

ATIVIDADE EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO NO ESTUDO DE TRANSFORMAÇÕES ISOBÁRICAS: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO

LOW-COST EXPERIMENTAL ACTIVITY IN THE STUDY OF ISOBARIC TRANSFORMATIONS: A PROPOSAL FOR HIGH SCHOOL

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE BAJO COSTO EN EL ESTUDIO DE TRANSFORMACIONES ISOBÁRICAS: UNA PROPUESTA PARA LA ESCUELA SECUNDARIA

Osmar Henrique Moura da Silva

osmarh@uel.br

<https://orcid.org/0000-0001-6988-3903>

Universidade Estadual de Londrina

Carlos Eduardo Laburú

laburu@uel.br

<https://orcid.org/0000-0003-1985-9213>

Universidade Estadual de Londrina

RESUMO

Este trabalho objetiva contribuir com uma proposta de atividade prática para o estudo das transformações isobáricas. Nesse sentido, apresenta-se uma montagem de arranjo experimental simples, de fácil aquisição e custo reduzido, discutindo-se a viabilidade de corroborar a lei de Charles, ou também chamada de lei de Gay-Lussac (pressão constante), por tal instrumentação a partir dos dados de volume e temperatura, de modo a oferecer orientações pedagógicas para realizar uma análise isobárica. Em termos epistemológicos, caracteriza-se uma particular metodologia investigativa de inspiração pós-positivista. Espera-se, com isso, subsidiar o professor do Ensino Médio que se interesse pela proposta desta atividade experimental. Epistemologicamente, a estratégia pedagógica, que se constitui de um método investigativo, insere-se em caráter de ensaio, justificando-se coerente com diretrizes pertinentes da literatura em educação científica no contexto da visão mais dominante nos últimos anos, que é a hipotética-dedutiva.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de física, Experimento simples, Lei de Charles, Método investigativo, Diretriz epistemológica implícita.

ABSTRACT

This work aims to contribute with a practical activity proposal for the study of isobaric transformations. In this sense, a simple experimental setup is presented, which is easy to acquire and has a low cost, discussing the feasibility of corroborating Charles's law, or also called Gay-Lussac's law (constant pressure), through such instrumentation. based on volume and temperature data, in order to offer pedagogical guidance for carrying out an isobaric analysis. In epistemological terms, a particular investigative methodology of post-positivist inspiration is characterized. This is expected to support high school teachers who are interested in the proposal of this experimental activity. Epistemologically, the pedagogical strategy, which consists of an investigative method, is inserted in the nature of an essay, justifying itself in line with relevant guidelines in the literature on scientific education in the context of the most dominant view in recent years, which is the hypothetical-deductive.

KEYWORDS: *Physics teaching, Simple experiment, Charles' law, Investigative method, Implicit epistemological guideline.*

RESUMEN

Este trabajo pretende contribuir con una propuesta de actividad práctica para el estudio de transformaciones isobáricas. En este sentido, se presenta un montaje experimental simple, de fácil

adquisición y de bajo costo, discutiéndose la factibilidad de corroborar la ley de Charles, o también llamada ley de Gay-Lussac (presión constante), mediante dicha instrumentación basada en volumen y datos de temperatura, con el fin de ofrecer orientación pedagógica para la realización de un análisis isobárico. En términos epistemológicos, se caracteriza una particular metodología investigativa de inspiración pospositivista. Con esto se espera apoyar a los docentes de secundaria que estén interesados en la propuesta de esta actividad experimental. Epistemológicamente, la estrategia pedagógica, que consiste en un método investigativo, se inserta en el carácter de ensayo, justificándose en línea con lineamientos relevantes de la literatura sobre educación científica en el contexto de la visión más dominante en los últimos años, que es la hipotético-deductivo.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza de la física, Experimento simple, Ley de Charles, Método de investigación, Directriz epistemológica implícita.

INTRODUÇÃO

Há tempos que a experimentação tem sido defendida no ensino de física enquanto estratégia de ensino-aprendizagem (Higa; Oliveira, 2012, p. 76). Um aspecto a salientar nesse sentido abrange o entendimento seguramente consolidado nas pesquisas em educação científica “de a concepção dos estudantes sobre a natureza da ciência ser influenciada pelos professores e pelo ambiente de sala de aula” (Silva; Laburú, 2016, p. 32), pois sempre há “uma concepção epistemológica¹ subjacente em qualquer situação de ensino” (Silva *et al.*, 2019, p. 123). De forma geral, persiste defendido esse entendimento que se apoia em máximas do tipo “sempre que uma ciência é ensinada, uma filosofia, até certo ponto, também é ensinada” (Matthews, 1994, p. 83), porque uma concepção de ciência assim é transmitida fortemente em razão de ser assimilada de modo não consciente ao invés de ficar explicitada (Whitaker, 1979)². Nesse contexto, devido à vertente positivista³ encontrar-se ultrapassada já algum tempo no plano filosófico (Chalmers, 1994; Koiré⁴ *apud* Lakatos, 1978), por consequência, busca-se igualmente aboli-la do ensino de ciências, como mostram diversos estudos que realçam essa indesejada orientação (Silva *et al.*, 2019; Ponczek, 2009; Pereira; Amador, 2007; Silveira; Ostermann, 2002; Vásquez; Massareno, 1999, p. 378).

De acordo com Chinelli *et al.* (2010, p. 18), há décadas pesquisas em educação científica demonstram o quanto “visões já superadas sobre a natureza da ciência e do trabalho científico têm sido um dos principais obstáculos para a renovação do ensino de ciências”, prevalecendo a necessidade de haver cuidados com a epistemologia sendo transmitida pelo professor, atualizadas por visões pós-positivistas (Delizoicov, 1996; Niaz, 1994). Conforme Lôbo (2012, p. 431), deve-se rejeitar “a concepção empirista associada à crença de que o conhecimento científico é um conhecimento verdadeiro, inquestionável”, pois permanece preocupante o quanto “a ideia de que o conhecimento científico é obtido diretamente dos resultados experimentais está, ainda, muito presente no ensino de ciências e entre professores e alunos”. Aliás, segundo Moreira e Massoni (2016), mesmo após décadas de discussões na literatura acerca das interfaces entre epistemologias e ensino de ciências, muitas dessas reflexões seguem ignoradas na prática.

¹ Relativamente imatura ou não.

