

EXPERIMENTOS HISTÓRICOS E ADAPTAÇÕES DIDÁTICAS: UM ESTUDO DOS KITS DE INTERFEROMETRIA MICHELSON- MORLEY

*HISTORICAL EXPERIMENTS AND DIDACTIC ADAPTATIONS: A STUDY OF MICHELSON-
MORLEY INTERFEROMETRY KITS*

Thiago Calixto da Silva¹, Ana Paula Bispo da Silva², Thiago Silva Araujo³, Alyson José Alves Carvalho⁴,
Carlos Henrique Araújo Bonfim Borges⁵

Recebido: agosto/2025 - Aprovado: janeiro/2026

RESUMO: Dentre os exemplos de utilização da história da ciência no ensino de ciências, o emprego de experimentos ou instrumentos ditos históricos, é muitas vezes o principal recurso didático. No entanto, raramente tais experimentos ou instrumentos são similares aos originais ou réplicas deles. Isso acaba levando a uma distorção não somente da própria ciência, com seus erros e acertos durante a experimentação, mas também dos processos de aquisição de um determinado conhecimento por parte dos estudiosos. Neste trabalho fazemos uma análise de três versões didáticas de um “experimento histórico”: o interferômetro de 1887 de Michelson-Morley. Baseando-nos nos critérios de design, interação corpo-objeto e similaridade com o relato histórico, pudemos observar que são possíveis diferentes interpretações e utilizações das três versões didáticas. Em termos da similaridade com o relato histórico, apenas a versão de simulação online atende aos pressupostos de Michelson-Morley na execução do experimento; enquanto as demais distorcem tanto a parte conceitual do experimento, como também o papel da história da ciência no ensino de ciências, impondo uma ciência positivista e imutável. Assim, reafirma-se a importância da história da ciência na formação de professores de ciências para que não continuemos a repetir erros e distorções sobre o conhecimento científico.

PALAVRAS-CHAVE: experimentos históricos, interferômetro de Michelson-Morley, história da ciência e ensino de ciências.

- 1 <https://orcid.org/0009-0003-8466-8947>, Licenciando em Física, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, PB, Rua Baraúnas, 351, Depto de Física, Campina Grande-PB, 58429500, Brasil. E-mail: thiagocalixt@gmail.com
- 2 <https://orcid.org/0000-0001-8465-0614>, Doutora em Ciências, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Docente do Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Campina Grande, PB, Rua Baraúnas, 351, Depto de Física, Campina Grande-PB, 58429500, Brasil. E-mail: silva.anapaulabispo@gmail.com
- 3 Doutor em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Técnico de Laboratório de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba, Rua Baraúnas, 351, Depto de Física, Campina Grande-PB, 58429500, Brasil. E-mail: thiagosilvaaraujo@servidor.uepb.edu.br
- 4 <https://orcid.org/0000-0002-5404-2770>, Doutor em Física, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Docente do Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Campina Grande, PB, Rua Baraúnas, 351, Depto de Física, Campina Grande-PB, 58429500, Brasil. E-mail: carvalho.alyson@servidor.uepb.edu.br
- 5 Doutor em Física, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Técnico do laboratório de Física do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Rua Tranquilino Coelho Lemos, 671,58432300, Campina Grande, PB – Brasil. email: carlos.borges@servidor.uepb.edu.br





ABSTRACT: Among the examples of using the history of science in science teaching, the use of so-called historical experiments or instruments is often the primary teaching resource. However, such experiments or instruments are rarely similar to the originals or reconstructions of them. This ultimately leads to a distortion not only of science itself, with its successes and failures during experimentation, but also of the processes by which scholars acquire a given knowledge. In this paper, we analyze three didactic versions of a “historical experiment”: the 1887 Michelson-Morley interferometer. Based on the criteria of design, body-object interaction, and similarity to the historical account, we observed that different interpretations and uses of the three didactic versions are possible. In terms of similarity to the historical account, only the online simulation version meets the Michelson-Morley assumptions in the execution of the experiment; while the others distort both the conceptual part of the experiment and the role of the history of science in science teaching, imposing a positivist and immutable science. Thus, the importance of the history of science in science teacher training is reaffirmed so that we do not continue to repeat errors and distortions regarding scientific knowledge.

KEYWORDS: historical experiments, Michelson-Morley’s interferometer, history of science and science teaching.

Introdução

Do ponto de vista da história da ciência, artefatos históricos científicos são aqueles que constituem experimentos e que também fornecem informações sobre paradigmas e programas de pesquisa, além de permear a própria natureza da ciência pela forma que são empregados (PESTRE, 1994; ANDERSON ET. AL, 2011). Quando tais artefatos científicos vão para a sala de aula, passam não apenas a representar as mudanças ocasionadas na história da ciência - pois já são seu produto final - mas também servem para identificar abordagens e metodologias de ensino (BELHOSTE, 2011). Ao levar um experimento que teve papel histórico para a sala de aula, podem ocorrer mudanças e distorções conceituais e epistemológicas, implícitas ou explícitas, na simples adaptação de materiais e processos de aquisição de dados, assim como também ocorrem com as narrativas que aparecem em livros didáticos (HEERING, 2023; KWAN, 2021; ALVARENGA; SOUSA, 2025).

Analisá-los do ponto de vista material pode atribuir novos fatos, contextos e valores do que apenas pela análise documental. Segundo Kwan (2021), durante a investigação de um instrumento, seu design fornece um conjunto de informações que podem transmitir um conhecimento dito *não codificável*, algo que não pode ser compreendido sistematicamente. A atenção à sua forma física, maneiras de manipulação e seus materiais constituintes podem atribuir novos sentidos e conexões com aquilo que é interpretado através das fontes textuais. Essa é uma das maneiras de abordagem da cultura material, a qual se constitui como fonte de revelação de aspectos sociais e culturais de uma sociedade em determinado tempo e espaço através da análise do aspecto material, nesse caso, de instrumentos históricos. Entende-se que o instrumento foi pensado inicialmente por um ser humano e reflete, direta ou indiretamente, os padrões culturais de quem o faz, o utiliza, o compra e isso pode se estender aos padrões da sociedade à qual ele pertenceu (PROWN, 1982; MILLER, 2013).



No entanto, versões didáticas não podem ser consideradas fontes originais e estudá-las do ponto de vista histórico, pelo viés da cultura material, nos sugere algumas questões: é possível chegar aos mesmos resultados que no experimento original com os instrumentos didáticos? Os processos até chegar a esse resultado são os mesmos? Qual a implicação das mudanças feitas no experimento do ponto de vista histórico em relação aos resultados obtidos experimentalmente e no aspecto didático?

Para discutir essas questões, é necessário haver um objeto de análise bem definido e que expresse essa transformação ao longo do tempo. Para este trabalho, investigamos como se deu a transformação do interferômetro desenvolvido por Albert A. Michelson (1852 - 1931) e Edward W. Morley (1838 - 1923) em 1887 (MICHELSON; MORLEY, 1887), inicialmente criado para investigar a interação da luz e éter, trazendo considerações acerca do movimento relativo da Terra - uma questão famosa na comunidade científica da época discutida há muito e que posteriormente contribuiu para o desenvolvimento da teoria da relatividade. A escolha desse episódio histórico acontece pela sua importância do ponto de vista da história da ciência, apresentando questões que explicitam a natureza do conhecimento científico (BAGDONAS, 2013), e também pela sua relevância no ensino de física moderna, sendo sempre um caso mencionado nas aulas que envolvem relatividade e interferometria, ainda que apresentado distante do contexto correto.

