

## EXPERIMENTAÇÃO VIRTUAL DA LEI DE BOYLE

### BOYLE'S LAW VIRTUAL EXPERIMENTATION

Sharon Dantas da Cunha<sup>1</sup>, Kytéria Sabina Lopes de Figueredo<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Semi-Árido/Campus Pau dos Ferros/Departamento de Ciências Exatas e Natural, [sharondantas@ufersa.edu.br](mailto:sharondantas@ufersa.edu.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido/Campus Pau dos Ferros/Departamento de Ciências Exatas e Natural, [kyteria.figueredo@ufersa.edu.br](mailto:kyteria.figueredo@ufersa.edu.br)

<sup>3</sup>Universidade Estadual do Rio Grande do Norte/Campus Avançado de Pau dos Ferros/Programa de Pós-Graduação em Ensino

#### Resumo

A inserção de tecnologias no ensino, em especial na área de Física, está associada as necessidades da sociedade atual e do professor tornar o conhecimento científico mais atraente para os alunos. Dentre as diversas estratégias possíveis para o ensino, este trabalho aborda a experimentação virtual da Lei de Boyle, onde é apresentado o planejamento, e a execução do experimento que foi realizado em três semestres na disciplina de Laboratório de Ondas e Termodinâmica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Na etapa de planejamento, os dados obtidos com o kit de comprovação experimental da lei de Boyle, disponível no laboratório da instituição, foram analisados, e com as variáveis obtidas, o experimento foi simulado como se fosse executado em 85 cidades, com altitudes e pressão atmosférica distintas, do estado do Rio Grande do Norte. Um dos municípios foi escolhido aleatoriamente através de um programa desenvolvido em linguagem C++, e um roteiro experimental foi criado e adaptado para ser executado de forma individual, ou em grupo. Para a execução virtual do experimento, o professor realizou um encontro on-line ou presencial para revisar a teoria utilizada, mostrar o kit experimental, e demonstrar a execução do experimento para fins de diminuir a abstração do processo de execução. Após a finalização do roteiro, os alunos enviavam as respostas num formulário Google, e o professor realizou a correção das respostas do roteiro com auxílio de uma planilha eletrônica. A análise indicou que a experimentação virtual oferece novas possibilidades para roteiros e experimentos que são idealizados para confirmar conceitos e explorá-los. Assim, o experimento auxiliou o aluno no entendimento da Lei de Boyle através de um processo de ensino-aprendizagem contextualizado e dinâmico.

**Palavras-chave:** Tecnologias Digitais de informação e Comunicação; Lei de Boyle; ensino remoto.

#### Abstract

The inclusion of technologies in teaching, especially in the area of Physics, is associated with the needs of today's society and the need for teachers to make scientific knowledge more attractive to students. Among the various possible strategies for teaching, this work addresses the virtual experimentation of Boyle's Law, where the

planning is presented, and the execution of the experiment that was carried out over three semesters in the Wave and Thermodynamics Laboratory discipline at the Federal University of the Semi-Arid Region. In the planning stage, the data obtained with the experimental test kit for Boyle's law, available in the institution's laboratory, were analyzed, and with the variables obtained, the experiment was simulated as if it were carried out in 85 cities, with altitudes and pressure distinct atmospheric conditions, from the state of Rio Grande do Norte. One of the municipalities was chosen at random through a program developed in C++ language, and an experimental script was created and adapted to be executed individually or in a group. For the virtual execution of the experiment, the professor held an online or in-person meeting to review the theory used, show the experimental kit, and demonstrate the execution of the experiment in order to reduce the abstraction of the execution process. After completing the script, the students sent their answers to a Google form, and the teacher corrected the answers in the script with the help of an electronic spreadsheet. The analysis indicated that virtual experimentation offers new possibilities for scripts and experiments that are designed to confirm concepts and explore them. Thus, the experiment helped the student understand Boyle's Law through a contextualized and dynamic teaching-learning process.

