

A História da Ciência como elo entre Ensino de Física e Sociedade: Reflexões a partir da Primeira Revolução Industrial

The History of Science as a link between physics teaching and society: reflections from the First Industrial Revolution

La historia de la ciencia como vínculo entre la enseñanza de la física y la sociedad: reflexiones a partir de la Primera Revolución Industrial

Romeu Bertoldo

Universidade do Estado do Rio de Janeiro [UERJ], Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

 <http://orcid.org/0009-0009-3633-8402>

José Claudio Reis

Universidade do Estado do Rio de Janeiro [UERJ], Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0001-6949-465X>

E-mail de correspondência: bertoldo.fis2@gmail.com

Recebido em: 04 maio 2025 • Aceito em: 14 out 2025 • Publicado em: 03 nov 2025

DOI: 10.12957/impacto.2025.91605

Resumo

Este artigo apresenta uma análise histórica do desenvolvimento das máquinas térmicas como caminho para construção de um ensino de física mais complexo e contextualizado. Buscando a construção de pensamento crítico para superar visões ingênuas e descontextualizadas da ciência, tratada, normalmente como um corpo de verdades prontas, produzidas por figuras idealizadas e isoladas da sociedade, os cientistas. Propõe-se a inserção da História da Ciência (HC) como ferramenta didática capaz de tentar desconstruir essa visão, revelando a





natureza dinâmica, social e controversa de como a ciência se estrutura no espaço e no tempo. Como estudo de caso, é analisado o contexto da Primeira Revolução Industrial na Inglaterra e o desenvolvimento da máquina a vapor, destacando o papel coletivo e social na consolidação da termodinâmica. Por fim, conclui-se que a inserção da HC ao ensino de Física pode humanizar o conhecimento científico e favorecer uma aprendizagem mais crítica.

Palavras-chave: Ensino de Física. História da Ciência. Máquina a vapor. Primeira Revolução Industrial.

Abstract

This article presents a historical analysis of the development of heat engines as a path toward building a more complex and contextualized physics education. It seeks to develop critical thinking to overcome naive and decontextualized views of science, typically treated as a body of ready-made truths produced by idealized figures isolated from society: scientists. The article proposes the inclusion of the History of Science (HC) as a teaching tool capable of deconstructing this view, revealing the dynamic, social, and controversial nature of how science is structured in space and time. As a case study, the context of the First Industrial Revolution in England and the development of the steam engine are analyzed, highlighting the collective and social role in the consolidation of thermodynamics. Finally, the article concludes that the inclusion of HC in physics education can humanize scientific knowledge and foster more critical learning.

Keywords: Physics Teaching. History of Science. Steam engine. First Industrial Revolution.

Resumen

Este artículo presenta un análisis histórico del desarrollo de las máquinas térmicas como vía para construir una educación en física más compleja y contextualizada. Busca desarrollar el pensamiento crítico para superar visiones ingenuas y descontextualizadas de la ciencia, típicamente tratadas como un cuerpo de verdades prefabricadas producidas por figuras idealizadas aisladas de la sociedad: los científicos. El artículo propone la inclusión de la Historia de la Ciencia (HC) como una herramienta didáctica capaz de deconstruir esta visión, revelando la naturaleza dinámica, social y controversial de cómo la ciencia se estructura en el espacio y el tiempo. Como estudio de caso, se analiza el contexto de la Primera Revolución Industrial en Inglaterra y el desarrollo de la máquina de vapor, destacando el rol colectivo y social en la consolidación de la termodinámica. Finalmente, el artículo concluye que la inclusión de la HC en la educación en física puede humanizar el conocimiento científico y fomentar un aprendizaje más crítico.

Palabras-clave: Enseñanza de la Física. Historia de la Ciencia. Máquina de vapor. Primera Revolución Industrial.



INTRODUÇÃO

O ensino de física tem sido marcado por um forte formalismo matemático e conceitual, pouca importância tem sido dada a uma discussão histórica e contextual sobre a construção do conhecimento científico. O presente artigo pretende trazer uma análise histórica para o desenvolvimento das máquinas térmicas e, conseqüentemente, o estudo da termodinâmica. Nosso objetivo é contribuir para o entendimento da importância de uma abordagem histórica para o ensino de física. (Matthews, 1995; Monteiro e Guerra, 2018)

Nesse sentido, com o objetivo de tornar o ensino de Física mais relevante do ponto de vista de uma reflexão sobre os impactos do desenvolvimento da ciência à luz do contexto histórico, este artigo busca destacar o papel fundamental que a História da Ciência pode desempenhar no processo de aprendizagem. Pretende-se, com isso, desconstruir a visão ingênua que muitos alunos têm sobre a construção do conhecimento científico. É comum que os estudantes enxerguem a ciência como um produto acabado e imutável, fruto do trabalho quase divino de cientistas isolados em seus laboratórios — figuras que, por essa lógica, confeririam à ciência uma confiabilidade absoluta e incontestável. Além disso, há um desconhecimento sobre os diversos atores sociais que contribuíram para esse desenvolvimento. Esse apagamento reforça a ideia equivocada de que a ciência avança graças ao esforço de uma única figura, frequentemente retratada como branca e masculina.

Para alcançar o objetivo proposto — mostrar que a ciência não se desenvolve de forma isolada dos acontecimentos sociais, que os erros muitas vezes pavimentam o caminho para os acertos, e que o confronto de ideias é essencial para o seu desenvolvimento — inicialmente é apresentada a conjuntura da Inglaterra durante a Primeira Revolução Industrial (Hobsbawm, 1981). Esse contexto é utilizado justamente para reforçar a ideia aqui defendida de que a participação da sociedade é importante no desenvolvimento da ciência. O surgimento da máquina a vapor é um dos muitos casos que exemplificam o caráter dinâmico e colaborativo que fundamenta a própria construção da ciência, mais especificamente, nesse caso, o desenvolvimento da termodinâmica.

Ao final, são exploradas as perspectivas de alguns autores que sustentam a proposta aqui defendida: a de que a História da Ciência pode enriquecer significativamente o ensino de Física, conferindo-lhe um caráter mais humano, marcada por erros e pela constante busca por soluções mais eficazes (Reis, Catarino, Carvalho, 2025).



A INGLATERRA DO SÉCULO XVIII E A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Para Fernandes (1981), o termo “revolução” é empregado para “designar mudanças drásticas e violentas da estrutura da sociedade” (Fernandes, 1981, p. 2), demarcando as diferenças de um processo que ocorre gradualmente daquele que altera radicalmente a estrutura social de um povo. Para a Inglaterra, durante o século XVIII, ainda que não houvesse repercutido de forma nítida, é bastante compreensível que essa parte da sua história seja caracterizada como revolução, já que nesse período ocorreram transformações fundamentais e qualitativas da sociedade inglesa (Hobsbawm, 1981; Lima; Neto, 2017). Segundo Hobsbawm (1981) e Mathias (1969), a própria expressão “Revolução Industrial” foi criada por volta de 1820, na França, mas já existia na prática na Inglaterra, mesmo que reconhecida por outros nomes.

Esse processo tem início em algum momento entre as décadas de 1740 e 1780. Ainda que as mudanças na Inglaterra não tenham ocorrido de forma acelerada, quando observadas sob uma perspectiva histórica, percebe-se que o século XVIII foi palco de transformações significativas. Novas dinâmicas emergiram, modificando profundamente a estrutura econômica inglesa, até então caracterizada por traços medievais. Em relação a outros países, é considerado o primeiro processo de industrialização de que se tem registro, na história (Mathias, 1969).

