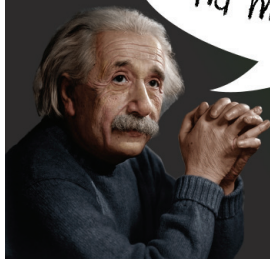


Afinal, Einstein usou ou não dados experimentais para propor sua relatividade restrita? Com a palavra, ele mesmo



Dados experimentais na minha teoria?

Felipe Damasio

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil
E-mail: felipedamasio@ufsc.edu.br

Luiz O.Q. Peduzzi

Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: luiz.peduzzi@ufsc.br

Introdução

Chalmers [1] afirma que a explicação indutivista ingênua da ciência se aproxima de sua imagem popular: objetiva, confiável, derivada da experiência por observação e experimentos. Para um indutivista ingênuo, a ciência sempre começa com a experimentação (empirismo) e, a partir de um grande número de observações, em uma ampla variedade de condições, induz-se um padrão (indutivismo); tem-se, assim, uma lei ou teoria científica. O raciocínio indutivo “nos leva de uma lista finita de afirmações singulares para a justificação de uma afirmação universal” [1, p. 26]. Como exemplo de história empírico-indutivista, costumam-se citar os resultados negativos de Michelson-Morley como fundamentais para o trabalho de Einstein ao propor os princípios da teoria da relatividade restrita. Ao mostrar que a hipótese de existência do éter era falsa e que, portanto, não existia um sistema de referência absoluto, esses dados experimentais teriam sido fundamentais para a gênese da teoria da relatividade restrita publicada por Einstein em 1905 [2].

O presente artigo aborda um ponto de vista que defende a inconsistência da visão empírico-indutivista no surgimento da teoria da relatividade restrita. Para tanto, vale-se de material original de Einstein, por meio de entrevistas, falas públicas, sua autobiografia, textos de divulgação de suas teorias e do artigo que apresentou a relatividade restrita de Einstein em 1905. Este trabalho, essencialmente, objetiva servir de material de apoio a uma discussão explícita de história e epistemologia da ciência em sala de aula, visando afastar certas opiniões problemá-

ticas do fazer ciência, em particular, a imagem empírico-indutivista da ciência. Para isso, usa-se como aporte teórico a filosofia da ciência relativista¹ do epistemólogo austríaco Paul K. Feyerabend para considerações epistemológicas.

Uma história recontada

Diversos autores contextualizam abrangentemente as origens históricas do surgimento da relatividade restrita na literatura disponível em português [3-7]. A gênese da teoria tem sido tema de diferentes interpretações entre diversos cientistas, filósofos e historiadores da ciência.

A amplamente difundida concepção empírico-indutivista da ciência concebe, fundamentalmente, a teoria da relatividade restrita como uma resposta objetiva e correta ao experimento reali-

Apesar de se poder questionar a sua importância para a gênese da relatividade restrita, o experimento de Michelson pode ser colocado entre os mais relevantes da história da ciência

zado pelos físicos estadunidenses Albert A. Michelson (1852-1931) e Edward W. Morley (1838-1923) em 1887 [7].

Apesar de se poder questionar a sua importância para a gênese da relatividade restrita, o experimento de Michelson pode ser colocado entre os mais relevantes da história da ciência. O interferômetro foi “inventado quando Michelson tinha vinte e oito anos em resposta a um desafio de Maxwell” [8, p. 135]. Tanto antes como depois dos experimentos de Michelson, houve outras tentativas de medir a velocidade da Terra em relação ao éter. Ainda, durante a realização dos experimentos de Michelson havia teorias sobre o éter muito bem estruturadas sob o ponto de vista teórico, bem como sob o ponto de vista experimental [9].

O conceito de éter permeava dois campos da física no final do Século XIX, o eletromagnetismo e a óptica - unificados pela teoria proposta por James Clerk Max-

O texto investiga a amplamente difundida ideia empirista de que os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley, de detectar o movimento da Terra em relação ao éter, fundamentaram o trabalho de Einstein ao propor sua teoria da relatividade restrita. Para tanto, usam-se entrevistas, falas públicas e a autobiografia do próprio Einstein em que ele aborda explicitamente a questão. Além disso, procura-se fazer colocações de cunho epistemológico explícito de pontos relevantes do episódio, procurando desconstruir o modelo empírico sobre a gênese da relatividade restrita e vislumbrar as possíveis implicações dessas questões na educação científica.

well (1831-1879). Segundo as previsões da teoria, o movimento da Terra através do éter poderia ser detectado por meio de experimentos ópticos ou elétricos. A detecção experimental do éter tornou-se imprescindível na física da segunda metade do Século XIX. A determinação empírica foi alvo de muitas investigações, sempre tendo resultados nulos. Nem mesmo os experimentos pioneiros de Michelson em 1881, tampouco o que foi aperfeiçoado por ele e Morley em 1887, deram indício de qualquer ‘vento do éter’ [7].

Maxwell foi fortemente influenciado pelo trabalho de Michael Faraday (1791-1867), que em meados do Século XIX defendeu que as forças eletromagnéticas são transmitidas por linhas de força que têm realidade física. Ao contrário de Faraday, que se concentrou nas linhas de força, Maxwell voltou-se à ideia da substância que preenchia o espaço, o éter [4]. Como ressalta Peduzzi [7], grande parte dos cientistas acreditava que a luz era uma onda que se propagava no éter. Após Maxwell identificar a luz como um fenômeno eletromagnético era crível admitir que as ondas eletromagnéticas deveriam envolver a vibração desse meio.

A versão popularizada que afirma que os físicos acreditavam na teoria do éter por pura especulação é completamente equivocada. Havia argumentos teóricos fortes que indicavam a possibilidade de medir a velocidade da Terra por meio de experimentos ópticos. O histórico das tentativas de medir a velocidade da Terra em relação ao éter é muito mais rico do que quando se o associa apenas aos experimentos de Michelson e Michelson-Morley [10]. O desenvolvimento do interferômetro de Michelson, por exemplo, foi muito influenciado pelo instrumento criado por J. Jamin [7].

