

O renascimento da relatividade geral: teses e perspectivas historiográficas

Juliana Correia Ferreira, Juliana Youssef e Thiago Hartz

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Resumo

Neste artigo, discutimos a tese, corrente entre físicos e historiadores, de que teria havido, após três décadas de estagnação, um “renascimento” do interesse na relatividade geral nas décadas de 1950 e 1960. Apresentamos duas versões dessa tese, uma que situa a mudança como tendo ocorrido nos anos 1950, a partir da realização das primeiras conferências dedicadas à relatividade geral, e outra que identifica a mudança como tendo ocorrido nos anos 1960, com os avanços da astrofísica. Revisamos as principais defesas dessa tese por físicos e historiadores, recordamos algumas críticas que ela recebeu e analisamos as principais evidências históricas que aparecem nesse debate historiográfico. Por fim, refletimos sobre a validade dessa tese e sobre os desafios atuais na pesquisa sobre a história da relatividade geral.

Abstract

In this article, we discuss the thesis, common among physicists and historians, that, after three decades of stagnation, there was a “renaissance” of interest in general relativity in the 1950s and 1960s. We present two versions of this thesis: one places the shift in the 1950s, following the first conferences dedicated to general relativity, and the other identifies the shift in the 1960s, due to advancements in astrophysics. We review the main arguments supporting this thesis by physicists and historians, recall some of the criticisms it has received, and analyze the key historical evidence that emerges in this historiographical debate. Finally, we reflect on the validity of this thesis and on the current challenges in research on the history of general relativity.

Palavras-chave: história da física, relatividade geral, Albert Einstein, historiografia.

Keywords: history of physics, general relativity, Albert Einstein, historiography.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v6n1.46016](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v6n1.46016)

1 Introdução

A relatividade geral ocupa hoje um papel de destaque entre as teorias físicas. Considerada por uns como a chave para os enigmas do cosmos, por outros como a última interação que resiste à quantização, muitas vezes ela é vista como “a mais pura [das teorias físicas], separada da confusão do resto da física” [1, p. 273]. Trata-se de uma teoria peculiar com uma história igualmente peculiar.

Enquanto a mecânica quântica surgiu na mesma época, o início do século XX, como fruto do esforço coletivo de dezenas de cientistas, a relatividade geral foi, em um primeiro momento, expressão do projeto teórico de um único cientista, Albert Einstein, em contato com alguns poucos amigos e colaboradores, como Marcel Grossmann. Aos poucos, outros cientistas, sobretudo astrôno-

mos e matemáticos (por exemplo, Arthur Eddington, Georges Lemaître, David Hilbert, Hermann Weyl, Alexander Friedmann e Élie Cartan), foram se interessando pela teoria, porém sem que com isso se formasse uma comunidade de pesquisadores em relatividade geral. A maioria dos desenvolvimentos dessa teoria nos anos 1930 ocorreu ainda em interação com Einstein, por colegas, alunos e colaboradores, como Nathan Rosen, Peter Bergmann, Leopold Infeld e Banesh Hoffmann.

Depois da guerra, a situação começou a mudar, a tal ponto que físicos e historiadores propuseram a tese de que a relatividade geral teria passado por um processo de renascimento nos anos 1950 e 1960. Neste artigo, discutiremos em detalhes a validade dessa tese, revisando os principais argumentos apresentados por físicos e por historiado-

res no sentido de defendê-la ou de criticá-la. Faremos essa discussão por meio do levantamento de alguns trabalhos sobre a história da relatividade geral que foram publicados nos últimos cinquenta anos, sem pretendermos, de forma alguma, sermos exaustivos nesse levantamento. Defendemos, ao final do artigo, que é necessário manter um certo ceticismo sobre a tese do renascimento, em particular se entendida em um sentido que englobe tanto aspectos sociológicos quanto aspectos do desenvolvimento da teoria.

A estrutura do artigo é a seguinte. Na seção 2, veremos como a história da relatividade geral se consolidou como uma área de pesquisa dentro da comunidade de história da física. Nas seções 3, 4 e 5, veremos as diversas propostas de como periodizar a história da relatividade geral, questão que é central na caracterização do eventual renascimento dos anos 1950 e 1960. Por fim, na seção 6, apresentaremos alguns dos desafios atuais da pesquisa sobre a história da relatividade geral.

2 A escrita da história da relatividade geral

Todas as comunidades de cientistas escrevem a história das suas respectivas áreas de pesquisa. Com a relatividade geral não foi diferente. Os primeiros livros didáticos de relatividade geral – como o livro de Max Born de 1920 [2]; o artigo escrito pelo jovem Wolfgang Pauli para o volume da *Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften* (Enciclopédia de Ciências Matemáticas) editado por Arnold Sommerfeld e publicado em 1921 [3]; o livro do matemático brasileiro Alceu Amoroso Costa de 1922 [4, 5]; e até mesmo o tratamento mais matemático de Hermann Weyl de 1918 [6] – são fortemente marcados por uma perspectiva histórica, que busca explicar as limitações da mecânica clássica e as soluções encontradas por Einstein e outros entre 1905 e 1915.

Em 1949, o filósofo Paul Arthur Schilpp editou, para a coleção de livros *Living Philosophers*, um volume em homenagem a Einstein intitulado *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* [7]. Quase todos os capítulos são baseados em reminiscências e em narrativas históricas. Alguns deles, escritos por autores como o filósofo Hans Reichenbach e o físico Leopold Infeld, refletiam especificamente

sobre as contribuições de Einstein para a compreensão da gravitação e do aspecto geométrico do espaço-tempo (para mais informações sobre os autores desse livro, ver [8]).

Foi somente na década de 1980 que historiadores da física começaram a escrever sistematicamente sobre a história da relatividade geral. Isso aconteceu por diversos fatores, mas sobretudo devido ao *Einstein Papers Project*, concebido após o falecimento de Einstein, em 1955, e iniciado por John Stachel no final dos anos 1970 [9].

Tinha havido, na década anterior, um influente projeto de história da física quântica, o *Archive for the History of Quantum Physics*. Conduzido por Thomas Kuhn entre 1962 e 1967, esse projeto coletou, catalogou e microfilmou as correspondências de todos os fundadores da física quântica, iniciando com isso, no final dos anos sessenta, a pesquisa profissional em história da física quântica [10]. O *Einstein Papers Project* teve objetivo similar. Stachel e colaboradores organizaram, traduziram e comentaram as correspondências e os manuscritos de Einstein. O projeto, muito bem-sucedido, deu origem, a partir de 1987, à coleção de livros *The Collected Papers of Albert Einstein*, editada pela *Princeton University Press*.

A disponibilização dessas fontes primárias levou a uma série de pesquisas históricas e, ainda mais, fomentou o surgimento de uma comunidade de especialistas na obra de Einstein e, em particular, na história da teoria da relatividade. Participaram do projeto historiadores e filósofos da física hoje renomados, tais como Martin Klein, Robert Schulmann, Anne J. Kox, Michel Janssen, Don Howard, Jürgen Renn, Tilman Sauer, Daniel Kennefick, John Norton, Joren van Dongen, entre outros. A produção dessa comunidade pode ser encontrada, em particular, na coleção de livros *Einstein Studies*, editados pela *Birkhäuser* inicialmente em colaboração com o *Center for Einstein Studies* da Universidade de Boston.

Para mencionar apenas um desses trabalhos, Norton publicou, em 1984, uma detalhada análise do caminho de Einstein até as equações de campo da relatividade geral – posteriormente denominadas “equações de Einstein” –, divulgadas publicamente em novembro de 1915 [11]. Norton não foi o primeiro a estudar esse problema histórico. Dois anos antes, o físico e historiador Abraham

Pais publicara uma detalhada biografia científica de Einstein – vencedora do *U.S. National Book Award in Science* de 1983 –, na qual analisara o mesmo problema [12]. Entretanto, Pais se baseara somente nas correspondências e nos artigos publicados, o que fornecia uma visão incompleta do caminho de Einstein. Norton, por sua vez, se debruçou sobre o caderno pessoal de Einstein do início do período em que este esteve em Zurique, o chamado “caderno de Zurique” (*Zurich notebook*). O caderno, escrito em 1912 e 1913, tem 84 páginas, das quais 57 são sobre relatividade geral [13, p. 88]. Trata-se de uma fonte particularmente intrigante, uma vez que nela Einstein já tinha obtido, por um caminho tortuoso, as equações de campo corretas da relatividade geral, ainda que elas só tenham vindo a público em novembro de 1915. O que é ainda mais intrigante é que em 1913, depois de escrever o caderno de Zurique, Einstein publicou em colaboração com o matemático Marcel Grossmann um esboço (em alemão, *Entwurf*) propondo certas equações de campo da teoria que estão erradas. O caminho percorrido por Einstein entre 1913 e 1915 passou por reconhecer o erro e retornar às equações obtidas no caderno de Zurique. Conforme Norton observa, “a história por trás das reviravoltas aparentemente erráticas de Einstein neste último mês [antes de chegar às equações de campo corretas da teoria da relatividade geral, em novembro de 1915,] permaneceu sem ser contada e seria, talvez, incontável sem as pistas dadas pelo caderno de Zurique” [11, p. 257].

