

O ECLIPSE DE 1919: UM SÉCULO DE MITOS HISTÓRICOS SOBRE A RELATIVIDADE GERAL

THE 1919 ECLIPSE: A CENTURY OF HISTORICAL MYTHS ON GENERAL RELATIVITY

Ricardo Capiberibe Nunes; Wellington Pereira de Queirós

PPEC-UFMS – Cidade Universitária Av. Costa e Silva, s/nº, Campo Grande, MS – CP 549 – CEP 70070-900; E-mail: ricardo.capiberibe@gmail.com, wellington.queiros@ufms.br

Em 1919, Sir Arthur Eddington e Frank Dyson lideraram duas comitivas para observar o eclipse solar na Ilha do Príncipe (África) e Sobral (Brasil) para verificar se a deflexão da luz ao passar por um campo gravitacional convergia com o valor previsto por Einstein, a partir das equações de campo da Teoria da Relatividade Geral. Eddington declarou para imprensa internacional que a observação confirmava a previsão de Einstein e, desde então, popularizou-se uma narrativa de que a Teoria da Relatividade Geral de Einstein foi provada durante a observação do eclipse de 1919 em Sobral, no Brasil. Essa versão além de ser historicamente equivocada, reproduz uma visão inadequada e deformada sobre a natureza e a construção do conhecimento científico. Infelizmente, ainda são escassas fontes confiáveis que abordam tópicos de história da ciência de forma acessível aos professores da educação básica. Por isso, propomos esse ensaio que por meio de uma revisão de literatura em fontes históricas, apresentar uma síntese sobre este episódio histórico, a observação do Eclipse de 1919 em Sobral, denunciando as imprecisões históricas e as deformações conceituais, algumas delas presentes em livros didáticos aprovados pelo PNLD-2018. Por fim, fazemos algumas reflexões do Eclipse de 1919 ocorrido em Sobral para a aproximação da História da Física em sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de Física, Albert Einstein, Teoria da Relatividade Geral, Eclipse de 1919 em Sobral, História e Epistemologia da Ciência.

In 1919, Sir Arthur Eddington and Frank Dyson led two delegations to observe the solar eclipse on Príncipe Island (Africa) and Sobral (Brazil) to see if the deflection of light as it passed through a gravitational field converged with the value predicted by Einstein, from the field equation of the General Theory of Relativity. Eddington declared to the international press that the observation confirmed Einstein's prediction and, since then, a narrative has become popular that Einstein's Theory of General Relativity was proven during the observation of the 1919 eclipse in Sobral, Brazil. This version, in addition to being historically mistaken, reproduces an inadequate and distorted view of the nature and construction of scientific knowledge. Unfortunately, there are still few reliable sources that address topics in the history of science in a way that is accessible to basic education teachers. Therefore, we propose this essay that, through a literature review in historical sources, presents a synthesis about this historical episode, the observation of the 1919 Eclipse in Sobral, denouncing the historical inaccuracies and conceptual deformations, some of them present in textbooks approved by PNLD-2018. Finally, we make some reflections on the 1919 Eclipse that took place in Sobral for an approximation of the History of Physics in the classroom.

Keywords: Physics Teaching, Albert Einstein, Theory of General Relativity, Eclipse of 1919 in Sobral, History and Epistemology of Science.

I. INTRODUÇÃO

O uso da história da ciência para o ensino de física é um recurso didático que pode contribuir e enriquece-lo (SHERRAT, 1982-1983, MOREIRA, 1986, MARTINS, 1990, 2006, 2010, MATTHEWS, 1994, STINNER et al, 2003, PORTELA, 2006, BELTRAN, SAITO, TRINDADE, 2014). Segundo Martins:

O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade. [...] O estudo adequado de alguns episódios históricos também permite perceber o processo social (coletivo) e gradativo de construção do conhecimento, permitindo formar uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações – o que contribui para a formação de um espírito crítico e desmitificação do conhecimento científico, sem no entanto negar seu valor. A ciência não brota pronta, na cabeça de “grandes gênios”. Muitas vezes, as teorias que aceitamos hoje foram propostas de forma confusa, com muitas falhas, sem possuir uma base observacional e experimental. Apenas gradualmente as ideias vão sendo aperfeiçoadas, através de debates e críticas, que muitas vezes transformam totalmente os conceitos iniciais. (MARTINS, 2006, p. XVII-XVIII)

Entretanto, esses benefícios da história da ciência só ocorrem quando há um estudo adequado dos episódios científicos (SHERRAT, 1982-1983, MOREIRA, 1986, MARTINS, 1990, 2006, 2010, MATTHEWS, 1994, STINNER *et al*, 2003, PORTELA, 2006, BELTRAN, SAITO, TRINDADE, 2014). Quando a história da ciência é feita de forma caricata e anacrônica¹, ela acaba sendo prejudicial para a compreensão da natureza da ciência e da construção do conhecimento científico, pois ela acaba reproduzindo e cristalizando mitos e concepções deformadas² (SHERRAT, 1982-1983, MOREIRA, 1986, MARTINS, 1990, 2006, 2010, MATTHEWS, 1994, GIL-PEREZ *et al*, 2001, STINNER *et al*, 2003, PORTELA, 2006, MARTINS, 2006, 2010, BELTRAN, SAITO, TRINDADE, 2014).

Como observou Martins (2006) infelizmente o acesso as boas obras com conteúdo histórico e em língua portuguesa são escassos³. As traduções de livros que abordam história da física, em geral, são de qualidade dúbia⁴, há poucos historiadores da ciência no Brasil e muitos não logram a tarefa de produzir textos acessíveis a um público mais amplo⁵ e os livros didáticos muitas vezes apresentam o conteúdo histórico de forma descontextualizada e ahistórica⁶. Em síntese,

O resultado é a carência de obras de boa qualidade e, ao mesmo tempo, acessíveis, em português, sobre história das ciências. A grande maioria do que se publica é inadequado. Há poucas coisas publicadas no Brasil (artigos e livros) confiáveis, que podem ser utilizados sem medo. (MARTINS, 2006, p. XXVIII).

Por isso, neste trabalho propomos uma leitura crítica da história do eclipse de 1919 e suposta comprovação da Teoria da Relatividade Geral, assunto muito difundido entre físicos e divulgadores da ciência. A consolidação dessa síntese foi feita a partir de uma ampla revisão de literatura de obras produzidas por historiadores da ciência reconhecidos pelos pares e artigos publicados em periódicos especializados e qualificados⁷. Esperamos com esse artigo contribuir para reduzir a carência de textos acessíveis sobre história da ciência que possam ser utilizados no ensino de física.

II. LUZES TORTAS NO CÉU

É bastante provável que você conheça esta história e saiba que o Brasil participou desse marco histórico: o eclipse de 1919 que supostamente confirmou a Teoria da Relatividade Geral. Uma pesquisa no Google com a frase chave “teoria da relatividade geral e o eclipse de 1919” fornecem algumas matérias jornalísticas com os seguintes títulos: “*Eclipse de Sobral: há 100 anos, evento comprovava a teoria de Einstein*” (OLIVEIRA, 2019); “*A história do eclipse de Sobral (CE) que comprovou a Teoria da Relatividade*” (OLIVEIRA, 2018); “*O eclipse de Sobral: como a Teoria da Relatividade foi comprovada no Ceará*” (ROMERO, 2019)⁸, “*Teoria da relatividade: como eclipse solar no Ceará há 100 anos transformou Einstein em celebridade mundial*” (COSTA, 2019). Até a respeitada revista da FAPESP apresenta uma matéria sobre esse evento: “*O eclipse que confirmou Einstein*” (ANDRADE, 2019).

Todas essas matérias tem, ao menos, dois denominadores comuns: o primeiro, é que elas partilham da mesma opinião das manchetes dos principais jornalista internacionais de 1919, como The New York Times (Figura 1), que em 10 de novembro de 1919, estampou a capa com a seguinte manchete: Luzes Tortas no Céu. Tratava-se de um anúncio que celebrava a “comprovação” de uma “teoria complexa” que só “12 homens”

conseguiram entender: a Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein que clamava o trono da Teoria da Gravitação de Newton.

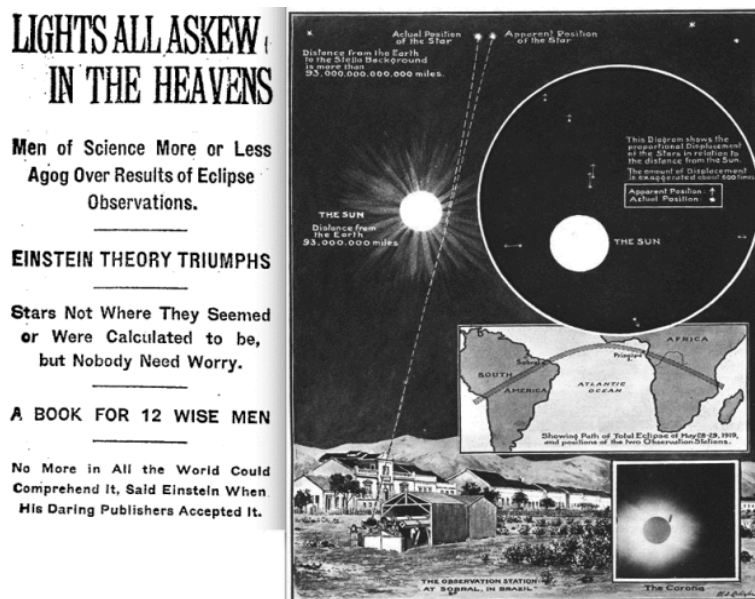


Fig. 1 – Matéria do New York Times sobre o eclipse de 1919; Fonte: (MARTINS, 2015, p.211-214).

