UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM
ENSINO DE CIÊNCIAS

José Guilherme Licio

**Prêmio Nobel: Palestras Oficiais sob a
Perspectiva da Ciência Integral**

São Paulo

2018

JOSÉ GUILHERME LICIO

Prêmio Nobel: Palestras Oficiais sob a Perspectiva da Ciência Integral

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cibelle Celestino Silva

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Cibelle Celestino Silva (IFSC-USP)

Prof. Dr. Cassiano Rezende Pagliarini (UFOP)

Prof. Dr. Breno Arsioli Moura (UFABC)

São Paulo

2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Licio, José Guilherme

Prêmio Nobel: palestras oficiais sob a perspectiva da ciência integral.
São Paulo, 2018.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Cibele Celestino Silva
Área de Concentração: Ensino de Física.

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Física moderna – Estudo e ensino; 3. Física – Estudo e ensino – Século XX; 4. História da ciência; 5. Discurso.

USP/IF/SBI-096/2018

Dedico esta pesquisa a você, que me encontrou, talvez sem ter procurado, em alguma biblioteca, algum corredor escuro, algum hyperlink, alguma transmissão clandestina, em qualquer lugar ou época e quis ler o que há vivo aqui dentro. A caminhada é longa. No entanto, neste lugar-instante tão singular, você é a melhor companhia que eu poderia ter para continuar pulsando. Para continuar sendo.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação simboliza alguns dos primeiros desdobramentos de um longo trabalho. Seria impossível mencionar todas, todos e tudo que influenciou minhas escolhas e meus meios. Mesmo assim, nesta seção mencionarei alguns dos pontos luminosos que fazem parte do céu eterno que tem me acompanhado nas navegações para *além do mar sem fim*.

Agradeço ao Fogo da Vontade, à Água da Compaixão, ao Ar do Intelecto e à Terra do que é Material: Miscigenados, às vezes em harmonia, os quatro elementos que guiaram meus passos para a realização desta pesquisa.

À minha esposa Laís, mulher forte, exemplar e minha inspiração de todos os dias e noites. Também Apolo, Bianca, Léia, Asgard e Dorotéia, que tingem todos os meus dias com cores mais vivas do que qualquer descrição poderia aproximar, trazendo alegria e forças para continuar andando. Num mundo de ódio, o amor é ainda mais precioso.

À CAPES, que financiou esta pesquisa por meio de uma bolsa de estudos, acreditando nos meus estudos e em meu trabalho. À USP, que forneceu os meios institucionais para que essa pesquisa pudesse existir.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Cibelle Celestino Silva, que orientou com bastante paciência e resiliência os desenrolares da presente pesquisa, abriu portas para meu pensamento, forneceu os meios necessários para minha caminhada, e não se esqueceu de apontar inúmeras vezes alguns dos meus vícios de escrita como o que inicia esta sentença.

A todos os membros do GHTC-USP, especialmente Ciro, Lucas, Renata e o mestre Roberto de Andrade Martins. Também agradeço a todos e todas as professoras com as quais tive contato durante o Mestrado. Aos membros titulares, suplentes e convidados das bancas de qualificação e de defesa¹, que tornam o conhecimento aqui produzido confiável e relevante ao ser criticado, debatido e melhorado. A toda a coordenação do Programa Interunidades, que tiveram paciência e competência para lidar com os prazos e burocracias relevantes para a realização da pesquisa.

¹ Nominalmente, agradeço aos Professores Cassiano Rezende Pagliarini, Breno Arsioli Moura e Ivã Gurgel. Às Professoras Maria Beatriz Fagundes, Thaís Cyrino de Mello Forato, Maria Elice Brzezinski Prestes e Maria Lucia Vital dos Santos Abib. Menciono também o caro Professor Agustin Adúriz-Bravo, que, sem saber, inspirou parte das análises feitas nesta pesquisa no tocante à cientista Marie Curie.

A todos da minha família que me apoiaram e se interessaram pelo meu trabalho, especialmente minha mãe, Andréa, meu pai, Roberto e minha avó, Dalva. A todos que me receberam na Pauliceia Desvairada, especialmente Rafael, Erika, Arnaldo, Vitor, Paula, Heloísa e o Alojamento da USP. À A.F.L.S, especialmente *Si Fu* Vinicius e *Si Fu* Danilo, que me iniciaram nas artes marciais do corpo e da mente. Aos amigos de vida e pesquisa: Alfredo, Dreilick, Fabio, Heitor, Israel, Lucas, Luchesi, Marsolla, Murilo, Natali, Nicolas, Patrícia, Paulo Borges, Vinicius, Vitor e Yagnês. Também a todos os desconhecidos, próximos ou distantes, que valorizam o trabalho intelectual em nossa cultura e nunca perdem o anseio de conhecer mais a respeito das texturas da realidade.

A quem, assim como eu, não desistiu de andar no caminho das ideias, mesmo contra as ventanias macabras que caçam, perseguem, incendeiam e tentam extinguir a imaginação e a História, reduzi-las a produtos, preços, contas a pagar e prazos a respeitar. A imaginação *sempre* vencerá.

A todas as instituições e pessoas que se dedicam a remover as barreiras no caminho da pesquisa, promovendo uma maior acessibilidade dos conhecimentos da humanidade. Agradeço especialmente à Sra. L. G., ao Sr. S. H e a todas e todos que construíram os trabalhos que pude usar nesta pesquisa como referências bibliográficas.

Ao “Arma-Zen Agroecológico”, no qual trabalhei voluntariamente nos últimos meses de 2018 e me colocou em contato direto com visões de mundo novas, importantes e relevantes para que eu visse minha pesquisa com perspectivas bem mais amplas do que eu poderia anteriormente.

Aos *podcasts* que me mantiveram informado sobre as conjunturas políticas do Brasil e do mundo, sobre as últimas notícias da ciência, da tecnologia e dos *videogames*, sobre os debates da filosofia e da história e de todas as outras discussões interessantes enquanto eu trespassava as pontes entre Botucatu, São Carlos e São Paulo (além das linhas coloridas entre Luz e Butantã, Butantã e Barra Funda, Vila Mariana e Luz e todas as outras da Metrópole). Em especial: Anticast, B9, Debate de Bolso, Durma com Essa, Fronteiras Invisíveis do Futebol, Mupoca, NBW, Pouco Pixel, Salvo Melhor Juízo, Tecnicidade, *The Truth*, Travessia, Trivela e Xadrez Verbal.

Às Artes. Ao Hermes e aos Exus. Às Bruxas. Aos Magistas. Às Cientistas. À *Ilex paraguariensis*. Ao Chuck Schuldiner. Ao pensamento. À imaginação.

Inicia-se aqui minha dissertação de mestrado.

Luzes de neon. Prêmio Nobel.
Quando um espelho fala, o reflexo mente.
(Living Colour – Cult of Personality)

RESUMO

LICIO, J. G. **Prêmio Nobel: Palestras Oficiais sob a Perspectiva da Ciência Integral**. 2018. Dissertação Final (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Neste trabalho discutimos aspectos de natureza da ciência presentes em discursos proferidos por ganhadores do Prêmio Nobel. Analisamos quatro palestras utilizando metodologia apoiada na Análise Textual Discursiva; as palestras analisadas foram as de Marie Curie proferida em 1911, Chandrasekhara Venkata Raman em 1930, Alexander Fleming em 1945 e Richard Feynman em 1965. A escolha deu-se pela popularidade desses cientistas segundo o *website* oficial da premiação. Os laureados são apresentados contextualmente considerando os contextos epistemológicos, sociais e culturais de cada período. Baseamo-nos na abordagem de ciência integral para analisar as fontes primárias em busca de conceitos relacionados a natureza da ciência. Com isso, temos por objetivo fornecer subsídios para que educadores científicos em formação tenham à disposição uma metodologia confiável para introduzir discussões de natureza da ciência em sala de aula, utilizando-se de fontes históricas primárias. A problematização de uma instituição de tamanha importância quanto o Prêmio Nobel é relevante para um ensino de ciências que tenha uma abordagem histórica, social e epistemológica. Por meio de fontes históricas primárias, podem ser explicitados e problematizados conceitos sobre como se desenvolve e se constrói o fazer científico em nossa sociedade.

Palavras-chave: Ensino de Física. Prêmio Nobel. Natureza da Ciência. Ciência Integral. Análise Textual Discursiva.

ABSTRACT

LICIO, J. G. Nobel Prize: Official Lectures on the Whole Science Perspective. 2018.
Final Dissertation (Masters Degree in Physics Teaching) – Programa de Pós-Graduação
Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

We discuss Nature of Science aspects presented in the official Nobel Lectures. We analyze 4 lectures using a methodology which is based on Discursive Textual Analysis: Marie Curie's in 1911, Chandrasekhara Venkata Raman's in 1930, Alexander Fleming's in 1945 and Richard Feynman's in 1965. These lectures were selected based on the laureates' popularity among general public according to the official Nobel website. Laureates are presented considering epistemological, social and cultural contexts in each period. The whole science approach is used in order to read the primary sources seeking concepts related to nature of science. Our aim is to provide trustful methodologies and sources directed to undergraduated scientific educators, in order to introduce discussions on nature of science in classroom. It is relevant to approach critically such important institutions to the sciences as the Nobel Prize in a teaching program that envisions an historical, social and epistemological approach. By using primary historical sources, we can foster discussions about concepts on how science is developed and constructed in our society.

Keywords: Physics Teaching. Nobel Prize. Nature of Science. Whole Science. Discursive Textual Analysis.

SUMÁRIO

Agradecimentos	5
1 Introdução e Contexto	12
2 Fontes, Traduções e Vieses: Como Entender a Língua da História?	17
3 Prêmio Nobel em Contexto	22
3.1 O que o Nobel tem a Ensinar sobre Ciências.....	28
4 Natureza da Ciência e Ciência Integral	30
5 Delimitação e Metodologia	42
5.2 Análise Textual Discursiva	44
6 Análises das Palestras.....	48
6.1 Prêmio Nobel de Química de 1911	48
6.1.1 O Método Científico	52
6.2 Prêmio Nobel de Física de 1930	55
6.2.1 Os muitos braços da ciência indiana	59
6.2.2 O uso das analogias na construção científica.....	60
6.2.3 Um Prêmio Controverso: Quem descobriu o Efeito Raman?	61
6.3 Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1945	62
6.3.1 Anedota ou Trabalho Árduo? Considerações sobre a narrativa de Fleming a respeito da descoberta acidental da penicilina.....	71
6.3.2 O impacto das guerras mundiais na pesquisa de Fleming	73
6.3.3 O Caminho entre Descoberta e Comercialização de um Medicamento	74
6.3.4 A Ética profissional de um cientista aclamado	78
6.4 Prêmio Nobel de Física de 1965	80
6.4.1 Quando Feynman Errou	85
6.4.2 As crenças epistemológicas de Feynman.....	90
6.4.3 O Anedotário Feynmaniano	95
6.4.4 “Feynman porco sexista!”	100
7 A Ciência Integral no Ensino	102
7.1 Dimensão Observacional	103

7.2	Dimensão Conceitual	108
7.3	Dimensão Sociocultural	111
7.4	Síntese	116
8	Conclusões	118
8.2	Palavras Finais	122
REFERÊNCIAS		125
Anexo 1: Palestra de Marie Curie em 1911		136
Anexo 2: Palestra de Chandrasekhara Venkata Raman em 1930		147
Anexo 3: Palestra de Alexander Fleming em 1945		156
Anexo 4: Palestra de Richard Phillips Feynman em 1965		167
Anexo 5: Gráfico comparativo da popularidade dos laureados analisados		193

1 INTRODUÇÃO E CONTEXTO

Pesquisas em ensino de ciências têm sido parte fundamental dos debates a respeito de que rumos a educação deve tomar em nosso país. Num ambiente marcado por controvérsias, discórdias e discussões a respeito de temas tão importantes para a construção de uma sociedade, a visão que se tem a respeito das ciências e dos cientistas, seus objetivos, métodos e meios, é influenciada por ideias que pairam e marcam o espírito da nossa época. Essas ideias influenciam diretamente na tomada de decisões que impactam a vida de todos e todas, direta ou indiretamente. Por exemplo, qualquer proposta de reforma curricular das ciências, especificamente no que diz respeito ao que deve ser ensinado e como deve ser ensinado, deve levar em consideração fatores históricos e sociais da construção científica. Por isso, torna-se imprescindível que haja cada vez mais incentivo à produção intelectual sobre temas que fomentem, de maneira construtiva e informada, debates que possam fornecer meios adequados para tornarem concretas as ideias que possamos ter a respeito do futuro da educação. Pretendemos, com esta dissertação, fornecer subsídios e referências que possam ser exploradas adiante, tanto por estudantes de ciências quanto por professores e cientistas, sobre como discutir aspectos de natureza da ciência por meio de fontes históricas primárias. Nosso público alvo, no entanto, compõe-se de educadores científicos em formação, por entendermos que é proveitoso apresentar nosso tipo de metodologia nos estágios em que esses profissionais estão se habituando com formas menos tradicionais de abordagens de temas científicos.

O estudo de episódios históricos é uma maneira de tornar o aprendizado científico mais crítico e informado, evitando assim as cadências ingênuas ou pseudodiscussões filosoficamente panfletárias, baseadas em visões distorcidas a respeito do trabalho científico (PRESTES e CALDEIRA, 2009; MARTINS, SILVA e PRESTES, 2014; GIL PÉREZ, MONTORO, *et al.*, 2001). Mesmo neste aspecto, existem sutilezas e influências sobre como entendemos o ensino em nosso tempo. Desde algumas décadas, as pesquisas na área de ensino indicam que geralmente não é adequado tentar ensinar uma história “panorâmica” das ciências, isto é, que tente abranger todo o conteúdo científico por meio de suas histórias. Essa abordagem, que foi muito utilizada em outras épocas, ainda presente em alguns materiais instrucionais,

falha ao não conseguir atingir um grau de profundidade e crítica sobre todos os episódios trabalhados. Eventualmente, essa simplificação leva a uma apresentação historiográfica superficial, irrelevante e anedótica sobre o que se pretende ensinar. Exemplos desse uso panorâmico de histórias das ciências podem ser verificados em materiais didáticos que comumente apresentam “introduções históricas” superficiais, com detalhes fantasiosos sobre os assuntos que conceitualmente seriam abordados. Mesmo materiais que tem a pretensão de versarem sobre a “história” dos conhecimentos por vezes apresentam uma visão irreal e caricata dos fatos, em prol de uma narrativa que seja mais palatável e linear. Desconsidera-se, nesse tipo de apresentação, que a história nem sempre é linear e nem sempre tem motivações claras em seu decorrer. Existem visões discrepantes, razões que só ficam aparentes muito tempo depois do ocorrido, controvérsias e interesses envolvidos na interpretação do passado. Porque o estudo historiográfico trata de épocas e ambientes não acessíveis diretamente, em posse de um mesmo conjunto de fatos e documentos é possível chegar a conclusões distintas, uma vez que a interpretação feita pelos historiadores é parte importante da construção do conhecimento. Buscamos, em contrapartida, expor uma visão contemporânea da história de alguns desenvolvimentos científicos, que seja construtiva e interessante para a preparação de futuros cidadãos críticos em nossa sociedade, não se tratando apenas de uma contação de histórias passadas, mas sim uma análise que visa construir conhecimentos novos e importantes.

Tendo em vista a complexidade de se trabalhar com materiais históricos, a alternativa à abordagem panorâmica foi a apresentação de episódios históricos específicos no ensino. A partir destes, podem ser levantados debates e discussões sobre recortes bem delimitados e com objetivos claros sobre o porquê de serem abordados. Dessa maneira, a história das ciências não está presente apenas como conteúdo, mas também como instrumento para que sejam abordados aspectos metacientíficos das ciências, de maneira contextualizada. Portanto, um trabalho de ensino de ciências baseado em poucos, porém bem detalhados, episódios históricos das ciências, é viável e proveitoso (PRESTES e CALDEIRA, 2009; MARTINS, 2007; HÖTTECKE e SILVA, 2011; FORATO, MARTINS e PIETROCOLA, 2012; SILVA e MOURA, 2008).

Na presente dissertação, apresentamos uma análise de episódios históricos específicos que podem ajudar a trazer entendimentos mais complexos e informados sobre o processo de construção do conhecimento científico, em alguns períodos do século XX. Estes fragmentos, representados pelas visões que os ganhadores do Prêmio

Nobel tinham sobre seus próprios trabalhos, são relevantes para o entendimento das ciências atuais.

No século XX, ocorreram vários eventos que impactaram profundamente a nossa forma de enxergar o mundo, por exemplo, duas Guerras Mundiais, a Guerra Fria e o desenvolvimento sem precedentes das telecomunicações e da *internet*. Desdobramentos do que se deu naquele século podem ser verificados até os dias atuais. O desenvolvimento científico foi sensivelmente impactado, posto que o contexto por vezes influenciou diretamente a forma como a ciência se organiza e quais objetivos ela deve se propor a alcançar. Podemos citar, por exemplo, a importância do trabalho de químicos durante a Primeira Guerra Mundial e, por sua vez, de físicos na Segunda. Tecnologias hoje ubíquas na sociedade, como radares, lasers e fornos de micro-ondas, são reflexos de algumas das pesquisas científicas que ocorreram no século XX.

O Prêmio Nobel teve sua primeira edição em 1901. Ele valida, reconhece e comemora os trabalhos científicos que a comunidade julga mais relevantes. Portanto, ele pode ser visto como um espelho da ciência “oficial” do século XX. O Nobel é uma premiação de grande prestígio não só entre os cientistas, mas também para a população considerada leiga. Os laureados, isto é, os ganhadores do Prêmio, adquirem status de *embaixadores* do conhecimento científico. Por isso, seus posicionamentos e ideias são de grande importância para entendermos a ciência por um ponto de vista oficial da comunidade científica e suas repercussões para o público em geral. Em cada ano, os discursos dos ganhadores são marcos de como a ciência está naquele contexto. Portanto, trata-se de uma significativa fonte primária para se conhecer aspectos da história das ciências no século XX.

Para além das contribuições em áreas estritamente científicas, em muitas ocasiões os ganhadores do Prêmio Nobel valeram-se do status adquirido pelo reconhecimento para posicionarem-se sobre questões mais gerais, por exemplo, sobre a participação de determinados países em guerras, os ideais científicos e, recentemente e em nosso contexto, sobre o impacto que o investimento em ciência e tecnologia tem no desenvolvimento de um país e qual o papel do Estado no desenvolvimento da pesquisa científica.