Para investigar os resultados, processos e implicações do uso de versões didáticas do experimento histórico de Michelson e Morley e como ocorreu essa transformação, faremos a análise de três versões didáticas do experimento em comparação com o instrumento original, usando como categorias de análise: design; modos de manipulação; possibilidades de investigação/interação; e o valor de sua correspondência histórica, entendendo os instrumentos como fontes a serem lidas (PESTRE, 1996) e buscando suas mudanças e distorções conceituais e epistemológicas, implícitas ou explícitas, para o uso didático.

Vale ressaltar que a investigação do interferômetro de Michelson e Morley original se restringiu à análise documental disponível em documentos e fontes primárias que descrevem o experimento, elaboradas pelos próprios autores (MICHELSON; MORLEY, 1887), tendo em vista a inexistência do interferômetro original para nosso acesso.

Breve relato histórico da construção do interferômetro de Michelson e Morley

O interferômetro de Michelson e Morley de 1887 foi um instrumento desenvolvido para investigar a interação entre a luz e o éter na tentativa de observar algo sobre o movimento relativo da Terra. Essa era uma questão da época que desde antes do início do séc. XVIII já era investigada, principalmente por quem estudava os fenômenos luminosos (MARTINS, 2012). Já no séc. XVIII, com o crescimento e influência da hipótese ondulatória da luz, entendia-se o éter como o meio no qual a luz se propagava e observava-se uma possibilidade de determinar não a velocidade absoluta terrestre, mas sim a velocidade relativa terrestre, entre Terra e éter.

Nesse período, o éter era explicado por diversas hipóteses, não havendo na comunidade científica uma conformidade de explicações (MARTINS, 2012; 2015; 2023). Um experimento elaborado em 1851



por Armand H. L. Fizeau (1819 - 1896) envolvendo um interferômetro de tubos de água, trazia resultados que apontavam para a hipótese do éter formulada por Augustin J. Fresnel (1788 - 1827), que o entendia como uma substância imponderável que preenchia todo o universo e poderia ser parcialmente arrastada pela luz (SILVA; SILVA, 2025). No entanto, o experimento de Fizeau não respondia à questão sobre o movimento relativo terrestre, mas tentava entender o comportamento do éter.

Na década de 1880, Albert A. Michelson e Edward W. Morley se destacaram pela tentativa de trazer novas considerações acerca do movimento relativo terrestre (MARTINS, 2012). No entanto, a colaboração de Morley aconteceu apenas depois do primeiro experimento feito por Michelson em 1881. Em 1880, Michelson começou a investigar um meio para medir o movimento da Terra através do éter, um assunto até então não esclarecido e adivinado pela carta de Maxwell. As observações que precisariam ser feitas eram de variações de tempo muito pequenas, o que exigiria medidas precisas e uma das maneiras até então mais indicada, eram os métodos interferométricos. Isso levou Michelson ao desenvolvimento de um instrumento que permitisse a interferência de dois raios de luz, produzindo uma projeção das franjas interferência (ou bandas de interferência) que o permitisse fazer observações de efeitos na luz, do movimento da Terra com relação ao éter. Após alguns meses de pesquisa, seus resultados foram publicados em 1881 pelo *American Journal of Science* (MARTINS, 2015; SHANKLAND, 1953; MICHELSON, 1881). O interferômetro de Michelson foi construído por Franz Schmidt e Hermann Haensch, mecânicos e artesãos de Berlim, Alemanha, que tinham uma companhia de construção de instrumentos desde 1864 sendo Michelson apenas o idealizador do instrumento (MICHELSON, 1881; MARTINS, 2015; 2023).

O resultado foi um tanto inesperado por trazer observações e dados diferentes daqueles que já haviam sido feitos por outros pesquisadores e aceitos como válidos pela comunidade científica da época, como o exemplo do experimento de Fizeau em 1851 e seu resultado positivo para a explicação de Fresnel. Os resultados do experimento de Michelson não concordaram com os resultados do experimento de Fizeau, o que tornou o trabalho, de certa forma, inconclusivo (SHANKLAND, 1953).

Após certo tempo distante destas discussões, Michelson juntamente com Edward Williams Morley (1838 - 1923) - professor de química geral e análise quantitativa e um físico com distinção na precisão de medidas e habilidade com a construção de instrumentos para suas pesquisas (HAMERLA, 2006) - se propôs a investigar o experimento de Fizeau através de uma reprodução a fim de entender o fenômeno e realmente concluir se o resultado do experimento era válido, o que contribuiria para melhor compreensão do seu resultado nulo (MICHELSON, 1886). Apenas em 1886 ambos conseguiram reproduzir o experimento de Fizeau com algumas modificações a fim de ter maior controle e medidas do fluxo de água, e obtiveram resultados que concordavam com a hipótese de Fresnel e indicavam a validade do trabalho de Fizeau (CLARKE, 1927; MARTINS, 2015). Segundo Michelson e Morley:

O resultado desse trabalho é, portanto, que o resultado anunciado por Fizeau é essencialmente correto; e o éter luminífero é inteiramente inafetado pelo movimento da matéria que o permeia. (MICHELSON, 1886, p.386 - tradução nossa)

Até então, a hipótese de Stokes era a melhor para explicar o resultado nulo do experimento de Michelson em 1881. Contudo, em 1886 com a repetição do experimento de Fizeau, ao obter os mesmos resultados que apontavam para a validade da hipótese de Fresnel, havia um impasse. Não se sabia se o

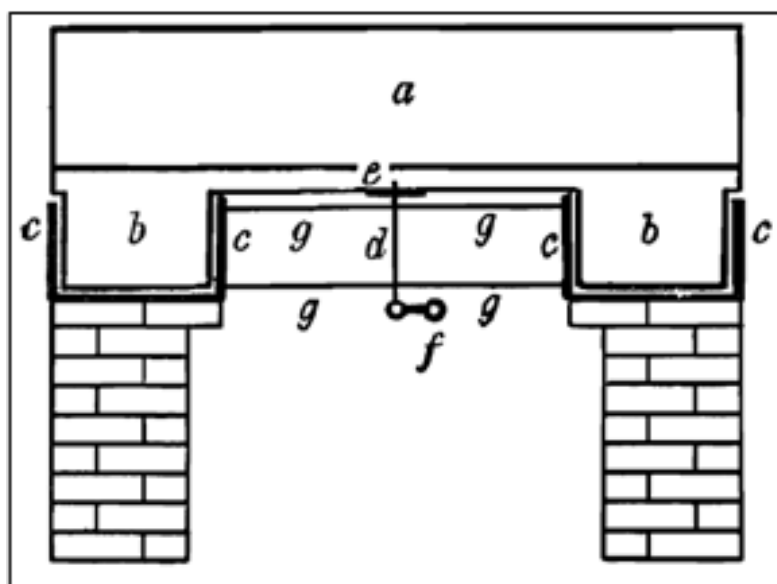


experimento de 1881 indicava um erro na concepção teórica que se tinha, ou os erros experimentais eram mais expressivos que os efeitos esperados.