No início dos anos 1990, foi desenvolvido no Instituto Max Planck para o Desenvolvimento Humano, com apoio do Senado de Berlim, um influente grupo de trabalho intitulado *Arbeitsstelle Albert Einstein* (que, em uma tradução livre, significa Grupo de Pesquisa Albert Einstein), sob a direção de Peter Damerow e Jürgen Renn [14]. Esse projeto foi uma das iniciativas que levaram à criação, em 1994, do Instituto Max Planck para a História das Ciências, em Berlim. Uma das ênfases do projeto foi a análise do caderno de Zurique, conforme explica Renn ao descrever as pesquisas desenvolvidas no âmbito do projeto (ver também [15]):

Grande parte do nosso trabalho enfocou a questão de como Einstein, no período entre 1913 e 1915, foi capaz de superar os obstá-

culos que a princípio o impediram de perceber que o *Ansatz* correto era aquele obtido em seu caderno [de Zurique] e não a teoria que ele publicou em 1913. A resposta que encontramos para essa questão levou à percepção surpreendente de que, ao contrário do que era comumente aceito [pelos historiadores até os anos 1990], o longo intervalo entre a publicação da equação de campo errônea [em 1913] e o retorno à equação correta no final de 1915 não foi simplesmente um período de estagnação. Foi, antes, um período durante o qual Einstein chegou a uma série de percepções que criaram as pré-condições cruciais que tornaram possíveis os eventos dramáticos de novembro de 1915. Esse resultado tornou evidente que o estabelecimento e a estabilização dos novos conceitos físicos que surgiram com a relatividade geral exigiram primeiro uma integração de conhecimentos físicos adicionais e um grau de elaboração do formalismo matemático que foi muito além de [meramente] encontrar a equação de campo correta. [14, vol. 1, p. 4]

Esse estudo do caderno de Zurique pelo grupo liderado por Renn levou à publicação, em 2007, desse caderno com extensos comentários de diversos historiadores [14] (ver também [13, 16]).

Paralelamente a esses esforços ocorridos nos Estados Unidos e na Alemanha, ocorria na França uma renovação dos interesses sobre a história da relatividade geral, cujos maiores expoentes foram o físico e historiador Jean Eisenstaedt [17, 18], cuja obra discutiremos nas próximas seções, e o físico e filósofo Michel Paty [19, 20].

Essa comunidade de historiadores e filósofos da física dedicados à história da relatividade geral, cujos trabalhos foram publicados entre a década de 1980 e os primeiros anos do século XXI, estabeleceu os problemas, as questões e os referenciais teóricos a partir dos quais pensamos hoje a história da relatividade geral.

Essa renovação do interesse pela relatividade geral sofreu também a influência de outros fatores. Em 1993, Russell Hulse e Joseph Taylor Jr. receberam o prêmio Nobel de física pela descoberta dos pulsares binários em 1974. Essa foi a primeira vez que esse prêmio foi dado a uma pesquisa sobre gravitação. Cinco anos depois, ocorreu a surpreendente descoberta da expansão ace-

lerada do universo, que também levou a uma premiação pelo comitê Nobel de física, desta vez em 2011 aos físicos Saul Perlmutter, Brian Schmidt e Adam Riess. A primeira detecção de ondas gravitacionais, realizada em setembro de 2015 e anunciada publicamente em fevereiro de 2016, voltou a colocar a teoria da relatividade geral nas primeiras páginas dos jornais, como havia ocorrido após a observação do eclipse de 1919 [12]. Essa detecção levou a duas premiações pelo comitê Nobel de física: em 2017, para Rainer Weiss, Barry Barish e Kip Thorne, pelas suas contribuições para a detecção de ondas gravitacionais; e, em 2020, para Roger Penrose, pela demonstração de que a formação de buracos negros pode ser vista como uma predição robusta da teoria da relatividade geral (o prêmio desse ano foi dividido com Reinhard Genzel e Andrea Ghez, pela descoberta de um objeto compacto supermassivo no centro de nossa galáxia).

Além dessas premiações, houve duas efemérides que colocaram a teoria da relatividade na pauta do dia. Em 2005, comemorou-se internacionalmente o centenário do *annus mirabilis* de Einstein, ano em que ele publicou, entre outros trabalhos, seus dois primeiros artigos sobre a relatividade especial. Dez anos depois, em 2015, comemorou-se o centenário da relatividade geral, cuja importância foi amplificada enormemente pelo anúncio, no início do ano seguinte, da primeira detecção de ondas gravitacionais, que mencionamos acima.

Essa valorização da teoria da relatividade geral e da sua história nos últimos cinquenta anos fez com que se consolidasse uma vasta literatura sobre o tema, escrita tanto por físicos quanto por historiadores. Um dos problemas com que esses autores se depararam foi o de periodizar a história dessa teoria, assunto que discutiremos a seguir.

3 O problema da periodização da história da relatividade geral

Escrever a história passa necessariamente por periodizar, ou seja, dividir um intervalo de tempo em subintervalos que guardam uma certa unidade de sentido e cujas passagens, de um a outro, trazem alguma mudança ou ruptura significativa. A periodização não é arbitrária, ela reflete uma es-

colha de enfoque por parte de quem a faz [21]. Assim, do ponto de vista experimental, a história de uma determinada área da física se dividirá em certos períodos. Do ponto de vista da teoria ou da instrumentação, as divisões serão diferentes [22]. Tendo isso em vista, é compreensível que diferentes autores tenham proposto diferentes periodizações para a história da relatividade geral. O importante é que cada periodização seja consistente com o enfoque adotado pelo respectivo autor.

O mais influente trabalho de periodização da história da relatividade geral foi publicado por Jean Eisenstaedt em 1986 [17]. Intitulado, em francês, “A relatividade geral em maré baixa: 1925–1955”, o artigo propõe que a teoria da relatividade passou, nesse período, por um processo de marginalização na comunidade de física, somente retomando sua importância a partir de meados dos anos 1950.

Essa narrativa de Eisenstaedt ecoa as reminiscências de diversos físicos que viveram o período. Por exemplo, recordando das dificuldades que encontrara no início dos anos 1950 ao tentar consolidar uma carreira profissional sobre relatividade geral, o físico Bryce DeWitt afirmou “Vocês não fazem ideia de quão hostil a comunidade de física era, naquele tempo, com as pessoas que estudavam relatividade geral” [23, p. 414]. Em seguida, complementou:

Em meados da década de 1950, Sam [Samuel] Goudsmit, então editor-chefe do *Physical Review*, divulgou que um editorial em breve seria publicado avisando que [a revista] não mais [aceitaria] “artigos em gravitação ou em outra teoria fundamental”. Que esse editorial não tenha sido divulgado se deve ao trabalho de John Wheeler nos bastidores. [23, p. 414]

Assim, Eisenstaedt mostra, com base em reminiscências dos cientistas e em alguns documentos de época, que havia de 1925 a 1955 um sentimento de que a teoria da relatividade geral se encontrava posta no ostracismo, tanto pela sua pequena capacidade preditiva – havia somente os famosos três testes clássicos da relatividade geral – quanto pela dificuldade em destronar a gravitação newtoniana, que continuava a ser utilizada no dia a dia da astronomia. Ou seja, apesar da

recepção inicial calorosa que a teoria da relatividade geral teve, das críticas técnicas e das respostas elegantes que foram dadas, e do entusiasmo por vezes passional que a teoria despertou em alguns físicos, “nos anos vinte, a teoria [da relatividade geral] entra em um período extremamente curioso de sua história: uma espécie de travessia do deserto” [17]. Refletindo sobre o que já era sabido, em 1986, sobre a história da relatividade, ele coloca a seguinte questão:

Conhecemos a opinião do comitê do Nobel, que ignorou todas os trabalhos de Einstein sobre a relatividade, a oposição francamente racista dos físicos nazistas, a incompreensão de alguns outros (os físicos franceses, por exemplo), mas também o apoio entusiasmado, por vezes incondicional, de muitos [outros físicos]. Mas conhecemos menos sobre o pesado esquecimento, o profundo silêncio, em que a relatividade geral irá se afundar, em seguida, por um longo tempo. (...) Quais são os elementos, as razões, as consequências desse amplo descontentamento que cobre grande parte da história desta teoria decididamente singular e representa um factor obviamente essencial? [17, p. 115–116]

Em seguida, Eisenstaedt mostra que, com a conferência intitulada *Cinquenta Anos da Teoria da Relatividade*, organizada pelo físico André Mercier em Berna, na Suíça, em 1955, o quadro mudou, fazendo com que a teoria fosse, pouco a pouco, ganhando reconhecimento, congregando uma comunidade e definindo um conjunto de problemas em aberto. Voltaremos a essa conferência na seção 5.

No mesmo ano de publicação do artigo de Eisenstaedt, foi publicada a primeira edição do livro *Was Einstein Right?*, do físico Clifford M. Will. Por se tratar de um livro de divulgação científica, Will se permite pintar a situação com tintas mais coloridas. No primeiro capítulo, intitulado “O renascimento da relatividade geral”, ao mencionar a descoberta dos quasares pelos astrônomos Thomas Matthews e Allan Sandage, Will afirma:

Essa descoberta notável concluiu o ano acadêmico de 1959-60, pouco mais de um ano após as observações por radar de Vênus em conjunção inferior. Foi um ano notável para

a relatividade geral, porque continha todos os sinais de que um renascimento estava prestes a começar. [24, p. 7]

A expressão “renascimento da relatividade geral”, ainda que impactante, não se tornou imediatamente corrente entre físicos. Ela só veio a se popularizar quando George Ellis, Antonio Lanza e John Miller organizaram um evento, em 1992, e editaram um volume, em 1993, em homenagem aos 65 anos de Dennis Sciama que foram intitulados *The Renaissance of General Relativity and Cosmology* [25]. O título não veio do livro de Will, mas sim de um artigo, de 1968, e de um capítulo de livro, de 1971, ambos homônimos e escritos por Sciama e intitulados *The recent renaissance of observational cosmology* [26, 27].