No final do século XVIII, a Europa ainda era majoritariamente rural e mal conectada. A geografia do continente era pouco conhecida, e as informações vinham sobretudo de caçadores e comerciantes que percorriam rios e montanhas. Apesar da área relativamente pequena, a escassa comunicação entre as regiões criava a impressão de um território maior. Sem jornais, as notícias circulavam lentamente por meio de viajantes e mercadores, e o transporte caro e ineficiente reforçava esse isolamento. As cidades dependiam da produção agrícola, e a concentração fundiária favorecia o surgimento de empresários rurais (Hobsbawm, 1981). Assim, vale destacar alguns fatores que possibilitaram à Inglaterra assumir a liderança durante o processo de industrialização.

A posição geográfica da Grã-Bretanha, com acesso ao Atlântico, portos abundantes e rios navegáveis, favoreceu a navegação, o mercado interno e o crescimento da indústria carbonífera (Henderson e Braga, 1969). Esse contexto, aliado ao imperialismo britânico, impulsionou o crescimento urbano e populacional, criando condições para avanços na agricultura (Allen, 2011). Ao mesmo tempo, a expansão do transporte marítimo aumentou os lucros europeus, seja pelo saque nas Índias Orientais, seja pelo comércio de africanos escravizados (Hobsbawm, 1981).



A escravização foi central para o crescimento econômico inglês, ao fornecer mão de obra barata que impulsionou a manufatura, a navegação e o setor financeiro. Com o tempo, no entanto, esse modelo passou a ser visto como ineficiente, já que trabalhadores livres, motivados por salários e liberdade, produziam mais. Argumentos econômicos, somados a pressões religiosas, especialmente em um país de tradição cristã, contribuíram para a abolição. A expectativa era que o fim da escravidão ampliaria a oferta de mão de obra livre para as indústrias em expansão (Siqueira, 2018).

A transição da agricultura de subsistência para a agricultura comercial também é tida como um dos principais fatores que permitiram à Inglaterra liderar o processo de industrialização. A implementação da Lei dos Cercamentos de Terras, que determinava a conversão das propriedades camponesas em pastagens, tinha como objetivo atender à crescente demanda do mercado de lã. Essa medida desencadeou um intenso movimento migratório das zonas rurais para os centros urbanos (Silva; Errobidart, 2019).

De acordo com Mathias (1969), o êxodo rural foi amplamente impulsionado pela estrutura com a qual essas regiões se organizavam: os trabalhadores que não conseguiam se empregar no campo eram forçados a buscar oportunidades nas cidades, especialmente nas áreas portuárias e nas minas de carvão, onde a demanda por mão de obra era crescente. Outro fator que reforça essa premissa é a substituição das especiarias importadas pela Coroa Britânica por produtos industrializados, marcando a transição do capitalismo comercial para o capitalismo industrial. Esse processo foi acompanhado pela instalação de diversas indústrias em diferentes regiões da Inglaterra. Com o crescimento urbano, intensificou-se a demanda por mão de obra nas minas de carvão, impulsionando os interesses da burguesia emergente. (Braga; Guerra; Reis, 2005; Lima; Neto, 2017; Henderson, 1969).

Nesse cenário, o carvão passou a assumir um papel central na economia britânica. Antes da Revolução Industrial, a principal fonte de energia era a força animal, amplamente empregada no transporte de cargas e também como alimento (Cipolla, 1977). Com o avanço industrial, a energia gerada pelo esforço humano e animal foi gradualmente substituída por fontes mais eficientes, como a energia química proveniente da queima do carvão e a energia hidráulica das quedas d'água (Dathein, 2003; Lima; Neto, 2017; Henderson, 1969). De acordo com Cipolla (1977), a manufatura têxtil foi uma das áreas mais impactadas pelo uso dos moinhos de água.



SURGIMENTO DA MÁQUINA A VAPOR

Com a introdução de uma nova fonte de energia — o calor gerado pela combustão do carvão, diversas máquinas movidas por esse tipo de combustível foram desenvolvidas entre 1700 e 1850. A ampla adoção dessa tecnologia pela Grã-Bretanha possibilitou a transição do modelo de produção artesanal, baseado em oficinas, para o sistema fabril (Henderson, 1969).

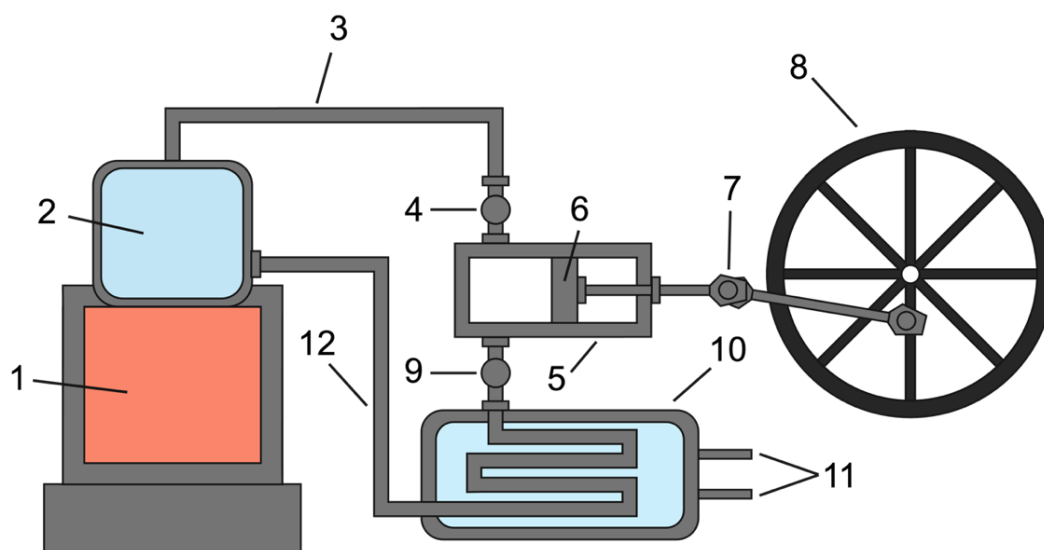
Um aspecto marcante do século XVIII, na Inglaterra, foi o aumento do desmatamento das florestas, pois a demanda por carvão vegetal na produção de metal gerou uma necessidade crescente de madeira a ser consumida. Em resposta a esse problema, a utilização do carvão mineral surgiu como uma alternativa conveniente (Braga; Guerra; Reis, 2005; Pádua, 2008; Silva; Errobidart, 2019; Dathein, 2003; Henderson, 1969). Convém destacar que o fato de a Grã-Bretanha possuir minas de carvão distribuídas por toda a ilha nas proximidades dos rios navegáveis foi importante para o sucesso britânico (Allen, 2011; Mathias, 1969).

Esse cenário evidencia o crescimento da demanda por carvão mineral. Como consequência, as perfurações nas minas passaram a se tornar mais profundas para atender a essa necessidade, cada vez maior. No entanto, esse processo frequentemente resultava no alagamento das minas, uma vez que a extração ultrapassava o nível do mar e atingia os lençóis freáticos. Para contornar esse desafio, os setores da economia inglesa passaram a investir intensamente na criação de dispositivos capazes de reduzir ou eliminar a inundação nas áreas de mineração (Pádua, 2008; Silva; Errobidart, 2019; Dathein, 2003).

É nesse contexto que surgem as máquinas a vapor, concebidas para realizar tarefas anteriormente executadas por força humana ou animal. A necessidade de drenagem das minas motivou a criação desses equipamentos, cuja função era bombear para fora a água acumulada no interior desses espaços. Do ponto de vista físico, esses dispositivos são classificados como máquinas térmicas. Representada na Figura 1, uma máquina térmica é qualquer sistema capaz de converter calor — proveniente da combustão — em trabalho mecânico, como o movimento de pistões e engrenagens.