Dessa forma, em 1887, Michelson e Morley seguiram a mesma direção daquela tomada em seu primeiro experimento e continuaram utilizando os métodos interferométricos, desenvolvendo um segundo interferômetro, agora com uma estrutura que priorizava a estabilidade das franjas de interferência para, conseqüentemente, facilitar a observação do efeito esperado (MARTINS, 2015; 2023). Segundo Hamerla (2006), Michelson era um bom projetista, do ponto de vista de pensar a configuração do experimento, seu design. No entanto, ele não possuía habilidade de construção e recorria aos fabricantes ou artesãos para executar seus projetos e fazer eventuais manutenções. Já Morley era um artesão e tinha as habilidades necessárias para a construção de instrumentos. Então, diferente do primeiro interferômetro pensado por Michelson e construído por outros, o segundo interferômetro foi construído pelos próprios pesquisadores, especialmente devido a Morley. Isso aumentava as possibilidades de interação e variação dos parâmetros para a investigação e certamente contribuiu para o avanço da pesquisa.

As figuras 01, 02 e 03 a seguir apresentam o instrumento desenvolvido por Michelson e Morley, bem como suas especificações retiradas e traduzidas do próprio artigo publicado em 1887 na *American Journal of Science*.

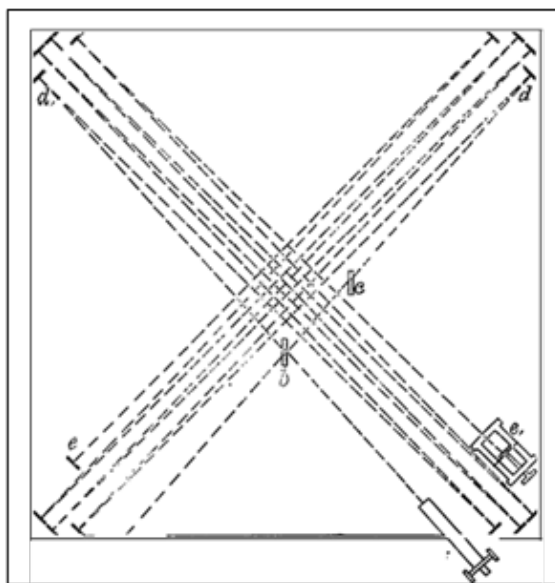
Fig. 1 - Ilustração plana vertical do interferômetro. A pedra *a* tem cerca de 1,5 metro quadrado e 0,3 metros de espessura. Ela repousa sobre um flutuador anular de madeira *bb*, com 1,5 metro de diâmetro externo, 0,7 metro de diâmetro interno e 0,25 metros de espessura. O flutuador, por sua vez, repousa sobre mercúrio contido na calha de ferro fundido *cc*, com 1,5 centímetro de espessura, e tais dimensões como para deixar uma folga de cerca de um centímetro ao redor do flutuador. Um pino *d*, guiado pelos braços *gggg*, encaixa-se em um soquete e acoplado ao flutuador. O pino pode ser inserido no soquete ou ser retirado por meio de uma alavanca articulada em *f*. Esse pino mantém o flutuador concêntrico com a calha, mas não suporta qualquer parte do peso da pedra. A calha anular de ferro repousa sobre uma base de cimento em um pilar baixo de tijolos construído na forma de um octógono oco.



Fonte: Michelson; Morley, 1887, p. 339.

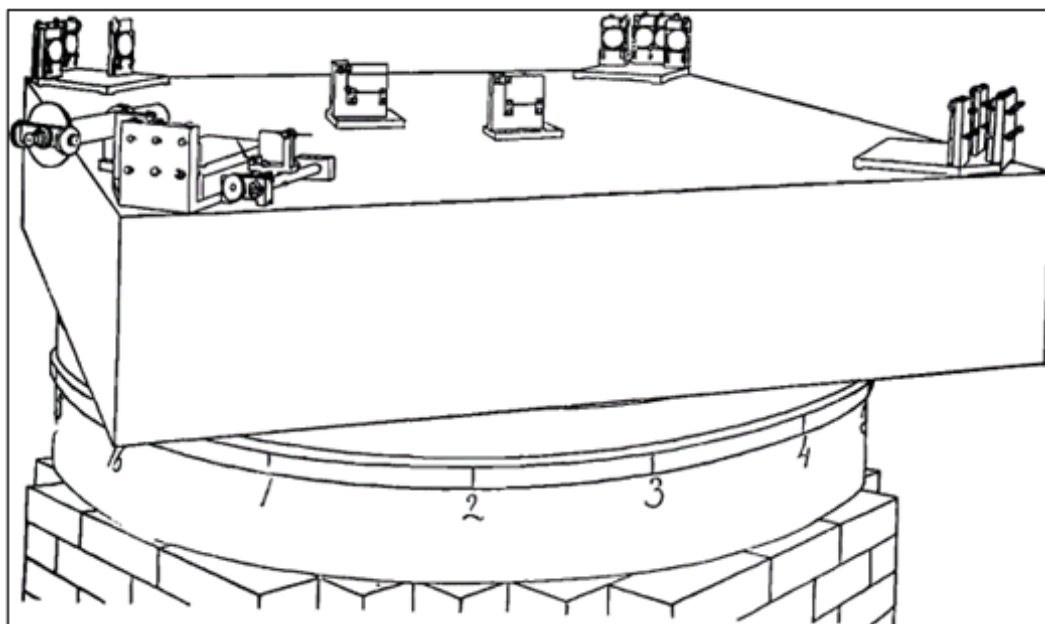


Fig. 2 - Ilustração do interferômetro em perspectiva plana, vista superior. Em cada canto da pedra foram colocados quatro espelhos dd ee . Próximo ao centro da pedra estava um vidro plano-paralelo b. Eles foram dispostos de modo que a luz proveniente de um candeeiro de Argand a, passando por uma lente, incidisse em b como para ser em parte refletida para d'. Os dois raios seguiram os percursos indicados na figura, bdedbf e bd'e'd'bf respectivamente, e foram observados pelo telescópio f. Tanto f quanto a giravam com a pedra. Os espelhos eram feitos de metal espelhado cuidadosamente trabalhados para superfícies opticamente planas com cinco centímetros de diâmetro, e vidros b e c eram plano-paralelos e de mesma espessura de 1,25 centímetros; suas superfícies mediam 5,0 por 7,5 centímetros. O segundo desses vidros foi colocado no caminho de um dos raios para compensar a passagem do outro através da mesma espessura de vidro. Toda a porção óptica do aparato foi mantida coberta com uma cobertura de madeira para prevenir correntes de ar e rápidas mudanças de temperatura



Fonte: Michelson; Morley, 1887, p. 338, grifos nossos.

Fig. 3 - Representação do aparato experimental em perspectiva 3D.



Fonte: Michelson; Morley, 1887, p. 337.



O instrumento foi construído para ser o mais estável possível. As franjas de interferência eram formadas após o encontro, no centro, dos vários raios de luz refletidos pelos espelhos e observadas por um telescópio. Nessa tentativa além das demais mudanças, diferente do primeiro interferômetro, eles apostaram em aumentar o número de reflexões imaginando que o raio percorreria um espaço maior antes de interferir com o outro e não seria necessário seguir o modelo do experimento anterior com braços longos, o que pode ter sido uma das causas da instabilidade do aparato.