² No caso, uma discussão sobre o desenvolvimento de uma lei ou teoria (leis de Newton, princípio de Huygens, entre outros) pode gerar a percepção de uma conexão indesejada entre, por exemplo, o princípio de Huygens e sua consequência. Segundo Whitaker (*ibid.*, p. 108): “o estudante pode inferir que a consequência era óbvia a Huygens, ou ‘imediatamente óbvia’ para qualquer pessoa inteligente, por Huygens produzir seu princípio a partir do resultado de repetidas experiências em laboratório”.

³ “Os positivistas visaram mostrar que a ciência autêntica é ‘verificada’ e mostra ser verdadeira ou provavelmente verdadeira em relação a ‘sentenças protocolares’ – fatos revelados a observadores cuidadosos por meio de seus sentidos” (Chalmers, 1994, p. 28).

⁴ “Koyré mostrou (defendeu) que o positivismo fornece uma má orientação (inclusive) ao historiador de ciência” (Lakatos, 1978, p. 9).

De acordo com as considerações anteriores, o presente estudo objetiva apresentar um experimento simples e de baixo custo, contextualizando sua viabilidade de aplicação por meio de um método investigativo com diretriz epistemológica pós-positivista (Silva; Laburú, 2016; Silva *et al.*, 2019). Em específico, a proposta de atividade prática abrange o estudo de transformações isobáricas com emprego de uma montagem experimental que visa à corroboração da lei de Charles⁵, a partir dos dados de volume e temperatura obtidos dessa instrumentação. Todavia, em razão de algumas peculiaridades da instrumentação a serem discutidas e do procedimento adotado, sugerir-se-ão algumas orientações pragmáticas aos objetivos pedagógicos a fim de satisfazer uma análise isobárica convincente. Espera-se, enfim, subsidiar o professor de física do Ensino Médio que se interesse pela presente proposta de atividade prática.

ATIVIDADE EXPERIMENTAL

O termoscópio, “termômetro cujo princípio físico era a expansão do ar” (Pires *et al.*, 2006, p. 1395), é um experimento pedagogicamente útil em Termometria no Ensino Médio, permitindo-se calibrá-lo com os alunos em determinada escala de temperatura (Marques; Araújo, 2010). Quando o sistema, ar aprisionado, é aquecido ou resfriado, há uma modificação no nível do líquido num capilar, no caso aqui mais à frente discutido, da posição de uma quantia de água (gota d’água) no canudinho de plástico. Se uma escala for anexada no canudo, permite-se então uma medida quantitativa dessas flutuações. Todavia, como sabido, “um grave defeito deste aparelho é sua sensibilidade à variação da pressão atmosférica no local”, pois se constitui de “um instrumento aberto ao seu exterior” (Pires *et al.*, 2006, p. 1395), carecendo de constantes calibrações.

Neste estudo, portanto, o equipamento é basicamente constituído de um termoscópio caseiro, feito de uma seringa de 20 ml de plástico com um canudo de refresco transparente fixado na extremidade do bico da seringa. Ela é adaptada para a posição horizontal no interior de um recipiente aberto, de modo que sua extremidade com o canudo esteja do lado de fora do recipiente (Figura 1A). Para o preparo do arranjo experimental, antes da tomada de dados, deve-se deixar uma quantia de água (à temperatura ambiente) no recipiente até encobrir a seringa, que serve para modificar a temperatura do sistema, conforme nela se acrescentam quantias de água quente ou fria. Além disso, deixar uma pequena quantia de água no interior do canudo (na verdade, uma gota d’água), ocupando cerca de 1 cm do comprimento do canudo e bem próximo da seringa para obtenção de mais dados (Figura 1B). Na Figura 1, cabe observar a adaptação de um curto e fino tubo de látex (borracha popularmente chamada de tripa de mico), ali adaptado para unir a ponta da seringa ao canudinho, e assim evitar vazamentos nessas conexões. Desse modo, a gota d’água pode transitar livremente ao longo do comprimento do canudo quando há uma diferença de pressão entre o sistema e a vizinhança, devido às alterações de temperatura e consequentes variações do volume do sistema até haver ajuste com a pressão atmosférica. Aliás, se caracterizado esse aparelho sem o recipiente descrito, e uma vez calibrado, pode-se chamá-lo de termômetro de gás a pressão constante, em que “uma gota de líquido, capaz de se deslocar livremente num tubo horizontal longo, define o volume do gás aprisionado à sua esquerda” (semelhante ao caso da Figura 1B), com recipiente), deslocando-se sempre até que a pressão do gás atinja a pressão atmosférica (Eisberg; Lerner, 1983, p. 379).

Para possibilitar medidas de temperatura do sistema (totalidade do ar dentro da seringa mais a do canudinho), quando em situações de equilíbrio térmico com a água do

⁵ “Ou lei de Gay-Lussac” (Eisberg; Lerner, 1983, p. 380).

recipiente, um termômetro encontra-se adicionado no recipiente com água, conforme ilustrado na Figura 1B. Aqui é importante discutir com os alunos sobre se a temperatura do gás ar estudado pode ser considerada ou medida por meio da água do recipiente, e qual o momento para se fazer isso. Essas discussões têm a finalidade de explorar o conceito de equilíbrio térmico.