Ainda que Eisenstaedt, Will, Elis, Landa e Miller indiquem uma mudança na atitude da comunidade de físicos com relação à relatividade geral ocorrida nos anos 1950 e 1960, o quadro que eles delineiam é bastante distinto. Will, Elis, Landa e Miller estão preocupados com os usos da relatividade geral na astrofísica nos anos 1960. Conforme observa Miller:

No renascimento da relatividade geral e da cosmologia, que é nosso assunto aqui, um dos temas centrais tem sido o estudo do colapso gravitacional relativístico, de buracos negros e de estrelas de nêutrons. No início do meu trabalho de pesquisa, Dennis [Sciama] enfatizou para mim o papel que seria desempenhado nisso pela computação numérica e ele sugeriu que eu fosse nessa direção, apesar de uma certa relutância inicial da minha parte. Aplicar a relatividade geral a problemas reais no mundo real é um negócio complicado, mas gradualmente entrou no *mainstream* da astrofísica a ponto de agora não parecer mais uma curiosidade exótica, mas atingiu a maioria como um membro igual da coleção de teorias físicas que são colocadas em serviço na tentativa de explicar como as coisas funcionam. [28, p. 73]

Eisenstaedt, por sua vez, mais versado em uma reflexão tipicamente histórica, transita com mais clareza entre as evidências documentais e apresenta um quadro mais rico sobre os rumos que a teoria da relatividade tomou no decorrer do século passado, recorrendo a uma compilação de

artigos científicos, relatos, cartas, matérias de jornal e reminiscências que dão apoio à sua tese. Seu artigo se firmou como o mais influente trabalho de periodização da história da relatividade geral e como a primeira sólida caracterização do renascimento pelo qual essa teoria teria passado na década de 1950, ainda que ele não utilize em momento algum a expressão “renascimento”. Desde então, todos que escrevem sobre a história da relatividade geral precisam se posicionar sobre a periodização proposta por Eisenstaedt, seja para concordar ou para discordar.

Em um primeiro momento, a reação dos historiadores foi de adesão unânime à periodização por ele proposta, buscando somente aprimorá-la e complementá-la. Assim, o físico e historiador David Kaiser, referindo-se aos anos 1960 como o período de “formação dos ‘relativistas do renascimento’” (no original, “*training of ‘renaissance relativists’*”), sugeriu uma possível periodização no ensino de relatividade geral a partir de uma análise dos livros didáticos da área. Ele apresenta sua perspectiva historiográfica nos seguintes termos:

A partir de um início muito modesto [até os anos 1940], uma comunidade de físicos dedicados ao estudo da relatividade geral foi formada [nos anos 1950, 1960 e 1970]. Ao longo desse período de crescimento explosivo no número de praticantes, no entanto, a teoria da relatividade geral não permaneceu uma teoria física fixa e estática. Em vez disso, ela foi retrabalhada, e seus métodos de cálculo reconsiderados. (...) No processo, diferenças na prática da física gravitacional surgiram em todos os níveis: conceitualmente, ontologicamente, computacionalmente, pedagogicamente e sociologicamente. [29, p. 323]

Diante desse quadro, ele propõe que os historiadores se voltem à análise dos modos como a relatividade geral foi ensinada:

Afinal, a teoria, [se pensada] como [uma] ‘prática’, é algo que deve ser praticado. O crescente número de participantes em associações e conferências de relatividade geral durante a década de 1970 exigiu esforços intensos para treinar os estudantes nas especificidades computacionais da física gravitacional. Uma atenção cuidadosa às palestras, aos livros didáticos e à sua reescrita durante esse

período, e aos problemas atribuídos aos alunos de pós-graduação como parte integrante de seu treinamento, fornece um meio para traçar a reconstituição da relatividade geral durante as décadas intermediárias deste século. [29, p. 324]

Partindo desses pressupostos, ele apresenta uma análise comparativa das formas como a relatividade geral foi ensinada, com particular atenção à *Stafford Little Lectures* lecionadas por Einstein na Universidade de Princeton em 1921 [30]; ao livro didático de Peter Bergmann, cuja primeira edição foi publicada em 1942 [31]; às notas de aula de um curso lecionado por Richard Feynman na Caltech em 1962–1963 e publicadas na forma de livro em 1995 [32]; e às notas de aula de um curso lecionado por Sidney Coleman na Universidade de Cornell a partir de 1967, publicadas recentemente [33]. Kaiser argumenta que, nos anos 1960, a concepção geométrica da relatividade geral, até então dominante, passou a ter que conviver com uma concepção dinâmica, baseada em métodos lagrangianos. Esse processo contribuiu para que a teoria da relatividade geral fosse esvaziada de seu conteúdo geométrico, valorizando a aproximação da relatividade geral com a teoria de campos. Conforme ele observa, “na década de 1960, defesas de ambas as abordagens da relatividade geral podem ser encontradas, embora com influência crescente dos teóricos de campo, que adotavam a abordagem lagrangiana” [29, p. 323].

Em 2007, o físico e historiador Daniel Kennefick, então um dos editores do *Einstein Papers Project*, publicou o livro *Traveling at the Speed of Thought: Einstein and the Quest for Gravitational Waves*, obra que contribuiu significativamente para a compreensão do período 1925–1955. Ele observa que

até o final dos anos cinquenta, a relatividade geral manteve uma posição marginal dentro da comunidade da física, com uma pequena comunidade de pesquisa espalhada por muitos países (...). O resultado foi que a comunicação entre relativistas era fraca ou inexistente e exacerbava os problemas decorrentes da falta de uma base institucional para o assunto. Não havia periódicos dedicados ao tema e nenhuma conferência ou reunião

voltada à relatividade geral que pudesse fornecer espaços para os pesquisadores tomarem conhecimento do trabalho uns dos outros. Por essa razão, grande parte do trabalho feito sobre ondas gravitacionais (e, de fato, sobre o problema do movimento, relevante para sistemas de estrelas binárias) no entreguerras foi simplesmente esquecida na época em que a relatividade começou a passar por seu renascimento após a conferência de Berna (...). [34, p. 107–108]

Kennefick analisa a história dos debates sobre ondas gravitacionais e sobre o problema da determinação do movimento de sistemas binários. Ele mostra que o período de “maré baixa” dos anos 1925–1955 foi marcado por uma significativa atividade na área, porém de modo quase que isolado, a tal ponto que algumas vezes resultados fundamentais foram descobertos por alguns cientistas e depois redescobertos independentemente por outros cientistas anos depois – como ocorreu, por exemplo, com a existência de ondas gravitacionais –, sem que uns conhecessem os trabalhos dos outros. Essa análise mostra claramente a inexistência de uma comunidade de relatividade geral nos anos 1920, 1930 e 1940.

A partir de 2015, devido às comemorações do centenário da relatividade geral, um número crescente de historiadores tem se dedicado ao tema. Parte considerável dessas pesquisas foi realizada ou fomentada pelo departamento dirigido por Jürgen Renn no Instituto Max Planck para a História das Ciências e ajudou a consolidar a tese de que houve um renascimento da relatividade geral na década de 1950. Alexander Blum, Roberto Lalli e Renn buscaram precisar melhor o significado desse renascimento [35, 36]. Também editaram duas coletâneas: um volume especial do periódico *European Physical Journal H* intitulado *The Renaissance of Einstein’s Theory of Gravitation*, em colaboração com Domenico Giulini [37]; e um livro da coleção *Einstein Studies* intitulado *The Renaissance of General Relativity in Context* [38]. Blum também editou, em colaboração com Dean Rickles, uma coletânea de artigos sobre a quantização da relatividade geral publicados no período 1916–1950 [39]. Rickles escreveu um livro analisando os diversos projetos da gravitação quântica até 1956 [40]. Por fim, Lalli escreveu um livro analisando a formação da comunidade

de relatividade geral nos anos 1950 e 1960 [41]. Voltaremos a esses trabalhos nas próximas seções.

4 Uma periodização da relatividade geral

A robustez dessa literatura consolidada sobre a área fez com que se firmasse na comunidade de história da relatividade geral, quase que unanimemente, a seguinte periodização.

De 1907 a 1915, Einstein desenvolveu as ideias que viriam a conformar a teoria da relatividade geral. Podemos fazer, esquematicamente, uma separação dos esforços de Einstein em três partes. Primeiro, ele buscou listar os princípios teóricos que ele esperava que poderiam guiá-lo até a teoria da relatividade geral e também conceber experimentos de pensamento que permitissem sondar a consistência da teoria [42, 43]. Segundo, ele buscou analisar as consequências observacionais e experimentais da nova teoria, tanto no sentido de dar conta de explicar observações já conhecidas – como a precessão anômala do periélio de Mercúrio – quanto no sentido de predizer novos fenômenos – em particular, o chamado *redshift* gravitacional e a deflexão da luz por um campo gravitacional, que seria, segundo a sua teoria, o dobro da prevista pela teoria newtoniana da gravitação. Por fim, com o auxílio de seu colega e amigo Marcel Grossmann, Einstein buscou se aprofundar no estudo do cálculo tensorial, ramo da matemática que se mostrou particularmente útil na formulação da nova teoria.