Apesar dos laureados sempre terem tido o status de representantes oficiais das ciências, discussões específicas das relações entre ciência e sociedade por ganhadores do Nobel tem um marco importante na década de 1970. Um posicionamento relevante do ganhador de um Nobel a esse respeito deu-se num artigo publicado no periódico

Bulletin of the Atomic Scientists, numa edição de 1977. O artigo intitulado *The Goals of Science* discute problemas existentes na relação entre o desenvolvimento científico e a sociedade, sendo enfatizado que essas visões de mundo são oriundas de um ganhador de Prêmio Nobel, Salvador Edward Luria (1912 – 1991), laureado no ano de 1969 em Medicina, juntamente com Max Ludwig Henning Delbrück (1906 – 1981) e Alfred Day Hershey (1908 – 1997), pelos trabalhos sobre mecanismo de replicação e estrutura genética dos vírus (LURIA, 1977). Luria defende que as relações entre ciência e sociedade são complexas devido a tensões e contradições existentes tanto na sociedade quanto nas ciências. Particularmente, tensões entre visões democráticas e utilitárias de sociedade influenciam a forma de se pensar dos cientistas.

Em 2017, uma carta assinada por 23 ganhadores do Nobel, dirigida ao então presidente do Brasil, demonstrando um posicionamento claro a respeito da concessão de recursos à pesquisa e desenvolvimento científicos, apontando que o campo da ciência e da tecnologia do Brasil está em risco, foi amplamente divulgada, tendo consequências no fomento da opinião pública a respeito desse tema². Outro caso de posicionamento a respeito de temas não-científicos por laureados foi o pronunciamento machista do ganhador do Nobel de Medicina/Fisiologia de 2001, Richard Timothy Hunt (1943 -), quando, em 2015, durante uma conferência, disse que mulheres que trabalham em laboratórios apresentam um problema à pesquisa dos homens, sendo afastado da *Royal Society*³ por essa atitude misógina (THE ROYAL SOCIETY, 2015).

Torna-se relevante fazer um estudo sobre o que pensam os ganhadores do Prêmio Nobel a respeito de seus próprios trabalhos enquanto cientistas: o que influenciou suas pesquisas? Foram influenciados por motivos metacientíficos? Em épocas e contextos sócio-políticos distintos, englobados pela vasta história da premiação, há aspectos comuns a todos os ganhadores? É possível termos um retrato de nossa própria época analisando as ideias de um ganhador contemporâneo do Nobel? O que tudo isso pode nos dizer sobre as ciências, de modo geral? O que podemos aprender sobre natureza da ciência (NdC) com os ganhadores do Prêmio? Para além disso, quais são os limites de uma análise como esta, em que se consideram apenas as visões oficiais

² A carta, na íntegra, foi divulgada tanto em círculos internos de acadêmicos quanto na grande mídia. Algumas matérias publicadas foram “Cortes na Ciência ameaçam o futuro do Brasil, dizem ganhadores do Nobel” (ESCOBAR, 2017), “Laureados do Nobel enviam carta a Temer em defesa da ciência brasileira” (BAIMA e GRANDELLE, 2017), “Por que cientistas vencedores de prêmios Nobel enviaram uma carta a Temer” (RONCOLATO, 2017).

³ A *Royal Society*, ou Sociedade Real, é uma das mais antigas sociedades científicas existentes. É baseada em Londres, Inglaterra. Cientistas famosos, como Isaac Newton, fizeram parte dessa sociedade. Portanto, os membros da instituição também tem alta relevância para a comunidade científica.

e finais dos cientistas, apresentadas a uma instituição tão tradicional quanto o Nobel? Quais interesses, vieses e disputas podem ser reveladas por meio da análise do que os laureados proferiram na ocasião de máximo reconhecimento oficial e institucional das ciências?

A ideia de se abordar temas explícitos de NdC por meio do Prêmio Nobel é relativamente inédita. Ao pesquisar esse tipo de tema na base de dados ERIC⁴, por exemplo, o único trabalho que aborda especificamente a questão data de 2013, em que a “visão consensual” (que exploraremos com maior detalhamento no capítulo 4) de NdC é apresentada a alunos taiwaneses de graduação, a partir do caso da premiação de Albert Einstein. Este trabalho conclui que a inserção de histórias do Prêmio Nobel no ensino de NdC é útil para motivar e inspirar jovens a seguirem o trabalho acadêmico, iniciando uma problematização a respeito de se enxergar o Prêmio como o motivo final para ser cientista (ESHACH, HWANG, *et al.*, 2013).

A presente dissertação está organizada da seguinte maneira: apresentamos, primeiramente, uma discussão a respeito do uso de fontes históricas e suas traduções, explicitando que possíveis limites encontramos nesse tipo de abordagem. A seguir, contextualizamos as discussões existentes a respeito de tópicos de natureza da ciência no ensino, justificando nossa escolha pela abordagem específica da ciência integral.

Após a apresentação da abordagem escolhida, tratamos da metodologia de análise, apoiada na Análise Textual Discursiva proposta pelos professores Roque Moraes e Maria do Carmo Galiazzi. Essa metodologia foi escolhida por se adequar ao teor qualitativo de nossa pesquisa e por fornecer um método que pode ser reaplicado para casos como os apresentados. Comentamos sobre quais foram os critérios que levaram às escolhas específicas das palestras aqui analisadas e outros materiais de apoio usados.

A apresentação das análises está organizada da seguinte maneira: primeiro, comentamos sobre qual foi o Prêmio dado ao cientista e como este prêmio se situa no contexto da ciência da época. Então, apresentamos a análise da palestra, referindo a trechos traduzidos por nós e fazendo a interpretação conforme a ótica da Ciência Integral. Ao fim, apresentamos nossas conclusões gerais sobre as palestras analisadas e as implicações para o ensino de ciências. Disponibilizamos como anexos as íntegras das traduções das palestras oficiais.

⁴ *Education Resources Information Center*. Trata-se de uma consolidada base de dados que reúne artigos publicados na área de ensino. Acesso em Julho de 2018.

2 FONTES, TRADUÇÕES E VIESES: COMO ENTENDER A LÍNGUA DA HISTÓRIA?

Num trabalho historiográfico, uma das questões basais a respeito do desenvolvimento da pesquisa é a escolha das fontes a serem analisadas. Fontes históricas não são quaisquer artefatos ou documentos antigos, como às vezes transparece no senso comum do termo. Nesta seção, faremos uma breve discussão a respeito do que são fontes históricas, em que elas diferem da concepção do senso comum. Por fim, quais e que tipos de fontes foram escolhidas para esta pesquisa, quais possibilidades e limitações são acarretadas por estas escolhas. Ressaltaremos alguns dos cuidados que devemos tomar ao tratar de uma análise de fonte histórica, de traduções, bem como os possíveis vieses interpretativos.

Primeiramente, existe uma diferença entre objetos e documentos ordinários do passado e os que possam ser considerados fontes históricas. Um objeto antigo, por si só, não é uma fonte histórica. Para ter o *status* de fonte histórica, é necessário que esse objeto, que pode ser desde um béquer até uma carta confidencial, forneça evidências para uma teoria pré-estabelecida por quem se dedica a estudá-lo⁵. Uma carta endereçada a Marie Curie, por exemplo, a princípio não é necessariamente uma fonte histórica. Por outro lado, uma carta que dê pistas, ou mencione explicitamente acontecimentos que se relacionem com o entendimento de sua nomeação para um Prêmio Nobel, passa a ser uma fonte caso um estudo se interesse por esse tipo de documento.

Uma fonte histórica pode ser classificada em duas categorias: fonte *primária* ou fonte *secundária*. No primeiro caso, são consideradas aquelas que os próprios cientistas⁶ produziram: cartas, anotações, relatórios, comunicações oficiais e assim por diante.

⁵ Esse é um dos muitos motivos pelos quais são importantes para o conhecimento e cultura de uma sociedade a preservação de acervos de museus. Os objetos guardados nessas instituições não são meros objetos, mas documentos estudados todos os dias por muitos grupos de pessoas. Alguns desses objetos são muito frágeis, necessitando de condições adequadas para sua conservação. Ao se estudarem fontes históricas, podemos entender melhor o passado, refutar algumas ideias errôneas e refletir sobre o rumo da humanidade.

⁶ Evidentemente, apresentamos sempre as discussões em termos do nosso próprio trabalho, por isso dizemos sobre o que os *cientistas* produziram, neste caso. De forma geral, entendemos como fonte primária a produção original oriunda de seja quem for nosso objeto de estudo. Caso estivéssemos estudando a história da arquitetura, por exemplo, seriam exemplos de fontes primárias as cartas e rascunhos de arquitetos.

Essas fontes podem ser tanto referentes ao âmbito mais íntimo do cientista, por exemplo quando se analisam as anotações pessoais a respeito de seu trabalho que não tinham, a princípio, a intenção de serem divulgadas ao público, quanto às produções que eram desde o princípio destinadas ao público. Neste caso, encaixam-se, por exemplo, os artigos publicados, as comunicações oficiais, etc.

Em nossa pesquisa, o objeto de nossas análises são as transcrições oficiais das palestras que cientistas apresentaram durante a premiação do Nobel, ou seja, fontes primárias. Ao ler esse tipo de material, devemos nos lembrar de que essas comunicações foram preparadas muito tempo depois do acontecimento dos fatos a que se referem. Além disso, por se tratar de uma ocasião de amplo alcance e grande importância mundial, os cientistas podem ter omitido detalhes de seus trabalhos e racionalizado eventos. A narrativa apresentada pode ser a que os cientistas defendiam e acreditavam, mas não necessariamente a única ou mais verdadeira que possa documentar os fatos históricos. É de se esperar que, numa comunicação formal e oficial, a narrativa construída não seja uma descrição factual do que é relatado, mas sim uma versão que faça sentido e concorde com os pensamentos do comunicador.

Para se fazer uma análise desse tipo de fonte, é necessário recorrer a outros materiais, as chamadas *fontes secundárias*. Fontes dessa categoria não são as produzidas pelos próprios cientistas, mas são, por exemplo, estudos históricos feitos sobre os episódios considerados, memoriais, obituários e biografias⁷. Nesse âmbito, os materiais que buscamos para embasar nossas análises são, por exemplo, estudos a respeito da instituição do Prêmio Nobel, controvérsias a respeito das premiações específicas e também as considerações sobre como a ciência estava se desenvolvendo no século XX, destacando como o Nobel ressoava esse ambiente.

Quanto às biografias, alguns cientistas, por terem maior fama entre o público geral, acabam tendo grande número de biografias escritas (este é o caso de Marie Curie, por exemplo). Nesse caso, também recorreremos a revisões das biografias, a fim de saber sobre a confiabilidade e sobre o enfoque⁸ destas. Algumas biografias são mais difíceis

⁷ Dependendo do caso, esses exemplos podem ser fontes primárias. Para que seja uma fonte secundária, é necessário que o autor seja diferente daquele que estejamos interessados em estudar. Por exemplo: uma biografia escrita por um cientista sobre outro pode ser uma fonte primária sobre o primeiro, mas uma fonte secundária sobre o segundo.

⁸ Tomemos, por exemplo, o caso citado, de Marie Curie. Podemos ter duas biografias igualmente bem embasadas e confiáveis, sendo, no entanto, uma dedicada a comentar sobre a trajetória pessoal da cientista e outra dedicada a analisar os trabalhos científicos realizados por ela. Obviamente é impossível analisar *todos* os materiais disponíveis, e, por isso, os trabalhos apresentados em Dicionários Biográficos são importantes para a seleção de quais fontes nos são mais pertinentes.

de serem encontradas que outras: tomemos o caso de Chandrasekhara Venkata Raman, por exemplo. O indiano, laureado em 1930, é sem dúvidas um cientista de grande importância. No entanto, suas biografias são de difícil acesso, ou por terem sido publicadas apenas na Índia, ou então por terem poucos exemplares disponíveis, às vezes somente disponíveis em bibliotecas estrangeiras. Esse fator prático também se mostra como um limitante para o tipo de estudo que fazemos. No entanto, no caso de cientistas que ficaram mais populares, especialmente para o público de não-cientistas, há uma oferta e disponibilidade razoável de biografias, até mesmo traduzidas para a língua portuguesa.

Outra questão que emerge de uma análise como a nossa diz respeito à tradução de materiais históricos. Quando um cientista produz um objeto que seja de interesse histórico, provavelmente essa produção estará em sua língua vernácula. Um historiador que deseje aprofundar-se de maneira mais completa e esclarecida possível deve analisar esse material conforme foi produzido, ou seja, na língua original. Isso costuma ser uma questão mais difícil quanto mais antigo for o material analisado, posto que, além das línguas estrangeiras menos usuais para o público geral (grego, árabe, russo e polonês, por exemplo), muitas vezes mesmo uma língua amplamente difundida, como o inglês, ou até mesmo o português, passou por tantas mudanças ao longo do século, que muito facilmente uma palavra pode ser entendida como significando algo que, em sua época, não era seu significado⁹. Novamente, devemos sempre tomar cuidado com possíveis anacronismos num estudo desse tipo.

Alguns dos materiais aqui estudados já passaram previamente por uma primeira tradução para o inglês. Este é o caso da transcrição da palestra de Marie Curie, que em sua comunicação falou originalmente em francês, no entanto o *website* disponibiliza gratuitamente somente a versão em inglês. Traduções ainda são consideradas fontes primárias. Porém, no caso de traduções, por mais precisas que sejam, sempre ocorrem *interpretações*, que, em maior ou menor grau, podem influenciar no teor do material, bem como nas conclusões que se possam tirar a partir deles. Numa determinada língua, certos termos podem simplesmente não ter traduções diretas a outra, ou então uma palavra pode ser traduzida como outra que não carrega em si todo o significado

⁹ Isso é salientado quando tomamos traduções diretas de termos técnicos. Um exemplo dessa armadilha pode ser encontrado, por exemplo, quando James Clark Maxwell, famoso cientista do século XIX, usava em seus estudos de eletromagnetismo o termo “Força”, para o que, hoje em dia, entendemos como “Campo” (SILVA, 2002). Na palestra de Richard Feynman, houve uma ocorrência desse tipo de armadilha, sobre a qual comentaremos na seção específica.

pretendido originalmente. Esse é um dos motivos que levam, por exemplo, alguns autores a mencionar explicitamente qual é a palavra original, em sua língua original, para que fique esclarecido que aquela palavra passou por uma interpretação ao ser traduzida. Isso costuma ser mais comum em textos baseados em línguas muito antigas (como o grego antigo) e em alemão.

As fontes primárias aqui analisadas foram traduzidas para o português brasileiro por nós. Um exemplo de como as palavras, mesmo numa tradução presumidamente objetiva, podem ser escorregadias, ocorre na tradução da palestra de Richard Feynman, quando o cientista, ao referir-se às energias dos elétrons, usa o termo *self-energy* para diferenciar das energias de interação entre elétrons. A tradução direta desse termo é *auto-energia*; no entanto, no contexto da mecânica quântica, a expressão em português *auto-energia* refere-se a uma ideia completamente diferente, traduzida da palavra *eigenenergy*, que, por sua vez, baseia-se numa raiz alemã (*eigen*) cujo significado é mais parecido com *próprio*¹⁰. Esse tipo de detalhe só pode ser percebido, no âmbito de uma tradução, a quem em algum momento teve contato com o formalismo da mecânica quântica em inglês e em português. Também ocorre na palestra de Raman uma sutileza entre as palavras *deflexão* e *espalhamento*, que possuem conotações distintas naquele contexto. Da mesma maneira, palavras provenientes de outros contextos (por exemplo, da palestra de Alexander Fleming, que era bacteriologista), podem carregar significados que numa tradução livre podem ter sido perdidos. Tendo tudo isso em vista, nos anexos desta dissertação apresentaremos as traduções, feitas por nós, juntamente com as indicações dos *links* para as versões em inglês apresentadas no *website* do Prêmio Nobel.

É importante ressaltar que as palestras aqui analisadas possuem esse caráter de serem dirigidas a um público amplo. Portanto, os cientistas contam, nessas palestras, versões deles a respeito do processo de desenvolvimento de seus trabalhos, depois de muitos anos do trabalho. Essas versões corroboram as narrativas que os cientistas queriam transmitir à História, então podem apresentar racionalizações, distorções e exageros a respeito do que de fato aconteceu. Ainda assim, como veremos nas próximas seções, é elucidativo analisar esses materiais, pois eles apresentam algo intencional. As visões de NdC apresentadas são, em certo sentido, de fato aquelas que os cientistas

¹⁰ Em mecânica quântica, *autovalores* (e outros conceitos análogos, como autovetores) são ubíquos, provêm do formalismo da álgebra linear. Se uma certa transformação **A** (usualmente representada por uma matriz) de um vetor **x** leva a um múltiplo escalar λ desse vetor, então dizemos que λ é um autovalor da transformação **A** (RILEY, HOBSON e BENCE, 2006).

queriam transmitir para seus pares, para o público e para a posteridade dos tempos. Devemos levar em consideração, por completeza, que muitas das racionalizações feitas pelos cientistas envolvidos podem ter sido inconscientes, posto que cada indivíduo tem convicções e visões de mundo que podem ser tão enraizadas que dificilmente são apreendidas pelo pensamento racional. Ainda assim, o fato de que as palestras foram preparadas, revisadas e editadas nos fornece indícios suficientes de que as informações transmitidas tinham motivações manifestas dos cientistas, concordando com suas visões a respeito dos próprios trabalhos.

3 PRÊMIO NOBEL EM CONTEXTO

O Prêmio Nobel é o mais famoso reconhecimento da comunidade científica. Tamanho prestígio, ao longo das décadas, foi responsável pela criação de diversas crenças e fantasias a respeito da idoneidade, neutralidade e intenções dessa instituição. Num estudo que se baseia em fontes oriundas do Prêmio Nobel, é pertinente fazer uma problematização dessa instituição, a fim de entendermos de forma crítica o que estavam dizendo os cientistas premiados e quais eram suas motivações. Como veremos, o processo de escolha de um laureado ou laureada não é simples, muito menos neutra ou desprovida de quaisquer interesses. Começemos pela história do Prêmio.

A instituição do Prêmio Nobel deu-se após a morte do industrial sueco Alfred Bernhard Nobel (1833 – 1896), conhecido por ter inventado a dinamite. Em seus últimos anos de vida, preocupado sobre o destino que seu legado e suas posses materiais teriam, Nobel chegou a redigir algumas versões de seu testamento. Em sua última versão, assinado em 27 de Novembro de 1895 na presença de vários cientistas, pouco antes de sua morte, Nobel, que havia acumulado grande riqueza em vida, expressou o desejo de que, anualmente, parte de seu tesouro fosse usado para premiar os trabalhos mais relevantes feitos durante o último ano nas áreas de Física, Química, Fisiologia/Medicina, Literatura e em missões humanitárias que promovessem a Paz entre os povos¹¹. Após a oficialização e publicação do testamento, seguiram-se complexos procedimentos burocráticos que culminaram na criação do Prêmio, transformando os trechos do testamento em estatutos que seriam seguidos para a escolha dos laureados (CRAWFORD, 1984).