Figura 1
Representação dos componentes de uma máquina a vapor



Fonte: Compilação do autor (2024)¹

O recipiente identificado como (1), denominado fornalha, é o local onde ocorre a queima do combustível. Nesse processo, a energia térmica liberada é transferida para a água armazenada na caldeira (2). Ao atingir a temperatura de ebulição, a água começa a se transformar em vapor sob alta pressão, que é então direcionado por tubos (3) até o cilindro (5).

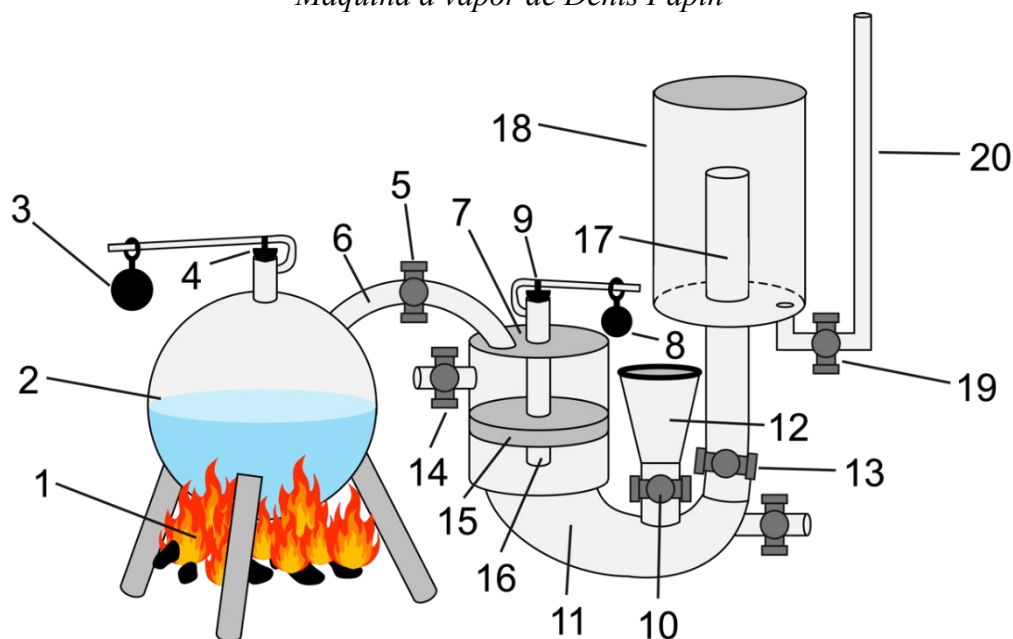
A quantidade de vapor que entra nesse recipiente é ajustada pela válvula de entrada (4). Após ser inserido nesse cilindro, o vapor quente desloca um pistão (6) que transmite o movimento à roda (8) por meio de engrenagens (7) conectadas a ele. Em seguida, ao completar uma volta, a roda torna a empurrar o pistão, comprimindo o vapor quente dentro do cilindro. Nesse momento, uma válvula de escape (9) é aberta e o fluido é redirecionado para um condensador (10). Tubos (11) conectados a esse recipiente permitem a troca de água quente, que retira calor do vapor a alta pressão, por água fria que entra pela tubulação.

No final da década de 1680, o físico e inventor francês Denis Papin (1647–1713) desenvolveu um modelo de máquina térmica, ilustrado na Figura 2. O funcionamento desse dispositivo baseava-se também na queima de combustível na fornalha (1), cujo calor era transferido para a água contida na caldeira (2).

¹ Adaptação da imagem de uma máquina térmica retirada de <https://elcalor.wordpress.com>. Acesso em: 08 de junho de 2024.



Figura 2
Máquina a vapor de Denis Papin



Fonte: Compilação do autor (2024)²

O vapor gerado era então conduzido ao cilindro (7) por meio da abertura da válvula de entrada (5) e direcionado pelo tubo indicado por (6). Um contrapeso (3) era utilizado para vedar o orifício (4), regulando a pressão interna do sistema e, assim, evitando possíveis explosões. A alimentação de água ocorria com a introdução de líquido pelo funil (12), mediante a abertura da válvula (10), o que permitia o preenchimento do tubo (11). Com a válvula (13) aberta e a válvula (14) fechada, o pistão (15), com a ajuda da haste vertical (16), impulsionava a água em direção ao cilindro (18) através de um tubo (17). Durante todo o processo, a válvula (19) permanecia fechada, permitindo o aumento da pressão no interior do cilindro. Ao ser aberta, a força do ar comprimido no recipiente impulsionava o líquido para fora do sistema por meio do tubo indicado por 20.

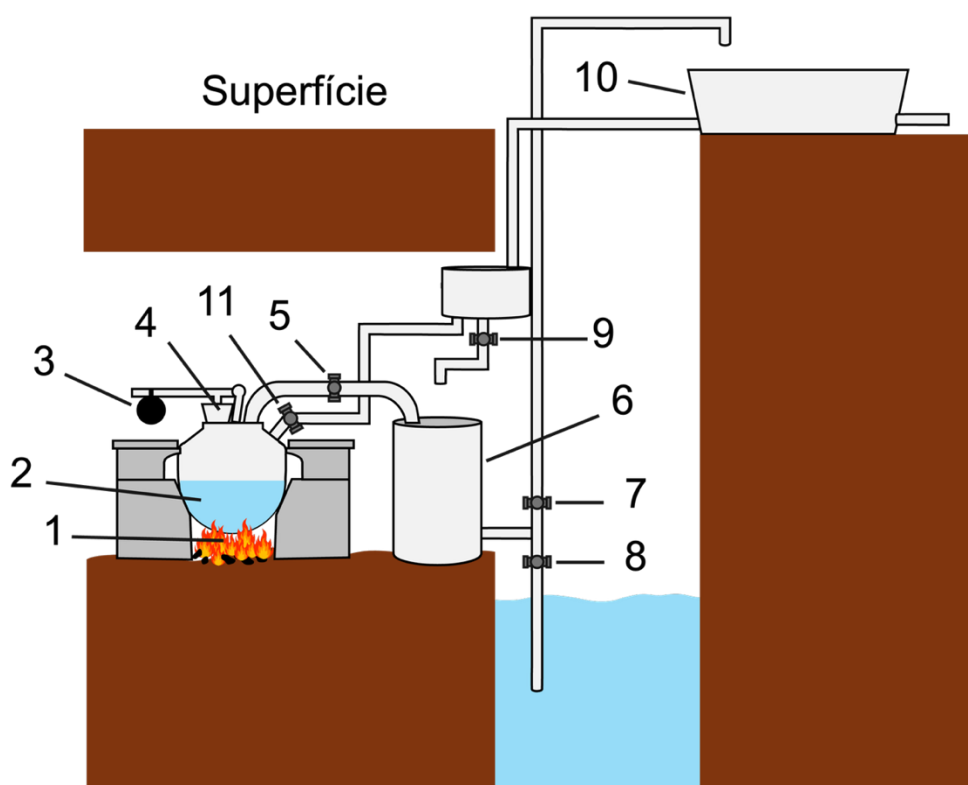
Embora operasse sob altas pressões, a máquina de Papin ainda não apresentava eficiência suficiente para a drenagem de minas de carvão. Nessas situações, a extração de água continuava a depender, em grande parte, da força humana e animal, por meio de bombas de sucção. No entanto, a limitação técnica em elevar a água a alturas superiores a 10 metros permanecia um obstáculo

² Adaptação da máquina a vapor de Papin retirada de <https://museeprotestant.org/en/notice/denis-papin-1647-about-1712/>. Acesso em: 16 jul. 2024.



significativo. Visando contornar esse desafio, o engenheiro militar inglês Thomas Savery (1650–1715), inspirado nos mecanismos propostos por Papin que utilizavam êmbolos e pistões, desenvolveu uma máquina térmica capaz de criar vácuo para realizar a sucção da água, conforme ilustra a Figura 3 (Braga; Guerra; Reis, 2005; Silva; Errobidart, 2019).