De 1915 a 1925, houve uma boa recepção da teoria de Einstein, sobretudo entre astrônomos – como Arthur Eddington e Georges Lemaître – e matemáticos – como David Hilbert, Hermann Weyl, Alexander Friedmann e Élie Cartan. A observação, no eclipse de 1919, da deflexão da luz prevista por Einstein transformou o físico em uma celebridade, com direito a manchetes de jornais e revistas [12, 44, 45]. A observação do *redshift* gravitacional foi menos espetacular, sendo objeto de inúmeras disputas no decorrer das décadas. A primeira medida foi feita pelo astrônomo Walter Adams em 1925.

De 1925 a 1955, as abordagens à relatividade geral se dividiram em quatro grandes grupos. Parte dos físicos e matemáticos, sob influência das agendas de pesquisa definidas por Einstein,

se voltaram às teorias unificadas de campo – para uma história pormenorizada das primeiras tentativas de unificação da gravitação com o eletromagnetismo por Weyl, em 1918, do interesse de Einstein pelo tema, a partir de 1925, e da consolidação de um projeto de pesquisa em torno desse problema, veja as cuidadosas análises de Vladimir Vizgin, Hubert Goenner, Jeroen van Dongen e, mais recentemente, Franco Cardin e Rossana Tazzioli [46–50]. Conforme Goenner mostra, esse projeto de pesquisa se beneficiou do prestígio de três dos seus participantes, então já laureados com o prêmio Nobel por outros trabalhos: Louis de Broglie, Erwin Schrödinger e o próprio Einstein. Um segundo grupo se voltou a tentativas de estudar possíveis aspectos quânticos do campo gravitacional, como Léon Rosenfeld, Matvei Bronstein, Jacques Solomon e, após a guerra, Bryce DeWitt [39, 51–56]. Um terceiro grupo, formado sobretudo por astrônomos e matemáticos, voltou-se às aplicações da teoria da relatividade geral à cosmologia [36, 57]. Um quarto grupo se interessou pelos aspectos matemáticos e conceituais da teoria, buscando extrair do formalismo matemático da relatividade geral as suas implicações e as suas formulações alternativas, tarefa essa que, devido à não linearidade das equações de Einstein, não era matematicamente trivial. Foi nesse contexto que ocorreram a predição e o questionamento da existência de ondas gravitacionais [34]. Foi também nesse contexto que Einstein, Infeld e Hoffmann mostraram que a dinâmica de um sistema de massas puntiformes está contida nas equações de Einstein, o que faz com que a relatividade geral difira conceitualmente do eletromagnetismo, no qual a expressão da força de Lorentz tem que ser adicionada às equações de Maxwell, sem ser destas deduzida [55]. Ainda no quarto grupo, Peter Bergmann e Paul Dirac desenvolveram, no final dos anos 1940, novas técnicas para lidar com sistemas vinculados, as quais permitiram, em 1958, a obtenção de um formalismo hamiltoniano para a relatividade geral por Dirac [58].

De 1955 a 1974, ocorreu o processo de consolidação de uma comunidade de pesquisa em relatividade geral. Alguns autores caracterizam esse período como um renascimento da relatividade geral, enquanto outros o interpretam como uma continuidade dos numerosos esforços de compre-

ensão da teoria iniciados nos períodos anteriores. Discutiremos esse período em mais detalhes nas próximas duas seções.

De 1974 em diante, houve a consolidação final de uma comunidade dedicada à relatividade geral e às suas aplicações à cosmologia e à astrofísica. Após a observação dos pulsares binários, houve a clareza de que a teoria da relatividade geral é imprescindível na compreensão dos fenômenos gravitacionais. Hoje, alguns dos grandes problemas em aberto da física dizem respeito à relatividade geral e, de modo mais amplo, à gravitação, tais como, por exemplo, o desafio de compreender a energia escura e a matéria escura, que juntas contribuem, segundo se supõe atualmente, para cerca de 95% da massa do universo. A relatividade geral se firmou, então, como uma das áreas centrais de pesquisa em física, posição que ocupa até hoje.

5 A caracterização do renascimento da relatividade geral

Conforme vimos, há duas teses sobre o renascimento da relatividade geral: uma que o situa nos anos 1950, a partir da realização das primeiras conferências dedicadas à relatividade geral, e outra que o situa nos anos 1960, como consequência da pesquisa em astrofísica. A primeira tem sido a preferida pelos historiadores da física, e é sobre ela que nos concentraremos nesta seção. Vejamos, então, em mais detalhes, a caracterização do renascimento da relatividade geral que tem sido adotada, explorada, desenvolvida e debatida por esses historiadores.

A relatividade geral passou, ao longo de sua história, por mudanças em diversas dimensões, tais como social, institucional, teórica, observacional e experimental. Assim, cada historiador tem enfatizado mais ou menos cada uma dessas dimensões ao defender ou criticar a tese do renascimento, as quais analisaremos separadamente.

Até o ano de 1955, não tinha havido nenhuma conferência de relatividade geral. Isso é um forte indicativo de que não havia uma comunidade coesa trabalhando no tema. Essa hipótese se confirma ao constatarmos que ainda não havia nenhum periódico dedicado exclusivamente à relatividade geral. Ademais, os periódicos de amplo escopo, como o *Physical Review*, talvez tivessem

ressalvas a trabalhos nessa área, o que é evidenciado no relato de Bryce DeWitt, mencionado anteriormente, e em outros relatos similares daquele período. A primeira dimensão do renascimento foi, portanto, o estabelecimento de uma comunidade dedicada à relatividade geral – processo que foi estudado em detalhes pelo historiador Roberto Lalli [41].

O estabelecimento dessa comunidade ocorreu primeiramente com a realização de conferências regulares – em 1955, 1957, 1959, 1962 e 1965, para mencionar as cinco primeiras –, nas quais praticamente todos os físicos trabalhando sobre o tema puderam se encontrar. Como ocorre em toda comunidade que está se consolidando, a qualidade dos trabalhos variava muito. Alguns progressos notáveis foram relatados nesses eventos por físicos e matemáticos, porém nem todos os trabalhos apresentados eram suficientemente precisos ou mesmo corretos. O físico Richard Feynman compareceu às conferências de 1957 e 1962. Desta última, escreveu uma carta à sua esposa, em seu estilo inconfundível de escrita, dizendo:

Há muita “atividade no campo [da gravitação]” hoje em dia, mas essa “atividade” é principalmente para mostrar que a “atividade” anterior de outra pessoa resultou em um erro ou em nada útil ou em algo promissor. É como um monte de vermes tentando sair de uma garrafa rastejando uns sobre os outros. Não é que o assunto seja difícil; é que os homens bons estão ocupados em outro lugar. Lembre-me de não vir a mais nenhuma conferência sobre gravidade! [59, p. 88–93] (ver também [32, p. xxvi]).

Essa carta foi publicada no seu livro *What Do You Care What Other People Think?*, de 1988. Quando John Preskill e Kip Thorne mostraram-na para DeWitt, em 1994, este respondeu em uma carta:

Posso certamente simpatizar com a reação de Feynman à conferência de Varsóvia [de 1962], pois tive sentimentos semelhantes. (Tenho uma lembrança vívida dele desabafando suas frustrações lá, dando em Ivanenko uma das maiores broncas que já ouvi.) Mas aqueles que publicam sua carta particular sem dar o quadro completo prestam um desserviço à verdade histórica. Embora ele tenha

achado que parte da discussão na conferência de Chapel Hill [de 1957] era sem sentido (assim como eu), acho que ele se divertiu razoavelmente lá. Lembro-me que ele ficou muito interessado quando mostrei que sua integral de caminho para um espaço de configuração curvo leva a uma equação de Schrödinger com um termo escalar de Ricci. As pessoas naquela conferência (como Bondi, Hoyle, Sciamia, Møller, Rosenfeld e Wheeler) não eram estúpidas e conversaram com ele de forma inteligente. [32, p. xxvii]

O quadro delineado por DeWitt é, sem qualquer dúvida, mais preciso do que aquele delineado por Feynman, que era afeito a exagerar nas tintas. Mas ambas as cartas indicam que a comunidade ainda não tinha encontrado, naquele momento, problemas e soluções que fossem coletivamente compartilhados – que é exatamente o que caracteriza uma comunidade científica [60].

O primeiro desses eventos, realizado em Berna, na Suíça, em julho de 1955, foi concebido pelo físico suíço André Mercier e organizado por ele em colaboração com Wolfgang Pauli. Observando o que estava acontecendo na física de partículas, que se juntava então em grandes projetos – por exemplo, o CERN – que foram denominados *big science*, Mercier concluiu que era necessário fazer algo nessa mesma direção para a pesquisa em gravitação e decidiu que um primeiro passo seria reunir um grupo de pessoas interessadas no tema [61, p. 112]. Os aniversários de cinquenta anos da teoria da relatividade especial e de quarenta anos da teoria da relatividade geral pareciam o pretexto ideal. A participação de Einstein era esperada, porém ele faleceu meses antes. A conferência reuniu oitenta e nove participantes durante seis dias. Ainda que houvesse jovens físicos, a maioria era da geração de Mercier, ou seja, estava trabalhando na área há muitos anos.