O instrumento também tinha a capacidade de rotacionar de um modo muito mais fácil que o primeiro, tendo em vista que ele flutuava no mercúrio - principal responsável pela estabilidade (MICHELSON, 1887; SHANKLAND, 1953). A rotação, a estabilidade, a proteção de correntes de ar e variações de temperatura, e o aumento no número de espelhos apontam para o fenômeno que se queria observar: a interferometria. Ora, a formação das franjas de interferência acontece quando os caminhos percorridos pelos dois feixes de luz são diferentes. Como o conjunto óptico como um todo era fixo - os espelhos não se deslocavam - a diferença no caminho percorrido - e, portanto, o deslocamento das franjas - ocorre porque durante a rotação o conjunto óptico tem a influência do éter. Qualquer outra influência nesse caminho, como por exemplo mudança na densidade do ar, pode influenciar no deslocamento das franjas.

Com o instrumento pronto, Michelson e Morley fizeram inicialmente observações durante quatro dias, repetindo num intervalo de 3 meses a fim de encontrar o deslocamento proposto pela hipótese de Fresnel de 0.04 franjas de interferência, algo que agora poderia ser relativamente obtido com facilidade, uma vez que o aparato fornecia as condições necessárias para observação estável do efeito (MICHELSON, 1887). Contudo, apenas algumas variações irregulares foram observadas nas franjas de interferência e nenhum deslocamento significativo, próximo ao efeito esperado teoricamente, foi observado; e a conclusão que ambos tiveram era que esse resultado era nulo, o que implicava dizer que a hipótese de Fresnel não era válida e a hipótese de Stokes era a mais ideal para explicar o resultado obtido (MICHELSON, 1887; MARTINS, 2015; SHANKLAND, 1953). No entanto, tais conclusões não foram definitivas e, tanto Morley quanto outros estudiosos, permaneceram buscando por outros experimentos que pudessem fornecer uma precisão maior e decidir quanto à melhor hipótese para o comportamento do éter.

Uma outra consideração importante para o experimento de 1887 é que ele ocorre no mesmo ano do experimento de Hertz sobre as ondas eletromagnéticas (MARTINS, 2023, p. 234). Ou seja, o planejamento do equipamento e as hipóteses consideradas para sua execução partiam da concepção que a luz era uma onda sim, mas uma onda mecânica no éter. Enquanto onda, a luz não poderia carregar matéria, ou seja, a luz é éter, o éter luminífero, e possui as características de uma onda com velocidade constante, como comprimento de onda e frequência.

Assim, ao tratarmos do experimento de Michelson-Morley historicamente, de forma diacrônica, tanto quanto ao design do equipamento e quanto aos procedimentos de medidas, precisamos considerar a luz enquanto onda mecânica, o efeito do éter e o movimento do conjunto óptico em relação ao movimento da Terra. Isso dificultaria muito uma reprodução exata do experimento e não impede que



sejam adotados procedimentos inadequados para 1887 (PESTRE, 1994); no entanto, nada impede que tais reflexões possam ser adicionadas às versões didáticas, desde que tais versões permitam a manipulação.

Versões didáticas do “experimento histórico”

A partir da versão publicada sobre o interferômetro original de Michelson e Morley (MICHELSON; MORLEY, 1887) e entendendo o contexto em que ele foi produzido, partiremos para a análise de algumas reconstruções didáticas do instrumento para observar como as mesmas empregam o conhecimento dos artefatos em suas versões didáticas.

Inicialmente, é importante destacar que um artefato é dito científico quando ele está inserido no contexto da prática científica. Um artefato é dito didático quando ele é construído e idealizado a fim de transmitir determinado conhecimento de modo mais objetivo, direto - até com caráter lúdico - no contexto de sala de aula (HEERING, 2023). Então, é de se esperar que naturalmente existam diferenças entre esses dois aspectos, pois enquanto um é idealizado para investigação de determinado fenômeno do ponto de vista científico e nesse sentido não tem como prever os problemas, o outro é uma releitura do primeiro que resume e afirma seus resultados, pois já tem a resposta. O artefato sofre uma série de processos adaptativos que transformam suas configurações de layout (ou design), opções de interação, variação de parâmetros, estabilidade, e até mesmo a interação entre instrumento-corpo ao alterar seus modos de manipulação (HEERING, 2023).

Kwan (2021) destaca que é possível interpretar um instrumento partindo de suas características básicas e correlacionando-as aos aspectos sensitivos humanos. Artefatos científicos e didáticos são pensados e elaborados por e para ser humanos e por si só podem ser entendidos como evidência de uma forma de pensar, revelando padrões e informações do contexto em que ele está ou foi inserido. Interpretar artefatos didáticos em comparação com os artefatos científicos de fato - ainda que apenas pela análise documental e pela construção mental da imagem do instrumento como Prown (1982) propõe - pode permitir enxergar as lacunas que a versão didática deixa do ponto de vista conceitual e histórico além de fornecer condições para que o docente observe qual a melhor abordagem a ser feita.

Nessa perspectiva, analisaremos três versões didáticas do experimento de Michelson e Morley em busca de perceber as transformações e posteriormente analisar suas implicações. A primeira é um kit didático reconstruído pela CIDEPE (Centro Industrial de Equipamentos de Ensino e Pesquisa), empresa brasileira que subsidia instituições educacionais com equipamentos e instrumentos para o ensino e pesquisa científica. A segunda versão também é um kit construído pela PHYWE, empresa alemã que também fornece subsídios para o ensino e pesquisa científica. A última versão é um simulador online de um site chamado VASCAK.CZ que possui diversas simulações da física.



Kit didático da CIDEPE

O kit didático foi adquirido pela IES em torno de 2013-2014, conforme patrimônio, para ser utilizado em laboratório de física moderna ou óptica do curso de licenciatura em Física de outro campus. A CIDEPE é uma empresa nacional, situada em Canoas/RS, em atuação desde 1997, fornecendo equipamentos didáticos para várias IES no país. O kit didático “experimento de Michelson-Morley” é de, aproximadamente, 2013-2014, composto por uma mesa de aço com 50cm de cada lado, marcada por escalas circulares e lineares para facilitar a posição dos demais componentes. Ela possui 04 sapatas amortecedoras para absorver a vibração, nas quais a CIDEPE garante 57% de eficiência de absorção e dissipação de energia e 70% de amortecimento específico. Também conta com um suporte para a fonte laser HeNe; um posicionador de feixe com uma lente convergente 20x; dois posicionadores de feixe com espelho plano e parafusos micrométricos, a fim de alterar o caminho em que a luz viaja; um difusor de feixe com dois prismas em ângulo reto unidos por revestimento apropriado, com 50% de transmissão e 50% de reflexão; anteparo universal.

O kit também traz um deslocador elétrico (térmico), com micrômetro analógico com precisão de 0,001 mm, para facilitar a medida do comprimento de onda. O manual (CATELLI; RAMOS, 2014) que a CIDEPE fornece tem instruções acerca da montagem e das medições; apresenta a ideia básica do interferômetro e o que ele permite fazer, destacando que o interesse no interferômetro de Michelson não é apenas histórico, mas que suas aplicações na área da tecnológica são as mais variadas. Nesse sentido, o dispositivo permite a visualização das franjas de interferência da luz, a medida do comprimento de onda da luz incidente (laser HeNe ou laser diodo) e a medida do índice de refração do ar ou de outros gases (são necessários acessórios adicionais como a câmara de vácuo e uma bomba de vácuo manual). A figura 04 apresenta a configuração do experimento, sua descrição e o resultado observado.