Figura 3
Máquina a vapor de Thomas Savery



Fonte: Compilação do autor³

O funcionamento do sistema pode ser descrito da seguinte maneira: na fornalha (1), realiza-se a queima do carvão, liberando calor que é transferido para a água contida na caldeira (2). Um contrapeso (3) atua vedando o orifício representado pelo número 4 e controlando a pressão interna da máquina. O vapor produzido pela evaporação da água é conduzido ao cilindro (6) por meio de tubos e pela válvula de entrada (5), mantendo-se as válvulas 7 e 8 inicialmente fechadas. Em seguida,

³ Adaptação da máquina a vapor de Savery retirada de <https://www.lindahall.org/about/news/scientist-of-the-day/thomas-savery/>. Acesso em: 17 jul. 2024.



a válvula de entrada e a válvula 7 são fechadas, enquanto aquelas indicadas pelos números 8 e 9 são abertas, permitindo que a água que cai sobre o cilindro resfrie o vapor nele presente. Esse resfriamento provoca a diminuição da pressão interna e a formação de um vácuo parcial, o que possibilita a entrada da água a ser extraída da mina, impulsionada pela pressão atmosférica externa.

Em julho de 1698, o rei Guilherme III da Inglaterra (1650–1702), internacionalmente conhecido como William III, concedeu a Thomas Savery uma patente que lhe garantia o direito exclusivo de uso de sua máquina por um período de 35 anos (Braga; Guerra; Reis, 2005; Silva; Errobidart, 2019; Usher, 1954). O dispositivo, denominado “máquina de fogo”, distinguia-se por dispensar o uso de força animal em seu funcionamento. Suas especificações e instruções de operação foram divulgadas em 1702, por meio do folheto *The Miner’s Friend* (“O Amigo do Mineiro”, em tradução livre), que circulou amplamente pela Inglaterra com o objetivo de orientar os mineiros quanto ao uso adequado da nova tecnologia (Braga; Guerra; Reis, 2005; Henderson, 1969; Usher, 1954).

A máquina desenvolvida por Savery incorporava um recurso inovador ao utilizar o vácuo gerado no cilindro para promover a sucção da água das minas, o que favoreceu sua vasta aplicação no abastecimento de residências rurais na Inglaterra (Usher, 1954). Contudo, o fato de trabalhar a elevadas pressões demandava um elevado consumo de carvão, o que restringiu seu uso a regiões em que o acesso a esse combustível era fácil (Allen, 2011; Silva; Errobidart, 2019). Além disso, a baixa eficiência do equipamento — com rendimento inferior a 1% — constituía outra limitação relevante, uma vez que grande parte da energia era consumida exclusivamente na produção de vapor (Silva; Errobidart, 2019).

Devido às elevadas pressões de operação, as tubulações responsáveis pelo transporte da água para fora das minas estavam sujeitas a rompimentos, o que frequentemente resultava na inutilização do equipamento. Além disso, as altas temperaturas atingidas pelas caldeiras podiam ocasionar explosões, comprometendo a segurança e a durabilidade da máquina. As pressões de trabalho eram limitadas a um máximo de 4 atmosferas, o que permitia a elevação da água apenas até algumas dezenas de metros. Dessa forma, embora representasse um avanço em comparação aos modelos anteriores no processo de drenagem, a máquina de Savery mostrava-se ineficaz para aplicações em minas de maior profundidade (Braga; Guerra; Reis, 2005; Silva; Errobidart, 2019; Usher, 1954).



Diante desse problema, o engenheiro e inventor britânico Thomas Newcomen (1663–1729) desenvolveu uma máquina capaz de atender à demanda por drenagem nas minas de carvão. Newcomen foi pioneiro na construção de um equipamento que operava sob pressões reduzidas (Rocha, 2022). Para viabilizar esse funcionamento, incorporou um pistão e um êmbolo, que, em conjunto, permitiam a execução eficiente de movimentos verticais. A movimentação era transmitida por meio de um sistema de alavanca, cujo ponto de apoio permanecia fixo, enquanto uma de suas extremidades era responsável pelo bombeamento da água das minas (Usher, 1954). A Figura 4 ilustra esse dispositivo.

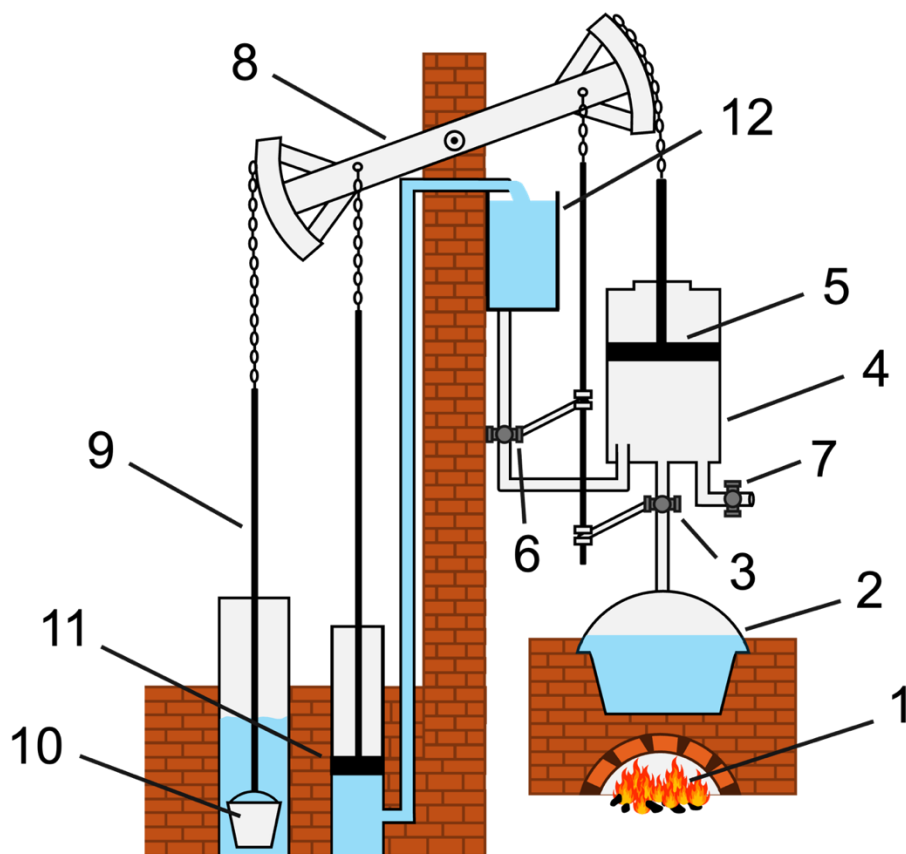
Da mesma forma que as outras máquinas, o carvão queimado na fornalha (1) libera calor para a água na caldeira (2), que se encontra posicionada logo abaixo do cilindro de vapor (4). A regulação das válvulas ocorre automaticamente a partir do uso dos braços de alavanca (8). Esta foi uma novidade bastante importante pois foi capaz de reduzir os riscos de operação para os trabalhadores que eram responsáveis por essa mesma tarefa nas outras máquinas (Silva; Errobidart, 2019).