Dentre os experimentos precedentes aos de Michelson está o de François Jean Dominique Arago, de 1809. O seu resultado negativo levou Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) a escrever um artigo, a pedido do próprio Arago, que culminou no desenvolvimento de uma teoria detalhada da relação entre os corpos transparentes e o éter luminífero - sobre a qual repousam as bases de uma óptica dos corpos em movimento. Em 1845, George Gabriel Stokes (1819-1903) propôs uma nova teoria do éter. Nela o éter seria um material viscoso que aderiria à superfície dos corpos, sendo quase que totalmente arrastado pela Terra, ficando em repouso

em relação a ela próximo ao solo. Tal teoria explicava os resultados negativos de experimentos como o de Arago e era compatível com todos os fenômenos conhecidos [10].

Em 1851, Armand H.L. Fizeau (1819-1896) realizou um experimento com o objetivo de testar a teoria de Fresnel, através da medição do efeito de arrastamento da luz em um meio transparente. O resultado trouxe uma relevante corroboração da teoria de Fresnel [11]. Logo, o éter parecia existir e se comportar de acordo com as teorias bem estabelecidas. Fizeau procurou encontrar outros experimentos para medir os efeitos da velocidade da Terra em relação ao éter. Em 1859, afirmou ter constatado resultados positivos. Seguiu-se uma série de delicados experimentos que davam boas indicações para acreditar na teoria do éter de Fresnel nas primeiras décadas da segunda metade do Século XIX. Se existissem “experimentos cruciais”, a teoria de Fresnel teria sido “provada” pelo experimento de Fizeau. Esse era o contexto quando Michelson iniciou seus estudos acerca do éter [10].

Peduzzi [7] faz uma descrição detalhada do experimento de Michelson. Resumidamente, a versão do interferômetro de Michelson (Fig. 1) possui dois braços horizontais de mesmo comprimento por onde feixes de luz vindos de uma mesma fonte se movimentam pela mesma distância de forma perpendicular, sendo refletidos e voltando ao mesmo ponto.

Para detectar o ‘vento do éter’ seria necessário medir a diferença de tempo entre o percurso dos dois feixes por meio das franjas de interferência. No experimento de 1881 os braços do interferômetro tinham 120 cm e Michelson sempre se mostrava frustrado por não ter conseguido detectar as franjas esperadas teoricamente.

Em 1884, ao proferir palestras nos Estados Unidos, Lord Kelvin incitou Michelson a realizar novos experimentos com o interferômetro. Durante os mes-

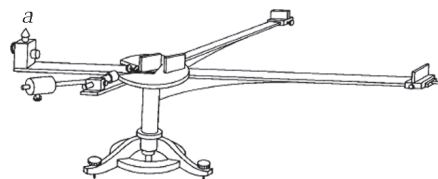


Figura 1: Interferômetro de 1881 [12].

O éter parecia existir e se comportar de acordo com as teorias bem estabelecidas

mos eventos houve uma aproximação entre Michelson e Morley. O trabalho fruto da colaboração destes dois cientistas não é uma repetição ou variação do original de 1881. No experimento realizado em 1887, a dificuldade no original de girar o aparelho foi resolvida montando o instrumento sobre um flutuador anular de madeira sustentado por mercúrio líquido. Também alteraram o caminho seguido pelos feixes, dos 120 cm originais para 1100 cm ao submeterem-nos a várias

reflexões em espelhos situados nos braços do aparelho (Fig. 2). Dessa forma, a magnitude do padrão de

interferência no experimento de 1887 era dez vezes maior que no original, mas novamente os resultados não foram os previstos. Apesar disso, a certeza de Michelson da existência do éter nunca foi abalada [7].

A importância do trabalho de Michelson, para alguns autores, não se limita à questão envolvendo o movimento da Terra em meio ao éter - afirmam que teve papel fundamental para o desenvolvimento da relatividade restrita de Einstein. Filósofos da ciência como Hans Reichenbach e Gaston Bachelard alinharam-se à visão empirista para a gênese da teoria da relatividade restrita. Reichenbach foi um dos mais persistentes analistas filosóficos das implicações epistemológicas da relatividade. Para o autor, não resta dúvida de que Einstein construiu sua teoria fundamentado em uma confiança extraordinária em dados experimentais [14]. Os únicos experimentos citados na análise são os de Michelson. Gaston Bachelard é ainda mais efusivo em relação à origem empírica da relatividade: “Como sabemos, como tem sido repetido mil vezes, a relatividade nasceu de um choque epistemológico; nasceu do ‘fracasso’ da experiência de Michelson” [15, p. 566].

Muitos livros didáticos reforçam a relevância do trabalho de Michelson para a gênese da teoria da relatividade restrita - inclusive, livros aprovados no PNLDEM 2012. Por exemplo, em [16, p. 313] lê-se

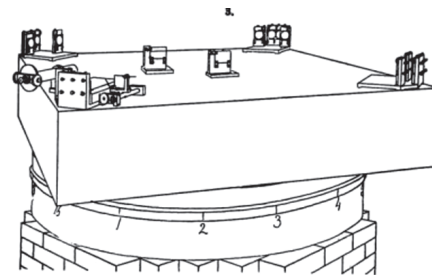


Figura 2: Experimento de 1887 [13].

que: “É preciso acrescentar que, para elaborar a teoria da relatividade, Einstein contou não só com a sua grande genialidade, mas com trabalhos de outros físicos, como os norte-americanos Albert A. Michelson (1852–1931) e E.W. Morley (1839–1923), e o holandês H.A. Lorentz (1853–1928)”.