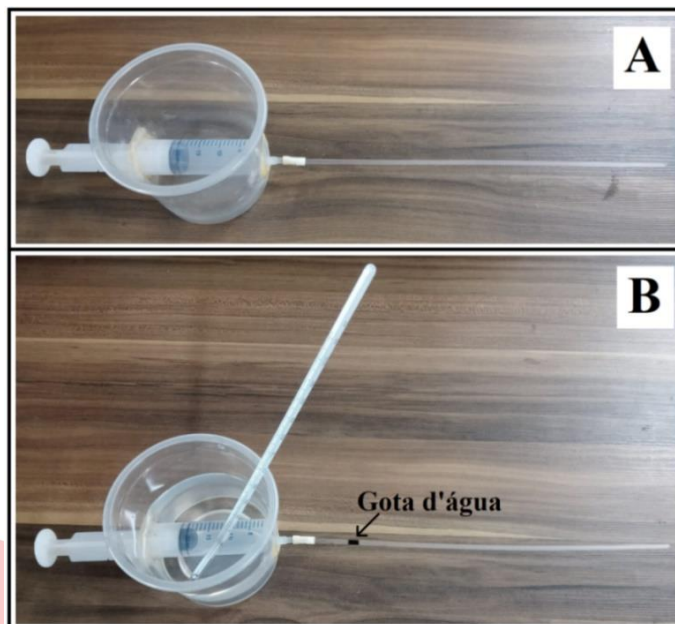


Figura 1: A) Instrumentação de baixo custo e B) Arranjo experimental para tomada de dados⁶
Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto às medidas de volumes do sistema, a seringa deve permanecer fixa nos 20 ml, ao passo que o volume extra de ar no canudo é computado de acordo com a posição da gota d'água, mediante determinação de cada cm de comprimento do canudo corresponder a um volume em ml. Essa determinação da correspondente quantia em (ml/cm) de canudo pode ser feita a partir de uma calibração do mesmo. Para isso, sugere-se empregar uma seringa de plástico (de 10 ml) sem o êmbolo e com a ponta entupida que, devida à precisão, funcionará como "proveta" para calibração, cujo procedimento é o seguinte. Encher-se várias vezes o canudo com água⁷, despejando repetidamente até atingir uma quantia significativa do volume da seringa, por exemplo, a marca do volume próximo ao valor máximo de 10 ml (Figura 2A). Pela medida do comprimento do canudo com a água e quantos deles foram necessários para atingir certa escala em *ml*/da seringa (proveta), tem-se:

$$\frac{\text{ml (anotado na proveta)}}{\text{cm (cm utilizados de canudo)}} = V(\text{volume de água}) \frac{\text{ml}}{\text{cm}} = V(\text{volume de ar}) \frac{\text{ml}}{\text{cm}} \quad (\text{Equação 1})$$

Isto, portanto, conforme ilustração da Figura 2B, em cada alteração na temperatura do sistema a gota muda para certa posição no canudo, cujo volume resultante do ar V_f (volume total) corresponde à soma entre o volume fixo da seringa V_s (20 ml) e o volume do canudo V_c :

⁶ O recipiente é um pote de 500 ml comumente usado pelos clientes em sorveterias. A gota d'água no interior do canudo apresenta-se com corante escuro apenas para sua ilustração na foto, tem cerca de 1 cm de comprimento e inicialmente está um pouco afastada da ponta da seringa. A gota, além de ser a referência para medidas de volume do sistema, atua como uma "vedação móvel" que separa o sistema e a vizinhança, o que sempre resulta na igualdade da pressão interna (do sistema) com a externa (vizinhança do sistema).

⁷ Basta mergulhá-lo verticalmente em um pequeno balde com água e pressionar a extremidade superior com os dedos para que a água interna no canudo fique ali aprisionada ao se retirar o canudo do balde, sendo essa quantia de água liberada ao despertar a extremidade do canudo.

$$V_T = V_S + V_C \quad (\text{Equação 2})$$

Todavia, vale destacar que esse V_T indica apenas um volume aparente em cada dilatação do sistema, uma vez que a seringa também sofre dilatação significativa, mais adiante considerada.

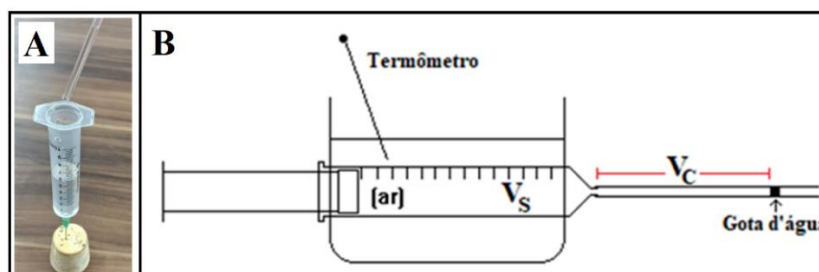


Figura 2 – A) Seringa adaptada como proveta à determinação da quantia volumétrica por cm do canudo e B) Ilustração de determinada posição da gota após um equilíbrio térmico, situação na qual se procede a determinação do volume total do sistema pela equação 2.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ponderado isso, a condição inicial da Figura 1B (em que se nota a posição da gota d'água no canudo, na prática o mais próximo possível da ponta da seringa) já permite um primeiro dado, uma vez que o sistema está em equilíbrio térmico à temperatura ambiente, caso a água esteja nessa temperatura. Essa temperatura inicial indicada pelo termômetro corresponde ao respectivo volume inicial V_T a ser encontrado de acordo com o procedimento descrito nas equações 1 e 2. Para elevar paulatinamente a temperatura, sugere-se inserir uma pequena quantia de água próxima de 60 °C à água do recipiente, devendo-se então agitar a totalidade com o próprio termômetro para uniformizar a temperatura na averiguação da mesma, após cada equilíbrio térmico com o sistema. Logo, um novo dado ocorre acrescentando-se tal quantia de água mais quente no recipiente, para ligeiramente aumentar a temperatura do sistema (ar). Essa temperatura, determinada pelo termômetro, pode ser medida quando atingido o novo equilíbrio térmico. Em razão disso, a dilatação do sistema reposiciona a gota no interior do canudo, e um segundo volume do sistema com sua respectiva temperatura podem ser obtidos. Tal procedimento de coleta de dados se repete por adição paulatina de quantias de água cada vez mais quente para determinações de correspondentes temperaturas e volumes do sistema. Durante esse procedimento de acréscimo de água no recipiente para trocas de energia por calor com o sistema, fica a obviedade de se retirar um pouco da água do recipiente quando sua capacidade é atingida.

No tocante à lei dos gases ideais que se direciona ao comportamento do fenômeno físico observado desse sistema composto de ar atmosférico, tem-se a denominada Lei de Charles (Eisberg; Lerner, 1983, p. 381), que rege como o volume de uma massa fixa de gás varia com a temperatura absoluta sob pressão constante⁸, ou seja:

$$\frac{V_i}{T_i} = \frac{V_f}{T_f} = k \text{ (constante)} \quad (\text{Equação 3})$$

sendo $V \propto T$, e:

$$k = \frac{nR}{P} \quad (\text{Equação 4})$$

⁸ “Dizemos que a massa (do sistema) é constante porque o gás está aprisionado dentro do aparelho” (Eisberg; Lerner, 1983, p. 380). Neste caso, o ar atmosférico é composto de uma variedade de gases, e seu comportamento se aproxima do comportamento que se define de gás ideal, visto que os gases que o compõem “continuam a obedecer à lei de Charles” em razão de não haver liquefação ocorrida de qualquer um desses gases particulares dentro da faixa de temperatura empregada à situação experimental (Eisberg; Lerner, 1983, p. 380).