A abertura da válvula de entrada (3) permite que o vapor impulsione o pistão (5) para cima. Nesse estágio, com as válvulas (6) e (7) fechadas, o sistema de alavanca é rotacionado, conforme a ilustração, no sentido anti-horário. Essa movimentação faz com que o recipiente (10), acoplado à haste vertical (9) no lado esquerdo do sistema, desça, possibilitando a extração da água acumulada no fundo das minas. Para a retirada dessa água, a válvula (6) é aberta, permitindo a entrada de água fria no cilindro (4), o que resfria e condensa o vapor presente em seu interior. Como consequência, ocorre uma redução da pressão interna, provocando a descida do pistão e a rotação do sistema de alavanca no sentido horário, favorecendo assim o bombeamento da água.

A continuidade do processo é garantida pela abertura da válvula (7), que possibilita a liberação do vapor condensado do interior do cilindro, facilitando a descida do pistão. O pistão (11) tem a função de reabastecer a caixa d'água (12), permitindo a repetição do ciclo. Essa máquina, além de apresentar eficiência superior em relação ao modelo desenvolvido por Savery, possuía um custo operacional reduzido, o que diminuía significativamente as despesas anuais com o bombeamento de água (Henderson, 1969).



Figura 4
Máquina a vapor de Thomas Newcomen



Fonte: Compilação do autor⁴

Os trabalhos anteriores conseguiram ser sintetizados e melhorados por Newcomen em sua máquina. A condensação do vapor no interior do cilindro permitiu a criação de vácuo, possibilitando a realização de ciclos e, conseqüentemente, a automatização da drenagem de água. Em decorrência da popularidade do equipamento, diversas miniaturas da máquina foram produzidas e comercializadas para universidades britânicas, com o objetivo de apoiar experimentos e atividades didáticas.

O CONDENSADOR DE WATT

Desde a máquina desenvolvida por Denis Papin, os aperfeiçoamentos nos sistemas a vapor representaram apenas evoluções práticas voltadas a atender as crescentes demandas da sociedade

⁴ Adaptação da máquina a vapor de Newcomen retirada de <https://physics.weber.edu/carroll/honors/Newcomen.htm>. Acesso em: 18 jul. 2024.



inglesa. A máquina de Newcomen, no entanto, desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da termodinâmica, pois além de trazer melhorias no seu funcionamento levou James Watt (1736–1819) a buscar uma nova configuração que aprimorou bastante o seu desempenho (Braga; Guerra; Reis, 2005).

Watt nasceu em 19 de janeiro de 1736, em um período no qual a patente obtida por Savery já havia expirado e a máquina de Newcomen começava a ganhar projeção na Inglaterra. Devido a problemas de saúde enfrentados durante a infância, sua educação foi realizada em casa. Seu pai, proprietário de uma oficina de equipamentos náuticos localizada nos fundos da residência da família, era um artesão de grande prestígio na comunidade de Greenock, na Escócia. O contexto desse ambiente permitiu a Watt despertar interesse pela fabricação de instrumentos (Braga; Guerra; Reis, 2005; Carnegie, 2005).

Durante sua vida adulta, o inventor escocês se mudou para Londres, em 1755, visando aperfeiçoar suas técnicas de fabricação. Ao chegar na cidade, por não possuir um tempo mínimo de 7 anos de prática – esta era uma das regras locais de comércio –, não conseguiu abrir seu estabelecimento. Durante o inverno, o inventor teve problemas de saúde – um resfriado forte e dores reumáticas graves –, e decidiu retornar à cidade natal. No ano seguinte, em 1756, Watt se muda para Glasgow com certa bagagem intelectual e física visando trabalhar no próprio negócio (Braga; Guerra; Reis, 2005; Carnegie, 1905).

O escocês não conseguiu se estabelecer de imediato e buscou ajuda à guilda para tentar alugar um pequeno espaço para trabalhar com seus experimentos. As guildas eram associações de artesãos e comerciantes que faziam a regulação do exercício de determinadas profissões. Possuíam bastante influência na cidade: controlavam quem podia abrir oficinas, fabricar instrumentos, comercializar produtos ou prestar certos tipos de serviço. Essas corporações também podiam atuar estabelecendo padrões de qualidade, preços e requisitos para a prática profissional. No entanto, Watt não conseguiu autorização para seguir com sua oficina, mas por ter reputação considerável foi convidado a trabalhar no conserto de instrumentos matemáticos e científicos na Universidade de Glasgow (Braga; Guerra; Reis, 2005; Carnegie, 1905; Silva; Errobidart, 2019).

John Robinson (1739–1805), professor de Filosofia Natural da Universidade de Glasgow e amigo próximo de James Watt, introduziu ao inventor a ideia do uso do vapor d'água como força motriz para veículos, sugerindo sua aplicação no acionamento de rodas de carruagens. Naquele



momento, Watt ainda não possuía conhecimentos técnicos aprofundados sobre o tema, mas foi informado da existência de um protótipo da máquina de Newcomen, adquirido pela universidade com o objetivo de ser restaurado (Carnegie, 1905). A partir desse contato, iniciou uma análise detalhada do funcionamento do equipamento e identificou um problema crítico: durante o processo de resfriamento do cilindro de vapor, observava-se a formação de grande quantidade de fumaça, indicando um elevado desperdício de energia. Isso se devia ao fato de que o cilindro precisava ser resfriado continuamente a cada novo ciclo de operação, o que comprometia a eficiência do sistema (Braga; Guerra; Reis, 2005; Carnegie, 1905; Silva; Errobidart, 2019). Conforme relatado por Carnegie (1905), Watt compreendeu que parte significativa dessa perda estava associada ao calor latente da água — conceito desenvolvido por seu amigo e colaborador Joseph Black (1728–1799):

Fiquei impressionado com esse fato notável (efeito do calor latente) e, não entendendo a razão, mencionei ao meu amigo, Dr. Black, que então me explicou sua doutrina do calor latente, que ele havia ensinado algum tempo antes desse período (1764); mas tendo eu mesmo estado ocupado com meus negócios, se eu tivesse ouvido falar disso, não teria prestado atenção, quando tropecei em um dos fatos materiais pelos quais essa bela teoria é apoiada (Carnegie, 1905, p. 47, tradução própria).⁵

O engenheiro descobriu que a água que era transformada em vapor gerava energia suficiente para aquecer uma quantidade equivalente a cinco vezes o próprio peso dessa mesma massa de líquido (Carnegie, 1905). Essa era uma descoberta importante para o avanço da termodinâmica, que ainda é um dos principais objetivos dessa área de estudo: desenvolver dispositivos que consumam a menor quantidade de energia possível, mas que não tenham seu rendimento prejudicado. Para tentar contornar esse obstáculo, isto é, minimizar a perda de calor com o aquecimento e resfriamento sucessivos no mesmo cilindro, Watt, de forma bastante capciosa, acrescentou à máquina de Newcomen um condensador separado para que o cilindro pudesse se manter sempre aquecido durante os ciclos (Braga; Guerra; Reis, 2005; Carnegie, 1905; Henderson, 1969; Pádua, 2009; Rocha, 2002; Usher, 1954; Silva; Errobidart, 2019).