**Keywords:** Digital information and communication technologies, Boyle's Law, remote teaching.

## **Introdução**

A importância e presença de experimentos no processo de ensino e aprendizagem na área de física é um fato consensual para os professores desta área (PARREIRA; DICKMAN, 2020), pois auxiliam os alunos no aprendizado de conceitos científicos e no desenvolvimento das seguintes habilidades: formulação e verificação de hipóteses, compreensão, simplificação e modelagem de problemas, bem como elaboração de resultados (TAKAHASHI; CARDOSO, 2011). Através da vivência, e conseqüentemente sua contextualização, é observado que a experimentação pode construir um aprendizado mais sólido, pois quando o aluno visualiza ou analisa os dados obtidos no experimento, a abstração presente nos cursos teóricos praticamente desaparece. Na física, as atividades experimentais são importantes recursos didáticos, e se estabelece em duas categorias: experimentos demonstrativos, nos quais a abordagem é maior no aspecto qualitativo, e os experimentos quantitativos, nos quais o enfoque, em geral, está na verificação matemática de alguma lei e ocorre mediante a análise de dados (ARAÚJO; ABIB, 2003). Segundo Araújo e Adib (2003), os objetivos de aprendizagem são distintos: no qualitativo o aluno contrasta os novos conhecimentos com os seus conceitos espontâneos, e no quantitativo, compara a

previsão teórica com as medidas obtidas no experimento através de uma análise estatística dos dados.

Com o surgimento da pandemia do Covid-19, e conseqüentemente do ensino remoto (ER), a utilização de plataformas digitais no ensino remoto se tornou necessária, e as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC's) foram inseridas no dia a dia dos professores e alunos, apesar dos debates sobre os benefícios da inclusão dessas tecnologias no ensino de ciências, em especial na física, terem sido iniciados antes desse período (MONTEIRO, 2016).

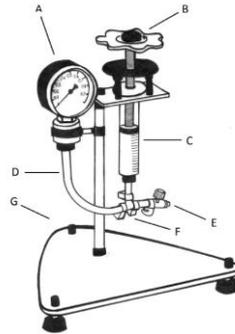
O ER trouxe inúmeros desafios, e nas disciplinas de caráter prático, as dificuldades eram fornecer dados distintos para os alunos, e principalmente, avaliá-los. Neste trabalho será apresentado a experimentação da lei Boyle (MORRILAS, 2018; PARREIRA; DICKMAN, 2020; WEST, 1999), virtual por utilizar dados simulados como se o experimento tivesse sido executado em 85 cidades do estado do Rio Grande do Norte, localizado no nordeste brasileiro, com altitudes e pressões atmosféricas distintas. Para a experimentação proposta, foram utilizadas técnicas desenvolvidas e utilizadas pelos autores no ER (CUNHA; FIGUEREDO, 2022), e que são utilizadas atualmente no ensino presencial como avaliação ou atividade individual. Através da disponibilização de roteiros experimentais, dados obtidos através de simulações são utilizados em uma experimentação quantitativa que pode ser executada de maneira individual ou em grupo. Na próxima seção será apresentada a metodologia utilizada para a simulação dos dados e criação dos roteiros, bem como a sequência didática para a experimentação proposta.

## **Metodologia**

A lei de Boyle consiste em uma transformação isotérmica de um gás ideal no interior de um sistema fechado, onde a pressão absoluta, soma da pressão atmosférica e a pressão manométrica, é inversamente proporcional ao volume contido no interior no sistema. Em algumas situações, como no ER ou exercício domiciliar, o aluno não pode executar fisicamente o experimento, e este trabalho apresenta uma metodologia para simular dados experimentais e serem utilizados em uma experimentação virtual. O experimento foi executado utilizando o kit disponível na instituição, com diferentes condições iniciais, ou seja, valores distintos de volume inicial e temperatura ambiente. Ao executar o experimento são obtidos: a pressão

manométrica, medida com auxílio de um manômetro, e o número de voltas. A temperatura ambiente foi medida com o auxílio de um termômetro de bulbo, e a pressão atmosférica com o auxílio de um smartphone que possuía um sensor de pressão. A execução no laboratório foi necessária para obter variáveis que pudessem ser utilizadas na simulação, e os dados simulados fossem compatíveis com a realidade. A figura 1 ilustra o kit experimental utilizado.