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

É preciso salientar que a natureza desse aparato experimental envolve um inescapável problema a ser contornado quando direcionado à corroboração da Lei de Charles, relacionado com a dilatação da seringa empregada⁹ por intermédio de qualquer análise de dados de aquecimento do sistema, e que semelhantemente ocorre por uma análise dos dados de resfriamento do sistema. A seringa de plástico é fabricada em polipropileno, material com coeficiente de dilatação volumétrica de $450 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Por considerar o volume inicial interno da seringa de 20 ml (ou $2,10^{-5} \text{ m}^3$, e que é o mesmo do sistema), a Tabela 1 apresenta resultados experimentais de um aquecimento com valores de volumes reais do sistema (valores com arredondamento de números), sendo admissível o emprego do discurso univocal¹⁰ em benefício da compreensão da flutuação experimental em torno de um valor considerado constante da razão V/T e que implica viabilizar a interpretação de transformações isobáricas ocorridas no sistema analisado¹¹. Isto, obviamente, quando se computa para cada variação de temperatura o correspondente volume dilatado da seringa ao volume total estimado pela Equação 2, ressaltando que esta equação aplica-se ao volume total por dilatação aparente do sistema.

Tabela 1 – Resultados de um aquecimento do sistema. A primeira coluna na esquerda refere-se à distância entre a gota d'água e a extremidade da seringa, para estimar o volume V_c ¹². A última coluna à direita apresenta os valores da razão V/T

Distância (m)	V_T (Volume aparente do sistema) (m^3)	Dilatação volumétrica da Seringa (m^3)	Volume real do sistema (m^3)	Temperatura (K)	Volume real (ml)/Temperatura (K)
0,017	$2,011 \cdot 10^{-5}$	0	$2,011 \cdot 10^{-5}$	300,0	$6,703 \cdot 10^{-8}$
0,033	$2,022 \cdot 10^{-5}$	$1,80 \cdot 10^{-8}$	$2,024 \cdot 10^{-5}$	302,0	$6,702 \cdot 10^{-8}$
0,060	$2,040 \cdot 10^{-5}$	$4,50 \cdot 10^{-8}$	$2,044 \cdot 10^{-5}$	305,0	$6,701 \cdot 10^{-8}$
0,090	$2,059 \cdot 10^{-5}$	$7,65 \cdot 10^{-8}$	$2,067 \cdot 10^{-5}$	308,5	$6,700 \cdot 10^{-8}$
0,121	$2,080 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-7}$	$2,091 \cdot 10^{-5}$	312,0	$6,702 \cdot 10^{-8}$
0,147	$2,097 \cdot 10^{-5}$	$1,35 \cdot 10^{-7}$	$2,111 \cdot 10^{-5}$	315,0	$6,694 \cdot 10^{-8}$
0,191	$2,126 \cdot 10^{-5}$	$1,75 \cdot 10^{-7}$	$2,144 \cdot 10^{-5}$	320,0	$6,700 \cdot 10^{-8}$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apresentada até aqui a atividade prática com os resultados experimentais que dela derivam, a próxima seção encarrega-se de caracterizar uma proposta de método investigativo a ser atrelado de modo estratégico, discutindo sua viabilidade de emprego pelo professor neste cenário em caráter de ensaio.

⁹ Para visualizar uma expressiva dilatação da seringa, experimente jogar direto sobre ela uma quantia de água quente e observar que a gota d'água no canudinho ligeiramente recua para a extremidade da seringa e, somente depois de a seringa quente então aquecer o ar interno (sistema), que a gota d'água segue o caminho inverso esperado pelo aquecimento do sistema, afastando-se agora da extremidade da seringa.

¹⁰ Estabelecido pelo professor, o discurso univocal é fundamentalmente transmissor, consolida e reforça significados ora realizados, sendo imprescindível que os códigos do receptor e do transmissor coincidam, e não pressupondo modificação e livre apropriação de palavras, mas demanda fidedignidade (Mortimer & Machado apud Laburú, 2003, p. 240).

¹¹ Uma etapa melhor discutida no método investigativo ensaiado em próxima seção.

¹² Pelo procedimento já dito, encontrou-se um valor aproximado de 0,066 ml por cm do canudinho de refresco específico indicado na Figura 1, então utilizado nesta atividade experimental e seguido com valor convertido em m^3 na Tabela 1.

METODOLOGIA INVESTIGATIVA PROPOSTA À LEI DE CHARLES

Esta proposta é abordada em duas subseções. A primeira subseção baliza os pressupostos epistemológicos, enquanto a segunda contextualiza a viabilidade dos procedimentos metodológicos estruturados e sugeridos como um guia para o professor na atividade experimental já descrita.

Pressupostos epistemológicos

De início, os direcionamentos aqui estabelecidos se justificam pela intenção de divergir das seguintes orientações pedagógicas: 1) A que considera a atividade experimental para ilustração da teoria, que parte de aulas teóricas com conteúdos transmitidos e recepção passiva, não priorizando questionamentos dos estudantes, para depois conduzidos à prática experimental com a finalidade de comprovar leis e teorias, então "inquestionáveis" (pois, tradicionalmente são, já de início, apresentadas com um sentido autoritário tanto pelo professor quanto pelo livro didático); 2) Outra que considera a atividade experimental apoiada em um modelo de aprendizagem que conduz o estudante a individualmente 'reconstruir' o conhecimento científico de maneira autônoma numa interação com o meio, cujo resultado cognitivo é fruto de um processo indutivo e que parte do senso comum. Tais fundamentos estratégicos são responsáveis por favorecer lições implícitas com tendências empírico-indutivistas, criticáveis no âmbito lógico e epistemológico, reproduzindo em sala de aula visões superadas do processo de construção do conhecimento, bem como do método científico, além de o professor não levar os alunos a problematizarem os conteúdos.

Assim sendo, discutir-se-á o ensaio de um método investigativo na presente proposta experimental como sugestão para aquele professor interessado em melhor adentrar o aprendiz nos processos da ciência, em que ao mesmo tempo no qual se promove a abstração do conteúdo conceitual, se objetiva desenvolver no aprendiz uma habilidade do "fazer ciência".