O segundo denominador comum destas manchetes é que elas apresentam uma concepção historicamente inadequada e reproduzem uma visão deformada sobre a produção do conhecimento científico. Nesse artigo, nós convidamos estudar esse evento pela ótica histórica e menos fantasiosa do que as narrativas populares. Por se tratar de um tema que mexe com uma figura popular da ciência e por isso causa algum desconforto para algumas pessoas, enfatizamos bem claro que não estamos desmerecendo o trabalho do Einstein e as observações do eclipse realizadas em 1919. Nosso objetivo é apresentar uma síntese histórica mais adequada de como a ciência é construída e desconstruir alguns mitos e pseudo-histórias sobre o eclipse de 1919.

III. CULTURA CIENTÍFICA NO SÉCULO XIX

A ciência é uma construção histórica e social munida de uma lógica interna que também se sujeita a motivações políticas e pode ser usada para justificação de uma determinada classe ou nação⁹ (MCCOMAS, 1996, MCCOMAS, ALMAZROA, CLOUGH, 1998, CHALMERS, 1994, 2017). Os britânicos defendiam uma física baseada nas concepções de Faraday e Maxwell e na física do éter. Os alemães se dividiam entre aqueles que defendiam o modelo fenomenológico de Weber e os que defendiam o modelo construtivista de Neumann, ambos baseados na rejeição do éter e na concepção de um espaço vazio. (DARRIGOL, 1996). Helmholtz tentou criar uma teoria unificada que permitisse deduzir, por uma escolha de parâmetros, qualquer uma das teorias. Depois de uma análise cuidadosa, Helmholtz descartou a teoria de Weber por violações na conservação de energia. Para decidir entre a teoria de Neumann e Maxwell, Helmholtz pediu para seu estudante Hertz medir a polarização do vácuo. Os experimentos cuidadosos de Hertz levaram a detecção das ondas eletromagnéticas. (DARRIGOL, 1996).

Mesmo que os britânicos tivessem sido bem sucedidos os alemães começaram a pôr em dúvida a existência do éter (DARRIGOL, 1996), um conceito que para os ingleses era tido como um fato científico (GOLDBERG, 1970). Emil Cohn era enfático, o éter era um conceito inútil. Alfred Bucherer, dizia que o éter era como o andaime que serviu de apoio para os físicos esculpirem a eletrodinâmica, mas uma vez que a obra estivesse pronta, o andaime deveria ser posto de lado (DARRIGOL, 1996)

Quando Lorentz, Poincaré e Einstein apresentaram seus resultados sobre a relatividade, os britânicos receberam a teoria com grande desconfiança (WALTER, 2011). Um estudo empreendido por Walter (2011) mostra que a Grã-Bretanha foi o país que menos reagiu a nova teoria. Não é coincidência que os maiores opositores da relatividade fossem os ingleses (GOLDBERG, 1970). Em 1913, porém, com a busca de uma teoria geral da relatividade, houve um aumento significativo na produção de artigos sobre relatividade. Na Alemanha, a produção se destacou, enquanto na Inglaterra a variação foi muito pequena (ver Figura 2).

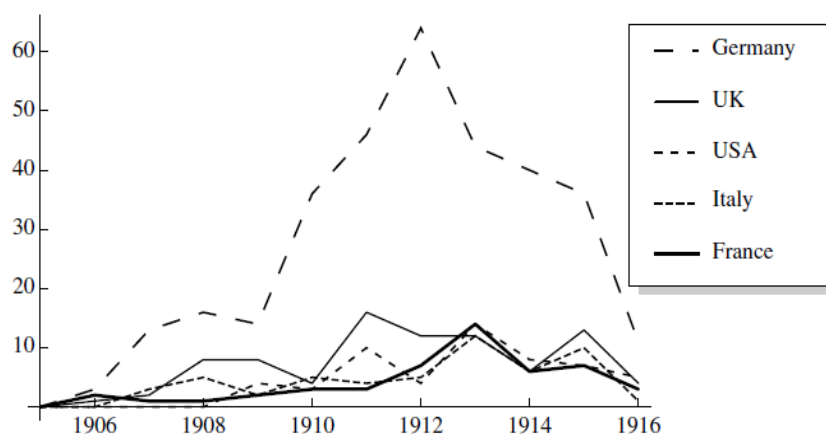


Figure 2

Publication of articles on relativity in periodicals, 1905–1916: Germany, United Kingdom, USA, Italy, France. $N = 566$. Source: Walter [1996]

Fig. 2 – Análise cientométrica sobre a penetração da Relatividade na Europa. O desenvolvimento da relatividade geral (1912-1916) foi pouco acentuado fora da Alemanha. Fonte: Walter (2011, p. 231).

Em 1913, já existia uma tensão política envolvendo a Alemanha e a Grã-Bretanha que iria desencadear a primeira guerra mundial. A tendência dos ingleses era recusar qualquer produto vindo da Alemanha (GOLDBERG, 1970, EARMAN, GLYMOUR, 1980, MARTINS, 2015). A Holanda manteve uma posição neutra, por isso ela permitiu uma pequena penetração da relatividade especial (GOLDBERG, 1970, EARMAN, GLYMOUR, 1980, MARTINS, 2015). Mas no que diz respeito a Relatividade Geral, os ingleses ficaram praticamente omissos (EARMAN, GLYMOUR, 1980). Os principais atores dessa teoria: Max Planck, Max Abraham, David Hilbert, Gustav Mie, Karl Schwarzschild, Albert Einstein, Emmy Noether eram todos alemães. Em 1916, com auge da Guerra, o boicote à cultura e a ciência alemães que ocorriam de forma velada, tornaram-se uma orientação. Qualquer centro científico ficava proibido de importar ciência alemã. (EARMAN, GLYMOUR, 1980)

IV. SIR EDDINGTON: UM DOS 12 SÁBIOS

O astrônomo Sir Arthun Eddington destacava-se tanto no campo experimental quanto no campo teórico, sendo um dos poucos homens do mundo capazes de entender a teoria da relatividade geral. Outra característica importante de Eddington era sua religiosidade, ele pertencia aos Quakers¹⁰ (Sociedade dos Amigos) (MARTINS, 2015). Por serem pacifistas e defensores da igualdade, Sir Eddington não participou da primeira guerra mundial por objeção de consciência, abrigou refugiados e imigrantes alemães, o que gerou um desconforto na comunidade científica inglesa e militou contra qualquer bloqueio intelectual, alegando que a ciência estava acima de questões políticas (MARTINS, 2015).

Em 1915, Eddington já estava à frente da Sociedade Real de Astronomia e sua posição permitia entrar em contato com vários pesquisadores internacionais dos países aliados e neutros. Foi Willem de Sitter, um astrônomo holandês, que apresentou em 1915 os trabalhos de Einstein sobre a teoria da relatividade geral. Embora, não fosse a área de Eddington, desenvolveu um grande interesse pelos trabalhos de Einstein. Em 1916, Eddington apresentou uma conferência sobre a Teoria da Relatividade Geral e em 1918 um relatório sobre essa teoria para a Physical Society (SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019).

A Teoria da Relatividade Geral era um campo extremamente obscuro, utilizava um formalismo matemático que poucos físicos e astrônomos estavam familiarizados (WALTER, 2007, MARTINS, 2015). O assunto despertava mais interesse dos matemáticos de Gottingen, (como Hilbert e Noether). Eddington, sendo um dos poucos homens que conseguiam entender essa nova teoria, via nela uma possibilidade de defender seus ideais de igualdade, liberdade e paz¹¹. (MARTINS, 2015). Por isso, Eddington tinha como objetivo testar a Teoria da Relatividade Geral. A ideia tácita desse projeto era estreitar as relações entre a Alemanha e a Inglaterra. Toda teoria precisa ser testada, assim, um alemão, Einstein, teria fundamentado a Relatividade Geral, e um inglês, Eddington, teria testado a teoria (EARMAN, GLYMOUR, 1980; MARTINS, 2015). Para sociedade inglesa Eddington vendeu a ideia de que a Inglaterra continuaria como uma das nações mais importantes na ciência ao ter testado e podendo até refutar a teoria alemã (SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019). A primeira pessoa que Eddington convenceu foi o seu colega, o astrônomo Frank Dyson, uma persona bastante influente na comunidade científica. Foi por meio de Dyson que Eddington conseguiu o apoio da sociedade real de astronomia (SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019).

V. AS ESTRELAS NÃO ESTÃO ONDE PARECIAM ESTAR OU ONDE OS CÁLCULOS INDICAVAM

Einstein indicava três previsões experimentais da Teoria da Relatividade Geral. A primeira era precessão da órbita de Mercúrio, porém, essa previsão era considerada uma petição de princípio, pois a teoria foi construída para explicar esse valor, portanto é claro que haveria concordância (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001, SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019). A segunda previsão era o efeito Doppler Gravitacional, mas essa era uma previsão que a relatividade geral havia incorporado e a sua confirmação poderia ser associada a outras teorias (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001). A única previsão original da teoria era o valor da deflexão da luz nas proximidades do Sol, que era 1,7" arco de segundo, o dobro da previsão clássica de Soldner. O fato de haver uma previsão clássica de desvio da

luz exigia que qualquer teste experimental fosse extremamente preciso, pois era preciso saber se o desvio se ajustava melhor com a previsão de Soldner ou de Einstein (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001, SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015)

Hoje, com a tecnologia de satélites e telescópios espaciais, é relativamente fácil medir o desvio das estrelas, mas na década de 10 do século XX, a situação era completamente diferente. A melhor forma de medir o desvio seria fotografar as estrelas do céu durante a noite e durante o dia. O problema que não havia ainda uma tecnologia para fotografar estrelas durante o dia, exceto durante um eclipse solar total (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001, SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980, MARTINS, 2015, 2019).