Apesar de negar por várias vezes que os resultados dos experimentos de Michelson-Morley tenham pautado o desenvolvimento da relatividade restrita, Einstein reconhecia sua importância em outra instância. É bem provável, como o próprio cientista alemão admitiu, que sem o trabalho de Michelson os físicos não teriam aceitado a relatividade restrita e considerariam abandoná-la. Percebe-se então a importância do experimento no convencimento da comunidade, na aceitação dos pares, que é uma das mais importantes etapas do estabelecimento de uma teoria científica.

Para Feyerabend, há circunstâncias em que a argumentação perde importância, inclusive durante o desenvolvimento científico. Os argumentos, para o epistemólogo, só têm utilidade depois de algum convencimento prévio das pessoas que são argumentadas e que argumentam. Assim, as velhas formas de argumentação mostram-se demasiadamente fracas antes deste convencimento dos envolvidos. Nestes casos, outras formas de persuasão são necessárias, como a propaganda e a coerção. Para Feyerabend, aquilo que parece a voz da razão (argumentos e contra-argumentos) não passa de efeito casual subsequente deste processo de persuasão em que “interesses, forças, propaganda e técnicas de lavagem cerebral desempenham, no desenvolvimento de nosso conhecimento e no desenvolvimento da ciência, um papel muito maior que geralmente se acredita” [17, p. 40].

As ideias de Feyerabend parecem ganhar força quando se percebe, segundo a própria análise de Einstein, que o convencimento dos pares da ciência sobre a pertinência da teoria não se deveu apenas a aspectos próprios dela, como sua coerência e consistência interna. Para a comunidade não ter abandonado a teoria, outros fatores, como os dados experimentais de Michelson-Morley, que não eram oriundos da sua construção teórica, foram úteis. Normalmente, apenas argumentos oriundos da própria teoria não são suficientes para uma teoria “pegar”, como ocorreu com a relatividade restrita.

Com a palavra, Einstein

O artigo de 1905

No início do Século XX, haviam sido malsucedidas todas as tentativas de explicar os campos eletromagnéticos em termos mecânicos. Físicos como Max Abraham procuravam uma visão eletromagnética de mundo em detrimento da visão mecânica. Einstein, no entanto, estava convencido de que nem a mecânica nem o eletromagnetismo poderiam sobreviver intactos; ambos teriam que ser modificados ao levar em conta os novos avanços da Física [18].

O trabalho em que Einstein apresenta sua teoria da relatividade restrita foi publicado em 1905 no periódico *Annalen der Physik*. O artigo com o título *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Fig. 3) (*Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*) fez parte do que ficou conhecido como *annus mirabilis* de Einstein, pois nesse ano Einstein publicou outros artigos de relevância. O objetivo do trabalho foi, a partir da eletrodinâmica de Maxwell para corpos em repouso, fornecer uma eletrodinâmica para corpos em movimento, como fica claro desde a primeira frase: “Sabe-se que a eletrodinâmica de Maxwell, como geralmente entendida no tempo presente, quando aplicada a corpos em movimento, leva a assimetrias que não parecem ser inerentes aos fenômenos”.

A relatividade do movimento levava a assimetrias que Einstein conhecia de seus estudos sobre a teoria de Maxwell [3]. De acordo com o ‘princípio da relatividade’ formulado por Poincaré, os fenômenos físicos devem ser os mesmos para observadores fixos ou transportados em movimento uniforme. Vários pesquisadores tentaram conciliar a teoria eletromagnética com o princípio da relatividade, já que o eletromagnetismo de Maxwell parecia estar em desacordo com tal princípio. O resultado dessas pesquisas é o que chamamos hoje de teoria da relatividade restrita. Sua construção, em grande parte, ocorreu antes do artigo original de Einstein de 1905 [6].

A criação de uma teoria onde todos os processos físicos fossem equivalentes em quaisquer referenciais em movimento relativo era um problema que ocupava

Para Feyerabend, aquilo que parece a voz da razão (argumentos e contra-argumentos) não passa de efeito casual subsequente deste processo de persuasão

É bem provável, como o próprio Einstein admitiu, que sem o trabalho de Michelson os físicos não teriam aceitado a relatividade restrita e considerariam abandoná-la

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafte scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Figura 3: Artigo original, em alemão, de Einstein.

grandes cientistas no final do Século XIX e início do Século XX. Em particular, a questão de quais mudanças nas manifestações eletromagnéticas ou ópticas poderiam ser medidas em sistemas inerciais que se movem uns em relação aos outros era uma questão que ocupava Einstein. Já havia teorias que eram convincentes nesse sentido antes do trabalho de Einstein. Durante a década de 1880, por exemplo, Lorentz já havia desenvolvido sua teoria. Apesar de Einstein conhecer muito bem o trabalho de Lorentz quando desenvolveu sua relatividade restrita, publicada em 1905, ela não o satisfazia, talvez por sua complexidade [19].

É preciso ressaltar que, apesar de grande parte da relatividade restrita ter sido desenvolvida antes de Einstein, há três novidades fundamentais em seu trabalho publicado em 1905: (i) a estruturação da teoria de maneira muito mais simples do que Lorentz e Poincaré ao deduzir a cinemática relativística a partir de dois postulados; (ii) propor a equação $E = mc^2$ como uma relação geral da teoria ao sugerir que fosse aplicável em todos os casos e (iii) tornar supérflua a introdução do éter [4].

Einstein não apontou desde o início de seu artigo de 1905 nenhum descontentamento entre teorias e fatos estabelecidos. Ele até se refere a algumas observações, mas todas longamente conhecidas e compreendidas. Como Holton [8] chama a atenção, o mesmo

comportamento foi adotado por Copérnico, Galileu (no *Diálogo*) e Newton — nenhum deles se fundamentou em fatos experimentais recentemente disponíveis, mas mesmo assim suas propostas explicavam dados empíricos que as teorias

anteriores não conseguiam. Em nenhum momento, durante o texto, Einstein dá a entender que sua proposta é feita para tentar salvar algum fenômeno. Em nenhum local do artigo pode-se perceber algum indicativo que tenha considerado a experiência de Michelson como crucial ou mesmo essencial para sua proposta – nem mesmo se ele sabia de sua existência.