Na mesma época, diversos novos centros de pesquisa em física teórica estavam se estabelecendo. Um deles era o *Institute for Field Physics* na Carolina do Norte, criado por Bryce DeWitt e Cécile DeWitt-Morette em setembro de 1955 [40, 62–65]. Inspirados no evento de Berna, eles organizaram no novo instituto, em janeiro de 1957, a conferência *The Role of Gravitation in Physics*, cujo título já expressa o problema que estava em questão, a saber, compreender o novo

papel que a relatividade geral viria a ocupar na física. Conforme observa o filósofo e historiador Dean Rickles,

a conferência Berna foi dominada por físicos mais velhos e estabelecidos. Em seu próprio relatório sobre a conferência de Chapel Hill, [Agnew H.] Bahnsen [o filantropo que custeou o projeto de Chapel Hill] observou que havia conversado com um físico (não identificado) que também havia participado da conferência de Berna, segundo o qual a conferência de Chapel Hill tinha “maior informalidade” e que “os participantes mais jovens contribuíram para mais discussão e troca de informações”. A conferência de Chapel Hill sobre o papel da gravitação na física, que aconteceu apenas dois anos depois [da conferência de Berna], fez pela relatividade geral e pela gravitação o que [a conferência de] Shelter Island fez pela eletrodinâmica quântica. A conferência de Chapel Hill foi uma ruptura genuína com a conferência de Berna, tanto em termos de organização quanto de conteúdo, mas ainda mais em termos de espírito. [63, p. 19–20]

De fato, a maioria dos participantes da conferência de 1957 havia terminado o doutorado após a guerra. Essa conferência foi sucedida por outra conferência em Royaumont, na França, em 1959, organizada por André Lichnerowicz e Marie-Antoinette Tonnelat. Ele era um matemático renomado e trabalhava sobre a relatividade há mais de trinta anos; ela era uma ex-orientanda de Louis de Broglie e havia se interessado pela relatividade geral durante a guerra, ou seja, trabalhava sobre o tema há quase vinte anos. Após um hiato de três anos, ocorreu em 1962, na cidade de Jabłonna, na Polônia, a terceira conferência, organizada por Leopold Infeld, que havia sido um colaborador de Einstein. Ainda que os organizadores dessas conferências não fossem novos na área, os participantes eram cada vez mais jovens, refletindo o grande número de pessoas que tinham feito ou estavam fazendo doutorado sobre relatividade geral no final dos anos 1950 e início dos anos 1960.

Além das conferências periódicas, uma outra iniciativa foi fundamental para a constituição de uma comunidade científica dedicada à relatividade

geral. Na conferência de 1959, foi criado o *Committee on General Relativity and Gravitation*, cujo objetivo era, nas palavras de Mercier,

coordenar a colaboração em trabalhos científicos no campo da relatividade geral, gravitação e assuntos relacionados, especialmente para ajudar na organização de conferências internacionais e outras reuniões de menor importância em todo o mundo, e promover informações mútuas úteis a todos os interessados no campo. [66, p. 1]

Assim, teve início o *Bulletin of General Relativity and Gravitation*, que teve vinte e um volumes publicados entre 1962 e 1969 sob a coordenação de Mercier. Mais tarde, em 1970, ele criou o periódico, hoje renomado, *General Relativity and Gravitation*. Em 1972, ele também desempenhou um papel central na criação da *International Society on General Relativity and Gravitation*, que sucedeu o *Committee on General Relativity and Gravitation* e existe até hoje [41].

Houve também tentativas de caracterizar o renascimento dos anos 1950 com uma análise quantitativa das publicações sobre relatividade geral, que cresceram exponencialmente no período. Entretanto, conforme mostrou Goenner, esse argumento é impreciso, uma vez que houve um aumento exponencial das publicações em todas as áreas da física, o qual foi na média maior, proporcionalmente, do que o crescimento do número de publicações especificamente sobre relatividade geral [67].

Independentemente do número de artigos, houve no período de 1949 a 1962 um aumento expressivo no número de abordagens à relatividade geral. Entre 1949 e 1958, Peter Bergmann e Paul Dirac desenvolveram novas técnicas para lidar com sistemas vinculados, as quais permitiram a obtenção, por Dirac, de um formalismo hamiltoniano para relatividade geral, conforme mencionamos na seção anterior [58]. Até então, somente a teoria na forma linearizada tinha sido escrita na forma hamiltoniana. Em 1952, Yvonne Choquet-Bruhat demonstrou pela primeira vez a existência e unicidade das soluções das equações de Einstein [68, 69]. Em 1959, Richard Arnowitt, Stanley Deser e Charles Misner elaboraram o chamado formalismo ADM, que veio posteriormente a se tornar central nas discussões sobre a quan-

tização canônica da gravitação [70]. Em 1962, Richard Feynman descobriu que a matriz S na teoria quântica da gravitação não era unitária. A fim de restaurar a unitariedade, ele sugeriu introduzir na teoria novos quanta fermiônicos fictícios, os quais viriam a ser plenamente compreendidos, de forma independente, por Bryce DeWitt e por Ludwig Faddeev e Victor Popov em 1967, sendo hoje denominados fantasmas de Faddeev-Popov [71].

Nos anos 1950, houve também o surgimento de uma área de pesquisa inteiramente nova, denominada relatividade geral experimental. Esses esforços se concentraram, em um primeiro momento, em torno do projeto de pesquisa proposto por Robert Dicke, que almejava testar experimentalmente o princípio de Mach, a hipótese de grandes números de Dirac, as teorias escalares da gravitação e os princípios da equivalência forte e fraco [72]. Houve também tentativas posteriores, empreendidas sobretudo por Joseph Weber, de construir antenas de ondas gravitacionais [73,74]. Comentando, em 2017, sobre as expressões “renascimento da relatividade geral” e “reinvenção da relatividade geral”, Phillip Peebles, que viria a ganhar o prêmio Nobel de física em 2019 pela sua pesquisa em cosmologia teórica, observou que “no que se refere à pesquisa empírica, a conotação de renascimento é inapropriada, porque não havia acontecido muita coisa antes [dos anos 1950]” [72, p. 178].

A pesquisa em relatividade geral também recebeu, nos anos 1950 e 1960, um impulso significativo das suas possíveis aplicações tecnológicas. Havia, no início dos anos 1950, uma expectativa de que os avanços na relatividade geral levassem a mecanismos de anti-gravidade que permitissem o desenvolvimento de novos tipos de avião. Essa expectativa, hoje claramente sem sentido, levou à criação da *Gravity Research Foundation*, cujo concurso anual de ensaios ainda existe, sendo hoje bastante prestigiado e inteiramente desvinculado do objetivo inicial de desenvolver mecanismos de anti-gravidade [64, 65, 75]. Havia também a expectativa de que, como ocorrera com a física nuclear, a relatividade geral pudesse vir a se mostrar relevante no desenvolvimento de armamentos, o que levou a força aérea dos Estados Unidos da América a investir sistematicamente na pesquisa em gravitação por mais de uma década, conforme

veremos na próxima seção [1,76].

Essas diversas dimensões do renascimento se entrelaçam e se influenciam mutuamente. Algumas são inquestionáveis, como o ineditismo das conferências, a formação de uma comunidade e o apoio militar à área. Outros aspectos, como o número de artigos e mesmo a efervescência de novas abordagens, são passíveis de críticas, como aquelas apresentadas de modo sistemático e convincente por Goenner [67]. Tendo em vista essa caracterização do renascimento da relatividade geral, na próxima seção apresentaremos uma reflexão sobre os rumos da pesquisa sobre a história da relatividade geral.

6 Os desafios atuais da pesquisa sobre a história da relatividade geral

Vamos partir de um aspecto sociológico das pesquisas mencionadas acima que parece incontestável: houve a consolidação de uma comunidade de pesquisa em relatividade geral nos anos 1950. Os trabalhos dos historiadores Roberto Lalli, Riaz Tony Howey e Dirk Wintergrün sobre as redes de colaboração em relatividade geral são as análises mais robustas que dispomos atualmente acerca dessa dimensão sociológica [41, 77–79]. Eles mostram que houve uma profunda mudança nas dinâmicas da comunidade de relatividade geral entre 1950 e 1970. Esse é o principal argumento que nos permite falar hoje de um renascimento da relatividade geral nesse período. Porém, conforme vimos na última seção e exploraremos em mais detalhes a seguir, devemos manter um certo ceticismo sobre a tese do renascimento, sobretudo se o renascimento for caracterizado de modo mais amplo, incluindo aspectos relativos ao desenvolvimento da teoria e ao aumento do número de artigos na área.

Há atualmente um bom número de estudos de caso sobre as trajetórias de físicos que trabalharam sobre a relatividade geral nos anos 1950 e 1960 – alguns dos quais podem ser encontrados em [38]. Entretanto, esses estudos ainda apresentam uma imagem bastante fragmentada do período. Os trabalhos de muitos físicos, matemáticos e grupos de pesquisa da época ainda não foram explorados. Ainda estamos longe de termos uma síntese da pesquisa em relatividade nos anos

1950. Quando olhamos para os anos 1960, a situação é ainda pior, pois sabemos pouco sobre a história da relatividade nesse período além das narrativas dos próprios protagonistas – os trabalhos de Kaiser são uma notável exceção [1, 29]; vale mencionar também o trabalho de Aaron Wright sobre os diagramas de Roger Penrose [80] e o trabalho recente de Donald Salisbury sobre a história do desenvolvimento do formalismo de Hamilton-Jacobi para a relatividade geral [81].