Fig. 04 - Versão didática do interferômetro de Michelson e Morley construída pela CIDEPE. Ao lado esquerdo está a configuração do experimento e ao lado direito o resultado obtido. A figura 04 apresenta a configuração experimental e o resultado fenomenológico obtido.



Fonte: Acervo pessoal.

Sobre a manipulação, em nossa prática encontramos dificuldade para visualizar as franjas de interferência devido à sensibilidade e a forma de organizar os componentes. Foram três tentativas em dias diferentes para conseguir o resultado observado na figura anterior. Apesar do manual instruir a posição dos componentes nas marcações lineares e circulares, o ajuste é manual e muito fino. Outro ponto é a extrema sensibilidade às vibrações, desde as batidas na mesa até as pisadas dos pés. O experimento, além de vir configurado com as sapatas amortecedoras, foi realizado sobre uma mesa com base de concreto e superfície de mármore, mas ainda era possível ver vibrações nas franjas de interferência. A operação manual (giro) do parafuso micrométrico resultava em vários deslocamentos de franja, o que dificultava a contagem. Por isso poderia ser substituído pelo deslocador térmico, que lentamente deslocava as franjas. O parafuso micrométrico e o deslocador térmico assumiam a função de mudar o caminho percorrido pela luz, gerando o deslocamento das franjas, substituindo o efeito causado pela interação da luz com o éter no movimento da terra, conforme estava na versão de Michelson-Morley.

Kit didático da PHYWE

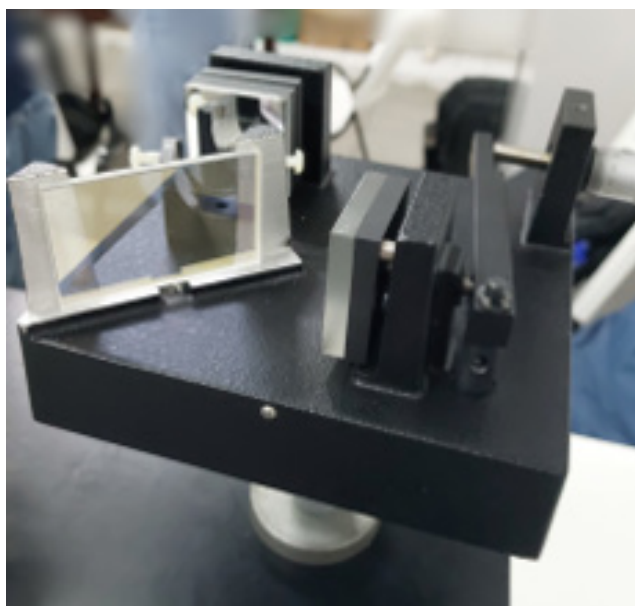
A PHYWE é uma empresa alemã de equipamentos didáticos em atuação desde 1913. O equipamento utilizado neste trabalho pertence à UFPE e é foi adquirido em, aproximadamente, 2000. Ele é encontrado em outras Universidades Federais e, portanto, supomos que tenha sido um convênio



com o Ministério da Educação (MEC) que instrumentalizou vários laboratórios de Física no país nessa época. Não há um manual impresso acompanhando esse equipamento, e não foi possível encontrar uma versão na internet. Na IES de origem, ele é empregado tanto na licenciatura quanto no bacharelado em física, para discutir vários experimentos de óptica e física moderna.

O interferômetro de Michelson-Morley construído pela PHYWE tem como objetivo a determinação do comprimento de onda quando luz monocromática (tipo laser) é utilizada, também pode determinar comprimentos de coerência quando lâmpadas espectrais são usadas como fonte de luz e com filtros apropriados, e além disso, pode determinar o índice de refração de líquidos adequados, do ar e de outros gases. Diferente do kit construído pela CIDEPE, o interferômetro construído pela PHYWE é configurado sobre uma base de 12cm cada lado, com dois espelhos planos, um com regulagem em sua posição através de parafusos e outro que pode ser movido perpendicularmente a si por um parafuso micrométrico e uma alavanca de redução 1:10 para alterar o caminho que a luz viaja. Além disso, há um espelho semi-prateado localizado na intersecção das normais aos dois espelhos, a fim de dividir o feixe de luz proveniente da fonte laser. Também entre um espelho e o divisor de feixes, há um espaço pensado para a inserção da câmara de vácuo. A figura 05 apresenta o interferômetro utilizado na prática e sua descrição.

Fig. 05 - Interferômetro de Michelson e Morley produzido pela PHYWE.



Fonte: Acervo pessoal.

Apesar de não haver registro, em nossa prática foi possível visualizar as franjas de interferência, tanto de forma concêntrica, mas especialmente as franjas paralelas umas às outras, pois a formação das franjas ocorre a uma longa distância, assim vemos apenas as bordas da figura. Comparado ao interferômetro anterior, obter o mesmo fenômeno nesse foi consideravelmente mais simples, tendo em vista que os espelhos e todo conjunto é fixo, sendo necessário apenas a regulagem do espelho pelo parafuso e o alinhamento do feixe de laser. O instrumento é estável, não sendo tão sensível às vibrações do ambiente (mesmo estando em um laboratório didático no período de aula). A contagem das franjas, para



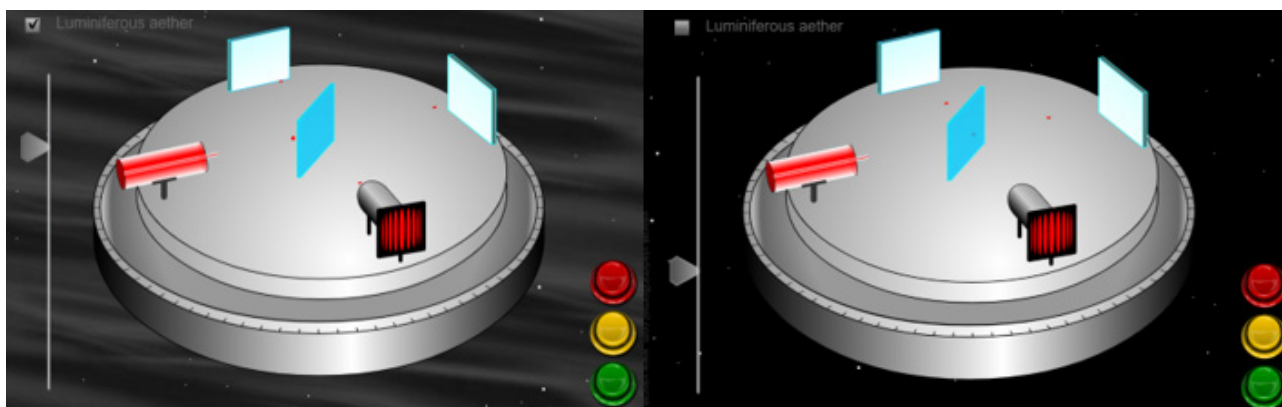
determinação dos comprimentos de onda, também não foi difícil. Mesmo sendo necessário ser delicado ao girar parafuso micrométrico, a alavanca de redução de 1:10 não permite que as franjas de interferência se desloquem muito rápido, o que contribui para a contagem.