No testamento, são dadas algumas diretrizes sobre como os Prêmios deveriam ser distribuídos (tradução e grifos nossos):

O todo das minhas propriedades deve ser distribuído da seguinte maneira: o capital, investido em seguros por meus executores, deve constituir um fundo, cujos juros devem ser distribuídos na forma de Prêmios àqueles que, **durante o ano anterior**, tenham conferido **o maior benefício à humanidade**. Os ditos juros devem ser divididos em cinco partes iguais, que devem ser porcionadas conforme o seguinte: uma parte à pessoa que fez a mais importante descoberta ou

¹¹ Na década de 1960, foi criado um prêmio em homenagem à memória de Alfred Nobel, para os melhores trabalhos de ciências econômicas. No entanto, apesar de constar no *website* oficial, este prêmio não é, tecnicamente, um Prêmio Nobel original, pois não consta no testamento. Da mesma forma, é comum encontrarmos outros prêmios, sem relação com a Fundação Nobel, que, para se promoverem em importância, intitulam-se como “Nobel” de certa área. Um exemplo é a Medalha Fields, da União Internacional de Matemática, que muitas vezes é referido como “O Nobel da Matemática”. Os Prêmios Nobel originais são os de Física, Química, Medicina, Literatura e Paz.

invenção dentro do campo da Física; uma parte à pessoa que tiver feito a maior descoberta ou o maior aperfeiçoamento químico; uma parte à pessoa que tiver feito a maior descoberta nos domínios da Fisiologia ou Medicina; uma parte à pessoa que tenha produzido no campo da literatura o trabalho mais impressionante numa direção ideal [no sentido de ideologia]; e uma parte à pessoa que tiver feito o maior ou melhor trabalho pela fraternidade entre as nações, pela abolição ou redução de exércitos e por sediar e promover congressos de paz. Os Prêmios para Física e Química devem ser dados pela Academia Sueca de Ciências; para Fisiologia ou trabalhos médicos, pelo Instituto *Karolinska* em Estocolmo [...] É meu desejo expresso que, na premiação, **não sejam feitas considerações a respeito da nacionalidade dos candidatos** e que **os mais merecedores devem receber o Prêmio, sejam escandinavos ou não** (NOBEL, 1895).

O testamento foi reconhecido pela comunidade científica sueca, à época, mas a premiação em si encontrou dificuldades para ser realizada, devido a algumas ambiguidades e lacunas, destacadas em negrito no excerto acima. Como delimitar se um trabalho científico foi ou não foi feito pelo bem da humanidade? Que critérios exatamente deveriam ser considerados ao se tratar do mérito de uma descoberta? Seria possível encontrar trabalhos de grande relevância que tivessem sido estritamente realizados durante o ano anterior, sem depender de desenvolvimentos anteriores e por uma única pessoa? Todos os campos relacionados a uma área teriam o mesmo peso? Como garantir a internacionalidade e suposta neutralidade do Prêmio, se a escolha de maior parte das categorias dependia de acadêmicos suecos ou europeus¹² de modo geral? A fim de resolver estas questões, decidiu-se que a escolha dos Prêmios seria feita mediante um sistema rebuscado, que envolve indicações vindas de cientistas eminentes, inclusive estrangeiros, votações organizadas pela Real Academia de Ciências e, enfim, da aprovação final da Academia.

Um esquema sobre como ocorre a escolha dos premiados do ano nas áreas científicas é mostrado na Figura 1. Em linhas gerais, ao longo do ano são recolhidas indicações, tanto de uma banca permanente quanto de uma banca provisória. Os profissionais que estão aptos a indicar nomes de possíveis laureados são:

- Membros suecos e estrangeiros da Real Academia Sueca de Ciências
- Membros do Comitê específico do Nobel (por exemplo, no Nobel de Física são eletivos membros do comitê de física).
- Ex-laureados do Prêmio Nobel da respectiva área.
- Professores eméritos de universidades e institutos de tecnologia da Suécia, Dinamarca, Finlândia, Islândia e Noruega, além de membros do *Karolinska Institutet* de Estocolmo.

¹² Ressaltemos, também, que as escolhas são feitas majoritariamente por homens brancos, o que por si só já traz certo viés.

- Ocupantes de cadeiras correspondentes em pelo menos 6 universidades ou colégios (geralmente, são englobados centenas de colégios), selecionados pela Academia visando a participação de profissionais de diferentes países.
- Outros cientistas que a Academia considere relevantes para realizarem indicações.

Após o processo de indicações, que ocorre ao longo do ano anterior ao Prêmio, o comitê delibera sobre quais candidatos serão recomendados oficialmente para a laureação. No entanto, isso não quer dizer que o candidato mais indicado será necessariamente recomendado. Como veremos adiante, há várias ocasiões em que os candidatos mais indicados para ganharem o Nobel não foram os ganhadores. Isso porque a nomeação feita pelo comitê deve passar pela chancela da Academia, o que ocorre mediante uma sessão plenária. O vencedor ou os vencedores são, então, anunciados numa sessão pública, atualmente transmitida pela internet em tempo real, juntamente com uma pequena palestra ministrada por um membro da Academia, que explica a relevância da pesquisa dos laureados. A cerimônia de premiação, por fim, ocorre anualmente no aniversário da morte de Alfred Nobel, 10 de Dezembro, em Estocolmo. Todos os ganhadores ministram aulas oficiais e recebem das mãos do Rei da Suécia a medalha e o diploma do Prêmio Nobel.

Devido ao fato de que o ganhador é decidido numa plenária, não necessariamente o mais indicado ao longo do ano a receber o Prêmio é aquele que será efetivamente premiado ao final de todo o processo. Em grande parte dos casos antes da década de 1940, os cientistas mais indicados para receber o Prêmio não foram aprovados em plenária. Por exemplo, em 1908 o comitê recomendou Max Karl Ernst Planck (1858-1947) e a Academia chancelou a recomendação. Na sessão plenária, no entanto, Planck foi rejeitado, sendo premiado o francês Gabriel Lippmann (1845 – 1921). Outro cientista que foi recomendado pelo comitê de Física, mas depois rejeitado pela votação em plenária, foi o holandês Heike Kamerlingh Onnes (1853 – 1926), que, à época, tinha grande prestígio pelas pesquisas em escala industrial a respeito de métodos de refrigeração. Em 1910 o matemático francês Jules Henri Poincaré (1854 – 1912) foi sugerido por 34 indicações e Planck por 10, mas o comitê decidiu recomendar a premiação do holandês Johannes Diderik van Der Waals (1837 – 1923), que tinha apenas uma indicação. Por esse motivo, é possível encontrar na base de dados do Nobel diversos cientistas que foram várias vezes indicados ao Prêmio ao longo dos anos, sem que, no entanto, tenham sido laureados.

Há, ainda, a possibilidade de que nenhum dos candidatos indicados seja considerado merecedor do Prêmio. Nesse caso, o Prêmio é reservado para o próximo ano. Isso ocorreu algumas vezes, por exemplo, em 1921, quando o Prêmio foi reservado e em 1922 dado a Albert Einstein (1879 – 1955). O Prêmio só pode ser reservado uma

vez. Se por dois anos seguidos não for escolhido um vencedor, então aquele prêmio é anulado. Isso ocorreu cinco vezes em Física: 1916, 1934, 1940, 1941 e 1942. Esses casos coincidem com o contexto de tensões geopolíticas da época, abrangendo as Guerras Mundiais. Isso não é por acaso. Tendo em vista o ideal escrito por Alfred Nobel, sobre premiar trabalhos em prol da humanidade, eventuais escolhas de cientistas de países específicos poderiam ser entendidas como uma mostra de apoio a um ou outro lado dos conflitos políticos¹³.

A premiação pelo Nobel é também um ato político. Por isso, a escolha dos laureados reflete também eventuais interesses ou vieses políticos que a Academia tenha. Um reflexo do viés político do Nobel é evidenciado quando se comparam as quantidades de laureados vindos do eixo Europa-EUA com aqueles oriundos de outras partes do mundo. Apesar de teoricamente o Prêmio não fazer distinção sobre o local de origem dos laureados, é fato que existe uma vantagem dos Estados Unidos ou de países europeus. Até 1940, Alemanha e Inglaterra tinham recebido 22% dos prêmios de Física cada uma; em 1970, os físicos norte-americanos já somavam mais prêmios que os ingleses e alemães juntos. Há casos de premiação de países que na época faziam parte do “terceiro mundo”, por exemplo, a Índia (um desses premiados, analisado nesta pesquisa). No entanto, os Prêmios científicos dados a africanos ou latino-americanos ainda são raríssimos. Por esse motivo, embora seja lugar-comum associar o grau de desenvolvimento científico de um país com o número de Prêmios Nobel ganhados por cidadãos desse país, essa comparação deve ser feita de maneira crítica, pois não leva em consideração a preferência do Nobel por certo perfil de cientista em detrimento de outros.

Outro viés na premiação científica se refere à área de pesquisa. Com o passar do tempo, houve uma tendência a serem reconhecidos trabalhos de origem prática ou experimental, em detrimento de trabalhos considerados teóricos, o que contradiz a suposta neutralidade do Prêmio quanto aos alvos de reconhecimento. Determinadas áreas de pesquisa encontram dificuldades em serem reconhecidas pelo Nobel, por exemplo os avanços que são feitos em meteorologia ou em astrofísica. O menor

¹³ Ciência e política são assuntos intimamente relacionados. Os desenvolvimentos científicos realizados por um país conferem a ele um poder político extraordinário. Em momentos de tensão, como nas Guerras Mundiais, os cientistas de ambos os lados do conflito tiveram suma importância no desenvolvimento de novas tecnologias que foram decisivas para os rumos da guerra. Países com grandes investimentos científicos tem maior poder de barganha em certos assuntos internacionais.

reconhecimento a essas áreas específicas reflete um conflito entre os interesses de grupos de pesquisa suecos e de países vizinhos (FRIEDMAN, 1981).

No que se refere ao Brasil¹⁴, são famosas, devido aos rumores que permeiam os episódios, as indicações de César Lattes (1924 – 2005), indicado sete vezes entre 1949 e 1954 para o Prêmio de Física, sendo uma dessas indicações, em 1951, feita pelo russo naturalizado italiano Gleb Vassielievich Wataghin¹⁵ (1899 – 1986) e, anteriormente, a indicação de Carlos Chagas (1879 – 1934), indicado por Manuel Augusto Pirajá da Silva (1873 – 1961), para o Prêmio de Fisiologia/Medicina de 1913¹⁶. Ainda nos dias atuais, pouco se pode afirmar com certeza a respeito do que levou à não premiação destes cientistas, uma vez que estes episódios são cercados por rumores e especulações que não são de nosso interesse abordar. Um fator que se soma à dificuldade da análise histórica é que muitos dos arquivos referentes às decisões internas do Nobel permanecem em sigilo por 50 anos após a premiação. Mesmo quando esse prazo é ultrapassado, o que fica disponível diretamente ao público é ainda uma parte superficial das informações. Não temos acesso direto, por exemplo, às atas das reuniões que decidiram a quem seria destinada a premiação de cada ano. O que temos em acesso livre diz respeito a quais cientistas foram indicados para as premiações de cada ano (desde que a premiação tenha ocorrido há pelo menos 50 anos), bem como quem foram os que indicaram os nomes¹⁷.

O próprio sistema de indicações já pode desequilibrar a avaliação do mérito dos trabalhos que pleiteiam o reconhecimento. Aqueles que têm o poder de fazer as indicações podem ter motivos pessoais para preferirem um trabalho a outro. Nesse caso, a indicação pode ser enviesada por questões íntimas ou conflitos de interesse. O sistema intrincado de indicações, votações e conferências tenta amenizar essas questões inerentes a uma premiação como esta. No entanto, é impossível defender que a escolha de um Prêmio Nobel seja neutra ou desinteressada. Nesse sentido, a ideia de senso

¹⁴ As pessoas mencionadas a seguir não foram as únicas brasileiras a terem sido indicadas ao Prêmio Nobel. Podemos encontrar indicações de brasileiros em outras áreas, como no caso do Nobel da Paz.

¹⁵ Apesar da origem russa e da naturalização italiana, Gleb Wataghin foi muito importante para os primórdios do desenvolvimento da física no Brasil.

¹⁶ Nesta ocasião, o Prêmio foi dado a Charles Robert Richet (1850 – 1935), francês, pelos trabalhos dele sobre a anafilaxia. Há estudos que relacionam a não premiação do brasileiro Carlos Chagas a um conflito com outros cientistas brasileiros da época, que teriam sabotado Chagas (COUTINHO, FREIRE JR e DIAS, 1999; PITTELLA, 2009; GURGEL, MAGDALENA e PRIOLI, 2009).

¹⁷ A documentação oficial de que cientistas já foram indicados, os motivos para indicação e os nomes de quem fizeram as indicações, podem ser também consultados no *website* do Prêmio.

comum, de que o Nobel é um reconhecimento apenas do mérito de um trabalho científico, é errônea.

Mesmo quando consideramos somente o que está escrito no testamento, que é uma visão idealizada sobre como o Prêmio deveria ser, ocorrem problemas. Em especial, o testamento exprime uma visão muito específica de ciência – aquela de 1895, da realidade em que vivia Nobel e seus pares. As ideias sobre a premiação são reflexo das ideias que Alfred Nobel tinha a respeito do que se considerava ciência à época. Quando o industrial menciona que os trabalhos a serem premiados devem ser os melhores realizados durante o último ano, dizendo explicitamente que quem deve ser premiada é *a pessoa* e não *o grupo de pessoas*, pressupõe-se uma visão de que a ciência é feita por cientistas isolados. Também se pressupõe que pode ser medida a importância de um trabalho científico conforme o que foi feito num período breve, como o de um ano. Esse tipo de visão epistemológica teve de ser contornado desde a primeira ocasião da premiação, que ocorreu em 10 de Dezembro de 1901, em que, no caso do Nobel da Paz, não seria possível dar o prêmio a uma única pessoa, então foram premiados Jean Henry Dunant e Frédéric Passy, que receberam, cada um, metade do valor em dinheiro.

O que podemos concluir, nesse aspecto do processo da premiação, é que os vencedores do Prêmio não são necessariamente aqueles que possuem uma melhor defesa de mérito, nem mesmo os que possuem maior votação nas plenárias. Assim sendo, desde o estágio de escolha dos premiados pelo Prêmio Nobel, a influência de fatores metacientíficos já está presente.

3.1 O QUE O NOBEL TEM A ENSINAR SOBRE CIÊNCIAS

Devido ao grande prestígio construído pela instituição do Prêmio Nobel, desde seus primórdios, tanto entre comunidade acadêmica quanto entre o público geral e pelo *status* adquirido pelos laureados ao longo da História, consideramos o Prêmio Nobel como uma fonte promissora para se trabalhar o ensino de ciências.

Uma revisão bibliográfica sobre a relação entre o funcionamento das ciências e o Prêmio Nobel remetem a trabalhos feitos desde a década de 1970, como mencionamos no caso da comunicação de Salvador Luria. Pesquisas feitas na área do ensino de ciências sugerem que o uso de episódios do Prêmio Nobel em sala de aula é bem mais recente. Em linhas gerais, o que se encontra sobre essa temática diz respeito ao ensino

sobre como certos cientistas ganharam seus prêmios e que fatores influenciaram na escolha deles para serem premiados (PANUSCH, HEERING e SINGH, 2010), controvérsias sobre premiações específicas, como a de Química dada a Fritz Haber (1868 – 1934) em 1918 (JUSTI e MENDONÇA, 2016), a motivação de se ensinar certos conteúdos devido à relevância destes para a ciência, sendo responsáveis por casos de premiações pelo Nobel (JENSEN, PALENIK e SUH, 2003). Algumas questões metacientíficas têm sido abordadas pela comparação de vários casos de premiação e buscando paralelos, semelhanças e distinções entre eles sobre aspectos como a produtividade científica e como ideias novas são aceitas no contexto do reconhecimento pelo Prêmio (CHARYTON, DEDIOS e NYGREN, 2014); qual o papel dos erros cometidos por laureados em suas pesquisas (ALLCHIN, 2008); quais comportamentos ou habilidades intelectuais parecem emergir da análise de alguns ganhadores do Prêmio (SHAVININA, 2004); que impacto tem na premiação as questões de gênero nas ciências (CHARYTON, ELLIOTT, *et al.*, 2011); o que a análise sobre os prêmios dados a uma determinada área do conhecimento pode inferir a respeito do que fazem os profissionais dessa área (OLMSTED III, 2010), etc.

No caso da nossa pesquisa, buscamos explicitar aspectos de natureza da ciência nas comunicações oficiais dos laureados. Essa abordagem é relativamente recente. Ao compreendermos o Nobel não como uma instituição isolada, mas como algo que existe num contexto, podemos entender de maneira mais crítica o próprio funcionamento das ciências. Muitos dos fatores relacionados ao funcionamento do Prêmio Nobel podem ser extrapolados para o caso de outras premiações científicas. Alguns dos vieses podem ser comuns. Com isso, temos materiais importantes para entendermos não somente o caso das premiações analisadas, mas sobre a construção das ciências de forma geral.

4 NATUREZA DA CIÊNCIA E CIÊNCIA INTEGRAL

Na educação científica, tanto nas etapas iniciais quanto nas avançadas (por exemplo, uma pós-graduação), é comum a ênfase em aspectos técnicos e operacionais das ciências. Isso costuma ocorrer em detrimento de discussões a respeito de aspectos metacientíficos, por exemplo: quais são os objetivos de uma dada área do conhecimento? Como trabalham os cientistas nesta área? Como ocorre a validação dos conhecimentos construídos? Como os conhecimentos científicos são influenciados por interesses econômicos, políticos, ideológicos? Em outras palavras, costuma-se apresentar a ciência apenas pelos seus produtos, não levando em conta as relações com os contextos sociais, políticos, econômicos e culturais, por exemplo (BERÇOT e PRESTES, 2016).

A falta de discussões explícitas sobre esses aspectos pode agravar a transmissão de ideias distorcidas sobre o fazer científico. Em contextos mais específicos, como a formação de cientistas, a falta da discussão sobre tópicos de NdC também é nociva, posto que estes profissionais têm, entre suas atribuições, o trabalho de comunicar adequadamente o resultado de suas pesquisas. Além disso, esses profissionais deverão arcar com burocracias e tomadas de decisão que impactam a vida de toda a sociedade. Os profissionais da ciência, sejam cientistas, sejam educadores científicos, devem se posicionar com clareza e argumentos sólidos a respeito das situações pertinentes às suas áreas. Por isso, em todos os níveis de educação científica, é basal que se tenha uma visão crítica sobre como as ciências funcionam.