Em 1765, no dia seguinte à sua invenção, James Watt buscou testar repetidas vezes a sua ideia e finalmente conseguiu construir a primeira miniatura da sua máquina a vapor (Usher, 1954). No dia 5 de janeiro 1769, obteve uma patente que lhe dava direitos exclusivos de uso do equipamento

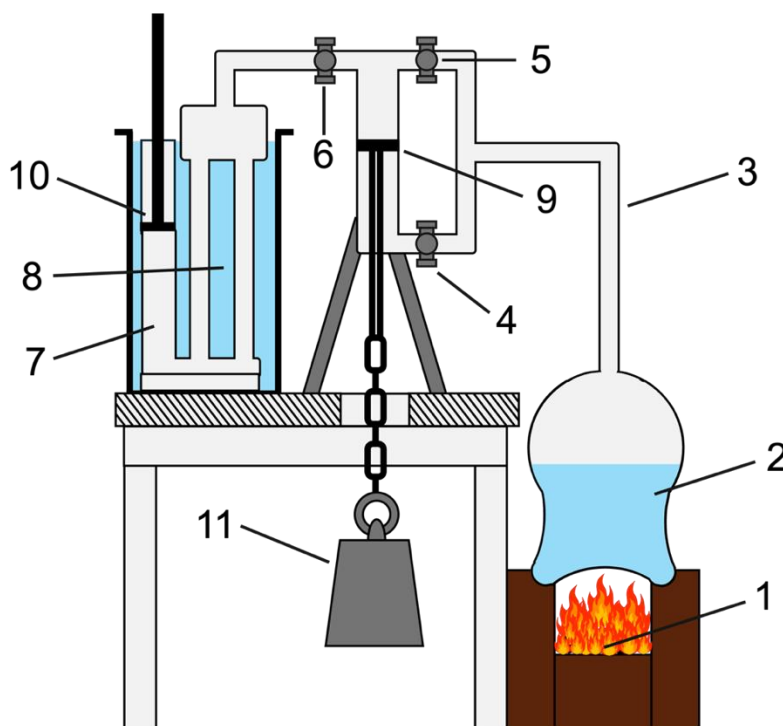
⁵ Being struck with this remarkable fact (effect of latent heat), and not understanding the reason of it, I mentioned it to my friend, Dr. Black, who then explained to me his doctrine of latent heat, which he had taught some time before this period (1764); but having myself been occupied with the pursuits of business, if I had heard of it I had not attended to it, when I thus stumbled upon one of the material facts by which that beautiful theory is supported.



(Carnegie, 1905; Usher, 1954). A Figura 5 ilustra o funcionamento do equipamento, com o condensador separado acrescentado.

O processo se inicia com a combustão do combustível na fornalha (1), cujo calor produzido é transferido para a água contida na caldeira (2). O vapor gerado nesse estágio é conduzido através da tubulação (3) até alcançar as válvulas de admissão inferior (4) e superior (5), as quais, em conjunto com a válvula de controle (6), regulam o fluxo de vapor destinado ao condensador (7). Inicialmente, todas as válvulas são abertas para permitir o preenchimento completo das tubulações pelo fluido. Após certo tempo, a válvula de admissão superior é fechada, mantendo-se, contudo, as demais na mesma condição. O contato do vapor com a água fria (8) no cilindro promove a sua condensação, resultando na formação de vácuo no interior do condensador.

Figura 5
Máquina a vapor de James Watt



Fonte: Compilação do autor⁶

⁶ Adaptação da máquina a vapor de Watt retirada de Usher (1954, p. 353).



Como resultado do processo, o vapor proveniente da válvula inferior exerce pressão sobre o êmbolo identificado pelo número 9. Simultaneamente, com a válvula (6) aberta, o pistão (10) localizado no condensador é deslocado para cima. Esse movimento demonstra, conforme sugerido por Robinson, a possibilidade de conversão de calor em energia mecânica, associada ao movimento das rodas das carruagens. Na prática experimental conduzida por Watt, o pistão (10) foi erguido verticalmente para cima. Com as válvulas (4) e (6) abertas e a válvula (5) fechada, o vácuo gerado no interior do condensador permitiu a elevação do peso (11), evidenciando a eficácia do mecanismo.

A introdução do condensador separado por James Watt representou um avanço técnico decisivo, ao permitir um aumento expressivo na eficiência das máquinas a vapor por meio da condensação externa do vapor, sem resfriar o cilindro principal. Essa inovação configura um marco no percurso que levaria à formulação dos princípios da termodinâmica pois não se trata apenas de um aperfeiçoamento meramente empírico, esse avanço inaugura uma etapa em que a busca por fundamentos teóricos ganhava importância. Nesse contexto, Watt articulou ciência, técnica e mercado ao problematizar, de modo sistemático, as causas do desperdício de calor em suas máquinas. Como destacam Silva e Errobidart (2019), sua atuação possibilitou uma aproximação entre o universo acadêmico das universidades e os saberes práticos de engenheiros, técnicos e inventores, estabelecendo uma aliança fundamental entre conhecimento científico e aplicação tecnológica.

Além disso, o êxito alcançado pela máquina a vapor de Watt desencadeou uma intensa disputa por patentes na Inglaterra. A partir do modelo aperfeiçoado pelo engenheiro escocês, diversas iniciativas buscaram desenvolver versões aprimoradas do equipamento, o que resultou na multiplicação de cópias e na consequente disseminação da sua tecnologia em território britânico (Silva; Errobidart, 2019). Embora apresentasse um rendimento técnico de apenas 5% — valor bastante modesto quando comparado às modernas turbinas a vapor, que podem atingir até 40% de eficiência —, o dispositivo de Watt representou, à época, uma verdadeira revolução no campo industrial, transformando de forma substancial o aproveitamento da energia proveniente do vapor (Cipolla, 1977). De acordo com Braga, Guerra e Reis (2005), a máquina a vapor de Watt exerceu um papel econômico decisivo ao favorecer o desenvolvimento de uma nova forma de organização produtiva na Inglaterra. Do ponto de vista técnico, os autores destacam sua relevância ao promover a articulação entre teoria e prática, possibilitando o surgimento de múltiplas alternativas técnicas derivadas dessa colaboração.



Desse modo, evidencia-se a importância dos estudos de James Watt tanto para a sociedade inglesa quanto para o desenvolvimento científico. No âmbito social e econômico, sua invenção impulsionou a mobilização de recursos, a disseminação de cópias do equipamento, a expansão do mercado de patentes e a diversificação das aplicações industriais da máquina a vapor. No campo científico, sua contribuição foi igualmente significativa, ao estimular investigações mais aprofundadas sobre o calor, as quais possibilitaram o aperfeiçoamento tecnológico e a construção de dispositivos com maior eficiência, atraindo, por conseguinte, novos investimentos para o setor. Watt encontrou êxito onde seus antecessores não obtiveram sucesso, em grande parte devido à sua capacidade de integrar conhecimentos teóricos aos desafios práticos da engenharia.

A HISTÓRIA DA CIÊNCIA COMO POSSIBILIDADE AO ENSINO DE FÍSICA

Como apontamos na introdução deste artigo, o ensino de física tem se caracterizado por uma lógica mecanicista de educação: ênfase na memorização de conceitos e fórmulas, avaliações centradas em resolução de questões, pouca (ou nenhuma) valorização do pensamento crítico ou da autonomia intelectual dos estudantes. A aprendizagem é vista como um processo cumulativo de conhecimentos que são linearmente construídos. Há um desestímulo aliado ao pensamento crítico, desconsiderando-se o contexto social e cultural dos estudantes.

De acordo com Brito et al (2014), há também um impacto negativo a longo prazo na formação discente. Muitas instituições tendem a condicionar seus alunos a essa lógica, sustentada por uma imagem centrada na obtenção de aprovações em vestibulares e concursos. Nessa perspectiva, o estudante tido como “preparado” é aquele capaz de assimilar e memorizar extensos volumes de informações, podendo assegurar, assim, sua inserção no ensino superior. Essa crítica é compartilhada por Hülsendeger (2007), que aponta para um excesso na transmissão de conteúdos e conceitos descontextualizados, os quais se encontram dissociados da realidade social dos educandos, comprometendo, portanto, a construção de um aprendizado mais eficiente. Nessa mesma linha de pensamento, Fernández (2002) adverte que o ensino de ciências não deve se restringir à simples transmissão de conteúdos ou à resolução mecânica de problemas, sem uma reflexão epistemológica sobre a própria atividade científica.