Simulação online

Na inexistência de kits didáticos, principalmente nos conteúdos que envolvem Física Moderna, simuladores online têm sido frequentemente utilizados por professores como ferramentas para subsidiar e esclarecer os conteúdos transmitidos. É o caso, por exemplo, apresentado aqui, em que simuladores são utilizados como abordagem para o ensino de Física Moderna, já que não há kits didáticos específicos na IES. É possível encontrar várias simulações de interferometria na internet.

Para este trabalho utilizamos a simulação do site Physics Animations/Simulations, do interferômetro de Michelson-Morley, produzido por Vascak Vladimir na Tchecoslováquia, e apresentado na figura 06. Na figura, o detalhe em vermelho corresponde à fonte luminosa (comprimento de onda no vermelho); ao centro, a figura azul representa um espelho semi-refletor; fazendo um ângulo de 90° entre si, há dois detalhes em branco que representam os espelhos refletor; ao lado da fonte, representado em cinza, está o anteparo onde é formada a figura de interferência, exibindo algumas franjas. Ao lado esquerdo, em cinza, há numa régua, cujo deslocamento do triângulo representa a velocidade de rotação do conjunto óptico. Na extremidade superior, existe a opção de selecionar ou não o “éter luminífero”, que é representado por faixas cinzas no espaço em que o conjunto está localizado. O botão verde inicia a emissão da luz, o botão vermelho interrompe. Quando o éter luminífero não está selecionado, não há deslocamento das franjas ao rotacionar o conjunto. Selecionando o éter, as franjas se deslocam de acordo com a rotação do conjunto.

Fig. 06 - Simulação online do interferômetro de Michelson-Morley com o éter luminífero e sem o éter, à esquerda e à direita, respectivamente.



Fonte: Physics Animations.

Esta versão, diferente das demais, não tem como objetivo determinar o comprimento de onda da fonte luminosa ou o índice de refração do ar e gases; também não permite discutir um conceito simples que é o deslocamento de franjas devido à alteração no caminho percorrido pela luz, pois



a distância entre os espelhos refletores e o semi-refletor não é variável. O objetivo é apresentar o fenômeno que acontece no experimento e nesse sentido há a possibilidade de fazer variações em alguns parâmetros e considerações próximas daquelas discussões conceituais que foram feitas por Michelson e Morley (1887). Nesse sentido, a “manipulação” é simples, mas é necessário saber mais do que determinar o comprimento de onda da luz por interferometria para entender o que a simulação propõe. Partindo do ponto de vista de alguém que não conhece o contexto que envolve o experimento, a simulação não é autoexplicativa. O simulador não acompanha explicações ou roteiro.

Transformações: design, manipulação e correspondência histórica

Um artefato didático não é necessariamente idêntico ao artefato científico correspondente. Além das transformações materiais, pois não é possível obter os mesmos materiais de séculos anteriores, as transformações também incluem os objetivos pedagógicos e uma visão de educação científica (BELHOSTE, 2011). Observar o design, a forma de manipular e a analogia com o experimento histórico, permite entender mais do que está explícito nesses artefatos didáticos quando empregados no Ensino de Física.

Design do equipamento

Kwan (2021) aborda a ideia de que não apenas objetos, mas também instrumentos podem ser interpretados a partir do seu design, englobando não apenas seu caráter visual, mas também o aspecto tátil e sensitivo. A soma de todas essas informações - chamadas de informações ecológicas, as quais podem completar o conhecimento dito intelectual - podem sugerir ao indivíduo noções de manuseio, funcionalidade e da sua própria natureza, quando o design permite essa leitura. Quando não, geralmente ou o próprio instrumento fornece alguma instrução ou elas estão contidas em um manual.

No caso do interferômetro de Michelson e Morley, as partes do equipamento (conjunto óptico) não trazem informações intuitivas sobre o experimento como um todo. Portanto, podemos dizer que a montagem do experimento de interferência não é intuitiva, devendo ser acompanhada de um manual ou de um texto que indique o objetivo e a disposição de cada uma das partes. O relato da fonte primária também carrega uma série de pressupostos que não são reconhecíveis diretamente a partir da manipulação das partes do equipamento, como por exemplo, a fonte de luz utilizada e a forma de modificação do caminho da luz. Então, é necessário recorrer a versões que possam contribuir no desenvolvimento desse entendimento. Das versões analisadas, a que mais se apresenta intuitiva é a simulação online, tanto devido às possibilidades de interação, bem como pela sua correspondência histórica. Basta iniciar a emissão da luz e se atentar ao efeito que a opção pelo éter luminífero provoca.

No entanto, a falta de conhecimento da parte histórica e a rápida observação do fenômeno acaba não contribuindo para uma compreensão mais profunda e pode acabar encaminhando para uma concepção ingênua e distorcida da ciência, que não privilegia os testes e erros (PÉREZ ET AL., 2001). A



interação corpo-instrumento é importante e pode contribuir na compreensão do porquê o instrumento ser daquela maneira, ou seja, sobre sua própria natureza, e desenvolve no operador um conhecimento tácito, não codificado, que completa o conhecimento racional (KWAN, 2021). Nesse sentido, as demais versões contribuem para que haja essa interação entre o instrumento e seu operador, contudo, não possuem muitas similaridades com o instrumento original.

Apesar da ideia fundamental do interferômetro continuar a mesma, a transformação do histórico para o didático já inclui mudanças diretamente ligadas a seu design como a redução do tamanho (por exemplo, de 1,50m de lado do instrumento histórico para 12cm da versão da PHYWE), a estabilização dos processos e a substituição de materiais e componentes por outros mais práticos e melhores na sua constituição, precisão e entre outros (HEERING, 2023). A figura 02 mostra como os raios se propagam no interferômetro original viajando com um certo ângulo em relação aos espelhos refletindo sucessivamente, a fim de obter garantia na observação do fenômeno. Em cada extremidade havia quatro espelhos. Em cada um desses espelhos era possível regular sua posição no eixo horizontal, vertical e azimutal, o que garantia controle para o operador e contribuía para as múltiplas reflexões e aumento da precisão (MICHELSON, 1887).

No entanto, em ambas as versões houve uma simplificação dos processos (HEERING, 2023). Em vez de 16 espelhos, todos reguláveis, na CIDEPE temos dois espelhos reguláveis, um em cada extremidade, e os raios de luz agora viajam perpendicularmente ao espelho, o que permite obter as franjas de interferência de um modo mais simplificado. Este é um exemplo de que a mudança no design (aspecto material) implica diretamente na execução das atividades e na interpretação que o indivíduo irá fazer do que observa e experimenta, o que diz respeito ao que ele aprende e entende da situação (KWAN, 2021).

Nenhuma das versões incorpora a movimentação circular do conjunto óptico, apenas a versão online. Isso porque a modificação do caminho da luz é feita de forma “artificial”, seja pelo parafuso de giro micrométrico, seja pelo dilatador. Na versão histórica, o deslocamento das franjas depende da rotação do equipamento durante o processo de medida. O caminho percorrido pela luz entre o espelho semi-refletor e os espelhos refletores é afetado pelo vento de éter, o qual aparece apenas na versão online. Porém, cabe observar que o éter na versão online parece ter uma materialidade, aparecendo mais acinzentado no fundo preto. Isso acaba por distorcer também a concepção de fluido imponderável.