Em 08 de Junho de 1918 houve um eclipse total do Sol, com duração de 2 minutos e 23 segundos, porém as condições não foram favoráveis e não foi possível testar a teoria. O próximo eclipse total aconteceria no dia 29 de maio de 1919, com duração de 6 minutos e 51 segundos. As regiões com melhores condições de observação eram a Ilha do Príncipe, no continente africano e Sobral, no Ceará (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001, SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019)

A comissão teve duas frentes, uma coordenada por Eddington e Dyson, que foi para Ilha do Príncipe, e outra coordenada por Andrew Crommellin, que veio à Sobral. O maior inimigo das duas expedições foi o tempo. Na Ilha do Príncipe, o céu estava parcialmente nublado, podendo inviabilizar as observações. Em Sobral, o “calor” nordestino poderia comprometer a precisão dos instrumentos. Mas apesar de todas as intempéries, a experiência foi levada a cabo (SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019)

Após uma análise cuidadosa, os dados calculados foram os seguintes: $1''.98 \pm 0''.12$ (Sobral) e $1''.61 \pm 0''.30$ (Ilha do Príncipe). Os valores flutuavam ao redor de $1''.74$ previstos pela relatividade geral, portanto a predição *poderia* ser considerada como observacionalmente confirmada (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001, SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019)

Acontece, que no Brasil foram levados dois equipamentos e o segundo equipamento mediu uma deflexão de $0''.93$, muito próximo do valor calculado por Soldner de $0,87''$. Se todos os valores fossem levados em consideração, a experiência deveria ser considerada inconclusiva. Mas não foi essa atitude de Eddington. O astrônomo considerou que o segundo aparelho levado a Sobral foi prejudicado pelo calor, por isso seus dados foram rejeitados. (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001, SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019)

Entre 1915 e 1917, foram feitas medidas sobre o Efeito Doppler Gravitacional por John Evershed e Charles Edward St. dando resultados negativos. Tratava-se de uma objeção séria a relatividade geral e Eddington estava ciente. Por isso, em 1919, os resultados ainda eram inconclusivos (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001, SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019). Porém, a convicção de Eddington em parte partiam de seu desejo, como Quaker, que a relatividade e Einstein se tornassem o símbolo da boa ciência e da luta pela paz, levaram-no a divulgar para os grandes jornais que teoria da relatividade geral de “Einstein” que “poucos homens entendiam”, havia sido provada e destronado a teoria de Newton (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, 2001, SPONSEL, 2002, EARMAN, GLYMOUR, 1980 MARTINS, 2015, 2019)

Essa propaganda proporcionada por Eddington fez com que Einstein deixasse de ser um cientista apenas conhecido nos ciclos alemães e por alguns notáveis, como Poincaré, Lorentz e De Sitter, para se tornar um fenômeno mundial. Einstein se tornou o porta-voz da ciência, da política igualitária, libertária e do pacifismo, ou seja, as bandeiras defendidas por Eddington e pelos Quakers (MARTINS, 2015).

VI. LUZES TORTAS NO CÉU

As narrativas populares sobre a história da Teoria da Relatividade Geral e a observação do Eclipse afirmam que Einstein criou (ou descobriu) a Teoria da Relatividade Geral, alguns anos depois de ter criado (ou descoberto) a Teoria da Relatividade Especial, em 1905, e uma de suas previsões era que a luz das estrelas passando perto da superfície do sol sofreria um desvio; esse efeito observado durante o eclipse de 1919, em Sobral, CE, e por essa razão, o Brasil ajudou provar que Einstein estava certo.¹² Em um livro didático (aprovado pelo PNLD-2018) encontramos a seguinte afirmação: “sempre houve quem colocasse em dúvida as previsões e as conclusões de Einstein. Ao longo do século XX, *muitos testes foram realizados* para verificar quantitativamente seus cálculos. *Todos comprovaram as previsões da teoria [da relatividade geral]*” (TORRES *et al*, 2016, p. 201, grifos nossos).

No volume 3, do livro didático Física em Contextos (PIETROCOLA *et al*, 2016), encontramos a seguinte afirmação:

Existem três fenômenos que são explicados e descritos apenas quando aplicados os postulados e as equações da relatividade geral. I *A órbita do planeta Mercúrio*. [...] II. *O desvio dos raios de luz por um campo gravitacional*. [...] III. *Deslocamento do comprimento de onda da luz para o vermelho na presença de um campo gravitacional*. (PIETROCOLA *et al*, 2016, p. 198, grifos nossos)

Sobre o desvio da luz, os autores afirmam que: “esse efeito foi previsto por Einstein e posteriormente constatado em 1919 durante a observação de um eclipse solar na Ilha do Príncipe, no Golfo da Guiné, na África, e no Brasil, na cidade de Sobral, no Ceará.” (PIETROCOLA *et al*, 2016, p. 198). Como veremos, todas essas declarações são problemáticas. Vejamos o porquê.

Começemos nossa discussão sobre o desvio da luz das estrelas. As narrativas populares costumam dizer que a primeira previsão sobre o desvio da trajetória da luz por um campo gravitacional foi prevista por Einstein. Isso não é verdade, pois segundo Whittaker (1953, p.180): “a noção de que a luz possui massa gravitacional e que, portanto, um raio de luz de uma estrela será desviada quando passa perto do sol, foi apresentada em 1801 por J. Soldner.”¹³ A diferença é que Einstein havia predito que o desvio da luz das estrelas deveria ser exatamente o dobro da previsão de Soldner¹⁴. Isso implica que “não se tratava, portanto, apenas verificar se havia ou não um desvio: era necessário medi-lo com boa precisão.” (MARTINS, 2015, p. 212).

Assim, a questão que nos interpõe é: os dados eram precisos e confirmavam a previsão de Einstein?

[Inicialmente] a predição foi considerada como observacionalmente confirmada: e essa opinião foi fortalecida pelos primeiros relatos sobre o eclipse australiano de 1922 de 21 de setembro. Três expedições diferentes encontraram para a mudança no limiar solar os valores $1''.72 \pm 0''.11$, $1''.90 \pm 0''.2$ e $1''.77 \pm 0''.3$, todos os três resultados diferem do valor predito de Einstein por menos do que seus erros prováveis estimados. No entanto, um reexame das medidas de 1922 deu cerca de $2''.2$; no eclipse de Sumatra de 1929 a deflexão foi encontrada em $2''.0$ a $2''.24$; e no eclipse brasileiro de maio de 1947 a o valor de $2''.01$

$\pm 0''.27$ foi obtido: embora não deva ser considerado impossível que as consequências da teoria de Einstein possam, em última análise, ser conciliadas com os resultados observacionais, deve-se dizer que no presente momento há uma discordância (WHITTAKER, 1953, p. 180)¹⁵

Mais recentemente, historiadores da ciência reanalisaram as medidas efetuadas em 1919 e concluíram que Eddington excluiu arbitrariamente valores experimentais que poderiam tornar o experimento inconclusivo (ADAM *et al*, 1962; EARMAN, GLYMOUR, 1980, SPONSEL, 2002, MARTINS, 2015).

As observações registradas com a aparelhagem levada para a Ilha de Príncipe deram um desvio de 1,61 segundos de arco. Era um valor menor do que a previsão da relatividade geral, de 1,74 segundos de arco, mas a diferença era menor do que o desvio das medidas. No caso de Sobral, haviam sido levados dois instrumentos diferentes. Com as fotografias tiradas com um deles foi obtido um desvio de 1,98 segundos de arco (um pouco maior do que a previsão relativística), mas com o outro aparelho levado para o Brasil o resultado foi de 0,93 segundos de arco — um valor muito próximo da previsão clássica (não relativística) de 0,87 segundos. Se todos os resultados fossem levados em conta, não seria possível concluir nada. No entanto, Eddington resolveu desprezar os resultados de Sobral que favoreciam a teoria newtoniana (alegando que o aparelho tinha apresentado problemas), e levar em conta apenas os outros dois; como a previsão relativística estava entre essas duas medidas, podia-se então considerar que ela havia sido confirmada. Assim, graças a esse estratagema, as observações foram consideradas como uma importante corroboração da teoria da relatividade geral, e foi assim que os astrônomos ingleses apresentaram esses resultados. Na época, os astrônomos que estudaram o trabalho consideraram aceitável desprezar os resultados obtidos com o telescópio "defeituoso". Até hoje há discussões sobre se Eddington tinha o direito de ignorar esses dados, na época (MARTINS, 2015, p. 212-213).

Além disso, havia outra discrepância entre teoria e a observação: “a luz das estrelas não era desviada apenas radialmente, mas em todas as direções; às vezes, para o lado errado; e o desvio não obedecia às previsões” (MARTINS, 2019)¹⁶, como podemos ver na Figura 3.

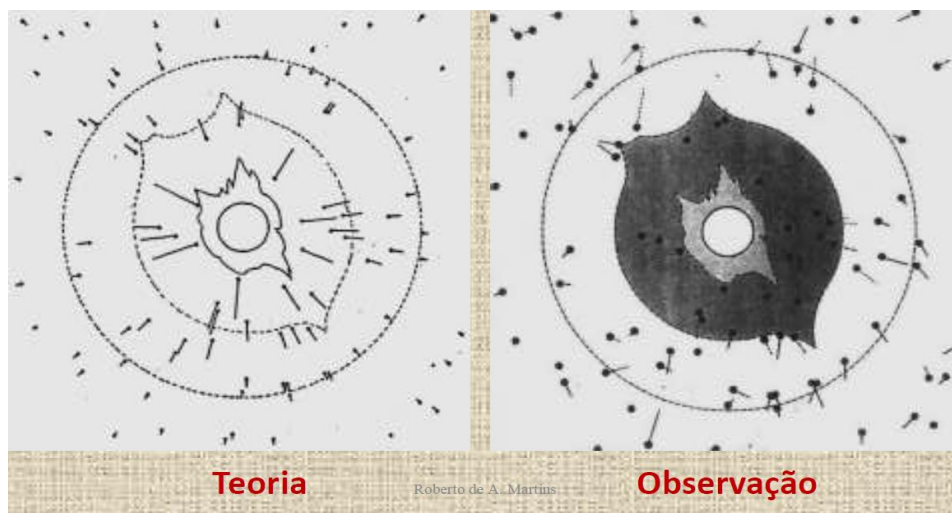


Fig. 3 – Comparação entre o desvio das estrelas previsto pela Teoria da Relatividade Geral e o observado durante o Eclipse de 1919 pela comitiva de Eddington e Dyson. Fonte: Martins, (2019)¹⁷.