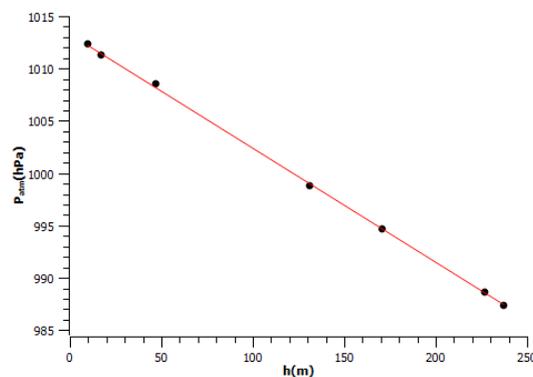
Figura 1: Ilustração do kit experimental para a verificação da Lei de Boyle.



Fonte: Figura extraída de Vertchenko e Dickman, 2012.

A simulação inicia com a escolha de três variáveis: número de mols ( $n$ ), a temperatura ( $T$ ) e a pressão atmosférica local ( $P_{atm}$ ). Os valores das duas primeiras variáveis foram escolhidos aleatoriamente entre os valores mínimo e máximo obtidos durante a execução do experimento no laboratório. A terceira variável é obtida escolhendo uma das 85 cidades do Rio Grande do Norte, e com o valor da altitude da cidade, a pressão atmosférica é obtida através da função da regressão linear do gráfico da pressão atmosférica versus altitude (figura 2) de sete cidades descrita na tabela 1, cujos valores de pressão atmosférica e a altitude foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia.

Figura 2: Gráfico da pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ) versus altitude ( $h$ ). Os círculos correspondem aos dados da tabela 1, e a linha vermelha, a regressão linear dos dados.



Fonte: Autor, 2024.

Com a escolha das três variáveis, a pressão manométrica,  $P_{N_{MAN}}$ , é obtida através da equação 1, para cada volta completa N.

$$P_{N_{MAN}} = \frac{P_0}{1 - \frac{N\Delta VP_0}{nRT}} - P_0 \quad (1)$$

Tabela 1: Pressão atmosférica e altitude de seis cidades do RN, e uma da PB.

| 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 |

Fonte: Autor, 2024.

Os dados foram simulados de modo a reproduzir as mesmas características da execução do experimento. A variação de volume,  $\Delta V=0,45\text{ml}$ , é o mesmo valor fornecido pelo fabricante do kit, e a pressão manométrica foi calculada em  $\text{kgf/cm}^2$ , mesma unidade do manômetro do kit didático, e arredondada, conforme escala e erro instrumental do equipamento. Ao final da simulação, um banco de dados é criado para ser usado na criação do roteiro.

## Resultados e Discussão

Na seção anterior foi comentado sobre a forma de obter o banco de dados para ser utilizado na experimentação virtual da lei de Boyle, uma experimentação quantitativa para comprovar a lei de Boyle que foi aplicado para alunos do curso de graduação Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido no ER e no ensino presencial. Nesta experimentação, um programa desenvolvido em linguagem C++ pelos autores deste trabalho escolhe aleatoriamente uma cidade para cada aluno ou grupo, dependendo da estratégia utilizada na turma, e um roteiro é criado. No momento da criação, as expectativas de respostas também são criadas, de modo a facilitar a correção da atividade pelo professor. A tabela 2 mostra os dados medidos da pressão manométrica medida no laboratório,  $P_{N_{MAN}}$ , e a pressão manométrica simulada,  $P_{N_{MANSIM}}$ , a cada volta completa N.

Tabela 2: Dados da pressão manométrica medida no laboratório, e a simulada a cada volta N.

| N                                 | 4    | 5    | 6   | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|-----------------------------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $P_{N_{MAN}}(\text{kgf/cm}^2)$    | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,26 | 0,29 |
| $P_{N_{MANSIM}}(\text{kgf/cm}^2)$ | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,26 | 0,28 |

Fonte: Autor, 2024.

Para simular os dados da tabela 1, foi seguido os mesmos passos da seção anterior, e o número de mols foi obtido através da relação com o coeficiente angular da regressão linear da variação do volume versus o inverso da pressão absoluta dos dados experimentais. Ao analisar os dados da tabela 2, dos doze valores apresentados, apenas dois foram diferentes, e o erro foi compatível com erro instrumental do manômetro.

