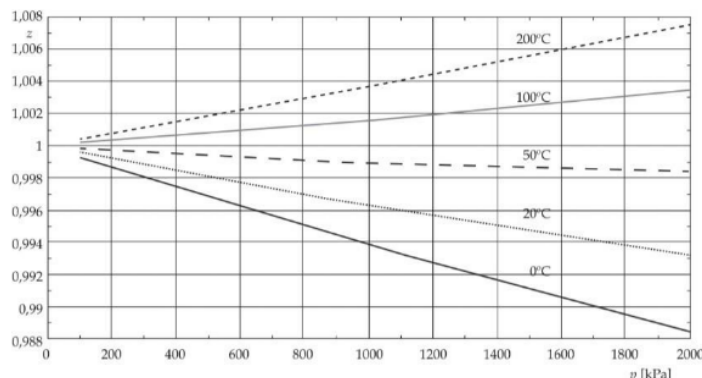
² Aluno de Eng. Mecânica; IFSP Campus São Paulo; São Paulo - SP; gabriel.normandia@aluno.ifsp.edu.br.

³ Doutor em Ciências; IFSP Campus São Paulo; São Paulo – SP; carlosrocha@ifsp.edu.br.

⁴ Doutor em Ciências; IFSP Campus São Paulo; São Paulo – SP; acbertuola2@ifsp.edu.br.

Entretanto, há divergências entre o modelo geral e a realidade. Portanto, é necessário verificar em quais situações essas discrepâncias são aceitáveis. “Uma forma de avaliar quantitativamente se um vapor se comporta como um gás ideal consiste na determinação do fator de compressibilidade[...]” (Coelho, 2016, p. 30). A figura 1 exibe um diagrama do fator de compressibilidade do ar em função da pressão e da temperatura.

Figura 1 – fator de compressibilidade do ar versus pressão.



Fonte: Coelho, 2016, p. 31.

Segundo Coelho (2016), quando o fator de compressibilidade de um gás é igual a 1, ele se comporta como um gás ideal. Observando a figura 1, percebe-se que é bastante admissível considerar o fator de compressibilidade do ar igual a 1 e, portanto, seu comportamento como o de um gás ideal.

Para uma transformação isotérmica, a equação (1) pode ser simplificada e reescrita conforme a equação (2),

$$P = \frac{A}{V} \quad (2)$$

em que $A = nRT$ e, considerando-se que temperatura seja sempre constante e que o sistema, no caso a seringa, seja fechado, de modo que não permita a entrada ou saída de quantidades consideráveis de ar, pode-se assumir o valor de A como constante.

OBJETIVOS

O objetivo principal neste projeto é construir um aparato para a verificação prática da lei de Boyle, conforme a equação (2), e a determinação do número de mols de uma determinada quantidade de ar atmosférico no interior da seringa. Os objetivos adjacentes envolvem o planejamento de um aparato experimental, sua construção final e a coleta de dados experimentais realizada por análise de vídeo.

METODOLOGIA

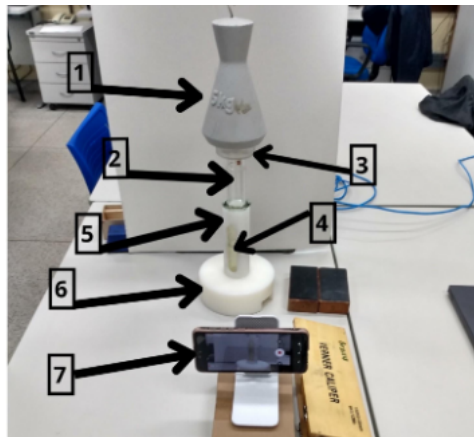
O procedimento experimental consiste em gravar a variação das posições do êmbolo e determinar, por meio da análise de vídeo, o valor do volume interno da seringa fechada e a pressão sobre o gás no seu interior. A cada acréscimo de massa sobre o êmbolo, ele se desloca para uma nova posição de equilíbrio. Com os dados experimentais de pressão e volume do gás dentro da seringa, constrói-se um diagrama P-V, no qual se insere uma curva de ajuste correspondente a equação (2), de modo que a constante A é o parâmetro a ser determinado. Nesse contexto, dois instrumentos bastante relevantes ao ensino de Física são utilizados: videoanálise e o ajuste. Segundo Bassanezi (2002, p. 54.)