A abordagem desse tipo de assunto não é simples, havendo muitas controvérsias. Por um lado, ignorar estes aspectos ditos “externos”¹⁸ do conhecimento científico limita demasiadamente a visão que se tem sobre ciências e favorece a manutenção de visões distorcidas, baseadas em senso comum ou estereótipos a respeito dos cientistas. Por outro, a parte conceitual das ciências também não deve ser ignorada, por se tratar de

¹⁸ No sentido de serem mais comuns em abordagens *externalistas* da ciência. Uma abordagem dita *externalista* dá mais ênfase a aspectos sociais, políticos, ideológicos do fazer científico. Abordagens *internalistas*, por outro lado, enfatizam a evolução dos conceitos científicos, dando pouca ou nenhuma importância às relações entre cientistas, disputas de poder, fatores econômicos, etc. Dizer que certo aspecto é absolutamente interno ou externo às ciências é uma extrapolação controversa. A construção científica é envolta por complexidades.

uma forma cristalizada de se entender o que foi feito até agora nas ciências, além de possibilitar aplicações na resolução de muitos problemas¹⁹. Ao serem apresentados de maneira contextualizada, os aspectos conceituais das ciências podem auxiliar no entendimento a respeito de como as ideias científicas foram desenvolvidas e transmutadas ao longo das épocas. As ciências, afinal, são construções extremamente complexas. Qualquer tentativa de simplificá-las ou normatizá-las apresenta confusões e dificuldades. Por isso, muitos debates têm sido realizados nas últimas décadas sobre o que deve ser apresentado como NdC, especialmente no contexto do ensino de ciências, buscando maneiras para que esses aspectos possam ser discutidos na formação de jovens e profissionais.

A discussão sobre o que compõe o que hoje chamamos de NdC não é nova. São encontrados trabalhos sobre esse tema desde o século XIX, por exemplo com as obras de William Whewell (1794-1866), Thomas Huxley (1825-1895) e Ernst Mach (1838-1916) (MATTHEWS, 2012). No entanto, o entendimento contemporâneo sobre esse tema tem suas raízes em meados do século XX. Podemos traçar algumas tentativas de se abordar esses tópicos sobre a construção do conhecimento científico e seus processos no ensino desde pelo menos a década de 1960 (ROBINSON, 1965). Desde então, algumas tentativas foram feitas para afastar as visões de ciência daquelas trazidas, por exemplo, pelo pensamento positivista que marcou principalmente a primeira metade do século XX.

Nesse ponto, é pertinente fazermos uma reflexão sobre o positivismo. O termo *positivismo* é, muitas vezes, transformado num jargão para se criticar uma visão deturpada e ingênua sobre as ciências. Mas a história não é tão simples. No contexto em que o positivismo²⁰ tinha sua força, especialmente no começo do século XX, era interessante apresentar as ciências como uma construção guiada somente pela lógica, pela razão e pelo empirismo. Cabe lembrar que as ciências, como temos familiaridade nos dias atuais, passou por processos de institucionalização ao longo do século XIX que demandavam uma espécie de defesa mais acirrada da validade do conhecimento

¹⁹ Numa visão mais cínica, parte dos profissionais das ciências duras poderia alegar, com sua razão, que não há tempo para se estudar as miudezas filosóficas de todos os assuntos com os quais se trabalha. Além disso, a apresentação de estudos históricos não anedóticos ou “hagiográficos” sobre episódios da história da ciência pode ser mal vista pela comunidade científica considerada mais ortodoxa, pois pode despertar nos estudantes uma ideia de que a idealização dos cientistas antigos e da própria prática científica não encontra respaldo na realidade. Nesse aspecto, um trabalho clássico a respeito pode ser conferido em (BRUSH, 1974).

²⁰ Aqui, trataremos do positivismo nas ciências. O pensamento positivista é muito mais amplo e abrange outras áreas do conhecimento, sendo importante, por exemplo, em teoria do direito.

científico para os outros setores da sociedade. Por isso, era interessante ressaltar o caráter experimental, indutivo e lógico dos conhecimentos científicos, para que não se confundisse ciência com meras especulações. Os pensadores positivistas estavam imersos nesse contexto. Isso não quer dizer que os positivistas fossem acríticos ou não levassem em consideração a História das Ciências. Por exemplo, o positivista Hans Reichenbach (1891-1953) possui livros de sua autoria sobre a História das Ciências. Conhecendo episódios históricos, Reichenbach, que é representativo dos pensadores positivistas da ciência de sua época, tinha fundamentos para defender a existência de uma lógica indutiva-positivista inerente às descobertas científicas (NICKLES, 1990). A defesa desse tipo de visão não era ingênua, nem desinformada. No entanto, com o passar das décadas, a atitude positivista sobre a história das ciências passou por várias críticas.

Essas críticas vieram com a problematização de algumas suposições feitas pelos positivistas. Por exemplo, foi questionada a visão continuísta do desenvolvimento científico, a qual defendia que a ciência, historicamente, constituía-se como um campo em que o conhecimento era apenas cumulativo e que hoje necessariamente estamos num grau mais desenvolvido de pensamento científico do que antigamente. A crítica ao pensamento continuísta ganhou força com a obra *Estrutura das Revoluções Científicas*, de Thomas Kuhn, na década de 1960. O desenvolvimento das ciências passa a ser visto como constituído por rupturas, não somente por continuidades. O conhecimento científico não apenas se acumula, mas às vezes também é reconstruído, reformulado. Ideias básicas sobre o mundo são substituídas, não apenas aprimoradas. Há, segundo essa obra, períodos de ciência normal e períodos de revolução científica, em que ocorre a ruptura. Não seria mais possível ver os pensamentos como meramente progressivos, não é tão simples comparar o quanto sabemos hoje do quanto sabíamos em outras épocas. Ao se avaliar o conhecimento, por exemplo, da época medieval, é errôneo fazer uma comparação com os ideais modernos de mundo, pois vivemos num contexto completamente diferente, com outros valores, objetivos e técnicas. Kuhn, assim como outros pensadores (Gaston Bachelard, Imre Lakatos, Ludwik Fleck...) inauguravam uma abordagem chamada de *epistemologia histórica*, que busca uma compreensão sobre como os conhecimentos foram construídos ao longo do tempo.

Outra ideia positivista atacada foi a de que a ciência utiliza um único método científico, atemporal e ahistórico, que garante que cientistas sejam sempre guiados pela lógica e pela razão. Evidentemente, a ciência tem métodos para funcionar. Mas uma

visão ingênua desses métodos é problemática. As ciências não são tão homogêneas, isto é, possuem diversas áreas, cada área com suas especificidades e objetivos, então acreditar em um único método que seja pertinente a todas essas centenas de áreas é perigoso. Um bacteriologista tem métodos de pesquisa diferentes de uma física teórica que esteja estudando a termodinâmica de buracos negros, por exemplo. Além disso, o contexto histórico e social influencia na disponibilidade de métodos e objetivos de pesquisa. Portanto, os métodos adotados dependem do lugar e do tempo. A crença de que há somente um único método científico é perigosa, pois propaga uma visão estereotipada e irreal a respeito do trabalho dos cientistas, afastando uma abordagem crítica a respeito de como funcionam as ciências (WOODCOCK, 2014).

A suposta neutralidade científica também foi problematizada ao longo dos anos. A crença de que as ciências podem ser desenvolvidas da mesma maneira em qualquer lugar do mundo e que cientistas ou instituições científicas não tem interesses políticos em suas atividades é também uma visão ultrapassada. Instituições científicas tradicionais podem, por exemplo, ter o poder de descartar uma nova teoria, ainda que os motivos para tal desconsideração não sejam claros. Mesmo o Prêmio Nobel pode nos dar evidências dessa falta de neutralidade: como já comentado, existe uma preferência por certas áreas das ciências, em detrimento de outras; há majoritariamente mais cientistas europeus e estadunidenses reconhecidos; em épocas de tensão política, o comitê se abstém de tomar posições e assim por diante²¹.

Em posse dessa miríade de complexidades, que nos afastam de uma atitude simplista em relação às ciências, como realizar uma abordagem crítica sobre o conhecimento científico? Nossa posição é a de que a História das Ciências é a melhor maneira de se apresentar tanto os conceitos científicos quanto aspectos *sobre* as ciências no ensino. Por meio da História, podemos fomentar concepções menos ingênuas sobre como o conhecimento científico foi construído, apontando possíveis limitações e controvérsias que são inerentes à ciência, bem como algumas das relações que existem com outros campos do conhecimento, por exemplo, os que fazem parte do que convencionou-se chamar de “humanidades”, embora as ciências também sejam uma construção humana (MARTINS, 2006).

²¹ Especificamente no que tange o Nobel, também há estudos que relacionam o aumento no doutoramento de profissionais de física experimental na Suécia com as maiores chances dessa área ser reconhecida numa laureação. Nesse caso, uma instituição influenciaria no interesse de parte da população por seguir uma carreira específica dentro das ciências (KRAGH, 2002).

No que tange os chamados “aspectos de natureza da ciência”, também não há uma única abordagem possível. Mencionaremos, a seguir, algumas das tentativas que tem sido realizadas para que se abordem esses aspectos no contexto do ensino de ciências.

No que tange as pesquisas mais recentes, há uma tentativa de se conciliar alguns olhares sobre as ciências e sua natureza, para que não se tome a ciência como completamente deslocada das influências sociais, políticas, ideológicas e metacientíficas em geral, nem que esses aspectos sejam hiperbólicos, no sentido de distorcer a parte conceitual ou relativizá-la por completo (BAGDONAS e SILVA, 2013; IRZIK e NOLA, 2011; RUDOLPH, 2000; CLOUGH, 2008; ALLCHIN, 2011; DIJK, 2011; DUSCHL e GRANDY, 2013; MARTINS, 2015). Entre o final da década de 2000 e o início da década de 2010, alternativas foram propostas para que a abordagem de NdC no ensino não seja tomada como normativa. Algumas alternativas propostas são, por exemplo, a abordagem de “temas” e “questões”, organizadas em eixos sociológicos, históricos e epistemológicos, deixando abertas as possibilidades de aspectos a serem tratados, evitando a presunção de “princípios” a serem apresentados sobre Natureza da Ciência (MARTINS, 2015) e a ideia de “campos teóricos estruturantes da filosofia da ciência”, em que são apresentadas dimensões gerais de análise para se estudar propostas de ensino de ciências a professores em formação (ADÚRIZ-BRAVO, IZQUIERDO e ESTANY, 2002).

Algumas das raízes dessas distintas visões a respeito de NdC se encontram em pesquisas realizadas nos anos 1990. Naquela época, uma série de trabalhos buscou consensos a respeito do que deveria ser ensinado a respeito de NdC em sala de aula. McComas e Almazroa (1998) realizaram um estudo sobre alguns currículos internacionais de ciências, elaborando uma lista de aspectos que eram consensuais segundo esses documentos. Essa abordagem ficou conhecida como a “visão consensual” de natureza da ciência. O trabalho de McComas e Almazroa traz os seguintes itens:

Tabela 1: Lista com aspectos consensuais de Natureza da Ciência levantados pelo estudo de oito currículos internacionais de ciências. Autoria de McComas e Almazroa (1998). Tradução nossa.

Uma visão consensual dos objetivos de natureza da ciência extraídos de oito currículos internacionais de ciências

- Conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter tentativo.
 - Conhecimento científico depende fortemente, mas não totalmente, em
-

observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo.

- Não existe um jeito único de fazer ciência (portanto, não existe um método científico universal passo-a-passo).
- Ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais
- Leis e teorias possuem papéis diferentes na ciência, portanto os estudantes devem atentar-se sobre teorias não *virarem* leis mesmo com evidência adicional.
- Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência
- Novos conhecimentos devem ser divulgados de forma clara e aberta.
- Cientistas precisam de um registro acurado dos trabalhos, revisão por pares e replicabilidade.
- Observações são pautadas pelas teorias
- Cientistas são criativos
- A história da ciência revela tanto um caráter evolucionário quanto um revolucionário
- Ciência é parte de tradições sociais e culturais
- Ciência e tecnologia impactam-se mutuamente
- Ideias científicas são afetadas pelo ambiente histórico e social

Segundo os autores, a proposta de se construir uma lista desse tipo não é a de doutrinar a respeito do que faz ou não faz parte das ciências, mas sim de fornecer fundamentos para que diferentes posicionamentos a respeito do trabalho científico possam ser defendidos. Nos tópicos em que não há consenso, portanto não pertencendo à lista, os professores devem apresentar uma pluralidade de visões. Esse tipo de abordagem consensual foi estudado por demais grupos de pesquisa ao longo dos anos, havendo propostas de reformulações e refinamentos da abordagem (LEDERMAN, ABD-EL-KHALICK, *et al.*, 2002).

Quando esse tipo de lista apresenta termos como “ciência é parte de uma tradição social” e “ideias científicas têm sido afetadas pelos contextos históricos e sociais”, há um afastamento dos estereótipos encontrados sobre a neutralidade e o presumido caráter atemporal e ahistórico das ciências. Esse afastamento é desejável para se incentivar uma visão crítica e informada sobre o conhecimento científico. Por isso, essa iniciativa foi importante para que houvesse uma atenção sobre a demasiada

importância que se costumava dar, no ensino de ciências, sobre um suposto “método científico” que fosse universal, atemporal e ahistórico. Conhecimentos oriundos de áreas como a sociologia e a filosofia das ciências passaram a ser incorporados de maneira mais embasada na formação de futuros profissionais das ciências.

No entanto, esse tipo de lista também apresenta dificuldades. Críticas foram feitas ao longo dos anos a respeito das limitações da visão consensual²² (BAGDONAS e SILVA, 2013; MATTHEWS, 2012; ALTERS, 1997). As críticas visam, sobretudo, acentuar que *não existe um consenso* entre filósofos da ciência a respeito de quais são os aspectos da NdC. Portanto, essa abordagem inevitavelmente é controversa. É difícil conciliar algumas das ideias apresentadas pela abordagem consensual: até que ponto a criatividade dos cientistas não entra em conflito com a necessidade de o conhecimento científico apoiar-se em evidências? Se a ciência faz parte de uma tradição social, como demarcar com certeza o que são as evidências? Existe uma separação simples entre os conceitos objetivos e os subjetivos presentes no desenvolvimento científico? O que significaria uma apresentação “clara” dos conhecimentos novos? Essa clareza deve se referir ao entendimento de toda a população? Ou apenas dos cientistas? Também há uma espécie de lacuna quando é indicado que os professores devam apresentar uma pluralidade de visões *quando não existe consenso*. Essa recomendação dá margem a uma visão normativa sobre a lista, pois implica que as visões consensuais podem ser tomadas sem uma pluralidade de visões, ignorando os vieses filosóficos da abordagem consensual.

Essas são algumas das questões que podem ser levantadas a partir dessa lista. Mas outra questão também pode ser levantada, não especificamente sobre os tópicos apresentados, mas sobre a forma: é adequado apresentar aspectos de NdC em tópicos? Esse tipo de abordagem parece carregar uma normatização sobre o que é e o que não é parte da construção do conhecimento científico. Isso também pode ser problemático no ensino, pois também é uma visão simplista. Conforme já ressaltado, as ciências são construções complexas. Listas, apesar de afastarem algumas ideias estereotipadas e

²² Alters (1997) ressalta que os tópicos apresentados na visão consensual causam desacordo entre filósofos da ciência, portanto esses tópicos deveriam ser reconsiderados a fim de se construírem critérios mais confiáveis e embasados segundo a filosofia da ciência. Matthews (2012) propõe uma mudança de “natureza da ciência” para “características da ciência” (em inglês, *features of science*), que seria uma versão mais “relaxada, contextual e heterogênea”, em vez da versão “essencialista e epistemologicamente focada” da abordagem de natureza da ciência. Silva e Bagdonas (2013) apontam as tensões existentes entre duas visões opostas de natureza da ciência: uma chamada “positivista” e outra chamada “construtivista”, propondo uma síntese que dê preferência a posturas “moderadas e intermediárias entre esses dois extremos”.

superficiais sobre ciências, por vezes acabam fazendo o papel de substituir um viés por outro. Discussões sobre NdC não devem se resumir a listas do tipo “estes são os aspectos de NdC que devem ser ensinados”. Pelo contrário, há de se deixar claro que muitos aspectos, não listados, influenciam no desenvolvimento e no entendimento das ciências. Diferentes olhares podem gerar conclusões diferentes. Em outras palavras, vemos como desejável a possibilidade de que uma abordagem de NdC possa ser expandida para além de um conjunto fechado de tópicos ou características.

Ao se trabalhar com NdC, portanto, percebemos que existem diversas sutilezas. Deve-se manter uma clareza sobre o que é o escopo daquilo que se está apresentando como ideia a respeito do conhecimento científico. No entanto, é necessário que esse conjunto de ideias não seja tomado como normatização, especialmente no contexto do ensino.

Dentre as várias possibilidades de se abordar aspectos de NdC no ensino, neste trabalho adotamos a ideia de ciência integral (em inglês, *Whole Science*²³), de Douglas Allchin (ALLCHIN, 2011; ALLCHIN, 2013). Nessa proposta, a NdC é abordada levando em consideração desde os aspectos conceituais e observacionais das ciências, até a relação entre os cientistas, a comunicação sobre os desenvolvimentos científicos e as formas como os novos conhecimentos são validados e perduram através dos tempos, mesmo com as mudanças que existem nas visões de mundo. A abordagem de ciência integral propõe que sejam estudadas as *dimensões de confiabilidade* do fazer científico, isto é, de que maneiras ocorre a validação do conhecimento científico construído. Essa validação não se dá numa via única. Conforme ressaltado, há tanta importância nos aspectos observacionais quanto nos conceituais e socioculturais de um trabalho científico.

Essa escolha de referencial teórico deu-se devido à relação direta que o material aqui estudado possui com o aspecto da *comunicação* do conhecimento científico e a validação desse conhecimento tanto por outros cientistas quanto pelo público geral. A

²³ A inspiração para o nome “Ciência Integral”, segundo Allchin, vem justamente do conceito de “alimentos integrais”, os quais presumidamente não excluem os ingredientes essenciais do alimento. É prudente ter cuidado com as metáforas, ainda que sejam bem intencionadas. No caso desta específica, o termo *integral* deve ser visto como oposto aos alimentos que são *ultraprocessados*, isto é, refinados, retalhados e cujo aspecto sensorial é mascarado por meio da introdução de inúmeros ingredientes artificiais, como conservadores e estabilizadores. Muitos dos alimentos que são *vendidos* como integrais não o são de fato. Dessa maneira, apresentar uma visão de “ciência integral” não deve ser visto como sendo uma forma completamente inteira de se ver as ciências. É uma abordagem possível e útil, que vai ao encontro do tipo de conhecimento que intentamos explicitar em nossas análises. Mas não é a única, nem garante *de fato* que todos os “ingredientes” da ciência serão tratados.

abordagem das ciências sob a ótica da ciência integral permite que sejam abordados temas importantes para o contexto atual do ensino científico. Por um lado, explicita-se que as ideias comunicadas por cientistas não devem ser confiadas cegamente, afinal os cientistas podem exprimir opiniões controversas e falhas a respeito de muitos temas por estarem imersos num contexto social, político e ideológico como qualquer outra pessoa. Por outro lado, o que faz um conhecimento científico ser aceito e consolidado vai além de uma mera disputa entre poderes e discursos, existindo meios de validação que tornam o conhecimento científico confiável para além de argumentos baseados na autoridade dos cientistas. Allchin apresenta as dimensões de confiabilidade com alguns dos possíveis aspectos que podem fazer parte das dimensões observacionais, conceituais e socioculturais das ciências. Essa lista, no entanto, tem um caráter distinto daquela apresentada nos trabalhos da década de 1990, pois agora não há a intenção de se esgotar os aspectos que fazem ou não fazem parte de NdC. Em vez disso, essa lista funciona como um inventário, um guia para que entendamos que tipos de fatores podem ser relacionados às dimensões de confiabilidade. Dependendo do caso histórico estudado, podemos perceber melhor alguns itens do que outros. Além disso, também somos livres para acrescentarmos novos itens conforme a necessidade do estudo realizado. Por isso, esse inventário não tem um aspecto normativo, nem pretende esgotar todas as possibilidades trazidas por essa abordagem.