Também entendemos pouco sobre o “período de maré baixa”, de 1925 a 1955. A pergunta posta por Eisenstaedt em 1986 ainda se encontra longe de estar respondida: “[quais] são os elementos, as razões, as consequências deste amplo descontentamento que cobre grande parte da história desta teoria decididamente singular e representa um factor obviamente essencial?” [17]. Assim, ainda cabe a historiadores e físicos caracterizarem melhor esse suposto descontentamento, compreender melhor os projetos teóricos que estavam em jogo na relatividade geral de 1915 aos anos 1950, compreender melhor a ressalva de figuras como Samuel Goudsmit e J. Robert Oppenheimer à gravitação, compreender melhor a relação entre relatividade geral e astrofísica nos anos 1940, para listar apenas algumas das lacunas existentes na pesquisa sobre história da relatividade geral.

Conhecemos razoavelmente bem a história das observações dos três testes clássicos da relatividade geral, em particular sobre as expedições para observação do eclipse de 1919 [18, 45, 82, 83]. Porém, conhecemos ainda pouco sobre a história da pesquisa em relatividade geral experimental iniciada por Robert Dicke e Joseph Weber. Os dois principais estudos sobre o tema foram escritos por físicos que viveram os desenvolvimentos dos anos 1960 [72, 73]. Seria interessante termos análises históricas das práticas experimentais, dos cadernos de laboratório e do empréstimo de técnicas experimentais da física de partículas para os experimentos de relatividade geral – um primeiro passo foi dado por Harry Collins [74].

Também não sabemos ainda quase nada sobre a pesquisa mais matemática em gravitação, como os trabalhos de André Lichnerowicz e Yvonne Choquet-Bruhat. Esses autores abordaram a relatividade geral a partir da matemática – usando técnicas, em um primeiro momento, de geometria diferencial e, posteriormente, de equações diferen-

ciais parciais. Os anos 1950 foram um momento de inúmeros avanços no estudo das equações diferenciais parciais, com o desenvolvimento da teoria das distribuições. Assim, há uma simbiose entre dois campos disciplinares que estão em pleno desenvolvimento, a saber, a relatividade geral e as equações diferenciais parciais. Em nossos trabalhos, temos buscado explorar esse ponto [69]. Temos buscando também investigar as trajetórias de mulheres na relatividade geral, tendo em vista o grande número de físicas e matemáticas trabalhando nessa teoria nos anos 1950 e 1960 [84].

Também estamos longe de compreender o papel da força aérea dos Estados Unidos da América no desenvolvimento da relatividade geral. Sabemos que o primeiro evento dedicado exclusivamente à gravitação quântica – um pequeno encontro de seis físicos ocorrido em Copenhague em meados de 1957 – recebeu o seu apoio [55, 85]. Sabemos que ela apoiou também diversas outras iniciativas a partir de 1957, como a conferência de Chapel Hill, sobretudo na forma de transporte de cientistas por meio do *Military Air Transport Service*. Curiosamente, ela chegou a apoiar as pesquisas sobre relatividade geral do grupo coordenado pelo físico alemão Pascual Jordan na Universidade de Hamburgo, na Alemanha [76].

Ainda entendemos pouco da pesquisa em relatividade no bloco soviético. Há alguns estudos sobre o período antes de 1950 [86], mas até recentemente não sabíamos quase nada sobre os anos 1950. Um esforço nesse sentido tem sido feito pelo historiador Jean-Philippe Martinez [87].

Uma outra área que ainda resta muito por fazer é a história dos livros didáticos de relatividade geral. O trabalho de Kaiser foi um primeiro passo nesse sentido, mas não teve continuidade, apesar do autor anunciar, em 1998, que

Este artigo é parte de um projeto maior sobre mudanças na prática da física gravitacional durante as décadas intermediárias deste século. O estudo mais completo visa relacionar essas mudanças pedagógicas (em livros didáticos, notas de aula, programas, conjuntos de problemas e exames gerais) a mudanças nos artigos de pesquisa publicados dentro da física gravitacional. [29, p. 323]

Tendo em vista esse quadro historiográfico, podemos concluir que é necessário mantermos um

certo ceticismo sobre a tese de que teria havido um renascimento da relatividade geral nos anos 1950 ou nos anos 1960. Ainda que interessante, essa tese carece de muito escrutínio, uma vez que ainda entendemos pouco da história da relatividade geral para afirmar com convicção que, para além da consolidação de uma comunidade, houve um genuíno renascimento dessa teoria física.

Parece que boa parte da caracterização do renascimento passa por desconsiderar os significativos desenvolvimentos da teoria nos anos 1930, conforme mostrou Goenner [67]. Nesse sentido, é curioso que as principais críticas à tese do renascimento tenham sido apresentadas por um físico e historiador que havia se dedicado anteriormente a escrever a história das teorias de campo unificadas [47, 49]. A imersão nos anos 1930 e 1940 pode ser um bom antídoto para a tese do renascimento. Poucos estudos sistemáticos foram feitos até o momento sobre esse período – além dos trabalhos de Goenner, vale mencionarmos novamente os livros de Kennefick e Rickles [34, 40].

Isso nos ensina uma lição que vale sempre na história das ciências: devemos evitar narrativas triunfalistas – ou seja, narrativas que afirmam que um grupo de cientistas resolveu os problemas ou se viu subitamente vitorioso, superando seus antecessores, que ficaram então ultrapassados –, pois quase sempre elas fazem espanto dos cientistas do período anterior. Assim, da mesma maneira que, na história da teoria quântica de campos, os trabalhos de Shin'ichirō Tomonaga, Julian Schwinger e Richard Feynman do final dos anos 1940 ofuscaram os trabalhos extremamente criativos dos físicos dos anos 1930 que tentaram lidar com as quantidades infinitas da eletrodinâmica quântica, a narrativa do renascimento da relatividade geral frequentemente opta enfatizar os trabalhos dos anos 1950, sem dar o devido valor aos esforços das décadas anteriores. Ou seja, é possível que haja um viés nas narrativas.

Há diversas possíveis explicações para esse viés. Uma delas é o fato de que o momento em que a pesquisa em história da relatividade geral se firmou, nos anos 1980, coincidiu com o momento no qual os físicos que tinham começado a carreira nos anos 1950 e 1960 estavam à frente da comunidade de relatividade geral – como Sciama, Deser, DeWitt, Penrose, Hawking e outros. Além disso, uma vez que o modo como entendemos hoje

a relatividade geral é profundamente tributário dos desenvolvimentos dos anos 1950 e 1960 – seja com o formalismo ADM, a equação de Wheeler-DeWitt, os fantasmas de Faddeev-Popov, etc. –, é normal que reconheçamos como nos sendo familiar a profunda atividade intelectual dessas duas décadas. É mais difícil, entretanto, reconhecer as atividades dos anos 1930 e 1940, que acabaram levando os físicos e matemáticos a becos sem saída e a formalismos que, por acaso da história, depois vieram a ser abandonados ou drasticamente alterados. Assim, as obras de Infeld, Bergmann, Lichnerowicz, Tonnelat e outros acabaram sendo em parte esquecidas.

Somente com mais pesquisas sobre história da relatividade geral poderemos compreender se realmente faz sentido defender a tese do renascimento. Essas pesquisas devem explorar tanto as abordagens à relatividade geral que tiveram continuidade quanto as que foram abandonadas. A história da relatividade geral é repleta de becos sem saída. Olhá-los sem anacronismo é um desafio com o qual ainda estamos aprendendo a lidar.¹

Agradecimentos

Agradecemos a Reinaldo de Melo e Souza, Ivã Gurgel e um parecerista anônimo pelos comentários e sugestões sobre uma versão anterior deste artigo. Agradecemos a Antonio Augusto Passos Videira, Carla Rodrigues Almeida, Cibelle Celestino Silva e Gérard Grimberg pelas sugestões e conselhos sobre esta pesquisa. Agradecemos também a Theo Adour, Laura Stolze e Thales Azevedo pelas discussões sobre história da relatividade geral. Juliana Youssef agradece à CAPES

¹Vale mencionarmos aqui o seguinte trecho do historiador da filosofia Alexandre Koyré sobre o anacronismo: “É bastante normal que para quem, a partir do presente, e até mesmo do futuro para onde dirige seu trabalho, lança um olhar na direção do passado – um passado já há muito tempo ultrapassado – as teorias antigas apareçam como monstros incompreensíveis, ridículas e disformes. De fato, remontando a corrente do tempo, ele as reencontra no momento de sua morte, velhas, ressequidas, esclerosadas. (...) Só o historiador é que as encontra em sua primeira e gloriosa juventude, em todo o esplendor de sua beleza. Só o historiador é que, re-fazendo e re-correndo a evolução da ciência, apreende as teorias do passado em seu nascimento e vive, com elas, o *elan* criador do pensamento. Olhemos então para a história.” [88, p. 205]

pelo apoio financeiro por meio de bolsa de mestrado.