Após os roteiros serem criados, o professor escolhe a estratégia para a execução da experimentação com o auxílio do roteiro. A estratégia utilizada para execução do roteiro foi: apresentar a teoria e o kit, e retirar dúvidas das ferramentas de análise que foi utilizada em práticas anteriores. No ER, essa etapa foi realizada com o auxílio de apresentações e vídeos, e no presencial, além das apresentações, os grupos realizaram as medidas com o kit para ter a vivência do experimento.

Ao término do experimento virtual, o aluno, ou grupo, envia as respostas dos itens solicitados como: cálculos de variáveis pertinentes do experimento, gráficos, objetivos geral e específicos, discussões sobre o experimento, e conclusões, num formulário Google. A vantagem de usar o formulário é a integração das respostas digitadas para uma planilha eletrônica, e através dela se estabelece uma relação rápida entre as respostas esperadas, e as fornecidas pelo aluno, de modo a facilitar a correção e detecção de cópias.

### **Considerações Finais**

Uso das TDIC's no processo de ensino aprendizagem é algo inevitável em uma sociedade cada vez conectada com a internet, e a experimentação virtual oferece novas possibilidades para experimentos quantitativos que são idealizados para confirmar conceitos e explorá-los na física.

Na experimentação virtual da lei de Boyle proposta neste trabalho ocorre a modificação das cidades, mudanças na pressão atmosférica, no número de mols e na temperatura, de modo que o professor possui um banco de dado distinto a cada semestre. No momento da criação dos roteiros também são geradas as respostas esperadas, e foi observado uma diminuição nas cópias entre os alunos, uma melhor avaliação e um aprendizado mais eficiente. Além disso, foi observado uma boa reprodutibilidade dos valores experimentais em comparação com o simulado, sendo alternativa à laboratórios com nenhum ou poucos kits experimentais disponíveis.

A experimentação virtual também pode ser utilizada por alunos que faltaram a aula ou estão em exercício domiciliar, em avaliações e no ER, como utilizado pelos autores do trabalho. A desvantagem é a “ausência” de erro aleatório nas medidas e não ter contato “físico” com o experimento, no caso do ER, entretanto, foi observado um aumento no interesse dos alunos em aprender a fazer a análise dos dados, já que eles sabiam que o roteiro fornecido possuía dados distintos para cada aluno.

Portanto, a experimentação virtual da lei de Boyle auxiliou o aluno na reflexão do fenômeno e construção conceitual desta lei através de um processo de ensino-aprendizagem contextualizado e dinâmico, e para o professor, uma alternativa aos desafios do cotidiano.

## Referências

ARAÚJO, M. S. T., ABIB, M. L. V. dos S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 abr. 2024

CUNHA, S. D., FIGUEREDO, K. S. L. Cálculo da densidade de corpos sólidos: Experimentação remota como estratégia para o ensino de Física. *In*: XIX Encontro de Pesquisa e Ensino de Física, 2022. Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/epf/xix/sys/resumos/T0263-2.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MONTEIRO, M A. A. O uso de tecnologias móveis no ensino de física: uma avaliação de seu impacto sobre a aprendizagem dos alunos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 1, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4334>. Acesso em: 18 abr. 2024.

MORILLAS, E. R. Evaluation of experimental errors in Boyle’s experimente. **Revista Mexicana de Física E**, vol 64, 42, 2018. Disponível em: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-35422018000100042](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35422018000100042) Acesso em: 18 abr. 2024

PARREIRA, J. E., DICKMAN, A. G. Objetivos das aulas experimentais no ensino superior na visão de professores e estudantes da engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, e20200096, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0096>. Acesso em: 20 abr. 2024

TAKAHASHI, E. K., CARDOSO, D. C. Experimentação remota em atividades de ensino formal: um estudo a partir de periódicos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 3, p. 185-208, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4214>. Acesso em: 18 abr. 2024

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>. Acesso em: 18 abr. 2024

WEST, B The original presentation of Boyle's law. **Journal of Applied Physiology**, vol 87 (4), 1543, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.4.1543>. Acesso em: 20 abr. 2024.