Por mais de uma vez durante o artigo,

Einstein teve oportunidade de citar o experimento de Michelson, caso ele tivesse tido alguma influência. A primeira foi logo após descrever detalhes do caso do experimento de corrente induzida com condutores e ímãs: “tentativas frustradas de descobrir qualquer movimento da terra relativamente à ‘forma de luz’, sugerem que os fenômenos da eletrodinâmica, bem como da mecânica, não possuem propriedade correspondente à ideia de repouso absoluto”. Nem o experimento de Michelson, tampouco qualquer outro experimento do suposto movimento da Terra no éter, é citado pelo nome. Mesmo tendo sido feita referência a eles, não parecem desempenhar papel crucial na argumentação.

Como analisa Martins [20], quase todos os resultados do artigo de 1905 obtidos por Einstein já haviam sido alcançados antes por Lorentz e Poincaré. No entanto, havia uma importante diferença; enquanto os antecessores de Einstein aceitavam a existência do éter, ele negou essa hipótese. Já quase no final da introdução do artigo, Einstein teve outra oportunidade de citar o experimento de Michelson ao afirmar que a introdução de um éter luminoso era supérflua, pois sua argumentação não exigia um espaço absolutamente estacionário com propriedades especiais. As equações de transformação de Lorentz derivam dos postulados e guiam a transformação das equações de Maxwell-Hertz para todos os fenômenos eletrodinâmicos. Velhos fenômenos ópticos conhecidos devido ao movimento da Terra decorrem dessa nova abordagem, mesmo anteriores aos experimentos de Michelson, como o efeito Doppler relativista. Em nenhum momento Einstein indica uma reinterpretação dos resultados negativos de Michelson-Morley. Algumas frases, inclusive, mostram uma falta de preocupação com detalhes complicados da física experimental, ou mesmo falta de tempo e interesse em entrar em detalhes sobre estas experiências. Dessa forma, Einstein renuncia uma segunda vez à oportunidade de citar os experimentos de Michelson, se eles

Algumas frases de Einstein no artigo de 1905 mostram uma falta de preocupação com detalhes complicados da física experimental, ou mesmo falta de interesse

tivessem tido influência na gênese de sua proposta [8].

Vários outros pontos do artigo de Einstein indicam uma despreocupação com resultados empíricos para a construção da teoria da relatividade restrita. Por exemplo, quando Einstein descreve os dois postulados que são a base do trabalho ele não se refere a qualquer conjunto de dados experimentais ou mesmo alguma

experiência bem conhecida. Em alguns casos, o autor descreve que suas propostas estão de acordo com experiências estabelecidas. Apesar disso, quando as equações que podem explicar experimentos clássicos, como a de Fizeau, da teoria do arrasto do éter, são desenvolvidas, elas não são explicitamente vinculadas a esses experimentos.

Einstein aceitava como premissa para a reformulação da eletrodinâmica as reformas nos conceitos de espaço e tempo. Ele irá deixar claro, em sua autobiografia, que não entendia como

dever de uma teoria ser construída a partir de fatos empíricos, apenas, segundo o cientista, não pode entrar em conflitos com resultados experimentais bem estabelecidos.

De acordo com Martins [20], não se coloca em dúvida que Einstein sabia da existência de experimentos infrutíferos que pretendiam detectar o movimento da Terra em relação ao éter. No entanto, não há nada no artigo original de 1905 que deixe claro, ou mesmo indique, que Einstein considerou os experimentos de Michelson durante a formulação da proposta da teoria da relatividade restrita, ou até mesmo que ele conhecia seus resultados durante a construção de seu argumento. Segundo Arruda e Villani [3], as contribuições de Einstein em 1905 devem ser vistas como uma tentativa de unificação da Física. O trabalho teve como objetivo reformular a teoria eletromagnética de Maxwell, não teorizar resultados empíricos. Ele buscava uma perfeição teórica interna, procu-

rando uma estética que os cientistas não tinham ainda levado a termos empíricos.

Parece claro que Einstein tinha uma inquietação causada por paixão a uma simetria. A partir desse seu anseio, ele desenvolveu sua teoria que, ao final de todo o processo, pode parecer racionalmente construída. Isso não é uma exceção, segundo Feyerabend, mas algo recorrente na história da ciência: as teorias só parecem razoáveis, claras e aceitáveis quando partes internas incoerentes foram usadas por um tempo. “Esse prelúdio desarrazoado, insensato e sem método revela-se, assim, ser uma condição inevitável de clareza e de êxito empírico” [17, p. 41].

Notas autobiográficas

As *Notas Autobiográficas* [21] foram escritas em 1946 e publicadas originalmente em 1949 (Fig. 4). No livro há fortes indícios que o jovem estudante Albert Einstein tinha convicções empiristas, o

que não poderia ser diferente em um cenário de uma ciência que se desenvolve à luz do empirismo lógico. No entanto, o cientista escreve que pouco depois de 1900, após conhecer o trabalho de

Quase todos os resultados do artigo de 1905 obtidos por Einstein já haviam sido alcançados antes, no entanto, havia uma importante diferença; Einstein negou a hipótese do éter

Planck, teve o convencimento de que nem a mecânica, tampouco a eletrodinâmica, poderiam alegar validade exata.