Sobre os autores

Juliana Correia Ferreira (julianacorreia@poli.ufrj.br) é graduada em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), graduada em Engenharia Civil pela UFRJ e mestre em Ensino de Matemática também pela UFRJ. Atualmente, é Professora Substituta no Departamento de Matemática da UFRJ.

Juliana Youssef (juyoussef@gmail.com) é graduada em Licenciatura em Matemática pela UFRJ e mestre em Ensino de Matemática também pela UFRJ.

Thiago Hartz (hartz@im.ufrj.br) é graduado em Bacharelado em Física pela UFRJ, Mestre em Física pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências pela Universidade Federal da Bahia, com estágio sânduíche no Laboratoire SPHERE da Université Paris Diderot, França. Realizou pós-doutorado no Niels Bohr Archive, Dinamarca. Atualmente, é Professor Adjunto no Departamento de Matemática da UFRJ, onde também atua como docente e vice-coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Matemática.

Referências

- [1] B. Wilson e D. Kaiser, *Calculating Times: Radar, Ballistic Missiles, and Einstein's Relativity*, in *Science and Technology in the Global Cold War*, editado por N. Oreskes e J. Krige (The MIT Press, Cambridge, 2014), 273–316.
- [2] M. Born, *Die Relativitätstheorie Einsteins* (Springer, Berlin, 1920). Segunda edição, em inglês: M. Born *Einstein's Theory of Relativity* (Dover, New York, 1962).
- [3] W. Pauli, *Relativitätstheorie*, in *Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften, Fünfter Band, Zweiter Teil*, editado por A. Sommerfeld (Teubner, Leipzig, 1921), 539–775. Publicado separadamente: W. Pauli, *Relativitätstheorie* (Springer, Berlin, 1921). Tradução para o inglês: W. Pauli, *Theory of Relativity* (Dover, New York, 1981).
- [4] M. A. Costa, *Introdução a theoria da relatividade* (Sussekind de Mendonça & Cia., Rio de Janeiro, 1922.). Segunda edição: M. A. Costa, *Introdução à teoria da relatividade* (Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, 1995).
- [5] J. Eisenstaedt e J. C. Fabris, *Amoroso Costa e o primeiro livro brasileiro sobre a Relatividade Geral*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**(2), 185 (2004).
- [6] H. Weyl, *Raum, Zeit, Materie: Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie* (Springer, Berlin, 1918). Tradução para inglês da quarta edição, de 1921: H. Weyl, *Space, Time, Matter* (Dover, New York, 1952).
- [7] P. A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (The Library of Living Philosophers, Evanston, 1949).
- [8] H. Gutfreund e J. Renn, *Einstein on Einstein: Autobiographical and Scientific Reflections* (Princeton University Press, Princeton, 2020).
- [9] D. Kormos-Buchwald, *The Einstein Papers Project 1955–2005*, in *Albert Einstein, Chief Engineer of the Universe: One Hundred Authors for Einstein*, editado por J. Renn (Wiley-VCH, Weinheim, 2005), 448–452.
- [10] T. Hartz e O. Freire Jr., *A série de conferências History of Quantum Physics: Um breve panorama da consolidação da pesquisa em história da física quântica nos últimos dez anos*, *Boletim Eletrônico da Sociedade Brasileira de História da Ciência* **6** (2015).
- [11] J. Norton, *How Einstein Found His Field Equations: 1912–1915*, *Historical Studies in the Physical Sciences* **14**(2), 253 (1984). Reimpresso em: D. Howard e J. Stachel (eds.), *Einstein and the History of General Relativity*, Einstein Studies, vol. 1 (Birkhäuser, Boston, 1989), 101–159.

- [12] A. Pais, *'Subtle is the Lord...': The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford University Press, 1982). Tradução para o português: A. Pais, *Sutil é o Senhor: A Ciência e a Vida de Albert Einstein* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 2005).
- [13] M. Janssen e J. Renn, *How Einstein Found His Field Equations: Sources and Interpretation* (Birkhäuser, Cham, 2022).
- [14] M. Janssen et al. (eds.), *The Genesis of General Relativity*, vol. 1–4 (Springer, Berlin, 2007).
- [15] J. Renn e T. Sauer, *Errors and Insights: Reconstructing the Genesis of General Relativity from Einstein's Zurich Notebook*, in *Reworking the Bench: Research Notebooks in the History of Science*, editado por F. L. Holmes, J. Renn e H.-J. Rheinberger (Springer, Dordrecht, 2003), 253–268.
- [16] M. Janssen e J. Renn, *Arch and scaffold: How Einstein found his field equations*, *Physics Today* **68**(11), 30 (2015).
- [17] J. Eisenstaedt, *La relativité générale à l'étiage: 1925–1955*, *Archive for History of Exact Sciences* **35**(2), 115 (1986). Versão resumida em inglês: J. Eisenstaedt, *The Low Water Mark of General Relativity, 1925–1955*, in *Einstein and the History of General Relativity*, editado por D. Howard e J. Stachel (Birkhäuser, Boston, 1989), 277–292.
- [18] J. Eisenstaedt, *Einstein et la relativité générale: Les chemins de l'espace-temps* (CNRS Editions, Paris, 2002). Tradução para o inglês: J. Eisenstaedt, *The Curious History of Relativity: How Einstein's Theory of Gravity Was Lost and Found Again* (Princeton University Press, Princeton, 2006).
- [19] M. Paty, *Einstein philosophe: La physique comme pratique philosophique* (Presses Universitaires de France, Paris, 1993).
- [20] M. Paty, *Einstein, ou A Criação Científica do Mundo* (Estação Liberdade, São Paulo, 2008).
- [21] D. Cantimori, *Storici e storia: metodo, caratteristiche e significato del lavoro storiografico* (Einaudi, Turim, 1971).
- [22] P. Galison, *Material Culture, Theoretical Culture, and Delocalization*, in *Collection, Laboratory, Theater*, editado por H. Schramm, L. Schwarte e J. Lazardzig (de Gruyter, Berlin, 2005), 490–506.
- [23] B. DeWitt, *Quantum gravity: yesterday and today*, *General Relativity and Gravitation* **41**(2), 413 (2009).
- [24] C. M. Will, *Was Einstein Right? Putting General Relativity to the Test* (Basic Books, New York, 1993), 2^a ed.
- [25] G. Ellis, A. Lanza e J. Miller (eds.), *The Renaissance of General Relativity and Cosmology: A Survey to Celebrate the 65th Birthday of Dennis Sciama* (Cambridge University Press, Cambridge, 1993).
- [26] D. W. Sciama, *The recent renaissance of observational cosmology*, *Physics Bulletin* **19**(10), 329 (1968).
- [27] D. W. Sciama, *The recent renaissance of observational cosmology*, in *Relativity and Gravitation*, editado por C. G. Kuper e A. Peres (Gordon and Breach, New York, 1971), 283–304.
- [28] J. C. Miller, *Relativistic gravitational collapse*, in *The Renaissance of General Relativity and Cosmology: A Survey to Celebrate the 65th Birthday of Dennis Sciama*, editado por G. Ellis, A. Lanza e J. Miller (Cambridge University Press, Cambridge, 1993), 73–85.
- [29] D. Kaiser, *A ψ is just a ψ ? Pedagogy, Practice, and the Reconstitution of General Relativity, 1942–1975*, *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **29**(3), 321 (1998).
- [30] A. Einstein, *The Meaning of Relativity: Four Lectures Delivered at Princeton University, May, 1921* (Princeton University Press, Princeton, 1922). Reproduzido com os apêndices em: H. Gutfreund e J. Renn, *The*