É importante enfatizar que mesmo que a observação do eclipse de 1919 fosse univocamente favorável a Teoria da Relatividade Geral, esse experimento não seria suficiente para confirmá-la¹⁸. Segundo Martins (2015, 2019) e o próprio Einstein a previsão mais fundamental de sua teoria era o desvio para o vermelho das linhas espectrais¹⁹ devido ao campo gravitacional²⁰. Entre 1914 e 1917, os pesquisadores Erwin

Freundlich, John Evershed e Charles Edward St. John tentaram verificar esse fenômeno, porém todos os resultados foram todos negativos (MARTINS, 2019).²¹

Mesmo em 1921, quando Freundlich conseguiu terminar a construção da “torre de Einstein” para verificar esse fenômeno, os resultados ainda eram negativos (MARTINS, 2019). O efeito só foi observado em 1925, a partir de estudos sobre a estrela anã branca Sirius B, porém, como observa Martins (2019)²²: “hoje em dia, sabemos que a análise da época estava totalmente errada”.²³²⁴

Outro efeito previsto pela Relatividade, bastante citado nas narrativas populares é aquele que diz respeito sobre o movimento anômalo do periélio de Mercúrio. Na verdade, haviam quatro anomalias envolvendo a órbita de corpos celestes: “[a] movimento do cometa de Encke; [b] precessão anômala dos periélios de Mercúrio e de Marte; [c] movimento anômalo dos nós de Vênus e Mercúrio; [d] Flutuações irregulares no movimento da Lua” (MARTINS, 2019)²⁵. Destas quatro, a Relatividade Geral só conseguiu explicar precessão anômala do periélio de Mercúrio, mas como apontou Whittaker (1953) e Walter (2007) naquela época existiam outras explicações para essa anomalia que eram consideradas satisfatórias.

Além destas divergências, outros problemas envolvendo a Teoria da Relatividade Geral foram descobertos. Em 1918, Félix Klein e Emmy Noether haviam provado que a teoria da relatividade geral era incompatível com a conservação da energia e do momento, devido à presença das correntes de Noether (WEINBERG, 1972; MARTINS, 1998, BRADING, 2005). Mas talvez a maior objeção contra a teoria da relatividade geral é a sua incompatibilidade com a mecânica quântica (BRADING, 2005, MARTINS, 2019)²⁶.

Em síntese, embora aceitemos a teoria da relatividade geral e ela tenha fornecido resultados espetaculares, como o programa de buracos negros, lentes gravitacionais, a cosmologia moderna, a teoria apresentava diversas discrepâncias com os fenômenos observados. Algumas que até hoje ainda não foram solucionadas. Hoje o estado da arte da teoria da relatividade geral é semelhante da mecânica newtoniana. Nós a utilizamos, mas sabemos que ela apresenta várias limitações e não é o produto final. Atualmente muitos pesquisadores apostam na Teoria de Cordas e suas variantes, enquanto outros apostam em uma nova teoria da Gravitação Quântica. Há poucas expectativas que alguma mudança possa ser feita na Relatividade Geral e reanimar a fé dos cientistas em seu poder de explicação do mundo²⁷ (WHITTAKER, 1953, MEHRA, 1974, EARMAN & GLYMOUR, 1980, BRADING, 2005, MARTINS, 2015)

Assim, a resposta à pergunta que fizemos no título dessa seção é um sonoro não, o eclipse de sobral NÃO provou a teoria da relatividade geral. Nenhuma experiência pode provar uma teoria, o máximo que ela pode fazer é confirmar essa ou aquela previsão dentro de um certo grau de precisão²⁸. (ARABATZIS, GAVROGLU, 2015; DUHEM, 2014; HOLTON, 1965, MARTINS, 2006; 2019; MCCOMAS, 1986). Além disso, diferente do que apregoam alguns livros de popularização da ciência (e até livros técnicos) não existem experimentos cruciais²⁹ (ARABATZIS, GAVROGLU, 2015; DUHEM, 2014; HOLTON, 1965, MCCOMAS, 1986, RAICIK, 2019, RAICIK, PEDUZZI, ANGOTTI, 2017). Portanto, mesmo que os dados de Sobral tivessem sido favoráveis a Teoria da Relatividade Geral, e como vimos eles não eram, a teoria não teria sido provada, apenas passado em um teste experimental.

VII. O PAPEL DAS INFLUÊNCIAS EXTRACIENTÍFICAS NA CIÊNCIA

Na seção anterior, analisamos o desenvolvimento histórico da relatividade geral na perspectiva das normas e da lógica científica. À rigor, aceitação de uma teoria exige que a teoria faça previsões empiricamente testáveis, seja capaz de acomodar novos fatos e tenha o mínimo de plausibilidade (ou seja, ela não pode levar a resultados que sejam nitidamente absurdos). Porém, como constatou Duhem (2014) e Feyerabend (2007), muitas vezes os cientistas violam estas regras. A relatividade geral não é compatível com a conservação de energia e momento (WEINBERG, 1972, MARTINS, 1998) mas ainda assim foi aceita. Muitas vezes, os cientistas acreditam que essas dificuldades podem ser superadas no futuro. Algumas vezes elas são superadas, como aconteceu com a conservação do momento na Teoria da Relatividade Especial, outras vezes não acontecem e a teoria é descartada ou a inconsistência é esquecida e a teoria triunfa, apesar de seus problemas. No caso da Teoria da Relatividade Geral, esse problema não tinha como ser resolvido, se trata de um problema intrínseco da teoria, essa foi uma das razões para Einstein buscar por mais de 30 anos uma Teoria do Campo Unificado (SAUER, 2014).

Além disso, é necessário enfatizar que há outros fatores que participam na aceitação de uma teoria, esses fatores são externos e dizem respeito há questões políticas, sociais e ideológicas (MCCOMAS, 1996, MCCOMAS, ALMAZROA, CLOUGH, 1998, CHALMERS, 1994, 2017). Eddington foi um grande publicitário e a teoria se tornou popular entre os cientistas e os leigos.

O próprio Eddington se encarregou de fazer uma ampla divulgação dos resultados da expedição e também de popularizar a relatividade — e ele era uma pessoa que falava e escrevia muito bem, o que também ajudou muito. O impacto foi imediato. O jornal Times de Londres publicou no dia seguinte uma notícia que anunciava: "Revolução na ciência — Nova teoria do universo — Ideias newtonianas derrubadas" [...]Notícias como essa³⁰, falando sobre a maravilhosa teoria (descrita como incompreensível) e seu genial autor, começaram a circular em jornais de todo o mundo. A teoria começou a ser mistificada — notem que [uma] manchete reproduzida [...] mencionava³¹ "12 homens sábios", em uma alusão indireta aos 12 apóstolos de Cristo. O público ficou curioso para conhecer o autor da grande descoberta, e os repórteres correram atrás dele para obter fotografias e depoimentos. Em poucas semanas Albert Einstein, cuja fama estava antes limitada a uma pequena comunidade de físicos teóricos, se transformou em uma celebridade mundial (MARTINS, 2015, p. 213-215).

A razão de Eddington abraçar a teoria foi motivada pela sua fé religiosa e o desejo de uma ciência que conduzisse a uma sociedade igualitária, libertária e pacífica. Os alemães também tiveram um papel na divulgação da Relatividade Geral, principalmente no pós-guerra quando a moral e a cultura alemã estavam profundamente abaladas (HOBSBAWN, 1995). Em 1933, Einstein passou a residir nos Estados Unidos, e em 1940, recebeu a cidadania estadunidense, e foi contratado pelo Instituto de Estudos Avançados da Universidade de Princeton. A divulgação da relatividade geral e a popularidade de Einstein viraram o marketing da nova ciência norte-americana.

VIII. LIÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA SOBRE O ECLIPSE DE 1919 EM SOBRAL

Passados 100 anos após o eclipse de maio de 29 de 1919, ainda parece que vivemos a sombra de uma ideia equivocada de que a participação do Brasil nesse evento foi um experimento crucial que comprovou

a Teoria da Relatividade Geral. Mais importante do que entender a verdadeira participação do Brasil nesse evento e seu significado para a física, é refletir porque ainda insistimos em histórias falsas. Poderíamos destacar diversos fatores, mas focalizaremos nossa atenção em quatro fatores.