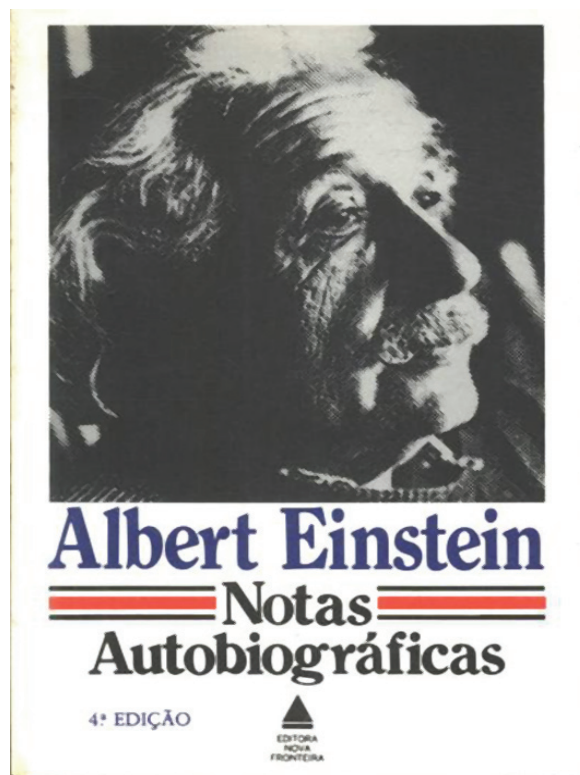


Figura 4: Capa da autobiografia de Einstein.

Nem sempre Einstein negou o éter, como quando introduziu a sua relatividade restrita. Quando ainda era estudante, em torno de 1897-98, ele inclusive planejou construir artefatos experimentais para medir a velocidade da Terra em relação ao meio. Em cartas a Mileva Maric e Marcel Grossmann é possível ter indicativos de que ele acreditava na existência do éter até pelo menos 1901 [22].

A crença no éter foi colocada de lado para o nascimento da relatividade restrita de Einstein. Em relação à gênese da teoria, Einstein aborda explicitamente esse assunto em sua autobiografia. “A teoria da relatividade especial tem a sua origem nas equações de Maxwell dos campos eletromagnéticos” [21, p. 63]. Também Einstein deixa bem claro que não foram dados empíricos que levaram à sua proposta, na talvez mais conhecida passagem das *Notas Autobiográficas* [21, p. 51-53]:

Aos poucos me desesperava da possibilidade de descobrir as verdadeiras leis por meio de esforços construtivos baseados em fatos conhecidos. Longa e desesperadamente eu tentei, mas cheguei à convicção de que só a descoberta de um princípio universal formal poderia levar a resultados seguros. [...] Após dez anos de reflexão resultou um paradoxo sobre o qual eu já tinha batido com a idade de dezesseis anos: Se eu tentar alcançar um feixe de luz com a velocidade c (velocidade da luz no vácuo), eu deveria observar tal feixe de luz como um campo eletromagnético oscilatório espacialmente em repouso? No entanto, não parece existir tal coisa, quer com base na experiência ou de acordo com as equações de Maxwell. [...]

Vê-se que neste paradoxo o germe da teoria da relatividade especial já está contido.

Em nenhum momento, em todo o seu *Notas Autobiográficas*, Einstein cita as experiências de Michelson ao escrever sobre as origens da teoria da relatividade restrita. Martins [6] ainda relata que para Einstein, inclusive, a sua relatividade restrita não obriga a

Einstein não provou a inexistência do éter, embora o tivesse rejeitado no desenvolvimento da sua relatividade restrita publicada em 1905

Apesar de Einstein ter deixado de lado inicialmente o conceito, ele o aperfeiçoou admitido até a existência de ‘um éter da relatividade geral’

negar a existência do éter. Sendo possível admitir sua existência “apenas desistindo de atribuir um estado definitivo de movimento” [23 *apud* 6]. Einstein não

provou a inexistência do éter, embora o tivesse descartado no desenvolvimento da sua relatividade restrita publicada em 1905.

Mais tarde, ao desenvolver a relatividade geral, Einstein parece se aproximar da validade do conceito de éter. Em uma conferência na Holanda em 1920 [24], chega a comparar “o éter da relatividade geral” com o éter de Lorentz, diferenciando-os por o primeiro depender das influências da matéria e energia em cada lugar, e para Lorentz o éter era igual em todos os pontos [6].

Para Feyerabend [17], um cientista tentará aperfeiçoar e não descartar concepções aparentemente vencidas.

Quando se analisa a relação do trabalho de Einstein com o conceito do éter, as asserções de Feyerabend parecem fazer mais sentido. Apesar de Einstein ter deixado de lado inicialmente o conceito, ele o aperfeiçoou no desenvolvimento de sua relatividade geral, admitindo até a existência de ‘um éter da relatividade geral’. Segundo Martins [6], Einstein aceitou inicialmente o princípio da relatividade e outras ideias de Poincaré, no entanto, rejeitou o éter por este não poder ser detectado e por considerá-lo puramente hipotético. Martins afirma que o retorno ao éter de Einstein demonstra que ele não tinha uma postura epistemológica rígida, utilizava a concepção que lhe fosse mais conveniente no momento.

Sendo assim, parece improvável que algum experimento com resultados negativos de detecção do éter possa ter papel decisivo na gênese da relatividade. O desenvolvimento da teoria não exclui a existência desse ente e mesmo Einstein não parecia convencido da inutilidade do conceito; apenas o considerou supérfluo no desenvolvimento de sua relatividade restrita. Além de tudo, o fato de Einstein ao desenvolver sua rela-

tividade geral se aproximar do conceito de éter dá indicativos de que ele não dava muita importância

à necessidade de provas empíricas no desenvolvimento das teorias, ao invocar um ente que muitos falharam em tentar detectar.

Entrevistas com R. S. Shankland, cartas e falas públicas

Em artigo publicado em 1963, R.S. Shankland relata entrevistas de Einstein realizadas por ele em Princeton (Fig. 5) entre 1950-54. As conversas tratam principalmente do trabalho de Michelson, particularmente o de Michelson-Morley e também dos experimentos de Miller.