Possibilidades de interação ou investigação do instrumento

Como dito anteriormente, a interação entre o instrumento e seu operador traz uma série de conhecimentos não codificáveis que completam e fornecem outra perspectiva para o conhecimento racional. No entanto, no processo de transformação do instrumento histórico para o contexto didático há a simplificação dos processos. Como exemplificado no tópico anterior, isso ocorre pela substituição de materiais, componentes, redução de escala e entre outros. No entanto, todas essas mudanças sugerem uma estabilização dos processos de produção de conhecimento através das práticas experimentais.



Abordando essa transformação material do instrumento, Heering (2023) destaca que o processo de medição em instrumentos educacionais é muito fácil (HEERING, 2023, p. 359). Isso ocorre porque no processo de simplificação, os instrumentos passam a ser cada vez mais estáveis, inflexíveis, e independentes do conhecimento experimental do operador. O conhecimento e aprendizagem da teoria e prática envolvendo o experimento fica oculto em sua fabricação. O operador (estudante ou professor) apenas reproduz aquilo que já foi feito tempos atrás e tem a falsa sensação de estar fazendo ciência, quando, na verdade, o resultado final sempre será o mesmo pela rigidez do processo.

Para o caso do interferômetro de Michelson e Morley, nas versões didáticas analisadas, o kit da CIDEPE e a versão online são os que, relativamente, possibilitam a variação de parâmetros e por consequência, maiores também são as possibilidades de investigação. No kit didático da CIDEPE, o que mais se destaca nessa perspectiva é a flexibilidade em manusear o instrumento, diferente do kit didático da PHYWE em que todos os componentes estão fixos, sendo a câmara de vácuo o único acessório que pode ser inserido ou removido de um local próprio.

No primeiro kit didático (CIDEPE), o operador pode distribuir os componentes sobre a mesa da forma que desejar, o que permite diversos arranjos e uma interação maior, atribuindo um potencial investigativo. Mesmo havendo marcações na mesa, elas funcionam para orientação e não limitam as possibilidades de arranjos experimentais. Numa situação como essa, é possível, por exemplo, explorar as angulações necessárias para ocorrer a figura de interferência; a função das lentes na colimação da fonte e da imagem final; e os recursos para variações na distância percorrida pela luz. A parte da precisão experimental também é item importante, pois além de indicar habilidades manuais, foi um dos principais desafios no experimento de 1885 e 1887, levando aos questionamentos sobre o tipo de éter.

Apesar da versão online não permitir a manipulação dos componentes em si, ela permite que o operador interaja tanto com as questões conceituais na perspectiva histórica do instrumento, o que se justifica na opção de selecionar ou não a existência do éter, mas também pelo funcionamento do interferômetro, que pode rotacionar, característica fundamental do interferômetro de Michelson e Morley (1887) ausente das versões físicas. Nesse sentido, no contexto didático essa versão tem potencial para investigação do contexto e conceitos, à luz da história da ciência se houver interesse e conhecimento por parte do(a) professor(a).

Como dito, o kit didático da PHYWE pode ser considerado rígido levando em conta uma abordagem mais conceitual e investigativa do fenômeno pela inflexibilidade que ele apresenta. Não há mobilidade dos espelhos, nem rotação do conjunto óptico, limitando-se apenas à verificação de dados como a contagem de franjas para determinação de comprimento de onda. Uma observação interessante é que o kit da PHYWE foi alterado. Uma versão mais nova do interferômetro, obtida no site da empresa (Figura 07), inclui uma mesa (45 cm x 60 cm x 6 cm) com a possibilidade de parafusar os espelhos em diferentes posições. A ausência da graduação dos ângulos na mesa permite abordar as dificuldades quanto à posição dos espelhos, e o aumento das dimensões envolve mudanças na figura de interferência obtida. Não há informações quanto ao peso da mesa e a sua estabilidade, itens importantes para a precisão da



medida. Interessante observar que na apresentação desta versão, a empresa informa “Aprenda sobre o princípio de medida com o qual se pode observar ondas gravitacionais”⁶, caracterizando, obviamente, uma forma de atrair o público para um tema em pauta nas investigações científicas, ao invés de simplesmente apresentar um conjunto óptico de figuras de interferência.

Figura 07: interferômetro PHYWE de alta resolução.



Fonte: https://www.phywe.com/physics/light-optics/diffraction-interference/michelson-interferometer-high-resolution_27237_29250/

Correspondência histórica

Na perspectiva da história da ciência, o episódio histórico do interferômetro de Michelson-Morley contribuiu para a discussão da época sobre a influência do éter no movimento da Terra e posteriormente, para a teoria da relatividade (Martins, 2012). Fica evidente que, pelo processo de transformação já comentado, apesar das versões didáticas buscarem reproduzir o fenômeno original do experimento de Michelson e Morley, ela são releituras e acabam trazendo suas próprias interpretações e modificações, tendo em vista que são desenvolvidas em contextos diferentes (HEERING, 2023). No entanto, do ponto de vista metodológico, existem algumas formas de abordagem que podem contribuir para a interpretação histórica mesmo a partir de instrumentos didáticos, em que o foco está no processo da construção do conhecimento, levando em conta as características de design e sua interação com o operador, como já comentado até aqui.

Das versões analisadas, a simulação online é a que possui maior correspondência ao contexto histórico em que o interferômetro de Michelson e Morley foi desenvolvido e possui potencial para uma abordagem investigativa do episódio, ainda que a manipulação seja limitada. Apesar de não haver contato com a experimentação, a simulação permite ao indivíduo, além de entender o fenômeno, ter uma noção das discussões que haviam na época e fornece ao docente subsídio para que ele possa ampliar a discussão

⁶ Learn about the measurement principle with which gravitational waves can be observed.



e enxergar o interferômetro não apenas como um instrumento para determinar comprimentos de onda, mas como um instrumento que foi construído na perspectiva de tentar determinar o movimento relativo terrestre através da interação entre a luz e éter. Nesse sentido, é possível abordar as perspectivas da ciência do séc. XVIII, objetivando explicitar o caráter mutável da ciência, as controvérsias científicas envolvendo as hipóteses e outras discussões que contribuem para atingir objetivos educacionais visando uma formação crítica (MARTINS, 2012; BALDINATO, PORTO, 2008; BAGDONAS, 2013).

Tanto a versão didática da CIDEPE, quanto a versão da PHYWE não possuem objetivo de abordar questões históricas; apenas objetivos experimentais e conteudísticos que envolvem muito mais técnica e prática do que a parte conceitual ou a próprio fazer científico. No entanto, a utilização para obter a medida do comprimento de onda pelo interferômetro de Michelson e Morley não é recente e fez parte de um estudo proposto pelos próprios autores. Em dezembro de 1887, Michelson e Morley publicaram outro artigo no *American Journal of Science* intitulado “Sobre um método para tornar o comprimento de onda da luz de sódio o padrão real e prático de comprimento” (MICHELSON, MORLEY, 1887). Nesse trabalho, Michelson e Morley utilizaram o interferômetro para investigar o comprimento de onda da luz de sódio e deixaram claro que se tratava do mesmo instrumento utilizado para investigar o movimento relativo terrestre no éter luminífero (MICHELSON, MORLEY, 1887, p. 457).

Essa é uma possível resposta para entender o porquê do interferômetro de Michelson e Morley ter ficado conhecido quase sempre direcionado a este objeto de conhecimento mais específico dentre os assuntos da física. Isso também pode contribuir para contextualizar as versões didáticas utilizadas em sala de aula, até então pensadas sem correspondência histórica, encaminhando o estudante aos problemas centrais que culminaram no desenvolvimento do interferômetro, discussões mais amplas que envolvem o processo de construção da ciência ao longo dos anos.