O primeiro fator é uma concepção positivista e empírico-indutiva da ciência, muito popular nos livros didáticos e técnicos (MCCOMAS, 1996, GIL-PEREZ *et al*, 2001, SILVEIRA, OSTERMANN, 2002, MARTINS, 2006, 2010, BAGDONAS, SILVA, 2013, MOREIRA, MASSONI, 2016). A ciência ainda é pensada de forma reducionista como fruto de um método científico e universal, por isso trata-se de conhecimento inquestionável, neutro e que não depende do seu contexto histórico, político e social³². Essas narrativas favorecem concepções epistemologicamente inconsistentes como a crença de que teorias podem ser provadas por meio de experiências, frequentemente chamadas de experimentos cruciais e por grandes gênios³³. Em um tempo em que cresce o movimento obscurantista e de negacionismo da ciência é tentador se render as posições positivistas (e inadequadas) para defender o valor do conhecimento científico. Entretanto, estaríamos apenas combatendo *mentiras e inverdades* com *mentiras e inverdades*, convenientes as nossas posições ideológicas. Uma compreensão histórica, sobre o complexo processo de conhecimento científico, um processo dialético, plural e não estanque, permite ao aluno compreender porque o conhecimento científico é seguro, ainda que seja provisório e limitado. Ao abordar questões históricas, sugerimos que o professor siga as orientações propostas por Martins (2010, p. 26-27)

1. Evitar livros de divulgação científica, biografias dos grandes “gênios” e as informações históricas dos livros didáticos, pois, em geral, apresentam incongruências.
2. A Wikipédia em inglês apresenta verbetes bem escritos e referenciados, porém, o mesmo não se aplica a versão em português.
3. Evitar introduzir muitas informações históricas durante as aulas. É preferível trabalhar com um ou dois episódios históricos por semestre, cuidadosa e rigorosamente.
4. Estar ciente e conscientizar os alunos que existem versões históricas incorretas, distorcidas e outras mais corretas. Por isso é necessário sempre tomar cuidado com as fontes.
5. Estimular os alunos a confrontarem diferentes versões históricas de cada episódio, desafiando-os a determinar qual a melhor versão e por quê.
6. Concentrar-se na “moral da história”, ao invés de nomes, datas e detalhes semelhantes.
7. Não cobrar em trabalhos ou provas, coisas que exige memorização. Ao invés disso, “estímule seus estudantes a responderem a perguntas do tipo: “Até que ponto (e em que sentido) se pode afirmar que Fulano fez X, Y, Z?”. Não se contente com afirmações simplistas como “Fulano provou que...”, “Fulano descobriu...”, “Fulano refutou...”. Provou mesmo? Como? Não era possível ter dúvidas ou defender alternativas? (MARTINS, 2010, p. 26-27).

O segundo fator, em estreita conexão com o primeiro, é a persistência de um perfil epistemológico positivista entre professores e estudantes de licenciatura de ciência, como foi constatado por Porlán *et al* (1997, 1998), Gil-Perez *et al* (2001), Silveira e Ostermann (2002)³⁴. Além de transmitirem uma visão inadequada sobre a natureza e a construção do conhecimento científico, eles “[...] podem tentar mostrar como se obtém

uma teoria a partir da observação e experimento, ou como se pode provar uma teoria – apesar da impossibilidade filosófica de tais tentativas” (MARTINS, 2006, p. XXVI). No caso da observação do Eclipse de 1919 em Sobral, eles assumem que os dados observacionais foram conclusivos e indiscutíveis (ou seja, indo na contra mão das pesquisas e conclusões históricas sobre esse episódio). Assim, a relação dialética entre teoria e experimento, essencial para a compreensão do processo de construção do conhecimento científico (MORIN, 2005, DUHEM, 2014), é deformada³⁵. Eles ignoram o fato de que os mesmos dados podem levar a construção de teorias antagônicas³⁶. Assim, uma reflexão epistemológica e sociológica sobre o papel do instrumento e da experiência em ciências ou é ignorada ou é ensinada de forma equivocada.

Para superarmos esse obstáculo, antes de mais nada, é necessário que o professor compreenda qual é a finalidade do experimento e o instrumento em ciências. Por isso, consideramos indispensável o estudo do texto do quarto capítulo da obra de Duhem (2014, p. 183-204), intitulado *A Experiência em Física* e a leitura dos artigos *Para Uma Imagem Não Deformada do Trabalho Científico* (GIL-PÉREZ *et al*, 2001) e *A insustentabilidade da proposta indutivista de "descobrir a lei a partir de resultados experimentais"* (SILVEIRA, OSTERMANN, 2002). Em sala de aula, sugerimos um ensino com enfoque em CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade)³⁷, pois nessa perspectiva

A pedagogia não é mais um instrumento de controle do professor sobre o aluno. Professores e alunos passam a descobrir, a pesquisar juntos, a construir e/ou produzir o conhecimento científico, que deixa de ser considerado algo sagrado e inviolável. Ao contrário, está sujeito a críticas e a reformulações, como mostra a própria história de sua produção. Dessa forma, aluno e professor reconstróem a estrutura do conhecimento. Em nível de prática pedagógica, isso significa romper com a concepção tradicional que predomina na escola e promover uma nova forma de entender a produção do saber. É desmitificar o espírito da neutralidade da ciência e da tecnologia e encarar a responsabilidade política das mesmas. Isso supera a mera repetição do ensino das leis que regem o fenômeno e possibilita refletir sobre o uso político e social que se faz desse saber. Os alunos recebem subsídios para questionar, desenvolver a imaginação e a fantasia, abandonando o estado de subserviência diante do professor e do conhecimento apresentado em sala de aula. (PINHEIRO, SILVEIRA, BAZZO, 2007, p. 77).

Sobre os aspectos epistemológicos sobre o papel do experimento sugerimos consultar: Chalmers (1994, p. 61-107)³⁸, Morin (2005, p. 107-115)³⁹, Moreira e Massoni (2016, p. 1-48) e no artigo *Aproximação entre a filosofia de Hugh Lacey e o campo educacional em Ciência, Tecnologia e Sociedade* de Cardoso, Caluzi, Santos (2020). Sobre os aspectos sociológicos da tecnologia sugerimos a discussão sumarizada e rigorosa feita por Bauman e May (2010, p. 236), no subcapítulo, *Tecnologia, expertise e habilidades*.

O terceiro fator é aquele denunciado por Bagdonas e Silva (2013, p. 221), que “muitos professores desprezam ou temem discussões abertas, em que não se sabe que rumo a aula vai tomar e há o risco de se discutir “sem chegar a lugar algum”.” A essa objeção, endossamos a resposta também dada por Bagdonas e Silva: é necessário questionar a postura tradicional do professor como aquele que detém a “Verdade” e a resposta para todas questões, adotando uma postura crítica, ousando abordar questões controversas, inclusive aquelas que ainda não há uma resposta ou consenso. Convém lembrar que a ciência não é portadora de verdades acabadas, mas uma busca pela verdade que avança pela eliminação dos erros, uma aventura humana que nunca encontra seu fim (JAPIASSU, 1999). Em síntese, entendemos que “o objetivo da educação científica não deveria ser o de apenas transmitir conhecimentos específicos que tratam de certos fenômenos – ela poderia

estar empenhada na construção de uma visão de mundo bem fundamentada, considerando que tal processo é hoje fortemente influenciado pelas teorias científicas” (BAGDONAS, SILVA, 2013, p. 221).

O quarto fator que parece ajudar a propagar essa visão mítica é a participação do Brasil na observação do Eclipse de 1919, embora “as observações não [tenham sido] planejadas, nem realizadas, nem analisadas por brasileiros;” (MARTINS, 2019)⁴⁰ As simples menção de que o Brasil foi palco de uma das “mais importantes experiências” da história da ciência, eleva nosso orgulho nacional⁴¹, pois como mostrou Kragh (2001) não é incomum que a história da ciência seja utilizada para elevar o espírito patriótico⁴². Acreditamos, que a melhor forma de conscientizar os alunos sobre a produção científica no Brasil não é através da reprodução de um mito histórico⁴³, mas apresentando a produção científica de físicos brasileiros no século XX⁴⁴ (e como essa produção foi afetado pelo Regime Militar) e dos físicos brasileiros contemporâneos. Os professores poderiam entrar em contato com os institutos (ou departamentos) de física das universidades públicas⁴⁵ ou particulares ou com os institutos federais de suas cidades ou estado⁴⁶ para apresentar aos alunos as pesquisas que estão sendo realizadas e combatendo o mito de que no “Brasil não se faz ciência”⁴⁷.

Estamos cientes sobre as dificuldades que o professor da educação básica enfrenta como, por exemplo, a falta de investimento e infraestrutura, remuneração baixa que leva o professor ter que buscar várias escolas, reduzindo a possibilidade de que ele possa dar maior enfoque aos problemas de suas turmas e alunos, e a possibilidade de investir em sua formação. Por outro lado, acreditamos que esse ensaio permite o professor planejar e inserir elementos de história da ciência e ajudar na formação crítica e reflexiva dos seus educandos.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade ** - U**/MEC – Brasil.⁴⁸

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, M. G. *et al.* The Observational Tests of Gravitation Theory [and Discussion]. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences** v. 270 (1342): 297-305, Nov. 27, 1962.
- ANDRADE, R. O. O eclipse que confirmou Einstein. **Revista FAPESP**, São Paulo, Fevereiro de 2016. Memória. Disponível em: < <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-eclipse-que-confirmou-einstein/> >. Acesso em: 14/04/2021.
- ARABATZIS, T. GAVROGLU, K. Myth 18. That the Michelson-Morley Experiment Paved the Way for the Special Theory of Relativity. In: NUMBERS, R. L. KAMPOURAKIS, K. (eds). **Newton’s Apple and Other Myths About Science**. Cambridge: Harvard Press, 2015, pp. 149-156.
- ASHTEKAR, A. PETKOV, V. **The Springer Handbook of Spacetime**. London: Springer, 2014.