Tabela 2: Inventário parcial das dimensões de confiabilidade na ciência, conforme proposto por Allchin (2013). Tradução nossa.

Inventário Parcial das Dimensões de Confiabilidade na Ciência		
Dimensão Observacional	<i>Medidas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Acurácia, Precisão • Papel do Estudo Sistemático (em contraposição a registros anedóticos) • Completeza da evidência • Robustez (concordância entre tipos diferentes de dados)
	<i>Experimentos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Experimentos controlados (uma variável) • Estudos cegos e duplo-cegos • Análise estatística de erros • Replicação e tamanho da amostra

Dimensão Conceitual	<i>Instrumentos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Novos instrumentos e suas validações • Modelos e organismos modelos • Ética de experimentação em humanos
	<i>Padrões de raciocínio</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Relevância das evidências (empirismo) • Informação verificável versus valores • Papel da probabilidade nas inferências • Explicações alternativas • Correlação versus causa
	<i>Dimensões Históricas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Consiliência com evidências estabelecidas • Papel das analogias, pensamento multidisciplinar. • Mudanças conceituais • Erros e incertezas • Papel da imaginação e da síntese criativa
	<i>Dimensões Humanas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Espectro de motivações para se fazer ciência • Espectro de personalidades humanas • Viés de confirmação / papel das crenças prévias • Percepções de risco baseadas em emoção versus baseadas em evidências
	<i>Instituições</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboração e competição entre cientistas • Formas de persuasão • Credibilidade • Revisão por pares e resposta a críticas • Resolução de desacordos • Liberdade acadêmica
Dimensão Sociocultural	<i>Vieses</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Papel das crenças culturais (ideologia, religião, nacionalidade, etc.). • Papel do viés de gênero • Papel do viés racial ou de classe

<i>Economia / Financiamento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fontes de financiamento • Conflitos pessoais de interesses
<i>Comunicação</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Normas para se manipular dados científicos • Natureza dos gráficos • Credibilidade de vários periódicos científicos e jornais de notícias • Fraude ou outras formas de má conduta • Responsabilidade social dos cientistas

O que difere esse inventário da ideia de lista consensual, apresentada anteriormente, é que as dimensões de confiabilidade não são normativas em relação ao que faz ou não faz parte da construção do conhecimento científico, mas organiza alguns aspectos em torno de dimensões de confiabilidade das ciências. Uma abordagem integral de ciência difere do que seria uma abordagem “ultraprocessada” (retomando a analogia com os alimentos integrais *versus* os demasiadamente processados) ao não resumir os processos pelos quais a ciência passa em uma lista fechada e curta. Por isso, mesmo um inventário, como o apresentado acima, não deve ser visto como algo fechado ou absoluto. De fato, novos aspectos surgem do estudo de diferentes casos a respeito do desenvolvimento científico.

Esse tipo de abordagem é conveniente para os tempos atuais, em que muitas notícias e acontecimentos relacionados às ciências e aos cientistas são veiculados, eventualmente de maneira sensacionalista e enviesada. Numa sociedade profundamente influenciada pelos conhecimentos científicos, é necessário que mesmo as pessoas que não sigam uma carreira científica sejam capazes de se posicionarem sobre temas como a produção de novos medicamentos, construção de laboratórios nacionais de pesquisa científica básica, uso de agrotóxicos em alimentos, objetivos de pesquisas científicas de consórcios internacionais, ética no trabalho científico, importância do posicionamento de cientistas sobre temas diversos, entre outros. Havendo-se um ensino que aborde esses

aspectos metacientíficos, possivelmente muito do ruído gerado por má formação científica poderá ser resolvido e convertido em posicionamentos válidos e informados.

5 DELIMITAÇÃO E METODOLOGIA

Uma disponibilidade tão vasta de materiais possíveis de serem analisados exige que seja feita uma triagem do que de fato será analisado pela pesquisa. Os objetivos da análise, bem como os métodos, devem ser esclarecidos. Neste capítulo, apresentamos os critérios que levaram à escolha das palestras específicas aqui estudadas e o que motivou a escolha da Análise Textual Discursiva como metodologia de análise. Por essas escolhas, faz-se um recorte específico destes episódios históricos

Ao longo dos 116 anos de existência do Prêmio Nobel, foram laureadas mais de 900 pessoas, nas áreas de Física, Química, Fisiologia e Medicina, Paz e Literatura. Como nosso estudo é dedicado ao entendimento de ideias de cientistas, não consideraremos os Prêmios Nobel da Paz e de Literatura²⁴. Mesmo assim, a quantidade de material disponível passível de ser analisada é muito grande.

Um critério que adotamos para selecionar as palestras analisadas diz respeito à popularidade dos cientistas envolvidos. Como foram muitas pessoas premiadas pelo Nobel, a maior parte destas não obteve tanta fama ao longo dos anos quanto alguns poucos. O *website* do Nobel apresenta um registro de quais são os 10 laureados mais pesquisados de cada área. No entanto, não é claro o período que é levado em consideração para se fazer esse *ranking*. Notamos que, de uma semana para outra, os cientistas que figuram entre os mais pesquisados pelo público variam. Por isso, acompanhamos, ao longo de 100 semanas, quais foram os cientistas que o público mais pesquisou a respeito no site do Nobel. No início de cada uma das análises, apresentamos um gráfico da popularidade do cientista estudado ao longo do período considerado.

A popularidade dos cientistas foi um critério para a seleção do material que analisamos. Mas não foi o único. Além da popularidade, também visamos escolher representantes de momentos diferentes do século XX que fossem de nacionalidades,

²⁴ Estes campos representam ainda mais oportunidades interessantes de análise. Recentemente, algumas polêmicas envolvendo indicações e premiações na Paz e na Literatura tiveram grandes repercussões: Na Literatura, por exemplo, o não comparecimento do laureado Bob Dylan na cerimônia em 2016 (SISARIO, 2016) e os escândalos de abusos sexuais por parte de membros da Academia, que implicaram no cancelamento da premiação de 2018 (HENLEY e FLOOD, 2018), constituem em si temas que podem ser vastamente explorados. No caso da Paz, além de algumas escolhas controversas de premiados, também pode se explorar como até mesmo a possibilidade de indicações podem ter implicações e usos políticos. Em específico, também no ano de 2018 esse tema tem sido levantado pela possível indicação do ex-presidente brasileiro Luiz Inácio Lula da Silva para o Prêmio. Quanto a isso, no entanto, é pouco provável que até que as indicações fiquem públicas, daqui a 50 anos, possamos saber algo além de rumores.

culturas e contextos distintos. Portanto, acabamos por selecionar uma representante feminina do início do século XX (Marie Curie, em 1911), um representante que tem sua origem fora do eixo Europa-EUA (Raman, 1930), alguém que teve sua pesquisa realizada em meio às Guerras Mundiais (Alexander Fleming, 1945) e, por fim, um representante da física teórica que, além de suas contribuições científicas, ficou famoso por sua excentricidade (Richard Feynman, 1965).

O foco de nossa análise foi o estudo das palestras apresentadas pelos cientistas na ocasião da premiação. Esses materiais estão disponíveis gratuitamente no *website* do Prêmio, em inglês²⁵. Além das transcrições oficiais das palestras, também são disponíveis outros tipos de falas referentes às premiações, por exemplo os discursos proferidos na apresentação do Prêmio. Estes discursos são proferidos por representantes eméritos da Academia Real de Ciências, que fazem uma breve apresentação sobre os cientistas premiados e sobre o contexto de seus trabalhos. Estes discursos de apresentação também são relevantes para nossa análise, pois informam parte das motivações que fizeram com que a comunidade científica, aqui representada pela Academia, premiasse esses cientistas específicos. Além deles, também são disponibilizados discursos proferidos pelos próprios laureados durante o jantar da cerimônia²⁶.

Seria equivocado basear-nos somente nas falas realizadas durante a premiação, pelos próprios cientistas e por representantes oficiais do Nobel. Isso porque a cerimônia em si serve a seus interesses. A narrativa construída pelos seus representantes inevitavelmente tem um certo viés e intenções próprias, que podem ou não condizer com estudos históricos críticos sobre os episódios referentes às descobertas e trabalhos premiados. Por isso, é necessário que, para uma leitura adequada desses materiais, façamos uso de fontes secundárias. Essas fontes incluem estudos históricos estabelecidos sobre esses episódios e também biografias dos laureados. Em posse desses materiais, é possível, por exemplo, verificar se alguma informação transmitida na cerimônia é controversa, ou se, por outro lado, alguma informação relevante foi

²⁵ Em alguns casos, é disponibilizada a transcrição na língua vernácula do laureado. No entanto, nesta pesquisa, todos os textos encontrados oficialmente estão em inglês. Ressaltamos, novamente, que originalmente o discurso é feito na língua do laureado; no entanto, baseamo-nos no texto encontrado gratuitamente pelo *website*.

²⁶ Muitos outros materiais oficiais estão disponíveis gratuitamente pelo *website*, alguns inclusive pitorescos, como o registro dos cardápios dos jantares das premiações. Essas informações, no entanto, apesar de interessantes, não são úteis às nossas análises.

deliberadamente omitida. Esses detalhes podem auxiliar num entendimento crítico sobre o contexto da premiação.

5.2 ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA

A busca por um método que permita analisar um texto de significância como são as transcrições oficiais das palestras ministradas pelos laureados do Prêmio Nobel envolve algumas sutilezas, tanto de cunho prático quanto de cunho filosófico. Por um lado, é desejável que o método empregado garanta que todos os materiais serão lidos de maneira consistente, isto é, que minimize, o quanto for possível, exacerbações ou induções que ultrapassem o que é manifestado pelo autor do discurso. Por outro lado, como as palestras são cristalizações de ideias criadas pelos autores, seria inadequado passar os textos por alguma espécie de algoritmo que o quebrasse em meros conjuntos de repetições de palavras ou tipos de estruturas de frases e, a partir disso, gerasse qualquer conclusão a respeito do que se sobressaiu no discurso.

Encontramos na literatura referências a alguns métodos de análise de materiais como estes, cada um deles com escopos específicos em que são melhor empregados. Um dos métodos consolidados é o de Análise do Conteúdo (AC), que se fez conhecido principalmente pela obra da francesa Laurence Bardin (BARDIN, 1977). Tal metodologia é conveniente quando queremos fazer uma análise quantitativa dos materiais analisados, pois apresenta modos de se explicitar certas recorrências de ideias, representadas pela repetição de palavras ou frases. Este método, no entanto, não se encaixa completamente com os objetivos da presente pesquisa, pois o que intentamos explicitar são conceitos qualitativos que, numa análise puramente quantitativa, poderiam passar despercebidos. Além disso, entendemos que algumas das ideias apresentadas pelos laureados podem não estar presentes explicitamente no discurso proferido, portanto, uma análise baseada somente no que é dito seria inadequada.

Outra abordagem possível é a Análise do Discurso (AD)²⁷, que busca uma interpretação mais voltada ao implícito e ao crítico do material analisado. Nesse caso, o teor interpretativo da análise é mais presente do que o teor descritivo do material

²⁷ A Análise do Discurso não consiste em somente um tipo de abordagem. Existem diversas linhas de pesquisa relacionadas à AD. Encontramos na literatura, por exemplo, um trabalho que se dedica a analisar o discurso de cientistas sobre seus próprios desenvolvimentos a fim de elucidar questões pertinentes ao ensino de ciências, sob a vertente francesa da AD (PAGLIARINI, 2016).

analisado; a leitura realizada é mais “externa”, no sentido de que o olhar presente sobre o material busca desde o início significados que estejam ocultos sob a superfície do discurso. Na AD, é necessária a presença de uma teoria forte antes da interpretação de qualquer que seja o material; na AC, ao contrário, o próprio material pode dar as diretrizes para sua interpretação.

Na visão contemporânea, nenhum desses métodos busca, todavia, uma automatização completa do processo de análise. Em vez disso, o que eles fornecem são orientações e recomendações de procedimentos, que variam de acordo com o contexto, as intenções e os materiais analisados. Sendo usadas especialmente em áreas de ciências sociais, essas metodologias são empregadas em análises qualitativas, como é o caso do presente trabalho.

No entanto, em nosso caso, não buscamos nem uma dependência exagerada do que é manifestado nos discursos explicitamente, nem a leitura completamente externalista dos materiais, posto que esta atitude poderia acarretar em anacronismos. A metodologia buscada fica entre a AC e a AD: existem questões profundas nos discursos, não manifestadas, que emergem após interpretação sob uma determinada ótica; por outro lado, grande parte dessas interpretações só são possíveis de serem feitas, num corpus reduzido, por detalhes explicitamente presentes nos discursos.

Tendo isso em mente, o método empregado para a análise das palestras é o de Análise Textual Discursiva (ATD), proposto por Roque Moraes e Maria do Carmo Galiazzi, que, nas palavras dos autores (p.162), “assume pressupostos que a localizam entre os extremos da AC e AD” (MORAES e GALIAZZI, 2016). Numa interpretação desse tipo, os significados inferidos a partir dos materiais analisados nem sempre são únicos, não sendo possível atingir uma neutralidade absoluta na análise, pois os significados dependem da perspectiva e dos objetivos que o intérprete tem ao fazer o estudo. Nossa intenção é encontrar informações que se relacionem a conceitos de NdC, particularmente às dimensões de confiabilidade do conhecimento científico.

No nosso caso, o *corpus* de análise é o conjunto dos discursos oficiais ministrados pelos laureados na ocasião da premiação. A fim de se entender o contexto da premiação e as perspectivas trazidas por cada laureado, foram feitos estudos biográficos, leitura de fontes secundárias sobre os episódios históricos abordados e também a leitura de discursos proferidos por outros durante a premiação, por exemplo, o chamado “discurso de apresentação”, no qual alguma autoridade relacionada ao comitê científico do Prêmio Nobel apresenta os premiados ao público os motivos pelos

quais foram escolhidos. Todas as traduções foram feitas por nós. Conforme forem citados trechos dos discursos, será apontado o parágrafo conforme o documento oficial.

A análise realizada passa por cinco etapas, que podem ou não ocorrer de forma sequencial e cronológica:

- **Seleção do material:** Identificação das amostras de informação a serem analisadas; primeira leitura dos materiais a fim de se averiguar se a seleção é compatível com os objetivos da pesquisa, isto é, se os documentos são pertinentes e representativos. Além disso, é feita uma primeira codificação dos documentos, ou seja, atribuímos índices aos materiais a fim de facilitar a referência a trechos específicos. No caso deste estudo, como nenhuma das transcrições estudadas possui numeração nos parágrafos, a numeração foi dada por nós considerando a versão disponível no *website* do Prêmio Nobel.

- **Unitarização:** Os materiais são relidos para que as unidades de análise sejam explicitadas, isto é, as frases, palavras, temas ou trechos que trazem informações relevantes aos objetivos da análise são destacados para posterior aprofundamento. Nesse caso, é possível separar trechos especialmente relevantes dos discursos para que as ideias neles abordadas sejam aprofundadas de acordo com os objetivos desta pesquisa. A unitarização do material analisado dá-se pela separação entre os parágrafos conforme as transcrições oficiais dos discursos.

- **Categorização:** Nesta etapa, os dados são agrupados de acordo com categorias de similaridade; trata-se de uma classificação dos elementos que foram selecionados dos materiais segundo critérios determinados pelo intérprete. As categorias foram determinadas de acordo com as dimensões de confiabilidade do conhecimento científico. Em cada uma das análises, separamos em subseções, que representam essas categorias, os fragmentos dos discursos que explicitam os aspectos de NdC que queremos enfatizar.

- **Descrição:** Aqui é feita a comunicação dos resultados do trabalho realizado, sem, no entanto, ainda fazer inferências interpretativas. No caso da abordagem qualitativa, esta etapa é representada pela produção de sínteses a respeito de cada um dos materiais analisados, utilizando, quando pertinente, citações diretas ao material.

- **Interpretação:** Na última etapa, além de aprofundar e interpretar ideias que possam ter sido apresentadas na etapa da descrição, também é possível tentar

construir generalizações dos resultados obtidos, isto é, se as informações apresentadas podem ser extrapoladas a outros contextos, caso positivo, a quais.

Em todas as leituras, demos ênfase a aspectos que pudessem salientar, de maneira direta ou indireta, conceitos relacionados à ciência integral. De maneira geral, aspectos sobre como os cientistas tinham a intenção de transmitir suas visões de ciência. Por isso, tanto a parte da categorização quanto a da interpretação estão permeadas por essa linha de raciocínio.

Ao fim, pudemos fazer uma comparação entre todos os casos estudados, explicitando quais aspectos foram encontrados. Esse tipo de metodologia de análise pode ser explorado com outros conjuntos de materiais historiográficos, por exemplo outras palestras do Prêmio Nobel que não foram tratadas em nossa pesquisa.

6 ANÁLISES DAS PALESTRAS

6.1 PRÊMIO NOBEL DE QUÍMICA DE 1911

Figura 2: Gráfico da Popularidade de Marie Curie no Prêmio Nobel de Química ao longo de 100 semanas, entre 1/1/2016 e 17/11/2017. Elaborado pelo autor.