Em termos educacionais, cabe debater as atividades de laboratório no que diz respeito ao "método científico" (MC) empirista-indutivista, designado pelas siglas O.H.E.R.I.C. (Observação, Hipótese, Experiência, Resultados, Interpretação, Conclusão), e que correspondeu a uma das soluções na busca de uma resposta à "como ensinar os estudantes a 'fazerem ciência'" (Giordan, 1999). Decorrente disso, porém, há a crítica do MC empirista-indutivista se iniciar pela observação, com sua precedência em relação à teoria (Millar, 1991), visão esta epistemologicamente contestada à medida que as conclusões são compreendidas como justificadas por observações lógicas e imparciais e que, segundo Hodson (1998), implicam determinados mitos difundidos acerca da ciência e investigação científica, tais como: a observação fornece o acesso direto e garantido ao conhecimento; a ciência inicia com a observação; a ciência avança por indução; a experimentação é decisiva; a ciência abrange processos discretos e genéricos; a investigação científica corresponde a um algoritmo de procedimentos; a ciência constitui uma prática objetiva; todos os cientistas possuem tais atitudes anteriores. Logo, na consideração das perspectivas contemporâneas da Filosofia da Ciência, conclui-se por desconsiderar essa abordagem do "método científico" empirista-indutivista em sala de aula, substituído pela concepção estratégica na qual "ensinar a fazer ciência" torna-se razoável mediante "investigações", e que partem da resolução de problemas com três etapas: Questão, Hipótese e Experiência (Giordan, 1999).

A fim de se evitar uma interpretação indevida à de similaridade entre as etapas do MC e as características de uma "investigação", cabe esclarecer duas distinções: 1) No "método científico" empirista-indutivista tem-se uma concepção de observação objetiva que independe de uma teoria e quaisquer expectativas do observador, o que não ocorre no

conceito de investigação, pois a observação é dependente das ideias prévias de quem a realiza; 2) À vista disso, no MC não se pretende testar uma hipótese, uma vez que ela é creditada como oriunda da observação direta, mas apenas confirmá-la experimentalmente e que, por influência dessa observação, se valoriza a obtenção dos resultados esperados e menos a resolução do problema (Cachapuz *et al.*, 2000). Este aspecto difere no domínio da proposta de investigação, uma vez que os problemas exercem um papel fundamental no direcionamento do encaminhamento subsequente das outras etapas, como também para as hipóteses, compreendidas como condicionadas às teorias ou às noções prévias que o estudante tem acerca do mundo natural. Portando, detalhes tradicionais do MC podem constar numa “investigação”, mas seus significados são distintos.

De acordo com a viabilidade dessa completude das etapas de uma metodologia de investigação tendo em vista o fim pedagógico que está por detrás da mesma, cabe considerar a advertência de Laburú (2003) quanto a um provável fracasso de uma metodologia de investigação em atividades experimentais quantitativas que partem de problemas abertos e se limitada em discursos dialógicos sem realçar o importante papel do discurso univocal. A proposta aqui se vê amparada e subsidiada por tais recomendações no sentido de alterar o quadro que a literatura há tempos critica, acerca de muitos professores, descuidadamente mostrarem nesse contexto caricaturas do desenvolvimento da ciência como se ela iniciasse pela observação. Assim, o método investigativo em particular e a seguir ensaiado na presente atividade experimental em sala de aula pelo professor, ver-se-á discutido em coerência com a “visão epistemológica dominante na comunidade de educação científica nos últimos anos, que é a hipotética-dedutiva” (Gericke *et al.*, 2023, p. 248).

Orientações para a viabilidade da proposta

À medida que a estratégia discutida se configura em um método investigativo com o qual se parte de um problema genuíno posto pelo professor aos alunos, determinados esclarecimentos prévios para os alunos são necessários na etapa primária constituída pela máxima epistemológica de ser a “observação impregnada de teoria”¹³, pois uma conduta educacional deve favorecer/reforçar uma concepção epistemológica implícita de que as teorias científicas são construções que envolvem, na sua origem, aspectos como a imaginação, criatividade, intuição etc. Logo, uma afinidade com o sentido da frase “as teorias são nossas invenções, nossas ideias – não se impõem a nós” (Popper, 1972, p. 144), em que as etapas posteriores dependem do bom desenvolvimento desta etapa, seguidamente discutidas abaixo no intuito de se investigar a lei de Charles ($V/T = k$). Em síntese, as etapas deste método de investigação podem ser assim descritas: 1) “Apresentação do fenômeno”; 2) Expor um problema de investigação aos estudantes; 3) Levantamento de hipóteses; 4) Plano de trabalho; 5) Análise dos dados; 6) Conclusão.

Na etapa primária, nomeada de “Apresentação do fenômeno”, o professor necessita promover uma reflexão junto aos alunos para qualificar as variáveis examinadas, ou seja, o volume e a temperatura. De modo óbvio, cabe ao professor certificar-se de que os estudantes estejam instruídos com o conhecimento prévio apropriado, sendo na situação os conceitos físicos das variáveis volume e temperatura, bem como uma noção básica de erros experimentais (aleatórios e sistemáticos). Com isso, objetiva-se direcionar a atenção dos alunos para a expansão (ou na compressão do ar) mediante processo dialógico via questionamento e observação do que acontece com o volume do ar no interior da seringa quando se eleva a temperatura, uma ocasião benéfica para, inclusive, explicar e tirar dúvidas

¹³ Visto que “a hipótese empirista relativa ao quanto uma observação objetiva para a ciência está a nosso dispor tem sido duramente criticada pelos filósofos da ciência nas últimas décadas” (Chalmers, 1994, p. 61).

da experiência a ser realizada, além de mencionar algumas dicas experimentais. Por exemplo, após inserir um pouco de água quente no recipiente, agitar a totalidade de água por uns 20 segundos com o termômetro ali inserido para atingir o equilíbrio térmico, e só então coletar os dados de volume e temperatura do sistema (ar).