No início do artigo, Shankland [25] deixa claro que o objetivo das entrevistas era “aprender com ele o que realmente achava sobre os experimentos de Michelson-Morley, e em que grau eles o tinham influenciado no desenvolvimento da teoria especial da relatividade”. A resposta de Einstein para a pergunta sobre quando havia conhecido os experimentos de Michelson foi que eles chamaram a sua atenção por meio do trabalho de Lorentz e só depois de 1905. Einstein ainda afirma que se os experimentos de Michelson tivessem relevância para ele antes de 1905, ele os teria citado no artigo. Ele continuou dizendo que os resultados experimentais que mais o influenciaram foram as observações sobre a aberração estelar e de Fizeau, e também as medições da velocidade da luz na água em movimento. “Eles eram o suficiente”, disse Einstein a Shankland.

É interessante também notar que Einstein acreditava que não existe caminho racional a seguir para a construção de uma teoria. Segundo Feyerabend, os racionalistas têm ânsia por uma sequência linearizada que leve a uma teoria cien-



Figura 5: Princeton University durante a década de 1950.

tífica. Einstein discordava, como deixou claro em entrevistas, segundo o relato de Shankland [25, p. 48]:

Isso o levou a comentar com algum pormenor sobre a natureza dos processos mentais, em que eles não aparecem como um movimento de passo a passo rumo a uma solução, enfatizando-os como uma rota tortuosa que nossas mentes tomam através de um problema.

Percebe-se que Einstein não está se referindo a caminhos não logicamente encadeados somente no contexto da descoberta, mas também no que Reichenbach chamou de contexto da justificativa. Feyerabend sugere superar a distinção entre contexto da descoberta e contexto da justificativa, que para o autor não desempenha nenhum papel na prática científica, e “tentativas de impô-lo teriam consequências desastrosas” [17, p. 207]. Para o epistemólogo, a prática científica não tem esses dois contextos. Ao contrário, ela é uma complexa mistura de procedimentos, que não permite traçar onde começa e termina o contexto da descoberta para iniciar-se o contexto da justificativa. Feyerabend vai ainda mais longe: se os cientistas tivessem sido obrigados a seguir as regras que os metodólogos exigem no contexto da justificativa, a ciência como a conhecemos não teria se desenvolvido. A prática científica, segundo o autor, é uniforme durante todo o processo de criação, desconstruindo a exigência racionalista dos dois contextos descritos por Reichenbach.

Em uma segunda entrevista, Shankland também questionou Einstein acerca do papel dos experimentos de Michelson na gênese da teoria da relatividade restrita [25, p. 55]:

Eu perguntei ao Professor Einstein quando ele ouviu pela primeira vez sobre o experimento de Michelson. Ele respondeu: “Isso não é tão fácil, eu não tenho certeza de quando ouvi pela primeira vez sobre a experiência de Michelson. Eu não estou consciente se ela me influenciou diretamente durante os sete anos que a relatividade foi minha vida. Acho que eu tinha como certo que seus

resultados eram verdade”.

Por meio da entrevista, parece claro que para Einstein, a atividade científica parece ter alguma ordem somente no final. Em seu percurso, o cientista segue caminhos que um racionalista iria descrever como não científicos. Einstein tinha várias convicções sobre o fazer ciência; como descrito por Shankland [25, p. 50]:

Quase todos os historiadores da ciência são filólogos e não compreendem o que os físicos estavam visando, como eles pensaram e lutaram com os seus problemas [...] Ele luta com os seus problemas, sua tentativa usando todos os meios possíveis para encontrar uma solução que vem, finalmente, muitas vezes, por meios indiretos.

Para Feyerabend, a ciência em desenvolvimento é o resultado de uma solução de contravérsias. A criação de uma teoria e a compreensão plena da ideia correta sobre ela são parte de um único processo indivisível - e não podem ser separadas para não interromper tal processo. Esse curso é guiado por um vago anseio, uma paixão, que “dá origem a um comportamento específico que cria as circunstâncias e as ideias necessárias para analisar e explicar o processo, para torná-lo ‘racional’” [17, p. 41].

Durante toda a entrevista, Einstein não esconde a admiração e respeito que tinha por Michelson, chegando a declarar que o amava. Nas conversas com Shankland parece claro

que os experimentos de Michelson só chamaram sua atenção depois de 1905, principalmente durante as discussões com Lorentz no desenvolvimento da relatividade geral. No entanto, os resultados dos experimentos de Michelson, e depois junto com Morley, eram perfeitamente compreendidos a partir da relatividade restrita.

O próprio Shankland publicou artigo [26] em que transcreve carta de Einstein escrita em 1952 para a Sociedade de Física de Cleveland, em homenagem ao centenário de Michelson. Nessa carta, além de tecer elogios a Michelson, chamando-o inclusive de artista da ciência, Einstein

reafirma que, caso o experimento de Michelson do vento do éter tivesse tido alguma influência, ela não foi relevante: “A influência do famoso experimento de Michelson-Morley sobre os meus próprios esforços [deliberações] foi bastante indireta”.

Na mesma carta, o único experimento citado como fundamental para a gênese da teoria da relatividade restrita foi a experiência de pensamento, de se buscar um feixe de luz com a velocidade c , descrita no artigo de 1905. Outros três experimentos são citados como mais importantes que o de Michelson-Morley para a relatividade, os que foram apresentados no trabalho de Lorentz de 1895. Tais evidências estão em consonância com outras a partir das entrevistas de Shankland, que permitem acreditar que o livro de Lorentz que Einstein provavelmente estudou e leu foi de 1895, além do artigo de 1892 publicado na França. Neles, Einstein encontrou o experimento de Michelson, sem, no entanto,

nenhum tratamento para ser considerado como um evento crucial sobre a qual uma nova física deveria ser construída. O experimento de Michelson era apenas uma das várias experiências descritas na obra.