"Uma regressão ou ajuste de curvas é um recurso formal para expressar alguma tendência da variável dependente y quando relacionada com a variável independente x " e segundo Da Rocha, Leitão e Teixeira (2011, p. 4.) "A vídeo-análise para fins educacionais consiste em fazer uma tomada de vídeo de um fenômeno ou experimento e depois executar uma análise minuciosa sobre este vídeo[...]".

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aparato experimental desenvolvido é mostrado na figura 2.

Figura 2 – Aparato experimental completo.

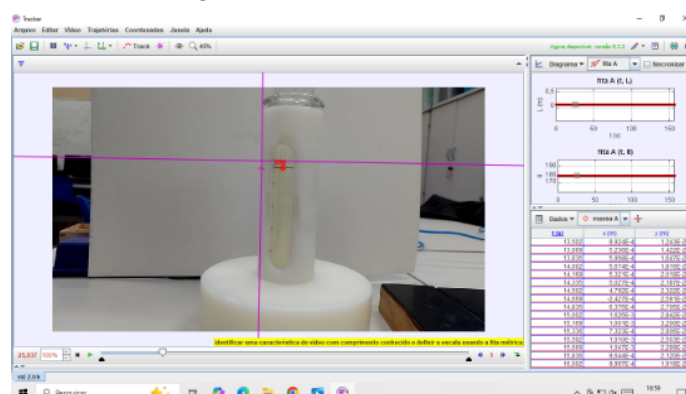


Fonte: Os autores

Na figura 2, a seta 1 aponta para um corpo de massa conhecida, posicionado na parte superior do êmbolo, que está indicado pela seta 2. A seta 3 mostra um suporte acrílico que protege a parte superior do êmbolo. A seta 4 aponta para a seringa de vidro que está acoplada no interior do suporte cilíndrico de plástico indicado pela seta 5. A base que suporta o experimento está rotulada pela seta 6 e o celular utilizado para a filmagem está colocado no lugar apontado pela seta 7.

O resultado das filmagens é obtido a partir da videoanálise com o software Tracker, conforme mostrado na figura 3.

Figura 3 – Software Tracker.

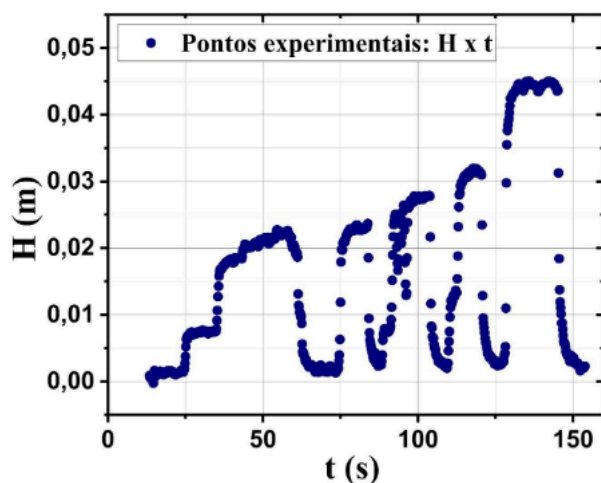


Fonte: Os autores

A configuração feita no Tracker tem um referencial previamente definido em roxo, o dado experimental que se deseja obter com essa análise é o comprimento da descida do êmbolo, indicado com pontos vermelhos na figura 3.

O gráfico na figura 4 representa os dados experimentais coletados por meio do Tracker.

Figura 4 – Dados experimentais da altura do êmbolo pelo tempo.