Ademais, no Ensino Médio, é previsto no currículo que os alunos já possuam uma compreensão matemática da álgebra elementar para a manipulação de equações, uma habilidade importante nesta etapa. O professor deve estar ciente disto, e caso avalie que a colocação do problema da próxima etapa possa não alcançar um significado claro para os estudantes, permanecem válidas as tentativas para esclarecer com exemplos as expressões físicas que eles então estudaram, caso este da lei de Hooke (visto em Mecânica) que é análoga à situação tratada. Nesta etapa ainda, é sensato chamar a atenção para relações entre grandezas diretamente e inversamente proporcionais, pois isso auxilia para que os estudantes aprendam os conceitos de “(a ideia) matemática de função, de fórmula, de equação, que deveria presumir um vínculo entre variáveis que, ao ser aplicada à realidade, expressaria uma lei física, ou seja, uma necessária regularidade de um fenômeno natural” (Laburú, 2003, p. 25).

Asseguradas as discussões anteriores na sala de aula, parte-se para a segunda etapa onde se apresenta o problema de investigação aos estudantes com certo nível de dificuldade: Qual a relação (equação, fórmula, lei, função etc) entre o volume (V) e a temperatura (T) do sistema, que é o ar aprisionado na seringa? Vale destacar a importância de se encontrar esclarecido o termo “relação” do problema, considerando que sua incompreensão cria um grande obstáculo a ser superado para a etapa posterior que se refere ao levantamento de hipóteses (Laburú, 2003). Ademais, colocado esse problema, o professor precisa conscientizar os alunos do objetivo na atividade prática, que é o de se descobrir o valor de uma constante experimental. Para subsidiar isso, é possível resgatar situações anteriores estudadas pelos alunos no laboratório, em que outras expressões físicas usadas foram necessárias para encontrar valores constantes, como, por exemplo, o caso típico e mais instrutivo da expressão que obtém um valor constante da velocidade de um corpo em movimento retilíneo uniforme.

No que diz respeito à terceira etapa, que trata do levantamento de hipóteses, o objetivo é promover um distanciamento da abordagem presa à postura empirista/indutivista em direção à postura racionalista segundo a qual “abordamos tudo à luz de uma teoria preconcebida” (Popper, 1970, p. 64). Assim, fica o compromisso do professor de encaminhar aos alunos a orientação implícita de ser o intelecto o responsável por estabelecer o alcance das ideias e que estas não são “prima face” óbvias por meio dos sentidos. A fim de garantir esse norteamento, o professor pode balizar-se pelo discurso univocal e explicitar o direcionamento do raciocínio, lançando junto à primeira hipótese (Equação 3) uma segunda hipótese de contraexemplo para teste, tal como¹⁴:

$$\frac{V^2}{T} = k \quad (\text{Equação 5})$$

Aliás, esse procedimento univocal caracteriza aquilo objetivado para se investigar empiricamente, favorecendo a elaboração de outras pelos alunos, que, por similaridade, poderia ser, entre outras, do tipo presente na Equação 6, e assim por diante.

$$\frac{V}{T^2} = k \quad (\text{Equação 6})$$

¹⁴ Por sensatez, uma das hipóteses alternativas sugeridas pelo professor é a própria lei de Charles a ser corroborada experimentalmente, sendo k uma constante. Valendo-se lembrar nesta altura que esclarecimentos já foram feitos sobre o que é uma variável e o que é uma constante.

Aqui também é uma oportunidade para tentar “extrair” outras equações dos alunos via dialogicidade, confirmar novamente se eles entenderam a palavra “relação” da pergunta, bem como se aprenderam o que significa fazer uma hipótese. Em termos pragmáticos, sugere-se que o professor use a estratégia de ensino para elencar as hipóteses matemáticas como possíveis leis da física a serem elaboradas, e decidir começar pela mais simples, selecionando dentre elas para testar. Todavia, possíveis hipóteses dos alunos, do tipo presente nas Equações 7 e 8, conforme Laburú (2003), mostram ainda problemas de compreensão e que precisam ser superados mediante discurso univocal¹⁵. Esses esclarecimentos são importantes inclusive para subsidiar a compreensão da etapa de elaboração de hipóteses como pertencentes à natureza do “possível”, uma vez que esta se encontra associada com a formação e construção do pensamento baseado nas possibilidades (Piaget, 1987) e que está relacionado com uma mudança conceitual do paradigma Pontual para o de Conjunto (Buffer *et al.*, 2001; Laburú; Barros, 2009).

$$V + T = k \quad (\text{Equação 7}) \quad \text{ou} \quad V \cdot T = k \quad (\text{Equação 8})$$

Assim, o plano de trabalho faz-se necessário considerar, na quarta etapa, a situação em que o professor orienta a atenção dos alunos para o caso das tarefas experimentais quantitativas via método de investigação, com a recomendação de iniciar essa etapa pela pergunta do tipo “O que devo fazer na prática para testar a primeira hipótese?”. A resposta desejada vai à direção de se tentar superar as dificuldades dos alunos com os procedimentos de coleta de dados, relativos aos respectivos valores de volume e temperatura do sistema. As primeiras tomadas de dados e a relação V/T podem até mesmo ter uma atuação mais pormenorizada do professor, no sentido de ele mesmo realizar medidas e a relação entre as variáveis como exemplificação. Isto subsidia os alunos a procederem com a realização de novas medidas, havendo oportunidade de eles sanarem dúvidas que até então não conseguiram ser dirimidas.

É aconselhável o professor orientar os alunos na elaboração da Tabela 1, e solicitar a inserção de mais duas colunas para efeitos analíticos referentes às outras duas hipóteses, cujos resultados a serem obtidos podem se assemelhar aos indicados na Tabela 2 para as possíveis outras hipóteses em comparação com a mais simples primeiramente colocada, desejável no final. Vale dizer que, durante a aula, o professor é capaz de aproveitar os dados de um grupo de alunos para exibir os típicos resultados numa tabela construída no quadro negro para reflexão geral com a turma.

Tabela 2 – Resultados para as três hipóteses em aproveitamento dos respectivos dados de volume real (m^3) e temperatura do sistema (K), indicados na Tabela 1

V/T	V^2/T	V/T^2
$6,703 \cdot 10^{-8}$	$1,348 \cdot 10^{-12}$	$2,234 \cdot 10^{-10}$
$6,702 \cdot 10^{-8}$	$1,356 \cdot 10^{-12}$	$2,219 \cdot 10^{-10}$
$6,701 \cdot 10^{-8}$	$1,367 \cdot 10^{-12}$	$2,197 \cdot 10^{-10}$
$6,700 \cdot 10^{-8}$	$1,385 \cdot 10^{-12}$	$2,172 \cdot 10^{-10}$
$6,702 \cdot 10^{-8}$	$1,401 \cdot 10^{-12}$	$2,148 \cdot 10^{-10}$
$6,694 \cdot 10^{-8}$	$1,413 \cdot 10^{-12}$	$2,126 \cdot 10^{-10}$
$6,700 \cdot 10^{-8}$	$1,436 \cdot 10^{-12}$	$2,094 \cdot 10^{-10}$

Fonte: Elaborado pelos autores.