Conclusão

Tendo em vista a descrição e análise dessas três versões, podemos concluir que apesar dos resultados serem os mesmos do ponto de vista fenomenológico - a visualização das franjas de interferência - os processos e objetivos de alcançar esse resultado são diferentes.

A premissa inicial de Michelson e Morley envolvia uma questão que era abordada desde antes do início do séc. XVIII, enquanto as reconstruções didáticas têm como foco no aspecto tecnológico que foi percebido e desenvolvido após o interferômetro de 1887 (MARTINS, 2012). Transformando essa premissa de funcionalidade do instrumento há, conseqüentemente, uma transformação na perspectiva da qual se enxerga o instrumento e os objetivos que ele alcança (HEERING, 2023; KWAN, 2021). Isso explica o porquê de as releituras de instrumentos científicos sofrerem alterações quanto ao seu uso, funcionalidade, características visuais e etc.

Do ponto de vista da história da ciência, é necessário ter cautela ao comparar ou elucidar instrumentos históricos com as reconstruções didáticas desses instrumentos, porque pode haver uma



grande perda de informações implícitas e intrínsecas ao próprio instrumento, como questões ligadas ao contexto de desenvolvimento do aparelho, conhecimentos tácitos, controvérsias científicas, os materiais constituintes e a simplificação dos processos (HEERING, 2023). Isso pode encaminhar o ouvinte a desenvolver percepções erradas sobre a natureza do conhecimento científico e seu desenvolvimento, como por exemplo, desenvolver a sensação de facilidade experimental em realizar um experimento do séc. XVIII, sendo que foi realizado em um instrumento criado no séc. XXI com a finalidade de obter o mesmo resultado, livre de cometer os mesmos erros. Sendo assim, é necessário ter noção dos objetivos educacionais que se pretende alcançar com o uso da história da ciência para que as réplicas ou reproduções de “experimentos históricos” possam ser efetivas (BALDINATO; PORTO, 2008.)

Contudo, o uso das versões didáticas não pode ser descartado e como Heering (2023) propõe, é possível articular versões didáticas que dão espaço aos processos, possibilitando as discussões epistemológicas, e as versões que apresentam os resultados reproduzindo um conhecimento pronto e definitivo. Levando em conta o episódio do interferômetro e suas reconstruções didáticas, é possível desenvolver uma abordagem para o ensino de física partindo da observação dos contextos e dos processos através das fontes textuais e da versão didática online, uma vez que é a que mais possui correspondência histórica, e apresentar os resultados pelas versões didáticas físicas, destacando as transformações imbuídas na reconstrução.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. Este trabalho foi financiado com recursos do CNPq, processo 404373/2021-6.

Referências

ALVARENGA, G. S.; SOUSA, C. E. B. de. Livros juvenis de divulgação científica e suas contribuições para o ensino de ciências: abordagens sobre história da ciência e visões sobre cientistas. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, v. 15, n. 2, p. 11-30, 14 maio 2025.

ANDERSON, Katharine et al. Reading instruments: Objects, texts and museums. **Science & Education**, v. 22, n. 5, p. 1167-1189, 2013.

BAGDONAS, Alexandre; SILVA, Cibelle Celestino. Controvérsias sobre a natureza da ciência na educação científica. **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas. São Carlos: Tipographia**, p. 213-223, 2013.

BALDINATO, José Otávio; PORTO, Paulo Alves. Variações da história da ciência no ensino de ciências. **Anais**, 2008.

BELHOSTE, Bruno. Das ciências instituídas às ciências ensinadas, ou como levar em conta a atividade didática na história das ciências. **Rev. Bras. Hist. Educ**, p. 47-61, 2011.



CATELLI, Francisco; RAMOS, Luiz A. M. **Livro de atividades experimentais: Física experimental, ondulatória, conjunto interferometria HeNe, EQ073B.** Canoas: Cidepe.

CLARKE, Frank Wigglesworth. Biographical Memoir Edward Williams Morley (1838-1923). **National Academy of Sciences. Volume XXI. Tenth memoir.** Washington, 1927.

HAMERLA, Ralph R. **An American scientist on the research frontier: Edward Morley, community, and radical ideas in nineteenth-century science.** Dordrecht: Springer Netherlands, 2006.

HEERING, Peter. Transformations: the material representation of historical experiments in science teaching. **The British Journal for the History of Science**, v. 56, n. 3, p. 351-368, 2023.

KWAN, Alistair. Reading Instruments for historical scientific practice: an experimental pedagogy for material culture. In: CAVICCHI, Elizabeth; HEERING, Peter. **Historical Scientific Instruments in Contemporary Education.** Brill, 2021.p. 14-33.

MARTINS, Roberto A. O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley (1818-1880). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 52-80, 2012.

MARTINS, Roberto A. **A origem histórica da relatividade especial.** Editora Livraria da Física, 2015.

MARTINS, Roberto A. Em busca do éter: de Maxwell a Michelson, Morley e Miller. **Ensaio sobre História e Filosofia da Ciências III.** Extrema: Quamcumque Editum, 2023.

MERRIMAN, O. **Gas burners old and new. A historical and descriptive treatise on the progress of invention in gas lighting; embracing an account of the theory of luminous combustion.** London: W. King and Sell, 1884. Disponível em <https://www.gutenberg.org/cache/epub/37928/pg37928-images.html>. Acesso 08 de outubro de 2025.

MICHELSON, Albert A.; MORLEY, Edward W. On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether. **American journal of science**, v. 3, n. 203, p. 333-345, 1887

MICHELSON, Albert A. ART. XXI.--The relative motion of the Earth and the Luminiferous ether. **American Journal of Science (1880-1910)**, v. 22, n. 128, p. 120, 1881

MICHELSON, Albert A.; MORLEY, Edward W. Influence of motion of the medium on the velocity of light. **American journal of science**, v. 3, n. 185, p. 377-385, 1886.

MILLER, Daniel. **Trecos, troços e coisas: estudos antropológicos sobre a cultura material.** Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2013.

PÉREZ, Daniel Gil et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, p. 125-153, 2001.

PESTRE, Dominique. Por uma nova história social e cultural das ciências: novas definições, novos objetos, novas abordagens. **Cadernos IG/UNICAMP**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 3-56, 1996.



PESTRE, Dominique. La pratique de reconstitution des expériences historiques, une toute première réflexion. **Blondel and Dörries, Restaging Coulomb**, p. 17-30, 1994.

PROWN, Jules David. Mind in matter: An introduction to material culture theory and method. Winterthur portfolio, v. 17, n. 1, p. 1-19, 1982.

SHANKLAND, Robert S. AA Michelson, 1852–1931. **Nature**, v. 171, n. 4342, p. 101-103, 1953

SILVA, Ana Paula Bispo da; SILVA, Thiago Calixto da. Medidas do movimento relativo da Terra no século XIX: Um estudo do interferômetro de Fizeau. **A Física na Escola**, v. 23, p. e240243-e240243, 2025.

STOKES, George Gabriel. II. On the Constitution of the luminiferous Æther, viewed with reference to the phenomenon of the aberration of light. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 29, n. 191, p. 6-10, 1846.