Einstein escreveu a seu amigo Michele Besso para comentar a notícia que Dayton Miller havia anunciado resultados empíricos que anulavam o segundo postulado da relatividade restrita. Na carta a Besso Einstein afirma que: “Eu não o levei a sério por um minuto”. Essa resposta parece indicar o quanto para Einstein os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley não eram uma conclusão de uma análise empírica. Einstein acreditava nesses resultados por uma questão teórica que não parecia poder ser refutada por experimentos como os de Miller.

A primeira e única vez que Einstein encontrou Michelson foi na visita do cientista europeu a Pasadena em 1931. Apesar de Einstein admirar o trabalho de Michelson, este não apreciava a relatividade e seu papel na superação das teorias do éter. Ele tinha certeza de que suas experiências tinham tido papel central na gênese da relatividade restrita. Isso pode ser entendido nas entrevistas de Einstein a Shankland quando ele declarou que Michelson havia lhe dito que não gostava das teorias que se haviam seguido ao seu trabalho, que estava triste com o monstro que seu trabalho havia gerado.

os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley não eram uma conclusão de uma análise empírica, Einstein acreditava nestes resultados por uma questão teórica

A atividade científica parece ter alguma ordem somente no final. Em seu percurso, o cientista segue caminhos que um racionalista iria descrever como não científicos

Não haveria ocasião mais adequada para reconhecer a influência dos experimentos de Michelson para a elaboração da teoria da relatividade restrita que uma fala de Einstein com Michelson na plateia, como no evento de 1931 em Pasadena. O texto do discurso de Einstein na ocasião foi publicado em alemão em 1949 na revista *Science* (93, p. 544-545). Nele, Einstein declara que Michelson havia estimulado as ideias de Lorentz e FitzGerald a partir das quais a relatividade restrita foi desenvolvida.

Portanto, Einstein não traçou ligação genética entre a sua relatividade restrita e os experimentos de Michelson e de Michelson-Morley, nem quando teve uma ocasião propícia com Michelson na plateia de sua fala. Mas reconheceu que o trabalho de Michelson contribuiu para a construção da ciência que levou à relatividade. A importância que a fala de Einstein atribuiu aos resultados negativos de Michelson está na aceitação da relatividade pelos pares, não em sua construção.

Outro documento relevante para ser analisado é o registro das observações do cientista em 1931 ao *Physikalische Gesellschaft*, em Berlim. O evento foi em memória de Michelson, que faleceu em 9 de maio de 1931. Mais uma vez, Einstein não faz qualquer ligação genética entre os experimentos de Michelson e a relatividade restrita, e se limita a enfatizar a importância dos resultados negativos para a aceitação dos pares. Isso fica explícito em seu comentário: “Esse resultado negativo [da experiência de Michelson] grandemente avançou a crença na validade da teoria”.

Uma década mais tarde, em 1942, Einstein escreve uma carta resposta ao escritor B. Jaffe onde aborda novamente a questão [27]. Nela reafirma que a importância do trabalho de Michelson sobre sua relatividade restrita foi de reforçar a convicção da validade dos seus princípios, que foram desenvolvidos antes de ele saber dos resultados dos trabalhos de Michelson. Novamente Einstein reafirma que o papel relevante dos experimentos para a relatividade foi no sentido de ajudar a convencer a comunidade de sua validade.

Uma última carta que será analisada é a de Einstein ao historiador F.G. Daven-

port. A resposta de Einstein foi a um questionamento do remetente de como as experiências de Michelson haviam pavimentado o caminho para a teoria da relatividade restrita. A resposta de Einstein data de 9 de fevereiro de 1954 [8, p. 194]. Após fazer considerações sobre a origem de sua relatividade restrita, tal qual exposta no próprio artigo de 1905, Einstein reafirma que “podemos, portanto, entender por que na minha luta pessoal o experimento de Michelson não desempenhou nenhum papel ou pelo menos nenhum papel decisivo”.

Uma possível conclusão da análise dos escritos e falas do próprio Einstein é que os experimentos de Michelson eram muito considerados por ele, que chamou por vezes seu autor de artista da ciência. No entanto, seus resultados apenas reforçaram uma convicção teórica-estética de Einstein, que já assumira a validade dos dados dos experimentos como corretos antes de estudar o trabalho de Michelson. Apesar de admitir que os resultados negativos dos experimentos foram muito importantes para a aceitação da teoria, não há evidências de que tenham tido alguma importância em sua gênese.

Considerações finais

Uma discussão explícita das questões colocadas anteriormente pode ser útil procurando desconstruir opiniões problemáticas sobre o conhecimento científico. Alguns apontamentos acerca da discussão sob o viés epistemológico de Feyerabend também parece ser relevante nesse cenário. Anteriormente levantou algumas opiniões problemáticas acerca do conhecimento científico,² em particular a opinião de uma ciência de natureza empírico-indutivista. A questão que se coloca, então, é se existe e quais seriam as características da natureza da ciência que devem estar presentes para garantir o *status* de científico a um trabalho.

Para Feyerabend, pode haver muitas espécies diferentes de ciência, muitas maneiras de fazer ciência e contribuir com o conhecimento científico. Toda opinião sobre a natureza da ciência é uma entre muitas possíveis, o que reflete a heterogeneidade do procedimento científico.

Qualquer opinião sobre o conhecimento científico não pode ignorar que o empreendimento científico deve olhar para outras tradições e outros procedimentos que não os recomendados pelos racionalistas. A epistemologia de Feyerabend considera que a “ciência é uma das invenções mais maravilhosas da mente humana” [17, p. 23]. O que Feyerabend chama de ciência está muito longe dos procedimentos defendidos por *alguns* racionalistas e o que estes acreditam caracterizar a natureza da ciência. Estudar episódios históricos à luz da epistemologia relativística de Feyerabend pode ser um importante aporte para desconstruir algumas opiniões problemáticas sobre o conhecimento científico, em especial a opinião empírico-indutivista. As considerações epistemológicas nessa desconstrução podem contribuir para uma opinião acerca do conhecimento científico mais alinhada com a moderna filosofia da ciência.