O Prêmio Nobel de Química de 1911 foi entregue a Maria Salomea Sklodowska, ou Marie Curie (1867-1934), “em reconhecimento aos seus serviços para o avanço da Química pela descoberta dos elementos Rádio e Polônio, pelo isolamento do Rádio e o estudo da natureza e compostos deste notável elemento” (NOBEL MEDIA AB, 2014). Esta foi a primeira vez que um Prêmio Nobel foi entregue a alguém que já havia sido laureado anteriormente: Marie Curie recebeu o Prêmio de Física em 1903, juntamente com Antoine Henri Becquerel (1852 – 1908) e Pierre Curie²⁸ (1859 – 1906), pela descoberta do fenômeno da radioatividade. Conforme vemos na Figura 2, a popularidade de Marie Curie sempre se manteve alta entre o público que acessa o *website* do Prêmio, não tendo havido qualquer situação em que a cientista tenha ficado abaixo da 7ª colocação. Devido ao grande número de materiais sobre a cientista que

²⁸ Pierre era marido de Marie. A filha do casal, Irène Joliot-Curie (1897 – 1956), também chegou a ganhar o Prêmio de Química em 1935, pela “descoberta da radioatividade artificial”, juntamente com seu marido Frédéric Joliot-Curie (1900 – 1958). Este não foi o único caso em que pessoas de uma mesma família foram laureadas em ocasiões distintas. Niels Bohr (1885 – 1962) recebeu o Prêmio de Física em 1922. Um de seus filhos, Aage Niels Bohr, recebeu o Prêmio em 1975. Em outro caso parental, pai e filho ganharam o Prêmio de Física no mesmo ano: William Henry Bragg (1862 – 1942) e William Lawrence Bragg (1890 – 1971) foram laureados em 1915.

foram publicados ao longo dos anos, podemos compreender que, de fato, ela é uma das cientistas mais populares a ter sido reconhecida pelo Nobel.

Tamanha popularidade, por outro lado, nos apresenta uma dificuldade adicional em entender mais sobre a vida e a obra de Marie Curie. Com tantos materiais publicados, sendo muitos deles biográficos, é impossível, para o escopo de uma dissertação como essa, analisar tudo aquilo que se sabe sobre a cientista. Nos baseamos em alguns materiais biográficos e historiográficos específicos para entendermos o discurso da cientista em seu contexto. No entanto, é possível que estudos que visem explicitar outros aspectos da complexa vida da cientista por meio de seu discurso no Prêmio Nobel possam fazer relações que nos escapam.

Marie Curie participou ativamente de algumas das grandes mudanças pelas quais a química passou na virada do século XIX para o XX. Em específico, a descoberta da radioatividade e de novos elementos foi fundamental para que novas pesquisas, de áreas completamente novas da química, fossem iniciadas. Enquanto que, na premiação de 1903, Marie Curie fora reconhecida pela descoberta da radioatividade, em 1911 o foco da premiação foi a respeito da descoberta de novos materiais radioativos, além do conhecido urânio: tratam-se do polônio²⁹ e do rádio³⁰.

A comunidade científica da época buscava consolidar os métodos da ciência, ressaltando que a química, por exemplo, se baseava em estudos sistemáticos e rigorosos. Apesar de hoje esses aspectos serem facilmente associados às ciências, não foi sempre assim. Por isso, durante o discurso de apresentação do Prêmio, o então presidente da *Academia Real de Ciências da Suécia*, Erik Wilhelm Dahlgren (1848 – 1934), ressalta a realização de uma série de “procedimentos químicos sistemáticos, que foram longos e árduos”, após uma “conclusão lógica” a respeito da origem da alta radioatividade presente em pechblenda (atualmente conhecida como uraninita, um mineral rico em urânio). O enfoque nos procedimentos “sistemáticos” e na “conclusão lógica” são representativos dessa busca de consolidação das ciências por meio de um método indutivo, fortemente influenciado pelo positivismo científico.

Dahlgren também ressalta que os trabalhos de Marie Curie marcaram, pela primeira vez na Química, a transmutação dos elementos e que essa descoberta revolucionaria a Química, marcando uma nova época. Ao fazer a associação com o

²⁹ Batizado em homenagem à nacionalidade polonesa de Marie Curie.

³⁰ Que tem esse nome devido à emissão de radioatividade.

conceito de “transmutação”³¹ dos alquimistas antigos, Dahlgren ressalta a não necessidade de um caráter místico para a realização do processo químico:

A teoria da transmutação, cara aos alquimistas, tem sido inesperadamente trazida de volta à vida, mas agora numa forma exata, sem a presença de qualquer elemento místico; e a pedra filosofal com a propriedade de induzir tais transmutações não é mais um misterioso e elusivo elixir, mas algo que a ciência moderna chama de energia³². (DAHLGREN, 1911)

A menção explícita a uma quebra do caráter místico que era trazido, no contexto da química, pela lembrança histórica da alquimia, que historicamente teve muitas relações com o desenvolvimento da química moderna³³, condiz com o contexto filosófico da época, em que o positivismo tinha grande influência no pensamento científico. No começo do século XX, buscava-se um distanciamento de explicações baseadas em argumentos místicos, especialmente no campo das ciências, em prol de uma valorização de formulações supostamente neutras e puramente objetivas a respeito do funcionamento do mundo natural. Nesse contexto, demarcar com clareza uma quebra entre o que estava sendo desenvolvido na Química (neste caso) e o que se considerava sobre este campo da ciência em épocas anteriores, era de interesse para a visão filosófica da época, pois era uma maneira de demonstrar uma espécie de superioridade epistemológica em relação ao que havia ocorrido em tempos anteriores.

Uma das características marcantes do pensamento positivista nas ciências diz respeito às ideias indutivistas a respeito de como a ciência progredia. A crença em um único método científico, seguro, confiável, atemporal e ahistórico, que guiaria, através

³¹ Transmutação significa a transformação de um elemento em outro. Atualmente, em muitos campos da ciência sabemos que ocorre a transmutação dos materiais, devido a processos físicos ou químicos. No entanto, para os alquimistas de tempos anteriores, a transmutação dos elementos carregava consigo um significado também místico. Ao se buscar a transformação de chumbo em ouro, por exemplo, via-se uma relação também da natureza humana se transformando de um estado degradado a um estado nobre. As relações simbólicas e metafóricas da alquimia são um dos pontos de desconexão entre esse sistema de conhecimento e as ciências tais quais passamos a conhecer na época de Marie Curie.

³² Mesmo essa comparação feita por Dahlgren é passiva de questionamentos, segundo o pensamento atual. Associar o elixir dos alquimistas com energia pode ser problemático, pois se tratam de conceitos pertencentes a visões de mundo completamente distintas. Enquanto que o elixir trazia, consigo, conotações simbólicas, místicas e metafóricas para além da questão puramente física e química, o conceito de energia, tal qual entendido no contexto das ciências atuais, não tem o mesmo significado do primeiro.

³³ A química moderna, no entanto, *não é* uma “evolução” do pensamento alquímico, que, por sua vez, era muito mais complexo e com mais nuances do que costuma ser tratado em livros textos. Um estudo sobre as visões estereotipadas e errôneas que existem acerca de campos como a alquimia e a astrologia pode ser visto em (PRINCIPE, 2015).

da razão e da lógica, todas as descobertas da ciência, estavam em voga neste contexto³⁴. Como veremos mais adiante, a própria laureada em alguns momentos transparece uma crença epistemológica com forte viés indutivista, relacionada a esse tipo de entendimento sobre o trabalho científico, o que está de acordo com as visões aceitas até os dias atuais pela população em geral e mesmo muitos cientistas.

A palestra proferida por Marie Curie em 1911 chama-se “Rádio e os Novos Conceitos em Química”. No início da palestra, Curie menciona a descoberta feita anteriormente, por Henri Becquerel, posteriormente pesquisada por ela e seu marido Pierre Curie, do fato de certas substâncias emitirem radiação³⁵. Segundo a cientista, a partir da descoberta de novas fontes de radiação, o progresso científico nesta área ocorreu rapidamente e uma nova área da ciência estava em desenvolvimento. Isto é dito logo no primeiro parágrafo, no trecho:

Graças à descoberta de novas e muito poderosas substâncias radioativas, especialmente o rádio, o estudo da radioatividade progrediu com uma rapidez maravilhosa: descobertas seguiram-se em sucessões rápidas. Era óbvio que um novo campo da ciência estava em curso de desenvolvimento. (CURIE, 1911)

A seguir, Marie Curie salienta a importância dos trabalhos de Ernest Rutherford, vencedor do Prêmio Nobel de Física de 1908. No terceiro parágrafo, Curie repete como a área da radioatividade estava sendo desenvolvida, apresentando a importância do desenvolvimento de teorias gerais sobre determinado conhecimento:

Longe de ser estático, o desenvolvimento da nova ciência tem constantemente continuado, seguindo um curso ascendente. E agora, apenas 15 anos após a descoberta de Becquerel, estamos face a face com um novo mundo de fenômenos pertencendo a um campo que, apesar de sua conexão próxima com campos da Física e da Química, é particularmente bem definido. Neste campo, a importância do Rádio pelo ponto de vista de teorias gerais tem sido decisiva. A história da descoberta e do isolamento desta substância tem fornecido prova para minha hipótese de que a radioatividade é uma propriedade atômica da matéria e pode prover meios de buscar novos elementos. (CURIE, 1911)

Nos três parágrafos seguintes, Marie Curie reforça a importância do trabalho de Rutherford, Becquerel e, especialmente, de Pierre Curie, o qual, além de aparecer mais

³⁴ Críticas a esse ideal foram feitas por muitos pensadores ao longo do século. Para um sumário dos porquês de ser nocivo, até mesmo para o desenvolvimento científico, defender a existência de um método científico único, ver (WOODCOCK, 2014; THURS, 2015).

³⁵ A compreensão do que é radioatividade foi um processo, não tendo ocorrido de forma simples, óbvia ou linear. O caminho até um entendimento sobre este fenômeno foi longo e complexo. Uma abordagem crítica sobre o episódio da “descoberta” da radioatividade pode ser conferido em (MARTINS, 1990).

vezes nesta comunicação, também teve papel importante no discurso de aceitação do Prêmio de Marie. Em vários momentos, ela se refere ao ato de homenagear a memória do ex-marido, falecido alguns anos antes.

Para nossa análise, um aspecto tem especial destaque na fala da cientista. Trata-se da defesa que ela faz de um método científico. O método defendido por Curie em muito se assemelha à visão que até hoje é divulgada em materiais instrucionais básicos de ciências. Tal método, baseado em observações desinteressadas, estudos sistemáticos e guiado pela lógica e pela razão, tem sido problematizado e questionado há muito tempo. No entanto, verificar como Marie Curie entendia o trabalho científico como guiado por esse método indutivo nos fornece subsídios para entender o trabalho da cientista em seu contexto.

6.1.1 O MÉTODO CIENTÍFICO

Como já mencionado, uma ideia bastante enfatizada pelo discurso proferido por Marie Curie é a de que existe, em seu trabalho, uma metodologia científica bem delimitada e linear. Os parágrafos 10, 11, 12 e 13 são particularmente importantes para essa análise, pois eles apresentam uma sequência muito bem delimitada de como Marie Curie entendia o processo de produção de conhecimento científico (nossa ênfase³⁶):

10 **Fiquei chocada** pelo fato de que a atividade dos compostos de urânio e tório parecia ser uma propriedade atômica do elemento urânio e do elemento tório.

11 **Eu medi** a atividade de um número de minerais; todos eles que pareciam ser radioativos sempre continham urânio ou tório. Mas um fato inesperado foi notado: certos minerais (pechblenda, torbernita, autunita) tinham uma atividade maior do que o esperado com base no conteúdo de urânio ou tório. [...] Para explicar este ponto eu preparei torbernita sintética de produtos puros e obtive cristais, cujas atividades eram completamente consistentes com o conteúdo de urânio; esta atividade é cerca de metade da do urânio.

12 **Eu então pensei** que a atividade maior dos minerais naturais deve ser determinada pela presença de uma menor quantidade de um material altamente radioativo, diferente de urânio, tório e dos elementos conhecidos atualmente.

13 **Fomos, então, levados a criar um novo método** de procurar elementos, um método baseado em radioatividade, considerada uma propriedade atômica da matéria. Cada separação química é seguida por uma medição da atividade dos produtos obtidos. Dessa maneira, é possível determinar como a substância ativa se comporta do ponto de vista químico. Este método veio a ter aplicações gerais, sendo similar, em algum sentido, à análise espectral. Devido à alta variedade da radiação emitida, o método pode ser aperfeiçoado e estendido, de forma que seja

³⁶ Sempre que forem feitas citações à transcrição da palestra, o número dos parágrafos aparecerá à esquerda. Além disso, a menos que indicado o contrário, todas as ênfases nas citações serão colocadas por nós.

possível não apenas descobrir materiais radioativos, mas distingui-los entre si com grande certeza. (CURIE, 1911)

Essa sequência de ações é uma mostra de como Marie Curie entendia o desenrolar do trabalho científico como um método linear, cronológico e bem definido: primeiramente, segundo ela, houve uma observação de certo fenômeno inesperado; a seguir, foi necessário realizar medidas exaustivas sobre o fenômeno, para apenas então poder haver uma explicação sob a luz dessas medições objetivas. Apenas no final de todo esse processo seria permitido tecer conclusões ou generalizações a respeito do que fora observado. Essa sequência exemplifica a visão indutivista clássica.

Quando Marie diz que ficou “chocada”³⁷ com a observação, temos uma representação do caráter supostamente desinteressado das observações científicas. O início de toda descoberta, segundo essa visão de método, se dá por algo inesperado, desprovido de preconceitos, observado diretamente da natureza. No caso de Marie Curie, o problema desse tipo de defesa se dá quando pensamos a respeito do longo caminho que a cientista, junto com seus colaboradores, trilhou para desenvolver seus trabalhos. Tendo formação acadêmica em física e experiência com as ciências, é difícil acreditar que as observações feitas por Marie Curie realmente eram desprezíveis. Ao se experienciar um fenômeno físico ou químico, a cientista já trazia consigo uma visão de mundo específica. Essa visão de mundo tem influência na forma como a cientista tratou do fenômeno, como pensou em estudá-lo nas etapas seguintes.

Ao mencionar que, primeiro ela “mediu” e só então ela “pensou”, também há a ideia de que as conclusões e interpretações sobre os fenômenos naturais só se dão necessariamente após medidas frias. Isso também é passível de questionamento. Ao se medir certas propriedades, empregando métodos específicos, já há uma teoria a respeito do funcionamento da natureza. Portanto, colocar que o pensamento só vem no final é uma simplificação conforme o que entendemos hoje. Na época de Marie Curie, no entanto, essa racionalização do trabalho científico era desejável, pois o contexto demandava que as ciências fossem apresentadas dessa maneira. Portanto, ao se ter contato com esse tipo de relato apresentado por Curie em 1911, devemos tomar cuidado com anacronismos: por um lado, é evidente que a visão da cientista não se sustentaria com um entendimento crítico das ciências conforme o que consideramos atualmente.

³⁷ Em inglês, a palavra que aparece é *struck*, que literalmente significa “golpeada”.

Por outro, Marie Curie, como todo profissional das ciências, influencia e é influenciado pelo contexto filosófico e institucional de sua época.

Sob a abordagem da Ciência Integral, o discurso de Marie Curie tem mais ênfase nas dimensões observacionais e conceituais do desenvolvimento científico. Não são abordados, por exemplo, temas referentes à colaboração ou competição entre cientistas, nem o papel que outros trabalhadores, por exemplo, técnicos de laboratório, tiveram nas descobertas. No entanto, a forma como Marie Curie racionaliza o processo de seus trabalhos revela um caráter da dimensão sociocultural: ao salientar em sua narrativa como entende o fazer científico, enfatizando o papel da razão e da lógica, Curie deixa transparecer um aspecto de sua personalidade enquanto cientista e a influência do pensamento filosófico de sua época. Dessa maneira, esse material pode ser ilustrativo a respeito da dimensão humana, no sentido das convicções e crenças epistemológicas³⁸, influenciando na comunicação de uma descoberta ou de um estudo científico. De maneira contraditória, Marie Curie, ao defender uma ciência totalmente guiada por evidências, medições, método e razão, demonstra como convicções pessoais podem estar presentes num trabalho científico.

Marie Curie foi uma cientista bastante importante para a física e para a química. Seus desenvolvimentos sobre a ciência das radiações tem consequências diretas em muitas das pesquisas realizadas atualmente. De fato, o discurso proferido por ela no Prêmio Nobel é de tamanha importância que outras leituras podem ser realizadas, chegando-se a outras conclusões, distintas das nossas. Um exemplo da análise da palestra de Marie Curie, acompanhada da análise da palestra de seu marido Pierre em 1903, pode ser encontrado na literatura (CORDEIRO e PEDUZZI, 2010). No entanto, as conclusões alcançadas diferem das que chegamos a partir da abordagem de ciência integral. Acreditamos que o uso conjunto desses dois tipos de análise pode ser frutífero para que, no ensino de ciências, apreendam-se visões complementares a respeito das palestras dos Curie quando receberam o reconhecimento máximo das ciências.

³⁸ Entendemos “crença epistemológica” como sendo as convicções que existem a respeito de como se deve construir um conhecimento confiável nas ciências. Cada cientista tem uma visão pessoal a respeito de quais devem ser os valores, objetivos e métodos das ciências. Essas visões são influenciadas pelo contexto do cientista. Mesmo com essas convicções distintas, é possível construir conhecimentos confiáveis e validados de maneira sólida, que podem continuar válido em outras épocas e contextos. Essa é uma das razões pelas quais as ciências devem ser tomadas de maneira crítica. Em nossa percepção, esses processos de validação do conhecimento científico, reconhecendo o papel das influências pessoais e sociais de cada cientista, afastam a ideia de relativização das ciências em relação a outros campos do conhecimento.

6.2 PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA DE 1930

Figura 3: Gráfico da Popularidade de Sir Chandrasekhara Venkata Raman no Prêmio Nobel de Física entre 1/1/2016 e 17/11/2017. Elaborado pelo autor.

O Prêmio Nobel de Física de 1930 foi dado a Chandrasekhara Venkata Raman (1888 – 1970), nascido na Índia e que, embora tenha desenvolvido parte de suas pesquisas na Inglaterra³⁹, na época do Prêmio era filiado à Universidade de Calcutá, na Índia. O Prêmio foi dado devido "aos seus trabalhos sobre o espalhamento da luz e da descoberta do efeito nomeado em sua homenagem" (NOBEL MEDIA AB, 2014). Conforme o gráfico apresentado na Figura 3, a popularidade de Raman costuma ser alta, mas em alguns períodos curtos o cientista é preterido por outros. Um dos possíveis motivos para essa oscilação é o fato de que, imediatamente após o anúncio dos Prêmios do ano, os cientistas recém laureados ficam muito populares por um tempo. Neste tempo, alguns dos outros cientistas mais antigos são menos buscados. Mesmo assim, Raman é relevante para nossa pesquisa pois se trata de um dos poucos representantes de laureados científicos que não são oriundos do eixo Europa-EUA. Nas ciências atuais, o trabalho de Raman ainda é relevante por ter possibilitado novas áreas de pesquisa na espectroscopia. A “espectroscopia Raman” é uma metodologia de pesquisa bastante utilizada para as pesquisas científicas modernas.