Outro problema recorrente no processo de ensino-aprendizagem refere-se à dificuldade de atribuir sentido aos formalismos matemáticos presentes na disciplina de Física. Muitos professores costumam linearizar esses conteúdos na Física, omitindo as tensões, controvérsias e rupturas



históricas que permearam sua construção (Robilotta, 1988; Carvalho e Guerra, 2025). Esse tipo de abordagem fomenta a ideia de “uma ciência falsamente ascética, sem disputas, sem descontinuidades” (Robilotta, 1988, p. 17).

Freire (2019) adverte que a centralização do processo de ensino na figura do professor pode constituir um obstáculo significativo à aprendizagem efetiva. O autor emprega o conceito de “educação bancária” para ilustrar a assimetria na dinâmica entre docentes e discentes, na qual o professor assume o papel de mero depositário de saberes, reduzido a um transmissor de informações, enquanto os estudantes são posicionados como receptáculos passivos desse conhecimento. Nesse modelo, segundo o autor, “a educação se torna um ato de depositar, em que os educandos são os depositários e o educador, o depositante” (Freire, 2019, p. 80). Para o autor, isso inviabiliza a construção dialógica do conhecimento e a participação crítica dos sujeitos no processo educativo.

Embora muitos docentes dominem os conteúdos conceituais da disciplina, a ausência de compreensão acerca dos processos históricos, epistemológicos e contextuais que deram origem a esses saberes frequentemente compromete sua capacidade de transmiti-los de forma significativa (Robilotta, 1988). Essa limitação pedagógica contribui não apenas para a desmotivação dos estudantes, mas também para aquilo que Robilotta (1988, p. 9) denomina como um “ensino cinzento e triste”, caracterizado pela rigidez no processo educativo. Além disso, com o passar do tempo, é comum que educadores passem a trivializar conceitos complexos da Física, reduzindo-os a explicações simplificadas que, embora didaticamente acessíveis, podem esvaziar o conteúdo de seu significado original. Essa prática reforça uma visão distorcida da ciência, segundo a qual leis e teorias seriam produtos magicamente criados, concebidos por cientistas em um processo descontextualizado e linear (Dias, 2001).

Forato, Pietrocola e Martins (2011) advertem para o perigo que reside nessa supressão de conteúdos e pontuam que essa atitude requer cuidado, já que, nessa dinâmica, há a necessidade de escolher quais conteúdos serão omitidos e quais serão aprofundados. A recomendação dos autores é que se busque analisar quais são “os objetivos pedagógicos pretendidos, o nível de escolarização envolvido, os pré-requisitos conceituais necessários ao aluno e ao professor, ou ainda abordagens que sinalizam para aspectos especializados da história da ciência” (Forato; Pietrocola; Martins, 2011, p. 51).



Considerando as dificuldades frequentemente enfrentadas pelos estudantes na compreensão da Física e das Ciências de modo geral, a História da Ciência (HC) apresenta-se como uma estratégia promissora para a promoção de um ensino mais acessível e contextualizado. Nesse sentido, torna-se fundamental articular os aspectos culturais, militares, políticos e sociais que historicamente contribuíram para o desenvolvimento da atividade científica. Contudo, essa abordagem exige cautela por parte dos docentes, uma vez que é comum os discentes apresentarem uma visão compartimentalizada das disciplinas, dissociando, por exemplo, a Física da História em seus processos formativos (Hülsendeger, 2007).

Conforme destacam Brito (2014) e Hodson (1994), a construção do conhecimento científico está intrinsecamente vinculada aos acontecimentos sociais, não ocorrendo de maneira isolada ou desvinculada do contexto histórico. Um exemplo emblemático dessa relação de dependência foi visto, como discutido anteriormente, durante o século XVIII, com a atuação de James Watt. Diante da demanda por uma máquina a vapor mais eficiente e economicamente viável, capaz de realizar a drenagem das minas, Watt recorreu a fundamentos teóricos com o objetivo de resolver o problema do desperdício de energia, demonstrando, assim, a relação direta entre as necessidades práticas da sociedade e o desenvolvimento científico-tecnológico.

Dessa forma, é fundamental situar a ciência em seu contexto histórico e espacial para compreender os processos que fundamentaram sua construção em determinado momento. Tal abordagem contribui significativamente para evitar interpretações distorcidas, uma vez que rompe com a concepção equivocada de uma ciência neutra, descontextualizada e alheia aos acontecimentos sociais (Cachapuz, 2005). Como resultado, o ensino de Física tende a tornar-se mais atrativo e acessível, na medida em que estabelece uma conexão mais direta entre os conteúdos científicos e o universo de significados dos estudantes (Castro & Carvalho, 1982).

É necessário, contudo, fazer uma ressalva quanto à maneira como as narrativas históricas são apresentadas no ensino, uma vez que determinadas abordagens podem induzir à construção de uma imagem equivocada e fictícia sobre a organização e a constituição da ciência. A abordagem da HC deve ser cuidadosamente estruturada para evitar que os estudantes desenvolvam a noção de que há um julgamento único ou definitivo sobre os processos científicos, os quais, por sua natureza, são historicamente situados, incertos e sujeitos a variações interpretativas (Damasio; Peduzzi, 2017; Forato; Pietrocola; Martins, 2011).



Forato, Pietrocola e Martins (2011) ainda enfatizam que ao “se construir, utilizar ou divulgar uma determinada versão da HC, está se propagando uma concepção de como a ciência foi construída” (Forato; Pietrocola; Martins, 2011, p. 30). Por essa razão, o uso pedagógico da HC exige cautela, a fim de que os educadores não perpetuem a ideia equivocada de que a ciência opera com verdades absolutas ou que sua construção ocorre de maneira única, linear e invariável. Observa-se também, por parte de muitos educadores, uma glorificação excessiva à figura de certos cientistas, o que favorece uma visão simplista e idealizada da ciência. Whitaker (1979) também chama a atenção para o uso inadequado do que denomina *quase-history* (quase-história, em tradução livre). Segundo o autor, há educadores que recorrem a contextos históricos não com o intuito de evidenciar os acontecimentos em si, mas apenas como recurso didático para facilitar a exposição dos conteúdos desejados. Tal prática pode induzir os estudantes a uma compreensão enviesada acerca do desenvolvimento de determinados conhecimentos científicos, comprometendo a percepção de como esses saberes foram efetivamente construídos ao longo do tempo.

Dentro dessa perspectiva, a HC revela a sua natureza humana, vinculada a contextos históricos específicos. Como afirmam Forato, Pietrocola e Martins (2011), não existe um modelo único ou universal de ciência a ser seguido. Por isso, torna-se essencial estimular nos estudantes reflexões que os levem a compreender a complexidade inerente ao processo de construção do conhecimento científico. Alinhando-se a essa proposta, Braga, Guerra e Reis (2004) ressaltam a importância de os docentes abordarem não apenas as teorias consagradas, mas também aquelas consideradas superadas, permitindo “aos alunos perceberem que esse é um conhecimento construído por caminhos tortuosos, com idas e vindas” (Braga; Guerra; Reis, 2004, p. 236).

Moura e Guerra (2016) ressaltam que a utilização adequada da HC pode favorecer um engajamento mais efetivo por parte dos estudantes, contribuindo para a formação de cidadãos atentos às questões coletivas, e não apenas orientados por interesses individuais. Nesse cenário, cabe aos docentes explorar estratégias que evidenciem como os significados científicos emergem a partir da análise de evidências, destacando, assim, o papel determinante do contexto social no desenvolvimento das ciências. Os autores ainda acrescentam que o objetivo da educação científica não deve ser a formação de “cientistas mirins”, mas sim o desenvolvimento de indivíduos capazes de refletir criticamente e se posicionar diante de temas científicos que permeiam a vida em sociedade. Embora alguns estudantes possam, eventualmente, seguir carreira científica, essa possibilidade não deve ser imposta como finalidade exclusiva do ensino.