Notas

¹Feyerabend discute o seu entendimento acerca de relativismo e racionalismo em seu ensaio publicado em *Adeus à Razão* [28], intitulado ‘Notas sobre o relativismo’ (p. 27-110). Em Damasio e Peduzzi [29] podem-se encontrar comentários a respeito da abordagem de Feyerabend sobre a questão.

²Na literatura é comumente chamado de imagem e/ou visão distorcida e/ou deformada da ciência as maneiras de considerar ou de entender a ciência desalinhadas com a moderna filosofia da ciência. Silva [30] faz uma reflexão crítica acerca desses termos. Para o autor, deve-se usar termos compatíveis com a correção da linguagem filosófica. Ele sugere o uso da expressão opinião no lugar de imagens ou visões, pois imagem, em filosofia, requer certo cuidado ao ser usada para não gerar interpretações dúbias. Já o termo opinião, no sentido filosófico, é sinônimo de intuição, assim justifica-se seu uso, pois o estudante não cria uma visão ou imagem da ciência, mas sim uma crença que não possui segurança de validade. Portanto, a redação mais coesa no sentido filosófico é de opinião problemática do fazer ou do conhecimento científico. A terminologia sugerida por Silva foi adotada neste trabalho.

Referências

- [1] A.F. Chalmers, *O Que É Ciência Afinal?* (Editora Brasiliense, Brasília, 1993).
- [2] F.L. Silveira e L.O.Q. Peduzzi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, **23**, 26 (2006).
- [3] S.M. Arruda e A. Villani, *Cad. Cat. Ens. Fis.* **13**, 32 (1996).
- [4] R.A. Martins, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 11 (2005).
- [5] F. Damasio e T.F. Ricci, *Relatividade de Einstein em uma Abordagem Histórico-Fenomenológica*. (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2009).
- [6] R.A. Martins, in: *Einstein: Muito Além da Relatividade*, editado por M. Knobel e P.A. Schulz (Instituto Sangari, São Paulo, 2010), p. 31-60.
- [7] L.O.Q. Peduzzi, *A Relatividade Einsteiniana: Uma Abordagem Conceitual e Epistemológica* (UFSC/EAD/CED/CFM, Florianópolis, 2015).
- [8] G. Holton, *Isis* **60**, 132 (1969).

- [9] J. Worrall, PSA: Proceeding of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association **1**, 334 (1994).
- [10] R.A. Martins, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **29**, 52 (2012).
- [11] E. Buchwald and Hundert Jahre Fizeauscher Mitfuhrungsversuch, Naturwissenschaften **28**, 519 (1951).
- [12] A.A. Michelson, American Journal of Science **22**, 120 (1881).
- [13] A.A. Michelson and E.W. Morley, American Journal of Science **34**, 333 (1887).
- [14] H. Reichenbach, *From Copernicus to Einstein* (Philosophy Library, New York, 1942).
- [15] G. Bachelard, in: *Albert Einstein Philosopher-Scientist*, edited by P.A. Schilpp (Library of Living Philosophers, Evanston, 1949).
- [16] G.J. Biscuola, N.V. Bôas e R.H. Doca, *Física*, 3 (Saraiva, São Paulo, 2010).
- [17] P.K. Feyerabend, *Contra o Método* (Editora UNESP, São Paulo, 2007).
- [18] J. Stachel, Revista Brasileira de Ensino de Física **27**, 5 (1995).
- [19] J. Renn, Revista Brasileira de Ensino de Física **27**, 27 (2005).
- [20] R.A. Martins, Ciência e Cultura **57**, 25 (2005).
- [21] A. Einstein, *Notas Autobiográficas* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1982).
- [22] A. Pais, *Sutil é o Senhor* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1995).
- [23] A. Einstein, *Äther und relativitätstheorie* (Julius Springer, Berlin, 1920).
- [24] A. Einstein, *Sidelights on Relativity*. Disponível em https://ia600207.us.archive.org/17/items/sidelightsonrela00einsuoft/sidelightsonrela00einsuoft_bw.pdf. Acesso em 14/3/2017.
- [25] R.S. Shankland, American Journal of Physics **31**, 47 (1963).
- [26] R.S. Shankland, American Journal of Physics **32**, 32 (1964).
- [27] B. Jaffe, *Men of Science in America* (Simon & Schuster, New York, 1944).
- [28] P.K. Feyerabend, *Adeus à Razão* (Editora Unesp, São Paulo, 2010).
- [29] F. Damasio e L.O.Q. Peduzzi, Investigações em Ensino de Ciência **20**, 97 (2015).
- [30] D.A. Silva, *Aspectos Epistemológicos da Física Newtoniana na Formação Científica*. Dissertação de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

Chamada por Trabalhos

A Revista do Professor de Física é uma publicação quadrimestral online voltada para o Ensino de Física. Sua missão precípua é a divulgação de trabalhos que possam contribuir positivamente no processo de ensino de temas de Física tanto no Ensino Fundamental e Médio quanto no Ensino Superior.

O site da Revista é: <http://periodicos.unb.br/index.php/rpf/>

A Revista do Professor de Física é editada pela Universidade de Brasília, criada e mantida por professores de todo o Brasil, diretamente engajados nas questões relativas ao Ensino de Física. A Revista do Professor de Física lançará, em breve, seu primeiro número.



Os trabalhos podem ser escritos tanto em Latex, no *template* fornecido pela revista, quanto em Word®. As diretrizes para os autores podem ser obtidas [aqui](#).

Para publicar na Revista do Professor de Física, você deve primeiro se cadastrar no *site* da Revista como autor e leitor, para receber automaticamente em seu email as notificações de novos números publicados.

Nós, editores e equipe da Revista do Professor de Física, aguardamos suas submissões.

Deseja Publicar seu Trabalho e contribuir para a melhoria do ensino de Física no País? A RPF é o lugar ideal!