¹⁵ Além de outras hipóteses repetidas, manifestadas em formatos como: $\frac{V}{k} = T$ (Equação 3) ou $\frac{V^2}{k} = T$ (Equação 5)

Por fim, as reflexões, então, caminham para a quinta etapa e que trata da análise dos dados. No Ensino Médio, Laburú (2003, p. 249) adverte não ser incomum que os alunos apresentem dificuldades para interpretar se a razão V/T é ou não constante, frente a um conjunto de dados que não são numericamente idênticos, sendo admissível neste momento o emprego do discurso univocal em benefício da compreensão de flutuação experimental em torno de um valor considerado constante (em que se atrelam comentários de erros experimentais cabíveis e inerentes à situação). De acordo com Lubben e Millar (1996), tal instrução vê-se justificada à medida que a ideia de flutuação em torno de um valor médio é de difícil compreensão para os estudantes. Para eles superarem a noção equivocada de paradigma Pontual (para o paradigma de Conjunto), em que cada medida é independente de outra, sendo elas únicas, sem entender a razão da necessidade de tirar a média dos resultados e, assim, precisando ser combinadas em um único valor então mais representativo do valor verdadeiro em relação a cada dado individual (Buffer *et al.*, 2001; Allie *et al.*, 2001). Procede desse raciocínio uma comparação que ocorre com os dados das outras duas hipóteses da Tabela 2. É possível notar que as hipóteses lançadas nas duas últimas colunas apresentam valores sistematicamente crescentes ou decrescentes em comparação com os valores flutuantes em torno de um valor da melhor hipótese da primeira coluna. Portanto, nesta situação comparativa de dados, a incumbência do professor está em direcionar a atenção dos alunos para o fato de que nas duas últimas hipóteses não há um número médio que possa ser extraído, já que os valores aumentam ou diminuem em contraste com a flutuação em torno de um valor da primeira coluna.

Remete-se, por fim, à sexta etapa que é da conclusão. Aqui cabe, o julgamento coerente dos dados experimentais, com a equação 3 ($V/T=k$) como resposta da investigação delineada. Todavia, em ocasiões indesejadas de o professor deparar-se com resultados contraproducentes de grupos de alunos, no sentido de medidas não caracterizando uma flutuação de valores devido a problemas experimentais, sugere Laburú (2003, p. 205) ser "didaticamente positivo, na medida em que os alunos concluam autonomamente, a partir dos dados, que a hipótese testada (também) foi invalidada". Ou seja, para Laburú (2003, p. 205), "é possível avançar nessa conclusão, incitando um debate sobre as possíveis razões desses resultados negativos, divergentes dos encontrados pela maioria dos grupos". Razões para este último caso podem envolver desde uma simples confusão na observação/anotação do valor de uma temperatura ou volume, cálculos errados, vazamentos etc. Enfim, todas as condutas de discurso univocal pelo professor, defendidas como imprescindíveis ao intento pragmático de uma mediação investigativa, perante as adversidades aqui contextualizadas da situação de sala de aula real de acompanhamento dos alunos por meio de uma prática experimental de laboratório, constituem-se um subsídio para aqueles alunos que anseiam por uma intervenção direta em resposta quanto ao problema traçado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente atividade experimental de fácil realização e de baixo custo apresenta resultados convincentes para o estudo das transformações isobáricas, uma vez que considere a dilatação aparente para estimar a dilatação real do sistema. Junto a isso, a proposta oferecida e discutida constitui-se de um material de apoio para corroborar a Lei de Charles. Tal proposta é indicada para o professor como estratégia pedagógica com sustentação epistemológica de inclinação popperiana, cujas etapas se diferenciam daquelas do MC (O.H.E.R.I.C.), empirista-indutivista, muitas vezes criticado na literatura da área de ensino de ciências. Como se tentou mostrar, a diferença entre elas está em favorecer uma lição implícita de que a ciência inicia-se com um problema e não pela observação, que, por

sua vez, encontra-se impregnada de teoria. Isto em atenção que o professor deve manter quanto ao fato de a concepção dos alunos sobre a natureza da ciência ser influenciada pelos professores e pelo ambiente didático da sala de aula, uma influência que vagarosamente interfere na mente dos estudantes por assimilação não consciente (Whitaker, 1979).

Portanto, as etapas do método investigativo descrito vão ao encontro de uma lição implícita, mas que enfatiza a importância do intelecto em estabelecer o alcance das ideias e que elas não são de primeiro óbvias através dos sentidos. São, sim, geradas por hipóteses criativas condicionadas às teorias ou ideias que o aprendiz detém, apoiando-se no seguinte entendimento: quando alguma hipótese é falseada, tem-se "a urgência de substituí-la por outra melhor" e, nessa visão, "na maioria dos casos, antes de falsear uma hipótese, dispõe-se de outra, pois o experimento falseador é, normalmente, um experimento crucial, destinado a decidir entre as duas" (Popper, 1972, p. 92).

REFERÊNCIAS

ALLIE, S.; BUFFLER, A.; LOVENESS, K.; CAMPBELL, B.; LUBBEN, F. First year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 4, p. 447-459, 1998. DOI:10.1080/0950069980200405.

BUFFLER, A., ALLIE, S., LUBBEN, F. CAMPBELL, B. The development of first year physics student's ideas about measurement in terms of point and set paradigms, **International Journal of Science Education**. v. 23, n. 11, p. 1137-1156, 2001. DOI:10.1080/09500690110039567.

CACHAPUZ, A.F. *et al.* Perspectivas de ensino de ciências. In Cachapuz A. F. (Org.). **Perspectivas de ensino**. Porto: Centro de Estudos de Educação em Ciência, 2000.

CHALMERS, A.F. **A Fabricação da Ciência**. Editora Unesp: São Paulo, 1994.