O uso da HC também permite abordar questões de gênero, raça e etnia, destacando contribuições científicas são frequentemente marginalizadas. A ideia de uma ciência neutra e racional, desvinculada de contextos sociais, tende a favorecer a identificação de estudantes brancos e homens, o que pode afastar outros grupos e reforçar exclusões daqueles que já são historicamente invisibilizados (Mody, 2015; Moura; Guerra, 2016).

Segundo Gagliardi (1988), a HC oferece uma contribuição significativa ao ensino ao possibilitar a estruturação de conteúdos e estratégias pedagógicas. A partir de sua abordagem, torna-se viável analisar teorias que foram abandonadas ao longo do tempo e compreender como essas concepções deram lugar a novas formulações. Dessa forma, a HC não apenas favorece a compreensão do processo evolutivo dos saberes científicos, mas também contribui para a elaboração de propostas didáticas nas quais os próprios estudantes possam desenvolver estratégias de aprendizagem, promovendo uma construção ativa e contextualizada do conhecimento.

CONCLUSÕES

A utilização da História da Ciência (HC) como estratégia didática no ensino de Física tem sido respaldada por diversos autores, como discutido anteriormente, que reconhecem seu potencial pedagógico quando empregada de forma crítica e contextualizada. Tal abordagem permite evidenciar que a ciência é um empreendimento humano sujeito a erros, revisões e reformulações, contribuindo para desconstruir a visão idealizada de um conhecimento linear e infalível. Além disso, ao incorporar elementos históricos, o ensino torna-se mais realista e acessível, favorecendo a inclusão de grupos sociais tradicionalmente marginalizados pelas metodologias tradicionais. Essa perspectiva também possibilita compreender a ciência como um processo em constante construção, no qual novos questionamentos impulsionam a formulação de novas estratégias investigativas ao longo do tempo.

Ao priorizarmos uma abordagem histórica de conteúdos de física, esperamos contribuir para que haja maior significado em seu ensino. O uso de história da ciência na educação científica não é trivial, implica grande aprofundamento em campos que nem sempre nós, professores de física, estamos familiarizados, mas, apesar das dificuldades, é um desafio que devemos nos colocar se queremos que o ensino de física seja relevante para os estudantes da educação básica. Neste trabalho, buscou-se evidenciar a relevância da utilização da HC como recurso metodológico no ensino de Física, destacando seu potencial para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem.



É importante destacar que a educação constitui um campo amplo e heterogêneo, sujeito a diversos atravessamentos sociais, culturais e epistemológicos. Nesse sentido, torna-se essencial reconhecer seu caráter dinâmico e em constante transformação. Diante disso, impõe-se a necessidade de revisitar, periodicamente, os entendimentos sobre ensino e aprendizagem, especialmente no que se refere às novas demandas que incidem sobre a área da Física e das Ciências em geral.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. C. Why the industrial revolution was british: commerce, induced invention, and the scientific revolution 1. *The Economic History Review*, v. 64, n. 2, p. 357-384, 2011.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 2, p. 224-248, 2004.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. *Breve história da ciência moderna: Vol.3: Das luzes ao sonho do doutor Frankenstein (séc. XVIII)*. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2005.
- BRITO, N. B.; REIS, U.; TALON, I.; REIS, J. C. História da física no século XIX: discutindo natureza da ciência e suas implicações para o ensino de física em sala de aula. *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 7, n. 2, p. 214-241, 2014.
- CARNEGIE, A. *James Watt*. California. University of California Libraries, 1905.
- CARVALHO, T.; GUERRA, A. Ensino de Física e História da Ciência sob uma perspectiva sociopolítica: características e desafios a partir de uma pesquisa bibliográfica. *Caderno Brasileiro De Ensino de Física*, v. 42, p. 315-350, 2025.
- CHONDROS, T. G. The development of machine design as a science from classical times to modern era. IN: *International Symposium on History of Machines and Mechanisms: Proceedings of HMM 2008*. Netherland: Springer Netherlands, 2009. p. 59-68.
- CIPOLLA, C. M.; FLAKSMAN, S. *História econômica da população mundial*. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.
- DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. Q. História e filosofia da ciência na educação científica: para quê? *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 19, p. 77-95, 2017.
- DATHEIN, R. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. *Publicações DECON Textos Didáticos*, v. 2, 2003.
- DIAS, P. M. C. A (im)pertinência da História ao aprendizado da Física (um estudo de caso). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, p. 226-235, 2001.
- FERNANDES, F.; DAMIANI, E. *O que é revolução*. São Paulo. Editora Fernando Henrique Cardoso, 1981.
- FERNÁNDEZ, I. et al. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, p. 477-488, 2002.
- FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. 67.ed – Rio de Janeiro/São Paulo: Paz e Terra, 2019.



FORATO, T. C. de M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 6, n. 3, p. 291-296, 1988.

HENDERSON, W. O.; BRAGA, M. O. *A revolução industrial*. Lisboa: Editorial Verbo, 1969.

HOBBSAWM, E. *A Era das revoluções: Europa 1789-1848*. 3ª ed., Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1981. 343p.

HODSON, D. Seeking directions for change: The personalisation and politicisation of science education. England. *Curriculum Studies*, v. 2, n. 1, p. 71-98, 1994.

HÜLSENDEGER, M. J. V. C. A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 9, p. 222-237, 2007.

LIMA, E. C. de; NETO, C. R. de O. Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês. *Revista Espaço Acadêmico*, v. 17, n. 194, p. 102-113, 2017.

MATHIAS, P. *A primeira nação industrial: uma história econômica da Inglaterra 1700–1914*. Trad. Cesar de Oliveira e Eduardo Mendes. Lisboa: Assírio & Alvim, 1969.

MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MODY, C. C. M. Scientific Practice and Science Education. *Science Education*, v.99, n.6, p.1026–1032, 2015.

MONTEIRO, A. V. de G.; GUERRA, A. Os Sentidos que os estudantes atribuem ao ensino de física e à sua abordagem histórica. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 23, p. 130-154, 2018.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. História cultural da ciência: um caminho possível para a discussão sobre as práticas científicas no ensino de ciências? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 16, n. 3, p. 725-748, 2016.

PÁDUA, A. B. et al. Termodinâmica clássica ou termodinâmica do equilíbrio: aspectos conceituais básicos. São Paulo. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 29, n. 1, p. 57-84, 2008.

REIS, J. C.; CATARINO, G. F. de C.; CARVALHO, T. de A. Discutindo relações entre ciência e arte como forma de construir um ensino de ciências contextualizado. In: Gurgel, I. Guerra, A. (Org.) *História Cultural das Ciências: discutindo fronteiras*. São Paulo, Livraria da Física, 2025.

ROCHA, J. F. *Origens e evolução das ideias da Física*. Bahia. SciELO-EDUFBA, 2002.

SILVA, G. R.; ERROBIDART, N. C. G. Termodinâmica e Revolução industrial: Uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, v. 19, p. 71-97, 2019.

SIQUEIRA, F. P. Abolicionismo inglês e francês (1787-1833) em perspectiva comparada. *Revista de História Comparada*, v. 12, n. 2, p. 35-64, 2018.

USHER, A. P. *A history of mechanical inventions*. Massachusetts: Courier Corporation, 1954.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education. *Physics Education*, 14(2), 108–112, 1979. Doi: 10.1088/0031-9120/14/2/009.