O discurso de apresentação do Prêmio foi ministrado pelo Professor Henning Pleijel (1933-1943). Nesse discurso, é oficializado que Raman descobriu o efeito cujo

³⁹ A Índia era colônia britânica nesta época.

nome foi dado em sua homenagem, logo no primeiro parágrafo. Isso é importante para nossa análise, pois, como veremos adiante, houve controvérsias a respeito de quem deveria ser reconhecido pelo efeito físico batizado por Raman. Ao longo do discurso, Pleijel comenta brevemente a respeito dos precedentes dos estudos a respeito da natureza do espalhamento da luz. No entanto, mesmo citando trabalhos anteriores, os trabalhos soviéticos que foram apresentados ao Nobel nesse mesmo ano de 1930, como sendo concorrentes à descoberta de Raman, não foram mencionados.

É reforçado, no discurso, que:

A explicação deste fenômeno, que recebeu o nome de "Efeito Raman" em homenagem ao seu descobridor, foi encontrada pelo próprio Raman, com ajuda das concepções modernas da natureza da luz. De acordo com essa concepção, a luz não pode ser emitida ou absorvida de um material a menos que seja na forma de montantes definidos de energia, ou o que conhecemos como "quanta de luz". Então a energia da luz possui uma espécie de caráter atômico. Um quantum de luz é proporcional à frequência dos raios de luz, então no caso de uma frequência que é duas vezes maior, os quanta dos raios de luz serão também duas vezes maiores (PLEIJEL, 1930).

Dessa forma, temos um forte indício de que o Prêmio Nobel de fato não é neutro. Como veremos, mesmo com o conhecimento de outros trabalhos, sobre um mesmo fenômeno físico, numa mesma premiação, o comitê opta por oficializar a descoberta como sendo de um cientista em detrimento de outros.

Quanto ao fenômeno em si, o efeito Raman se refere a uma diferença que ocorre no comprimento de onda da luz, quando os fótons interagem de maneira inelástica com algumas moléculas e interfere com o estado vibracional destas. O efeito começou a ser pesquisado, segundo Raman em sua palestra, a partir de uma observação desinteressada, quando o cientista estava observando o Mar Mediterrâneo e ficou fascinado pela opalescência da água. No início da palestra, Raman nos dá diversos aspectos interessantes sobre o que ele pensava a respeito de seu trabalho. Lê-se, no primeiro parágrafo:

1 Na história da ciência, nós ocasionalmente vemos que o estudo de um certo fenômeno natural foi o ponto de partida no desenvolvimento de uma área nova do conhecimento. Vemos isso, por exemplo, na cor do céu, que inspirou muitas investigações ópticas e cuja explicação, depois proposta pelo Lorde Rayleigh, e subsequentemente verificada por meio de observação, marcou o início do nosso conhecimento sobre o tema desta palestra. Ainda mais chocante, apesar de não ser algo tão familiar a todos, é a cor exibida pelas águas oceânicas. Uma viagem à Europa no verão de 1921 deu-me a primeira oportunidade de observar a incrível opalescência azul do Mar Mediterrâneo. Não parecia improvável que o fenômeno tivesse origem no espalhamento da luz do Sol pelas moléculas de água. Para testar essa explicação, parecia desejável definir as leis

que governavam a difusão da luz em líquidos. Experimentos sobre esse assunto começaram imediatamente quando retornei a Calcutá em Setembro de 1921. Logo ficou evidente, no entanto, que o assunto tinha uma significância muito maior do que o propósito especial sobre o qual o trabalho havia começado. Parecia de fato que o estudo do espalhamento da luz poderia levar a um dos problemas mais profundos em Física e Química. Foi essa crença que levou o assunto a se tornar o principal tema de nossas atividades em Calcutá desde aquele tempo (RAMAN, 1930).

Um caráter geral que chama atenção, neste discurso e concorda com visões de ciência da época, por exemplo, a expressa por Marie Curie 19 anos antes, é a racionalização e o enfoque do aspecto linear da descoberta e investigação científica. Raman conta que uma pesquisa tão complexa teve origem numa observação desinteressada, quase que ao acaso. Após um choque inicial os trabalhos sistemáticos, objetivos, experimentais passaram a ser desenvolvidos metodicamente em seus laboratórios. Novamente, assim como no caso de Curie, Raman tinha uma formação científica sólida à época. É impossível concordar que o cientista, ao observar um fenômeno natural, pudesse ser desprovido de quaisquer teorias pré-concebidas a respeito da natureza.

Ao comentar que teve interesse no fenômeno na opalescência ao contemplar o Mar Mediterrâneo, Raman corrobora uma visão muitas vezes trazida por materiais de divulgação científica e também livros-textos, que se apoiam numa visão estereotipada de ciência. Não parece ser factível que um grande projeto de pesquisa, como o realizado por Raman e seus colaboradores, possa ter sido justificado a todas as instituições envolvidas por meio de um conto anedótico como o apresentado.

Essa necessidade de apoio institucional fica evidente em outro trecho da palestra. Pode ser notada a ênfase que Raman dá ao papel de da colaboração entre cientistas e da importância das condições materiais para que os resultados sejam conclusivos. No oitavo e no nono parágrafos, Raman relata como o uso de um aparelho melhor foi decisivo para a pesquisa:

8 A principal dificuldade que nos oprimia no estudo do novo fenômeno era sua extrema fraqueza. Isso foi resolvido usando um telescópio refrator de 7 polegadas, em combinação com uma lente de foco curto para condensar luz solar com grande intensidade...

9 Graças à nova iluminação disponível por meio do refrator de 7 polegadas, a examinação espectroscópica do efeito, que havia sido abandonada em 1925 por ser inconclusiva, agora estava ao alcance do estudo visual direto (RAMAN, 1930).

Essa importância das condições materiais para a pesquisa científica é relevante para ser discutida até os dias de hoje. Em todas as etapas de uma investigação científica, é sumariamente necessário que os profissionais tenham condições adequadas para

realizarem seus trabalhos. Ao se renegar essas condições, podem ser perdidos muitos estudos que, de outra maneira, poderiam gerar conhecimentos novos que ampliariam o conhecimento da humanidade a respeito da natureza. Por isso, num contexto em que se questionam, por exemplo, investimentos para a pesquisa científica, ter conhecimento de um caso histórico relevante em que esse investimento marcou a diferença entre a conclusividade e a não conclusividade de uma série de estudos é importante.

Alguns aspectos da premiação de Raman são especialmente interessantes para se abordar ciência de forma contextualizada em relação ao modo como a sociedade se organiza e como isso influencia no desenvolvimento científico. Primeiramente, é notável que Raman, sendo indiano, tenha ganhado o Prêmio numa época em que majoritariamente os ganhadores eram de origem europeia. Mesmo comparando com o estado atual do Nobel, pouquíssimos pensadores de países que ficam fora do eixo Europa-EUA tiveram o reconhecimento, especialmente em áreas científicas. Raman ter sido premiado é um caso de exceção, que, ironicamente, concorda com um dos ideais propostos por Alfred Nobel quando da criação do Prêmio: a internacionalidade da ciência.

Outro detalhe importante da premiação de Raman diz respeito às condições que ele tinha para dedicar-se ao trabalho científico. Raman era um brâmane. Portanto, possuía condições financeiras e sociais para dedicar sua vida ao trabalho intelectual (PARAMESWARAN, 2011). Esse detalhe pode trazer uma reflexão a respeito de que setores da sociedade acabam tendo maior reconhecimento nos desenvolvimentos científicos. Por consequência, pode ser debatido sobre qual o público alvo dos produtos finais da ciência. Este tema é, obviamente, bastante complexo, não sendo possível tratá-lo de forma minimamente razoável em poucos parágrafos. No entanto, ter em mãos uma fonte primária de um cientista que, embora de origem periférica em relação ao eixo europeu-estadunidense, era parte de uma elite privilegiada em seu próprio país, pode afastar um pouco da imagem estereotipada que existe a respeito do trabalho científico, que presumidamente poderia ser realizado em iguais condições por quaisquer pensadores.

Por fim, outro aspecto que chama atenção na premiação de Raman é uma controvérsia envolvendo o reconhecimento deste cientista e o não reconhecimento de outros que registraram ter estudado o mesmo fenômeno físico em sua época. Nesse caso, a influência de Raman em círculos científicos específicos, juntamente com a atitude do cientista em publicar o mais rápido possível seus resultados, ainda que

parciais, de pesquisa, foram determinantes para sua premiação. Trataremos esses três aspectos nas seções seguintes.

6.2.1 OS MUITOS BRAÇOS DA CIÊNCIA INDIANA

Em muitas ocasiões, Raman realça a importância que o trabalho coletivo teve na descoberta, nomeando individualmente cada um dos cientistas que trabalharam com ele, descrevendo o que cada um estava encarregado de fazer. Vemos, por exemplo, nos parágrafos 3, 4 e 5:

3 O espalhamento da luz em fluidos foi estudado por **Ramanathan** ao longo de um grande intervalo de pressões e temperaturas, com resultados que pareciam suportar a teoria de “flutuação” da origem. Seu trabalho também descobriu mudanças notáveis no estado da polarização que acompanha as variações de intensidade com temperatura em vapores e líquidos. Misturas líquidas foram investigadas por **Kameswara Rao** e forneceram provas ópticas da existência, nestes sistemas, de flutuações simultâneas de densidade, composição e orientação molecular. **Srivastava** estudou o espalhamento da luz em cristais, em relação com as flutuações térmicas da densidade e seu aumento com temperatura. **Ramdas** investigou o espalhamento da luz em superfícies líquidas, devido à agitação térmica, estabelecendo uma relação entre tensão superficial e opalescência superficial. Ele também traçou a transição da opalescência de superfície para a opalescência de volume que ocorre na temperatura crítica. **Sogani** investigou a difração de raios X em líquidos, a fim de conectá-la com o comportamento óptico do material e testar a aplicação da teoria de flutuação ao espalhamento de raios X.

4 ...**Krishnan** examinou muitos líquidos e seu trabalho mostrou muito claramente a dependência da anisotropia óptica das moléculas em suas constituições químicas. **Ramakrishna Rao** estudou a despolarização da luz espalhada em um grande número de gases e vapores, obtendo informações de grande importância para o progresso do assunto. **Venkateswaram** estudou o espalhamento da luz em soluções aquosas para encontrar a influência dela em dissociações eletrolíticas. **Ramachandra Rao** investigou líquidos compostos por moléculas altamente alongadas e também substâncias polares num grande alcance de temperaturas, descobrindo a influência da forma molecular e da associação molecular na despolarização da luz espalhada em líquidos.

5 A interpretação das observações com líquidos envolveu o desenvolvimento de uma teoria molecular de espalhamento de luz em meios densos, que foi feito por **Ramanathan, eu e Krishnan**. (RAMAN, 1930)

A nomeação explícita de tantos colaboradores é uma particularidade de Raman. Ela também pode nos indicar alguma coisa sobre como a ciência estava sendo desenvolvida na época, bem como algumas das ideias pessoais defendidas pelo cientista. O trabalho científico, em vez de ser algo construído isoladamente, como às vezes é fantasiado por obras introdutórias sobre ciências ou materiais de divulgação científica (OLESKO, 2015), é realizado de maneira coletiva, com grupos de pesquisa coordenados, em que cada setor desenvolve uma parte específica de um grande projeto de investigação, mesmo que o objetivo seja, como neste caso, o entendimento de um

fenômeno e o teste de teorias por meio de experimentos que forneçam evidências que a suportem. Essa ideia não é uma novidade, posto que a ciência sempre foi uma construção coletiva. No entanto, essa representação é relevante quando vista no caso de um Prêmio Nobel de 1930, pois, naquela época, era comum pensar na ciência como sendo desenvolvida por alguns poucos pensadores, isolados.

No começo do século XIX, especialmente após os acontecimentos da Primeira Guerra Mundial, a ciência estava cada vez mais sendo desenvolvida por grandes grupos. Parte do que vemos na ciência atual, as grandes colaborações, consórcios internacionais e desenvolvimentos que abrangem milhares de cientistas de muitos países, isto é, o que se convencionou chamar de *Big Science*, tem algumas de suas sementes no que aconteceu com a ciência até a metade do século XX. Por isso, vislumbrar no discurso de Raman esses aspectos pode ser esclarecedor para notarmos o quanto esse tipo de estratégia de pesquisa passou a ser importante e como os próprios objetivos e objetos de investigação científica estão numa ordem de grandeza maior do que o que se concebia em tempos anteriores.

Essa menção aos colaboradores nos revela, também, que Raman considerava importante realçar o trabalho de seus colegas indianos. Fazer uma propaganda da ciência indiana era importante para Raman. Mencionar esses profissionais numa ocasião de tamanha repercussão quanto o Prêmio Nobel é uma forma eficiente de se chamar atenção para esse ponto. Ao mencionar seus “hábeis colaboradores”, Raman enfatiza que o papel deles não se restringiu somente a serem auxiliares, mas destaca o papel ativo que cada um teve no processo da pesquisa, chegando, inclusive, a contribuir para o desenvolvimento da teoria física que foi construída para explicar o fenômeno.

6.2.2 O USO DAS ANALOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIENTÍFICA

Raman, como qualquer cientista, não vivia isolado do contexto científico de sua época. Por isso, é importante ressaltar que, na apresentação de Raman, ele desenvolve parte de seus argumentos com base na explicação que já era conhecida sobre um outro fenômeno: O espalhamento de Compton⁴⁰.

Esse fenômeno é bastante explorado por Raman na seção “O análogo óptico do Efeito Compton”, em seu discurso. Novamente citando seus colaboradores, Raman

⁴⁰ O espalhamento de Compton, nomeado em homenagem a Arthur Holly Compton (1892-1962), que recebeu em 1927 o Nobel de Física pelos estudos sobre esse efeito, trata-se de um experimento que, ao realizar um espalhamento entre raios X e elétrons, forneceu evidências para a aceitação da existência dos fótons (COMPTON, 1923).

comenta que, ao serem estudados os diversos experimentos feitos sobre o Efeito Raman, a analogia com o Efeito Compton foi conveniente. Vemos, no parágrafo 7:

7 Testes foram realizados com uma série de filtros transmitindo regiões estreitas do espectro solar e colocados no caminho do feixe incidente, o que mostrou que em todo caso a cor da luz espalhada era diferente daquela da luz incidente e era desviada em direção ao vermelho. As radiações eram também fortemente polarizadas. Estes fatos indicaram uma clara **analogia** entre os aspectos empíricos do fenômeno e o Efeito Compton. **O trabalho de Compton trouxe familiaridade à ideia de que o comprimento de onda da radiação poderia ser degradado⁴¹ no processo de espalhamento e as observações com glicerina sugeriram para mim que o fenômeno que havia nos intrigado desde 1923 era, de fato, um análogo óptico do Efeito Compton.** Essa ideia naturalmente estimulou maiores investigações com outras substâncias (RAMAN, 1930).

Num trecho do parágrafo seguinte, Raman continua:

8 Gases comprimidos, como o CO e N₂O, gelo cristalino e vidros ópticos também exibiam as radiações modificadas. **Essas observações deixaram poucas dúvidas de que o fenômeno era realmente uma espécie de análogo de espalhamento da luz ao Efeito Compton** (RAMAN, 1930).

O uso de analogias para se explicar um novo fenômeno físico não é algo inédito do trabalho de Raman. Ao longo da história, muitas vezes um fenômeno que não podia ser explicado completamente em termos da ciência construída à época tentava ser explicado em comparação com outros fenômenos conhecidos (GOLINSKI, 1990). Essa ideia, colocada explicitamente por Raman, fornece subsídios para discussões a respeito de como um novo fenômeno é tratado por cientistas em seus trabalhos. É possível discutir que possíveis limitações existem nesse tipo de abordagem, bem como quais problemas podem ser evitados por meio dessa visão.

6.2.3 UM PRÊMIO CONTROVERSO: QUEM DESCOBRIU O EFEITO RAMAN?

O Prêmio dado a Raman é um dos diversos exemplos de reconhecimentos científicos que trazem consigo controvérsias. Na mesma época em que Raman comenta ter iniciado seus trabalhos, isto é, por volta de 1928, havia registros de observações similares do mesmo fenômeno por dois cientistas russos, Grigory Landsberg (1890-1957) e Leonid Mandelstam (1879-1944), que se referiam ao efeito como *espalhamento combinado*.

Diversos fatores impactaram na escolha de Raman, em detrimento da dos russos, para a premiação. Primeiramente, Raman tinha mais contatos dentro dos círculos

⁴¹ Atualmente, essa terminologia não é mais usada. Por “degradado”, Raman quis dizer que o comprimento de onda era alterado no processo.

científicos ocidentais do que os russos, o que refletia a configuração política da época. Além disso, Raman procurava sempre publicar o mais rápido possível suas observações e desenvolvimentos. Esse modo de trabalho também fez com que alguns dos registros oficiais de Raman fossem datados antes dos registros oficiais dos russos. Isso não quer dizer que Raman realizou antes as observações. O comitê encarregado de entregar o Prêmio Nobel tinha conhecimento a respeito do trabalho dos russos. Foram recebidas propostas para que, pelo menos, eles fossem premiados juntamente com Raman, posto que havia evidências documentais de que eles haviam observado o mesmo efeito à mesma época. No entanto, a Academia decidiu reconhecer apenas o indiano (SINGH e RIESS, 2001). O efeito físico, por sua vez, também carrega o nome apenas de Raman⁴², sendo essa nomenclatura reforçada de maneira oficial durante o discurso de apresentação do Prêmio de 1930.

Infelizmente, é difícil ter acesso a todos os materiais que nos permitiriam entender mais a fundo quais são os argumentos que levam a Academia a recusar ou aceitar a proposta de reconhecer um ou outro cientista pelas descobertas premiadas. O trabalho de Singh e Riess sobre o Nobel de Raman pôde analisar informações que não são diretamente disponíveis publicamente, por exemplo as cartas que o comitê recebera com a defesa de cada uma das propostas. Em posse desses arquivos, seria muito mais fácil solucionar (ou pelo menos chegar mais próximo de) algumas das grandes controvérsias que ocorreram em premiações do Nobel, por exemplo, o porquê do brasileiro César Lattes não ter recebido o Prêmio, mesmo após tantas indicações seguidas, ou o caso de Carlos Chagas.

De toda forma, esse aspecto da premiação de Raman já indica que o Prêmio Nobel está longe de ser um reconhecimento pautado pela neutralidade ou somente pelo mérito dos cientistas envolvidos. Muitos outros fatores, por exemplo interesses políticos ou vieses ideológicos, são influentes para a decisão de quem será reconhecido a cada ano.

6.3 PRÊMIO NOBEL DE FISIOLOGIA OU MEDICINA DE 1945

Figura 4: Gráfico da Popularidade de Sir Alexander Fleming no Prêmio Nobel de Fisiologia/Medicina entre 1/1/2016 e 17/11/2017. Elaborado pelo autor.