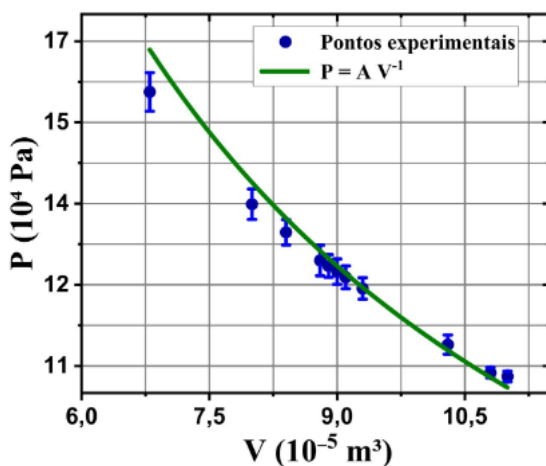


Fonte: Os autores

Na figura 4, os patamares horizontais indicam as posições de equilíbrio do sistema. Sabendo que o interior da seringa é um cilindro com área de secção transversal conhecida, pode-se determinar o volume do gás em função das massas colocadas.

A figura 5 apresenta o diagrama P-V, construído após a determinação da pressão interna para cada ponto de equilíbrio do sistema.

Figura 5 – Diagrama P-V da transformação isotérmica.



Fonte: Os autores

Na figura 5, a curva de ajuste é dada pela equação (2) e esse ajuste fornece $A = (11,11 \pm 0,06)$ J. Como $A = nRT$ é possível calcular o número de mols n , com os valores previamente conhecidos de A e da temperatura T do laboratório. É possível, para fins de comparação aproximada, calcular o valor de número de mols também utilizando uma regra de proporção entre o volume inicial do gás na seringa, determinado com o próprio Tracker, e o volume de um mol de gás ideal medido na CNTP, cujo valor é 22,4 litros. Ambos os valores estão presentes na tabela 1.

Tabela 1: valores experimental e teórico do número de mols no interior da seringa

Número de mols	Valor experimental	Unidade
Experimental	$n = (4,60 \pm 0,07)10^{-3}$	mols
Experimental de referência	$n_r = (4,90 \pm 0,08)10^{-3}$	mols

CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÃO

Comparando os valores na tabela 1, o valor experimental de referência serve somente como um parâmetro para verificar possíveis erros na experimentação, uma vez que eles foram obtidos em condições de temperatura e pressão distintas. Diante disso, podemos verificar que os valores obtidos estão coerentes e sem grandes diferenças.

Segundo Dickman e Vertchenko (2012), uma desvantagem dos modelos tradicionais para a verificação prática de lei de Boyle é a necessidade de conhecer o volume inicial do sistema, pois escolhas experimentais diferentes podem levar a valores distintos. Entretanto, a videoanálise proposta neste estudo resolve esse problema. Além disso, o modelo com videoanálise não fica limitado a volumes determinados apenas pela graduação da seringa, sendo possível determinar o volume interno da seringa em qualquer posição que esteja o êmbolo, para isso, basta conhecer a área da seção transversal do êmbolo, a qual é possível determinar com um paquímetro.

O próximo passo é verificar o desempenho do experimento na prática pedagógica. Pretende-se utilizar esse kit experimental em uma turma do 2º semestre do curso de Engenharia Mecânica do IFSP. Espera-se que, na apresentação do EICPOG, já tenhamos comentários e avaliações dos alunos sobre o experimento.

REFERÊNCIAS

BASSANEZI, R. **Ensino - aprendizagem com Modelagem matemática**. Campinas: Editora Contexto, 2002. Disponível em :https://www.researchgate.net/profile/Rodney-Bassanezi/publication/256007243_Ensino_-_aprendizagem_com_Modelagem_matematica/links/0046352163725accb1000000/Ensino-aprendizagem-com-Modelagem-matematica.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19. Acesso em: 14 ago. 2025.

COELHO, J. C. M. **Energia e fluidos: termodinâmica**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2016. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 08 ago. 2025.

DA ROCHA, F. S.; LEITÃO, L.I.; TEIXEIRA, P. F. D. A vídeo-análise como recurso voltado ao ensino de física experimental: um exemplo de aplicação na mecânica. **Revista electrónica de investigación en educación en ciencias**, Buenos Aires, v. 6, n. 1, p. 18–33, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273319419003>. Acesso em: 08 ago. 2025.

DICKMAN, A. G.; VERTCHENKO, L. Verificando a lei de Boyle em um laboratório didático usando grandezas estritamente mensuráveis. **Revista brasileira de ensino de física**, São Paulo, v. 34, n. 4, 4312, p. 4312-1 – 4312-5.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 01 ago. 2025.