- BAGDONAS, A. SILVA, C. C. Controvérsias sobre a Natureza da Ciência na Educação Científica. In: SILVA, C. C. PRESTES, M. E. B. (orgs.) **Aprendendo Ciência e sobre sua Natureza: Abordagens Históricas e Filosóficas**. São Carlos: Tipographia Editora Expressa, 2013, pp. 213-223.
- BAUMAN, Z. MAY, T. **Aprendendo a Pensar com a Sociologia**. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.
- BELTRAN, M. H. R. SAITO, F. TRINDADE, L. S. P. **História da Ciência para Formação de Professores**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.
- BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J.; ASSIS, A. K. T.; SOUZA FILHO, M. P. A utilização de traduções de fontes primárias na formação inicial de professores: breves considerações sobre dificuldades de leitura e entendimento. In: GATTI, S. R. T. NARDI, R. (org.) **A História e a Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: a pesquisa e suas contribuições para a prática pedagógica em sala de aula**. São Paulo: Escrituras, 2016, pp. 20 – 38.
- BRADING, K. A Note on General Relativity, Energy Conservation, and Noether's Theorems. In: KOX, A. J. EISENSTAEDT, J. (eds.). **The Universe of General Relativity** (Einstein Studies, vol. 11). Boston: Birkhäuser, pp. 125-136, 2005.
- CARDOSO, A. P. S. CALUZI, J. J. SANTOS, R. A. Aproximação entre a Filosofia de Hugh Lacey e o Campo Educacional em Ciência, Tecnologia e Sociedade. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 22, e12122, pp. 1-26, 2020. Disponível em: < <https://www.scielo.br/pdf/epec/v22/1983-2117-epec-22-e12122.pdf> >. Acesso em: 01/05/2021.
- CHALMERS, A. F. **A Fabricação da Ciência**. São Paulo: Editora da UNESP, 1994.
- CHALMERS, A. F. **O que é Ciência, Afinal?** 14ª reimpressão, São Paulo: Editora Brasiliense, 2017.
- CHANG, H. **Is Water H₂O? Evidence, Realism and Pluralism**. London: Springer, 2012.
- COSTA, C. Teoria da relatividade: como eclipse solar no Ceará há 100 anos transformou Einstein em celebridade mundial. **BBC News Brasil**, Londres, 24 de Maio de 2019. Disponível em: < <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-48296017> >. Acesso em: 14/04/2021.
- DARRIGOL, O. The Electrodynamical Origins of Relativity Theory. **Historical Studies in the Physical and Biological Sciences**, v. 26 (2), pp. 241-312, 1996.
- DUHEM, P. **A Teoria Física: seu Objeto e sua Estrutura**. Rio de Janeiro: Editora UERJ, 2014.
- EARMAN, J. GLYMOUR, C. Relativity and Eclipses: The British Eclipse Expeditions of 1919 and Their Predecessors. **Historical Studies in the Physical Sciences** v. 11 (1): 49-85, 1980.
- FEYERABEND, P. **Contra o Método**. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

- GIL-PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação v. 7** (2): 125–153, 2001.
- GOLDBERG, S. *In Defense of Ether: The British Response to Einstein's Special Theory of Relativity, 1905–1911*; **Historical Studies in the Physical Sciences, v. 2**: 89-125, 1970.
- HOBBSAWN, E. **A Era dos Extremos**. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.
- HOLTON, G. Einstein, Michelson, and the “Crucial” Experiment. **Isis v. 60** (2): 132-197, Summer 1969.
- HOWARD, D. STACHEL, J. (eds.). **Einstein and the History of General Relativity**. New York: Springer, 2005.
- JAPIASSU, H. **Um Desafio à Educação: Repensar a Pedagogia Científica**. São Paulo: Letras & Letras, 1999.
- KOESTLER, A. **Os Sonâmbulos: História das Concepções do Homem sobre o Universo**. São Paulo: Ibrasa, 1961.
- KOX, A. J. EISENSTAEDT, J. (eds.). **The Universe of General Relativity** (Einstein Studies, vol. 11). Boston: Birkhäuser, 2005.
- KOYRÉ, A. **Estudos Galilaicos**. Lisboa: Dom Quixote, 1986.
- KRAGH, H. **Introdução à Historiografia da Ciência**. Porto: Porto, 2001.
- KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.
- KUHN, T. **Revolução Copernicana**. Lisboa: Edições 70, 1989.
- LAKATOS, I. O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica. *In*: LAKATOS, I. e MUSGRAVE, A. (org.) **A crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**. São Paulo: Cultrix, 1979, pp. 109-243.
- LUCKESI *et al.* **Fazer Universidade: Uma Proposta Metodológica**. 9ª ed. São Paulo: Editora Cortez, 1997.
- MARTINS, R. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência** (9): 3–5, 1990.
- MARTINS, R. A. Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 2 - Física moderna. **Caderno Catarinense de Ensino de Física v. 15** (3): 265-300, dez. 1998.

- MARTINS, R. A. Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, pp. xxi-xxxiv.
- MARTINS, R. A. O mito de Galileu desconstruído. **Revista de História da Biblioteca Nacional** v. 5 (número especial de História da Ciência 1): 24-27, outubro de 2010.
- MARTINS, R. A. **A Origem Histórica da Relatividade Especial**. São Paulo: Livraria da Física, 2015
- MARTINS, R. A. A teoria da relatividade geral e o eclipse de 1919. V *Workshop de Cosmologia e Astrofísica da UNIFESP*. Disponível em: Disponível em: <
[https://www.academia.edu/41179558/ A teoria da relatividade geral e o eclipse de 1919 Robert o de Andrade Martins](https://www.academia.edu/41179558/A_teor%C3%ADa_da_relatividade_geral_e_o_eclipse_de_1919_Roberto_de_Andrade_Martins)>. Acesso em: 14/04/2021.
- MATTHEWS, M. R. **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. New York: Routledge, 1994.
- MCCOMAS, W. F. Ten Myths of Science: Reexamining What We Think We Know About the Nature of Science. **School Science and Mathematics** v. 96 (1): 10-16, 1996.
- MCCOMAS, W. F. ALMAZROA, H. CLOUGH, M. P. The nature of Science in Science education: An introduction. **Science & Education** v. 7 (6): 511-532, 1998.
- MEHRA, J. **Einstein, Hilbert, and the Theory of Gravitation**. Dordrecht: D. Reidel, 1974.
- MEHRA, J. **The Golden Age of Theoretical Physics, vol. 1**. Singapore: World Scientific Publishing, 2001.
- PANTALEO JR., M. SAITO, F. Lavoisier e a História da Ciência na Formação de Professores: Um Diagnóstico. In: BELTRAN, M. H. R. TRINDADE, L. S. P. **História da Ciência e Ensino: Abordagens Interdisciplinares**. São Paulo: Livraria da Física, 2017, pp. 43-58.
- MOREIRA, M. A. A questão das ênfases curriculares e a formação do professor de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** v. 3 (2): 66-78, 1986.
- MOREIRA, M. A. MASSONI, N. **Noções Básicas de Epistemologias e Teorias de Aprendizagem como Subsídios para a Organização de Sequências de Ensino-Aprendizagem em Ciências/Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.
- MORIN, E. **Ciência com Consciência**. Ed. Revista e modificada pelo autor. 8º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Russell, 2005.

- NUNES, R. C. QUEIRÓS, W. P. Visões deformadas sobre a natureza da ciência no conteúdo de relatividade especial em livros didáticos de física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias v. 19** (2): 295-319, mayo 2020a.
- NUNES, R. C. QUEIRÓS, W. P. Doze Mitos Sobre a Teoria da Relatividade que Precisamos Superar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física v. 37** (2): 531-573, ago. 2020b.
- OLIVEIRA, A. J. A história do eclipse de Sobral (CE) que comprovou a Teoria da Relatividade. **Galileu**, São Paulo, 25 de Outubro de 2018. Ciência. Disponível em: < <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/10/historia-do-eclipse-de-sobral-ce-que-comprovou-teoria-da-relatividade.html> >. Acesso em: 14/04/2021.
- OLIVEIRA, A. J. Eclipse de Sobral: há 100 anos, evento comprovava a teoria de Einstein. **Galileu**, São Paulo, 29 de Maio de 2019. Revista. Disponível em: < <https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2019/05/eclipse-de-sobral-ha-100-anos-evento-comprovava-teoria-de-einstein.html> >. Acesso em: 14/04/2021.
- PIETROCOLA, M. *et al.* **Física em Contextos 3**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.
- PINHEIRO, N. A. M. SILVEIRA, R. M. C. F. BAZZO, W. A. Ciência, Tecnologia e Sociedade: A Relevância do Enfoque CTS para o Contexto do Ensino Médio. **Ciência & Educação, v. 13** (1), p. 71-84, 2007.
- PORLÁN, R., RIVERO, A., MARTÍN DEL POZO, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: teoría, métodos e instrumentos. **Enseñanza de las Ciencias, v. 15** (2), p. 155-173, 1997.
- PORLÁN, R., RIVERO, A., MARTÍN DEL POZO, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II: estudios empíricos y conclusiones. **Enseñanza de las Ciencias, 16** (2), p. 271-289, 1998.
- PORTELA, S. I. C. **O Uso de Casos Históricos no Ensino de Física: Um Exemplo em Torno da Temática do Horror da Natureza ao Vácuo. Dissertação** (MS, Ensino de Ciências). Universidade de Brasília, 2006.
- QUAKERS. **BBC**, London, 29 de Julho de 2009. Religions. Disponível em: < https://www.bbc.co.uk/religion/religions/christianity/subdivisions/quakers_1.shtml >. Acesso em: 14/04/2021.
- RAIČIK, A. C. Experimento Crucial na Ciência e na Filosofia da Ciência: Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre a Teoria da Luz e Cores de Newton. **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review. v. 9** (2), pp. 1-11, 2019