- Formative Years of Relativity: The History and Meaning of Einstein's Princeton Lectures* (Princeton University Press, Princeton, 2017), 159–359.
- [31] P. G. Bergmann, *Introduction to the theory of relativity* (Prentice-Hall, New York, 1942).
- [32] R. P. Feynman, *Lectures on Gravitation. Reading* (Addison-Wesley, Reading, 1995). Nova edição: R. P. Feynman, *Feynman Lectures on Gravitation* (CRC Press, Boca Raton, 2018). A citação foi feita a partir desta edição mais recente.
- [33] D. J. Griffiths, D. Derbes e R. B. Sohn (eds.), *Sidney Coleman's Lectures on Relativity* (Cambridge University Press, Cambridge, 2022).
- [34] D. Kennefick, *Traveling at the Speed of Thought: Einstein and the Quest for Gravitational Waves* (Princeton University Press, Princeton, 2007).
- [35] A. Blum, R. Lalli e J. Renn, *The Reinvention of General Relativity: A Historiographical Framework for Assessing One Hundred Years of Curved Space-time*, *Isis* **106**(3), 598 (2015).
- [36] A. S. Blum, R. Lalli e J. Renn, *The renaissance of General Relativity: How and why it happened*, *Annalen der Physik* **528**(5), 344 (2016).
- [37] A. Blum et al., *Editorial introduction to the special issue "The Renaissance of Einstein's Theory of Gravitation"*, *The European Physical Journal H* **42**(2), 95 (2017).
- [38] A. Blum, R. Lalli e J. Renn (eds.), *The Renaissance of General Relativity in Context* (Birkhäuser, Cham, 2020).
- [39] A. S. Blum e D. Rickles, *Quantum Gravity in the First Half of the Twentieth Century: A Sourcebook* (Edition Open Access, Berlin, 2018).
- [40] D. Rickles, *Covered with Deep Mist: The Development of Quantum Gravity (1916-1956)* (Oxford University Press, Oxford, 2020).
- [41] R. Lalli, *Building the General Relativity and Gravitation Community During the Cold War* (Springer, Cham, 2017).
- [42] J. Norton, *Einstein's Pathway to General Relativity*, Einstein for Everyone (disciplina de graduação na Universidade de Pittsburgh). Disponível em https://sites.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/general_relativity_pathway/index.html, acesso em mar. 2025.
- [43] D. Cardoso e I. Gurgel, *A complementaridade dos pensamentos narrativo e matemático na gestação da teoria da Relatividade Geral*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **34**(3), 745 (2017).
- [44] M. Stanley, "An Expedition to Heal the Wounds of War": The 1919 Eclipse and Eddington as Quaker Adventurer, *Isis* **94**(1), 57 (2003).
- [45] D. Kennefick, *No Shadow of a Doubt: The 1919 Eclipse That Confirmed Einstein's Theory of Relativity* (Princeton University Press, Princeton, 2019).
- [46] V. P. Vizgin, *Unified Field Theories in the first third of the 20th century* (Birkhäuser, 1994).
- [47] H. F. M. Goenner, *On the History of Unified Field Theories*, *Living Reviews in Relativity* **7**(1), article number 2 (2004).
- [48] J. v. Dongen, *Einstein's Unification* (Cambridge University Press, Cambridge, 2010).
- [49] H. F. M. Goenner, *On the History of Unified Field Theories. Part II. (ca. 1930–ca. 1965)*, *Living Reviews in Relativity* **17**(1), article number 5 (2014).
- [50] F. Cardin e R. Tazzioli, *Levi-Civita simplifies Einstein. The Ricci rotation coefficients and unified field theories*, *Archive for History of Exact Sciences* **78**(1), 87 (2024).
- [51] M. C. Bustamante, *Jacques Solomon (1908-1942): profil d'un physicien théoricien dans la France des années trente*, *Revue d'histoire des sciences* **50**(1), 49 (1997).

- [52] G. E. Gorelik, *Matvei Bronstein and quantum gravity: 70th anniversary of the unsolved problem*, *Physics-Uspekhi* **48**(10), 1039 (2005).
- [53] D. C. Salisbury, *Léon Rosenfeld's pioneering steps toward a quantum theory of gravity*, *Journal of Physics: Conference Series* **222**, 012052 (2010).
- [54] T. Hartz e O. Freire Jr., *Uses and appropriations of Niels Bohr's ideas about quantum field measurement, 1930-1965*, in *One Hundred Years of the Bohr Atom*, editado por F. Aaserud e H. Kragh (The Royal Danish Academy of Science and Letters, Copenhagen, 2015), 397–418.
- [55] A. Blum e T. Hartz, *The 1957 quantum gravity meeting in Copenhagen: An analysis of Bryce S. DeWitt's report*, *The European Physical Journal H* **42**(2), 107 (2017).
- [56] G. Gorelik, *The drama of ideas in the history of quantum gravity: Niels Bohr, Lev Landau, and Matvei Bronstein*, *The European Physical Journal H* **49**(1), article number 18 (2024).
- [57] H. Kragh, *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe* (Princeton University Press, Princeton, 1996).
- [58] D. Salisbury, *Rosenfeld, Bergmann, Dirac and the Invention of Constrained Hamiltonian Dynamics*, in *The Eleventh Marcel Grossmann Meeting: On Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity*, editado por H. Kleinert, R. Jantzen e R. Ruffini (World Scientific, Singapore, 2008), 2467–2469.
- [59] R. P. Feynman, *“What Do You Care What Other People Think?”: Further Adventures of a Curious Character* (Norton, New York, 1988).
- [60] T. Kuhn, *A estrutura das revoluções científicas* (Perspectiva, São Paulo, 1962).
- [61] A. Mercier, *General Relativity at the Turning Point of Its Renewal*, in *Studies in the History of General Relativity*, editado por J. Eisenstaedt e A. Kox (Birkhäuser, Boston, 1992), 109–121.
- [62] C. DeWitt-Morette, *The Pursuit of Quantum Gravity: Memoirs of Bryce DeWitt from 1946 to 2004* (Springer, Berlin, 2011).
- [63] D. Rickles, *The Chapel Hill Conference in Context*, in *The Role of Gravitation in Physics: Report from the 1957 Chapel Hill Conference*, editado por C. DeWitt-Morette e D. Rickles (Edition Open Access, Berlin, 2011), 7–21.
- [64] T. Hartz, *As heterodoxias quânticas e o olhar do historiador: Uma história dos usos dos argumentos de Niels Bohr acerca da medição de campos quânticos (1930–1970)*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia (2013).
- [65] D. Kaiser e D. Rickles, *The Price of Gravity: Private Patronage and the Transformation of Gravitational Physics after World War II*, *Historical Studies in the Natural Sciences* **48**(3), 338 (2018).
- [66] A. Mercier e J. Schaer, *General information*, *Bulletin of General Relativity and Gravitation* **1**(1), 1 (1962).
- [67] H. Goenner, *A golden age of general relativity? Some remarks on the history of general relativity*, *General Relativity and Gravitation* **49**(3), article number 42 (2017).
- [68] A. Lichnerowicz, *Mathematics and General Relativity: A Recollection*, in *Studies in the History of General Relativity*, editado por J. Eisenstaedt e A. Kox (Birkhäuser, Boston, 1992), 103–108.
- [69] J. C. Ferreira, *A trajetória de Yvonne Choquet-Bruhat na matemática, na física e na sociedade do século XX*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Matemática, Universidade Federal do Rio de Janeiro (2024).
- [70] S. Deser, *The ADM version of GR at Sixty: a brief account for historians*, *The European*

- Physical Journal H **46**(1), article number 14 (2021).
- [71] G. 't Hooft (ed.), *50 Years of Yang-Mills* (World Scientific, Singapore, 2005).
- [72] P. J. E. Peebles, *Robert Dicke and the naissance of experimental gravity physics, 1957–1967*, *The European Physical Journal H* **42**(2), 177 (2017).
- [73] V. Trimble, *Wired by Weber: The story of the first searcher and searches for gravitational waves*, *The European Physical Journal H* **42**(2), 261 (2017).
- [74] H. Collins, *Gravity's Kiss: The Detection of Gravitational Waves* (MIT Press, Cambridge, 2017).
- [75] R. Babson, *Gravity—Our enemy number one*, in H. Collins, *Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves* (University of Chicago Press, Chicago, 2004), 828–831.
- [76] J. Goldberg, *US Air Force support of general relativity, 1956–1972*, in *Studies in the History of General Relativity*, editado por J. Eisenstaedt e A. Kox (Birkhäuser, Boston, 1992), 89–102.
- [77] R. Lalli, R. Howey e D. Wintergrün, *The dynamics of collaboration networks and the history of general relativity, 1925–1970*, *Scientometrics* **122**(2), 1129 (2020).
- [78] R. Lalli, R. Howey e D. Wintergrün, *The Socio-Epistemic Networks of General Relativity, 1925–1970*, in *The Renaissance of General Relativity in Context*, editado por A. Blum, R. Lalli e J. Renn (Birkhäuser, Cham, 2020), 15–84.
- [79] R. Lalli, *The Multiple Lives of the General Relativity Community, 1955–1974*, in *Bio-graphies in the History of Physics*, editado por M. Forstner, Christian; Walker (Springer, Cham, 2020), 179–202.
- [80] A. S. Wright, *The Advantages of Bringing Infinity to a Finite Place*, *Historical Studies in the Natural Sciences* **44**(2), 99 (2014).
- [81] D. Salisbury, *A history of observables and Hamilton–Jacobi approaches to general relativity*, *The European Physical Journal H* **47**(1), article number 7 (2022).
- [82] I. d. C. Moreira, *O eclipse solar de 1919, Einstein e a mídia brasileira*, *Ciência e Cultura* **71**(3), 32 (2019).
- [83] R. N. d. Silva Júnior e C. H. d. M. Barboza, *História e memória de vidro: as fotografias brasileiras do eclipse de 1919 em Sobral*, *História, Ciências, Saúde-Manguinhos* **27**(3), 983 (2020).
- [84] J. Y. F. Silva, *Mulheres na relatividade geral, 1945–1968: Trajetórias, projetos e o renascimento da teoria*, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Matemática, Universidade Federal do Rio de Janeiro (2024).
- [85] B. S. DeWitt, *Exploratory research session on the quantization of the gravitational field: At the Institute for Theoretical Physics, Copenhagen, Denmark, June–July 1957*, *The European Physical Journal H* **42**(2), 159 (2017).
- [86] V. P. Vizgin e G. E. Gorelik, *The Reception of the Theory of Relativity in Russia and the USSR*, in *The Comparative Reception of Relativity*, editado por T. F. Glick (Springer, Berlin, 1987), 265–326.
- [87] J.-P. Martinez, *The Fock-Infeld Dispute: An Illustration of the Renaissance of General Relativity in the Soviet Union*, in *The Renaissance of General Relativity in Context*, editado por A. Blum, R. Lalli e J. Renn (Springer, Cham, 2020), 113–139.
- [88] A. Koyré, *Estudos de história do pensamento filosófico* (Forense Universitária, Rio de Janeiro, 1991).