CHINELLI, M.V.; FERREIRA, M.V. S.; AGUIAR, L.E.V. Epistemologia em sala de aula: a natureza da ciência e da atividade científica na prática profissional de professores de ciências. **Ciência & Educação**. v. 16, n. 1, p. 17-35, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132010000100002>.

DELIZOICOV D. Editorial – Sobre a produção do conhecimento científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 182-183, dez, 1996. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7050/6526>. Acesso: 13 de abril de 2024.

EISBERG, R.M.; LERNER, L.S. **Física – Fundamentos e aplicações**. Volume II. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

GERICKE, N.; HÖGSTRÖM, P.; WALLIN, J. A systematic review of research on laboratory work in secondary school, **Studies in Science Education**, v. 59, n. 2, p. 245-285, 2023. DOI: 10.1080/03057267.2022.2090125.

GIORDAN, A. (1999). **Une didactique pour les sciences expérimentales**. Paris: Éditions Belin, 1999.

HIGA, I.; OLIVEIRA, O.B. A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos. **Educar em Revista**, v. 44, p. 75-92, abr/jun, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-40602012000200006>.

HODSON, D. Is this really what scientists do? Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. In Wellington, J. (Ed.). **Practical work in school science: Which way now?** Londres: Routledge, p. 93-108, 1998.

LABURÚ, C.E. Problemas abertos e seus problemas no laboratório de Física: uma alternativa dialética que passa pelo discurso multivocal e univocal. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 8, n. 3, p. 231-256, 2003. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/540/335>. Acesso: 13 de abril de 2024.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A. Problemas com a compreensão de estudantes em Medição: razões para a formação do Paradigma Pontual. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 151-162., 2009. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/353>. Acesso: 13 de abril de 2023.

LAKATOS, I. **The methodology of scientific research programmes**. Philosophical Papers, v. 1. Cambridge University Press: Cambridge, 1978.

LÔBO, S. F. O trabalho experimental no ensino de Química. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 430-434, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000200035>.

LUBBEN, F.; MILLAR, R. Children's ideas about the reliability of experimental data. **International Journal of Science Education**, v. 18, n. 8, 955-968, 1996. <https://doi.org/10.1080/0950069960180807>.

MARQUES, N.L.R.; ARAÚJO, I.S. Investindo na formação de professores de ciências do ensino fundamental: uma experiência em física térmica. **Experiências em Ensino de Ciências**. v. 5, n. 3, p. 131-152, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/241031>. Acesso: 13 de abril de 2024.

MATTHEWS, M.R. **Science Teaching – The role of history and philosophy os science**. Philosophy of education research library: Great Britain, 1994.

MILLAR, R. A means to na end: The role of processes in science education. In Woolnough, B. (Ed.). **Practical science**. Milton Keynes: Open University, p. 44-52, 1991.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. Interfaces entre visões epistemológicas e ensino de ciências. **Ensino, Saúde e Ambiente**. v. 9, n. 1, p. 1-32, Abril, 2016. DOI:10.22409/resa2016.v9i1.a21213.

NIAZ, M. Más allá del positivismo: una interpretación lakatosiana de la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las ciencias**, v. 12, n. 1, p. 97-100, 1994. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4490>.

PEREIRA, A.I.; AMADOR, F. A história da ciência em manuais escolares de ciências da natureza. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 1, 2007. Disponível em: extension://ibjllhemkfgfbkgohldepcdgiigpdkb/pdfjs/web/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fr

eec.uvigo.es%2Fvolumenes%2Fvolumen06%2FART12_Vol6_N1.pdf. Acesso: 13 de abril de 2024.

PIAGET, J. O possível, o impossível e o necessário. In: Luci Banks Leite (org.) e Ana Augusta de Medeiros (colab.). **Piaget e a escola de genebra**. Cortez Editora: São Paulo, 1987.

PIRES, D.P.; AFONSO, J.C.; CHAVES, F.A.B. Do termoscópio ao termômetro digital: quatro séculos de termometria. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1393-1400, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/jRkCYG7MRtXyzWTyRkcbKj/>. Acesso: 13 de abril de 2024.

PONCZEK, R.L. Pode a Física ser um bom árbitro para questões epistemológicas? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 295-313, ago, 2009. DOI:10.5007/2175-7941.2009v26n2p295.

POPPER, K.R. **A Lógica da Pesquisa Científica**. Editora Cultrix: São Paulo, 1972.

POPPER, K.R. A ciência normal e seus perigos. In Lakatos e Musgrave (Eds.): **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**, 63-71. Cultrix/EDUSP, São Paulo, 1970.

SILVA, O.H.M.; LABURÚ, C.E. Implicações epistemológicas da aplicação de um método investigativo em aula experimental no ensino médio. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 11, n. 1, p. 31-19, 2016.

SILVA, O.H.M.; LABURÚ, C.E.; CAMARGO, S.; CHRISTOFALO, A.A.C. Epistemological Contributions Derived from an Investigative Method in an Experimental Class in the Study of Hooke's Law. **Revista Acta Scientiae**, v. 21, p. 110-127, 2019. <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.v21iss2id4695>.

SILVEIRA, F.L.; OSTERMANN, F.A insustentabilidade da proposta indutivista de "descobrir a lei a partir de resultados experimentais". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, número especial, p. 7-27, jun, 2002. Disponível em: [extension://ibjjllhemkfgfbkgohldepcdgiigpdkb/pdfjs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fwww.if.ufrgs.br%2F~lang%2FTextos%2FINDUTIVISMO_INSUSTENTAVEL.pdf](https://www.if.ufrgs.br/~lang%2FTextos%2FINDUTIVISMO_INSUSTENTAVEL.pdf). Acesso: 13 de abril de 2024.

VÁSQUEZ, Á.; MASSARENO, M.A. Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes. **Enseñanza de las Ciencias**, 17 (3): p. 377 - 395, 1999. Disponível em: [extension://ibjjllhemkfgfbkgohldepcdgiigpdkb/pdfjs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fddd.uab.cat%2Fpub%2Fedlc%2F02124521v17n3%2F02124521v17n3p377.pdf](https://www.uab.cat/pub%2Fedlc%2F02124521v17n3%2F02124521v17n3p377.pdf). Acesso: 13 de abril de 2024.

WHITAKER, M.A.B. 'History and Quase-history in Physics Education, Pt I'. **Physics Education**. V. 14, p. 108-112, 1979. DOI10.1088/0031-9120/14/2/009.