- RAICIK, A. C. PEDUZZI, L. Q. ANGOTTI, J. A. P. Da *Instantia Crucis* ao Experimento Crucial: Diferentes Perspectivas na Filosofia e na Ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22 (3), pp. 192-206, 2017
- RENN, J. SCHEMMEL, M. (eds.). **The Genesis of General Relativity**, 4 vols. Kluwer, Dordrecht, 2007.
- ROMERO, L. O eclipse de Sobral: como a Teoria da Relatividade foi comprovada no Ceará. **Super Interessante**, São Paulo, 28 de Maio de 2019. Ciência. Disponível em: < <https://super.abril.com.br/ciencia/o-eclipse-de-sobral-como-a-teoria-da-relatividade-foi-comprovada-no-ceara/> >. Acesso em: 14/04/2021.
- SANTOS, A. F. Lavoisier e a História da Química: Uma Análise de Livros Didáticos. In: BELTRAN, M. H. R. TRINDADE, L. S. P. **História da Ciência e Ensino: Abordagens Interdisciplinares**. São Paulo: Livraria da Física, 2017, pp. 81-120.
- SANTOS, W. L. P. MORTIMER, E. F. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2 (2), pp. 110-132, 2002.
- SAUER, T. Einstein's Unified Field Theory Program. In: JANSSEN, M. LEHNER, C. (eds). **The Cambridge Companion to Einstein**. New York: Cambridge University Press, pp. 281-305, 2014.
- SOARES, D. O encurvamento da luz segundo Soldner. **Departamento de Física da UFMG**, Belo Horizonte, 03 de Novembro de 2014. Disponível em: < <http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/sobral/soldner.htm> >. Acesso em: 14/04/2021.
- SHERRATT, W. J. History of science in the science curriculum: an historical perspective. **School Science Review** v. 64 (227): 225–36, 1982; v. 64 (228): 418–24, 1983.
- SILVEIRA, F. L. OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de "descobrir a lei a partir de resultados experimentais". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física** v. 19, número especial: p.7-27, jun. 2002.
- SPONSEL, A. Constructing a 'revolution in science': the campaign to promote a favourable reception for the 1919 solar eclipse experiments. **The British Journal for the History of Science** v. 35 (04):439 – 467, December 2002.
- STINNER, A. *et al.* The Renewal of Case Studies in Science Education. **Science & Education** v. 12: 617–643, 2003.
- TORRES, C. M. *et al.* **Física, Ciência e Tecnologia 3: Eletromagnetismo, Física Moderna**. 4ª.ed, São Paulo: Moderna, 2016.

- WALTER, S. Breaking in the 4-vectors: the four-dimensional movement in gravitation, 1905–1910. In: RENN, J. SCHEMMEL, M. (eds.). **The Genesis of General Relativity Vol. 3: Theories of Gravitation in the Twilight of Classical Physics**; Part I. Kluwer, Dordrecht, 2007.
- WALTER, S. Henri Poincaré, theoretical Physics, and Relativity Theory in Paris. In: SCHLOTE, K. SCHNEIDER, M. (eds.). **Mathematics Meets Physics: A contribution to their interaction in the 19th and the first half of the 20th century**. Frankfurt: Verlag Harri Deutsch, pp. 213-239, 2011.
- WEINBERG, S. **Gravitation and Cosmology - Principles and Applications of the General Theory of Relativity**. New York: John Wiley & Sons, 1972.
- WHITTAKER, E. T. **A History of the Theories of Aether And Electricity**. Vol. 2. New York: American Institute of Physics, 1953.

NOTAS

¹ “Muitas vezes, os conteúdos históricos disponíveis para os professores em livros didáticos ou paradidáticos, materiais de divulgação ou outro material que não seja proveniente de estudos acadêmicos, é caricata e distorcida.” (BOSS, CALUZI, ASSIS, FILHO, 2016, p.173).

² “A história da ciência pode ser útil no ensino. Ela pode, entre outras coisas, fornecer subsídios para a compreensão da natureza da ciência e da sua dinâmica de desenvolvimento. Mas isso só vai ser conseguido se os professores estiverem bem informados e forem capazes de discutir com seus alunos exemplos reais e detalhados da história da ciência, deixando de lado os mitos sem fundamento que circulam por aí.” (MARTINS, 2010, p. 26).

³ É interessante ver o testemunho de Martins (2006, p. XXVII): “Alguns anos atrás, participei de uma mesa-redonda sobre o uso de história da ciência no ensino, em um congresso sobre educação. Os membros da mesa-redonda dedicaram grande parte do tempo apregoando as utilidades da história da ciência para o ensino. Depois das exposições, uma pessoa da plateia fez uma intervenção crucial. Disse que estava cansada de ouvir aquele tipo de discurso, que sabia que a história da ciência era importante, e queria passar à prática. Onde ela poderia conseguir livros ou artigos para aplicar no ensino? A resposta, constrangedora, foi que esse material ainda não existe.”

⁴ “Em parte, esse problema poderia ser superado através de traduções. Sim, são publicadas muitas traduções de livros sobre história da ciência – mas, novamente, a escolha dos livros traduzidos não costuma ser sábia. Em geral, as editoras estão mais preocupadas com o lucro do que com a qualidade, é claro. Por isso, a escolha da editora de traduzir um livro depende essencialmente de seu sucesso de vendas no exterior – o que não é uma indicação de qualidade.” (MARTINS, 2006, p. XXVII-XXVIII).

⁵ “Temos poucos historiadores da ciência no Brasil, com formação adequada. Alguns deles nem tentam escrever textos mais acessíveis – apenas se dedicam à pesquisa especializada. Mesmo os que tentam escrever artigos e livros para um público mais amplo podem não ser bem-sucedidos nisso.” (MARTINS, 2006, p. XXVIII).

⁶ Como ficou evidenciado em um estudo sobre a história da química em livros didáticos por Santos (2017) e em uma análise qualitativa sobre como conteúdo de teoria da relatividade é abordado em livros didáticos aprovados pelo PNLD-2018 empreendida por Nunes e Queirós (2020a).

⁷ As obras consultadas foram: “A History of the Theories of Aether and Electricity Vol 2” (WHITTAKER, 1953) “*The Observational Tests of Gravitation Theory [and Discussion]*” (ADAM et al, 1962), “*Einstein, Hilbert & the theory of Gravitation*” (MEHRA, 1974), “*Relativity and Eclipses - The British Eclipse Expeditions of 1919 and Their Predecessors*” (EARMAN, GLYMOUR, 1980), “*Golden Age of Theoretical Physics. Vol 1*” (MEHRA, 2001), “*Constructing a 'Revolution in Science' - The Campaign to Promote a Favourable Reception for the 1919 Solar Eclipse Experiments*” (SPONSEL, 2002), “The Universe of General Relativity” (KOX, EISENSTAEDT, 2005), “*Einstein and the History of General Relativity*” (HOWARD, STACHEL, 2005), “*The Genesis of General Relativity. Volume 1-4*” (RENN, SCHEMMEL, 2007), “*The Cambridge Companion to Einstein*” (JANSSEN, LEHNER, 2014), “*The Springer Handbook of Spacetime*” (ASHTEKAR, PETKOV, 2014), “*A Origem Histórica da Relatividade Especial*” (MARTINS, 2015), “*A Teoria da Relatividade Geral e o Eclipse de 1919*” (MARTINS, 2019), “*Doze Mitos sobre a Teoria da Relatividade que Precisamos Superar*” (NUNES, QUEIRÓS, 2020b).

⁸ A última atualização é de 7 de abril 2021.

⁹ “Uma determinada fração de história da ciência foi escrita por motivos patrióticos, destinando-se a chamar a atenção para a excelência da ciência da nação ou a defender exigências de prioridade nacional. Raoul Jagnaux (1845-?), por exemplo, apresentava a química como uma ciência essencialmente francesa. Os historiadores e químicos franceses prestavam uma veneração quase religiosa a Lavoisier, considerado não só como o fundador da química, mas também um símbolo do poderio francês. Muitos alemães minimizaram a importância histórica de Lavoisier e, em contrapartida, destacaram o papel desempenhado pelos químicos alemães anteriores, como Paracelso e Stahl.

Essa história baseada em motivações nacionalistas significava que a ciência se tornara um emblema de prestígio, um factor ideológico de importância nacional.” (KRAGH, 2001, p. 15).

¹⁰ Os Quakers são uma congregação religiosa de origens cristãs fundada na Inglaterra por George Fox na década de 1650 e são defensores radicais dos direitos humanos, da igualdade de todos os seres humanos (sendo o primeiro movimento religioso a defender a abolição da escravidão, a igualdade de gênero e o casamento de pessoas do mesmo sexo), justiça social, a paz e a democracia. Para detalhes, ver Quakers (2009).

¹¹ Eddington era muito dedicado a seita Quaker, que se destacava por sua posição pacifista, e viu na promoção de Einstein e a da Teoria da Relatividade Geral uma forma de promover ideias pacifistas (MARTINS, 2015).

¹² Essa passagem foi adaptada do *slide 04*, da apresentação “A Teoria da Relatividade Geral e o Eclipse de 1919” do historiador da ciência, Roberto de Andrade Martins, que ele usa como exemplo para fazer discutir os diversos mitos e anacronismos sobre a Teoria da Relatividade Geral e o Eclipse de 1919.

¹³ Para mais detalhes sobre as previsões de Soldner, o leitor poderá consultar Martins (2015) e Soares (2014).

<http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/sobral/soldner.htm>

¹⁴ O valor previsto por Soldner era de 0,875, enquanto o valor previsto por Einstein era 1,75 (WHITTAKER, 1953, SOARES, 2014, MARTINS, 2015).

¹⁵ Até a década de 60, a confirmação do desvio da luz ainda era controversa. Um estudo técnico, de 1962, realizado por Adam *et al*, chegou à seguinte conclusão: “a deflexão dos raios de luz está mais próxima do valor de Einstein do que do valor newtoniano, mas os erros experimentais ainda deixam margem para se discordar da teoria” (ADAM *et al*, 1962, p. 303).

¹⁶ Slide 57.

¹⁷ Slide 57.

¹⁸ “Havia um outro problema. Mesmo se todas as observações de 1919 tivessem confirmado exatamente a previsão da relatividade geral, essa teoria não podia ser aceita, na época, porque existia um outro teste diferente que havia sido realizado e que tinha dado resultados negativos. A teoria previa que os comprimentos de onda das raíes escuras observadas no espectro luminoso do Sol deveriam estar deslocadas para o lado vermelho do espectro (red shift gravitacional). Era um efeito fácil de testar, mas as observações não mostraram o desvio previsto. Portanto, nessa época, existia uma importante refutação da relatividade geral. Arthur Eddington estava perfeitamente ciente desse grave problema, mas não se preocupou com isso. Crommelin, pelo contrário, se referiu a essa dificuldade e foi muito mais cauteloso em sua exposição, não considerando os resultados das observações do eclipse como uma prova da teoria da relatividade.” (MARTINS, 2015, p. 213)

¹⁹ Por outro lado, Whittaker (1953, p. 180) considerava que essa previsão não sustentaria a Teoria da Relatividade Geral, pois “[o deslocamento para o vermelho das linhas espectrais emitidas em um forte campo gravitacional] foi explicado antes da descoberta da Relatividade Geral e, por isso propriamente não constitui um teste dela”.

²⁰ “Se o desvio para o vermelho das linhas espectrais, devido ao potencial gravitacional, não existir, então a teoria da relatividade geral será insustentável.” (apud MARTINS, 2019, slide 38).

²¹ Slide 54-55. Nas palavras de St John (apud MARTINS, 2019, slide 56): “A conclusão geral da investigação é que, dentro dos limites de erro, as medidas não mostram evidência de um efeito da ordem deduzida do princípio de equivalência da relatividade.”

²² Slide 68.

²³ Esse episódio apenas reforça que um único experimento não é capaz de garantir a validade de uma teoria. Os resultados científicos precisam ser testados por diversos outros pesquisadores, criticados e discutidos até que cheguemos a um consenso. A atividade científica é dinâmica. Atualmente, o desvio para o vermelho é um fenômeno amplamente observado por aparelhos muito sensíveis.

²⁴ Embora hoje o desvio para o vermelho seja um fenômeno bem estabelecido, na década de 60, ainda haviam algumas dúvidas, como podemos ver na conclusão do estudo técnico realizado por Adam *et al* (1962, p. 303): “o desvio para o vermelho parece agora estar bem estabelecido na superfície da Terra, mas nas estrelas as medidas ainda não são certas o suficiente, e no Sol, onde as medidas são suficientemente certas, provam-se haver fatores complicadores que ainda não são compreendidos”.

²⁵ Slide 12.

²⁶ “Sabemos que ela é incorreta, pois é incompatível com a conservação da energia e não pode ser diretamente conciliada com a mecânica quântica; mas tem sido muito útil no estudo de fenômenos astronômicos e cosmológicos.” (MARTINS, 2019, Slide 05).

²⁷ Escolhemos o termo “poucas expectativas”, pois segundo Lakatos (1979) nenhum programa de pesquisa pode ser completamente refutado. Há sempre uma possibilidade, ainda que ínfima, de um programa de pesquisa que degenerou, voltar a progredir. Para detalhes ver Chalmers (2017), Lakatos (1979), Moreira e Massoni (2016).

²⁸ “Geralmente, professores que não têm interesse e competência suficientes em história e filosofia da ciência transmitem uma visão distorcida do funcionamento da ciência para seus estudantes. Eles podem tentar mostrar como se obtém uma teoria a partir da observação e experimento, ou como se pode provar uma teoria – apesar da impossibilidade filosófica de tais tentativas. Algumas vezes eles não estão conscientes de sua própria falta de compreensão e tentam usar a história da ciência para aperfeiçoar o seu ensino. Alegam, por exemplo, que Pasteur provou, através de seus experimentos, que a geração espontânea não existe (o que é historicamente falso). O tipo de história da ciência que usam é simplificada e distorcida – o tipo de coisa que os historiadores da ciência chamam de “historiografia Whig” (Russell 1984).” (MARTINS, 2006, p. XXVI)

²⁹ Um experimento crucial seria um experimento capaz de determinar a validade de uma hipótese ou uma teoria. Trata-se de uma concepção positivista da construção do conhecimento científico que já foi rejeitada. Para detalhes ver o capítulo 6, seção 3 de Duhem (2014), as discussões de Holton (1965) e Arabatzis, Gavroglu (2015), e os trabalhos de Raicik (2019) e Raicik, Peduzzi, Angotti (2017).

³⁰ Martins (2015, p. 213-214, GRIFOS NOSSOS) ainda cita duas outras manchetes: Dois dias depois (9 de novembro) o New York Times publicava uma notícia semelhante, com a chamada: “Eclipse mostrou variação da gravidade — Desvio dos raios de luz aceito como afetando princípios de Newton — Aclamada como o início de uma nova era — Cientista britânico chama essa descoberta de uma das maiores conquistas humanas. No dia seguinte, a manchete do New York Times era mais sensacionalista: Luzes completamente tortas nos céus — Homens de ciência mais ou menos espantados com os resultados das observações do eclipse — A teoria de Einstein triunfa — As estrelas não estão onde pareciam estar ou onde os cálculos indicavam, mas ninguém precisa se preocupar — Um livro para 12 homens sábios — Não mais em todo o mundo poderia compreendê-lo, disse Einstein quando seus ousados editores o aceitaram.

³¹ Veja a nota de rodapé anterior.

³² Sobre as pesquisas que evidenciam essas concepções deformadas sobre ciência, ver McComas (1981), Gil-Perez *et al* (2001), Chang (2012), Bagdonas e Silva (2013), Pantaleo Jr e Saito (2017), Santos (2017) e Nunes e Queirós (2020a, 2020b).

³³ “A afirmação sugere que os grandes avanços da ciência são o resultado do trabalho de uma única pessoa (um dos “grandes gênios”) que, de repente (em uma data precisa) “faz uma descoberta” e chega diretamente à verdade, provando que seus antecessores estavam errados. Na verdade, a ciência se desenvolve lentamente, através das contribuições de um grande número de pessoas, muitas das quais desconhecidas. Os “grandes gênios” de que ouvimos falar são pessoas que deram alguma contribuição à ciência, mas que também cometeram grandes erros. As teorias não são estabelecidas ou derrubadas de repente, mas sim em um processo lento, no qual se acumulam fatos e argumentos que levam a uma longa discussão na qual sempre existem alternativas e há pontos a favor e contra cada uma das ideias defendidas.” (MARTINS, 2010, p. 26).

³⁴ Uma pesquisa, ainda em andamento, que estamos realizando com ingressos no curso de licenciatura em física sugere conclusões semelhantes a de Porlán *et al* (1997, 1998), Gil-Perez *et al* (2001), Silveira e Ostermann (2002).

³⁵ Em outras palavras, eles não compreendem alguns aspectos ontológicos importantes sobre a experimentação identificados por Duhem (2014): 1. “*Uma experiência em Física não é simplesmente a observação de um fenômeno. É, além disso, a interpretação teórica desse fenômeno*” (DUHEM, 2014, p. 184); 2. “*O resultado de uma experiência em Física é um julgamento abstrato e simbólico*” (DUHEM, 2014, p. 186); 3. “*Somente a interpretação teórica dos fenômenos torna possível o uso dos instrumentos*” (DUHEM, 2014, p. 192); 4. “*A experiência em Física é menos certa, porém mais precisa e mais detalhada que a constatação não científica de um fato*” (DUHEM, 2014, p. 203).

³⁶ O exemplo mais célebre são os modelos astronômicos sobre o sistema solar: Copérnico utilizou os mesmos dados utilizados e validados pelos defensores do modelo geocêntrico para propor seu modelo heliocêntrico (KOESTLER, 1961, KUHN, 1978, 1989, KOYRÉ, 1986).

³⁷ Os subsídios para essa abordagem podem ser vistas em Santos e Mortimer (2002) e Pinheiro, Silveira e Bazzo (2007).

³⁸ Exatamente, o quarto capítulo, *A observação objetivada* (CHALMERS, p. 61-84), e o quinto capítulo, *O experimento* (CHALMERS, p. 85-107).

³⁹ Mais precisamente, o quarto capítulo da primeira parte, intitulado *Epistemologia da Tecnologia*.

⁴⁰ Slide 70.

⁴¹ Além disso os autores não enfatizam que os pesquisadores brasileiros não participaram da organização da observação, o que deixa margem para interpretar-se que os físicos e astrônomos brasileiros possam ter participado ativamente nesse processo.

⁴² Conferir a nota 19.

⁴³ Ainda mais com a epidemia de *fake news* no Brasil.

⁴⁴ Em nossa experiência como professores de física da educação básica, vimos que dificilmente vemos os livros didáticos e de divulgação científica mencionarem César Lattes e, ainda mais raramente, menções a José Leite Lopes e Mario Schenberg.

⁴⁵ O Programa de Educação Tutorial (PET) e o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (Pibid) desenvolvem atividades de extensão que visam promover uma integração maior entre a educação superior e a educação básica e são uma alternativa viável para discutir a produção científica brasileira. Além disso, existem grupos de pesquisa que promovem atividades para apresentar sua produção científica para um público mais amplo.

⁴⁶ Ou mesmo com a instituição em que eles se formaram, caso tenham vindo de outra cidade ou estado.

⁴⁷ Essa concepção é simultaneamente uma herança da visão colonial e do neocolonialismo em que somos ensinados a subestimar a nossa produção e valorizar apenas aquilo que é feito por potências internacionais (LUCKESI *et al*, 1997).

⁴⁸ A fim de assegurar a avaliação por pares cega, optamos em omitir o nome da Universidade, acrescentando-a somente no manuscrito final, caso ele seja aprovado.