⁴² Esse detalhe pode ser interessante para uma discussão a respeito dos epônimos nas ciências. Epônimos são homenagens dadas a cientistas por meio da nomeação de efeitos físicos. Geralmente, o nome de um dado efeito não reflete diretamente quem o descobriu (MARTINS, 2015).

O Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1945 foi dado ao britânico Alexander Fleming (1881-1955) “pela descoberta da penicilina e seu efeito curativo em várias doenças infecciosas” (NOBEL MEDIA AB, 2014). Na ocasião, Fleming dividiu em partes iguais o Prêmio com outros dois cientistas, o alemão Ernst Boris Chain (1906 – 1979) e o australiano Sir Howard Walter Florey (1898 – 1968). A popularidade de Fleming é, assim como a de Curie, constantemente alta, conforme vemos na Figura 4. Jamais, desde que iniciamos nossas observações, o cientista ficou abaixo da quarta posição.

Esta palestra é interessante por abordar, tanto no âmbito do discurso da premiação quanto na fala de Fleming, temas de grande interesse contemporâneo para nossa sociedade, por exemplo, o uso de animais em experimentos com fins científicos e o processo pelo qual um medicamento passa desde sua descoberta até sua fabricação em escala industrial. Essas informações começam a ser delineadas no discurso de entrega do Prêmio, feito por Göran Liljestrand (1886 – 1968). Neste discurso, Liljestrand apresenta várias informações importantes para entendermos o contexto da premiação de Fleming. Entre elas, a diferença temporal entre a descoberta da penicilina e o reconhecimento dos cientistas envolvidos, a participação de outros cientistas no processo da descoberta, experimentação animal e as metodologias empregadas.

A primeira informação apresentada no discurso de premiação é sobre a diferença entre a data do trabalho inicial de Fleming e o reconhecimento em forma de laureaço:

A observação realizada pelo Professor Alexander Fleming, que levou à descoberta da penicilina, é agora quase algo clássico. Em 1928, no decorrer dos experimentos com bactérias piogênicas do grupo *staphylococcus* ele percebeu que, ao redor de uma região de mofo que teve chances de contaminar uma de suas culturas, as colônias das bactérias foram mortas e dissolvidas. Fleming fez, anteriormente, um estudo de diferentes substâncias que preveniam o crescimento das bactérias e, dentre outras coisas, encontrou uma em fluido lacrimal e saliva, a então chamada lisozima. [...] Logo foi percebido que a maior parte da espécie *Penicillium* não se formava. Um estudo mais aprofundado mostrou que a espécie que poluía a cultura de Fleming era a *Penicillium notatum*. Essa espécie foi descrita pela primeira vez por Richard Westling, na tese que defendeu no outono de 1911 na Universidade de Estocolmo para o grau de doutor em filosofia – uma ilustração do caráter internacional da ciência, mas também da importância que um trabalho pode acarretar a futuros desenvolvimentos (LILJESTRAND, 1945).

Estes trechos indicam que, mesmo naquela época, após 44 anos da ocasião da primeira premiação, o desejo expresso no testamento de Alfred Nobel, sobre a descoberta a ser reconhecida ter sido realizada no ano anterior, já não era mais contemplado. Liljestrand é enfático ao dizer, nos momentos iniciais de seu discurso, que a descoberta de Fleming é “algo quase clássico”, por se tratar de algo feito muito anteriormente ao Prêmio e na época já ser reconhecido pela comunidade científica. Além disso, outros aspectos são realçados: o caráter internacionalista que o Prêmio deseja transmitir a respeito do desenvolvimento científico e a influência que estudos anteriores têm nas descobertas consideradas como marcos da ciência.

Fleming, na ocasião do Prêmio, dividiu a laureação com outros dois cientistas: Dr. Ernst Boris Chain, bioquímico britânico nascido na Alemanha, que havia mudado sua nacionalidade durante a década de 1930 devido ao crescente nazismo (Chain era de família judia) e Howard Florey, farmacologista e patologista australiano. Liljestrand ressalta as colaborações destes pesquisadores na descoberta da penicilina, principalmente no período entre guerras:

Professor Howard Florey, que devotou sua atenção aos poderes protetivos naturais do corpo contra doenças infecciosas, junto com seus colaboradores, que estudaram a lisozima referida acima, cuja natureza eles conseguiram elucidar. Dr. Ernst Boris Chain, um químico, tomou parte do estágio final dessas investigações. Durante 1938 os dois pesquisadores, de maneira conjunta, decidiram investigar outras substâncias antibactericidas que são formadas por micro-organismos. Nesta conexão eles primeiramente pensaram, de maneira afortunada, na penicilina (LILJESTRAND, 1945).

Apesar de Florey e Chain serem mencionados, há pelo menos um outro cientista que colaborou com Fleming em seus primeiros anos e que teve grande participação na descoberta da penicilina. Trata-se de André Gratia (1893-1950), que na década de 1920, três anos antes de Fleming anunciar suas observações, fez trabalhos relevantes sobre o efeito bacteriolítico do *Penicillium*. Mesmo Fleming, no exato ano de sua premiação

pelo Nobel, num discurso proferido na Universidade de Liège, atribui a Gratia o mérito da descoberta da penicilina (SCOVILLE, BROUWER e DUJARDIN, 1999). No entanto, no discurso ministrado no Nobel, nada é mencionado a respeito do belga. Entraremos em maiores detalhes sobre essa omissão numa das seções de análise da palestra de Fleming.

Outro aspecto controverso sobre a escolha destes laureados em particular é sobre a premiação de Howard Florey, que, apesar de “oficialmente” ter sido reconhecido como alguém que devotou seus esforços e estudos para o trabalho envolvendo penicilina, tinha essa pesquisa como algo secundário em sua carreira. Nas palavras de um de seus alunos, o médico Henry Harris, “o trabalho sobre penicilina foi um parêntese na vida de Florey” referindo-se a um caso histórico em que certos trabalhos considerados secundários pelo cientista acabam conferindo a ele a fama para a posteridade (HARRIS, 1999, p. 100)⁴³.

No discurso de apresentação do Prêmio, também é ressaltada a importância dos experimentos realizados em animais, na visão de Liljestrand. Este tema, que continua relevante em discussões a respeito da ética da pesquisa científica, é abordado de maneira oficial neste discurso:

Experimentos com animais têm um imenso papel na Medicina moderna; de fato seria certamente catastrófico se nós nos aventurássemos a testar remédios em pessoas saudáveis ou doentes, sem primeiramente ter-nos convencido, por meio de experimentos em animais, que o efeito tóxico não é muito alto e que ao mesmo tempo há razões para antecipar um resultado benéfico. Testes em seres humanos podem, no entanto, envolver muitos desapontamentos, mesmo que os resultados dos experimentos em animais pareçam ser claros. À primeira vista esse parecia ser o caso da penicilina, na qual a preparação fazia surgir febre. Felizmente isso era apenas devido a uma impureza. Com melhores preparações foi possível evitar este efeito desagradável (LILJESTRAND, 1945).

Este excerto pode embasar e motivar debates a respeito de como, hoje em dia, os animais são tratados em pesquisas científicas. Atualmente, além de haver mais

⁴³ O contexto da citação diz sobre a importância de Theodor Schwann para o campo da teoria celular no século XIX: “Não há dúvidas de que [Theodor] Schwann [1810-82] era um experimentalista poderoso. Quando ele se mudou para a Bélgica, produziu uma série contínua de descobertas que dariam a ele um lugar honroso na História da Fisiologia, mesmo que ele não tivesse feito nada no campo da microestrutura do tecido. Ele demonstrou a indispensabilidade da bile ao estabelecer uma fístula biliar; construiu uma incubadora de ovos com um termostato primitivo; desenvolveu um termômetro de dois metais; passou vinte anos desenvolvendo dois tipos de aparatos de respiração com lâmpadas; e ele inventou bombas para a remoção de água de minas. **É quase como se o trabalho em teoria celular, que é o principal motivo de sua fama, fosse um parêntese em sua vida experimental, assim como, por exemplo, o trabalho com penicilina foi um parêntese na vida de [Howard] Florey**” (HARRIS, 1999, p. 100, tradução nossa).

alternativas, por exemplo, o uso de simulações computacionais antes de proceder a experimentos *in vivo*, existem questões éticas importantes de serem observadas toda vez que um experimento científico usa animais em seu desenvolvimento. Atualmente, comitês de ética, seguros de vida dos animais e garantias de bons tratos passaram a ser imprescindíveis para uma pesquisa envolvendo animais; a desobediência a essas observações pode levar à interrupção da pesquisa e punição dos responsáveis por ela.

Por fim, Liljestrand refere-se ao uso de múltiplas abordagens metodológicas na pesquisa que levou à premiação de Fleming e seus colaboradores. Este aspecto, abordado de maneira explícita durante uma premiação do Nobel, é relevante para haver um contraponto à ideia popular, mesmo nos círculos mais tradicionais da comunidade científica, de que há um único método científico, seguido por todas as áreas:

A história da penicilina é bem conhecida ao redor do mundo. Ela dá um exemplo esplêndido de métodos científicos diferentes cooperando para um propósito comum maior (LILJESTRAND, 1945).

Vemos, aqui, uma diferença de pensamento entre o que permeava o contexto histórico desta premiação, em 1945, e o que era comum na época da premiação considerada anteriormente, em 1911.

A palestra proferida por Alexander Fleming explica o processo de descoberta da penicilina, quais foram as limitações metodológicas e algumas influências que o laureado encontrou durante sua pesquisa. Desde o primeiro parágrafo, Fleming ressalta que sua palestra é sobre os primeiros dias da penicilina. Mais adiante no discurso, ele reiterará que a descoberta realizada não marcava o fim do processo de construção do conhecimento:

Vou dizer para vocês a respeito dos dias iniciais da penicilina, pois esta é a parte da história da penicilina que conferiu a mim o Prêmio Nobel (FLEMING, 1945).

Quando o cientista diz que essa parte da história da penicilina é a que rendeu o Prêmio Nobel, refere-se ao fato de que, conforme veremos mais adiante neste discurso, a descoberta inicial (e, segundo Fleming, puramente acidental) da penicilina, em seu laboratório em Londres, teve de passar por muitos estágios de desenvolvimento até que se pudesse isolar a substância de maneira que ela ficasse estável e, portanto, pudesse ser utilizada para fins terapêuticos e em larga escala, o que obviamente demandou o trabalho de muitos pesquisadores e esteve envolto por interesses militares e da indústria

farmacêutica. Pelo primeiro parágrafo do discurso de Fleming já fica claro que a ciência, na visão dele, não é produzida por cientistas isolados, mas sim pelo trabalho conjunto de vários pesquisadores investigando um mesmo fenômeno. É possível vislumbrar o caráter de contínua mutação do conhecimento científico, sendo este não um conhecimento definitivo e último, mas sim um processo.

Contraditoriamente ao descrever a descoberta da penicilina como acidental, Fleming não menciona que as observações das propriedades bacteriolíticas do *Penicillium* já eram conhecidas, pelo trabalho de Gratia, anos antes das primeiras comunicações de Fleming.

Um ponto chave para analisarmos o discurso de Fleming por meio da Ciência Integral é mencionado no 22º parágrafo:

22 Eu tinha ficado, desde a guerra de 1914-1918, interessado em antissépticos. Em 1924, descrevi o que eu penso ser provavelmente o melhor experimento que eu já fiz. [O experimento] mostrou de forma dramática a atividade relativa de um químico nas bactérias e nos leucócitos humanos (FLEMING, 1945).

Neste trecho, Fleming explicita que seu interesse pela área de pesquisa específica que, anos mais tarde, renderia seu Prêmio Nobel, foi motivado por uma situação geopolítica de tensão, isto é, a Primeira Guerra Mundial. Ao manifestar essa influência, Fleming acaba por contradizer a visão de que suas observações sobre a penicilina partiram de uma situação desinteressada e inocente. Vemos, então, que a dimensão sociocultural foi importante neste episódio histórico. A “sorte” da observação do cientista não foi desprovida de um viés pré-estabelecido pelos interesses de Fleming.

Uma mostra do caráter temporário e mutável do conhecimento científico reside nos primeiros usos que Fleming fez da penicilina: O primeiro uso prático, segundo Fleming, não foi o Medicinal, mas sim laboratorial para se preparar meios de cultura diferenciais, isto é, meios de cultura de bactérias em que permitiam a análise de influências da presença do mofo de penicilina. O que levou primeiramente às ideias de que a penicilina poderia ser usada em vez de outros compostos químicos para terapias Medicinais foi a análise da toxicidade da penicilina no sangue. Isto porque, naquele contexto, já eram conhecidas outras substâncias, algumas inclusive usadas em tratamentos de certas doenças, que eram bactericidas. No entanto, todas as substâncias Químicas conhecidas, apesar de terem efeito antibacteriano, eram altamente tóxicas ao organismo por também destruírem leucócitos. Ao perceber que a penicilina não tinha

este efeito adverso, Fleming pela primeira vez pensou em seu potencial Medicinal. No 24º parágrafo, lemos:

24 Eu testei todos os químicos que eram usados como agentes antibacterianos e eles se comportaram da mesma maneira – em alguma concentração eles destruíram leucócitos e deixaram as bactérias crescerem. Quando eu testei penicilina da mesma maneira em *staphylococcus*, a história foi diferente. Penicilina bruta iria inibir completamente o crescimento dos *staphylococci* numa diluição de 1 parte em 1000 quando testada em sangue humano, mas não havia mais efeito tóxico nos leucócitos do que havia no meio original de cultura no qual o mofo cresceu. Eu também injetei [penicilina] em animais e não houve aparentemente nenhuma toxicidade. Foi a primeira substância que testei que era mais antibacteriana do que antileucocítica. Foi principalmente isto que me convenceu de que algum dia, quando ela pudesse ser concentrada e tornada mais estável, poderia ser usada no tratamento de infecções (FLEMING, 1945).

Nestes parágrafos, podemos salientar diversos pontos importantes no entendimento de como uma descoberta voltada à saúde, como foi a da penicilina, deve percorrer um complexo processo antes de se tornar disponível para o fim Medicinal. A fim de localização temporal, este relato descrito refere-se aos experimentos que Fleming fez em 1924 (influenciado explicitamente pelo interesse por antissépticos despertado pela Primeira Guerra Mundial, conforme mencionado no parágrafo 22º). Segundo Fleming, estes experimentos não foram imediatamente publicados – no 28º parágrafo ele menciona que só publicou estes resultados em 1929, voltou a mencionar o potencial terapêutico da penicilina em 1936, mas ninguém prestou muita atenção; apenas quase 10 anos depois o assunto voltou à tona.

Nos parágrafos 25, 26 e 29, Fleming descreve algumas dificuldades que encontrou, mesmo quando teve a ideia de que a penicilina poderia ser usada para fins terapêuticos. Também descreve explicitamente como a Segunda Grande Guerra também influenciou diretamente em sua pesquisa e em como a penicilina teve de passar por muitas pesquisas adicionais até poder tornar-se disponível à população:

25 Se eu fosse um clínico ativo, sem dúvidas eu teria usado [a penicilina] mais extensivamente do que eu o fiz, terapeuticamente. [...] Tive grande dificuldade em achar um paciente adequado para os testes. Devido à instabilidade não havia, em geral, estoque de penicilina se surgisse um caso adequado. Alguns poucos testes deram resultados favoráveis, mas nada miraculoso. Eu estava convencido de que, antes de poder usar [a penicilina] extensivamente, ela deveria ser concentrada e o fluido de cultura removido.

26 Nós éramos bacteriologistas – não químicos – e nossos procedimentos relativamente simples não eram reveladores, o que não é surpreendente tendo em vista o trabalho que os químicos têm tido com a penicilina nos anos recentes.

29 Os resultados deles foram primeiramente publicados em 1940 no meio de uma grande Guerra, quando a economia ordinária está em suspenso e quando a produção pode continuar

independentemente do custo [...]. Para mim era de especial interesse ver como uma observação simples feita num laboratório hospitalar de bacteriologia em Londres havia evoluído para uma grande indústria e como aquilo que certa vez todo mundo pensou que fosse meramente um dos meus brinquedos tinha sido, por purificação, transformado na maior aproximação a uma substância ideal para curar muitas das nossas infecções comuns (FLEMING, 1945).

Especialmente neste último parágrafo, fica evidente qual a narrativa que Fleming pretendia defender por meio de seu discurso como ganhador do Prêmio Nobel. Ao mencionar que a penicilina era pensada como um de seus “brinquedos”, evoluindo, então, para uma grande indústria, a visão implícita sobre esse desenvolvimento é a de que, em casos como este, a ciência progride a partir de uma observação inocente, sem pretensões de se tornar algo grandioso, guiada pelo acaso. Fleming, ao mesmo tempo em que explicita a influência que as Grandes Guerras tiveram em sua pesquisa, neste trecho parece negar a existência de interesses externos – por exemplo, militares – no caso dos trabalhos com a penicilina.

Na parte final do discurso, nos parágrafos 30, 32 e 34, Fleming ressalta, novamente, o caráter processual do desenvolvimento da penicilina, fazendo um resumo de tudo o que foi dito durante a palestra:

30 E nós não estamos no final da história da penicilina. Talvez estejamos apenas no início. Estamos numa era Química e a penicilina deverá ser modificada por químicos, de forma que todas as desvantagens sejam removidas e um novo e melhor derivado seja produzido.

32 Penicilina é, para todos os fins, não venenosa então não há preocupação em haver uma superdosagem que envenene o paciente. Deve haver um risco, no entanto, em subdosagens. Não é difícil fazer micróbios ficarem resistentes à penicilina no laboratório, expondo-os a concentrações insuficientes para matá-los. A mesma coisa ocasionalmente acontece no corpo.

34 Eu disse a vocês sobre o início da penicilina. Como um mofo que não era desejado contaminou uma das minhas placas de cultura. Como ele produziu um efeito que demandava investigação. Como eu investiguei suas propriedades e encontrei que, enquanto tinha um efeito poderoso em muitos dos micróbios comuns que nos infectam, era aparentemente não venenoso a animais ou a células do sangue humano. Como era uma substância instável e como nós falhamos em concentrar e estabilizá-la (FLEMING, 1945).

No desenrolar de sua apresentação, Fleming acaba por corroborar uma visão pasteurizada sobre sua descoberta científica. Embora ele tenha mencionado a influência das Guerras Mundiais em suas pesquisas, ao descrever seu trabalho, Fleming, também considera que a ciência começa com um efeito inesperado (o mofo observado na colônia), para haver então uma investigação sistemática e ao final haver uma conclusão sobre o que foi observado. Ao omitir informações como observações realizadas anteriormente por outro cientista e os interesses bélicos de seu país pela produção do medicamento descoberto, Fleming deliberadamente criou uma narrativa estereotipada

do trabalho científico, que ignora a presença e influência de fatores metacientíficos. Essa visão, análoga a apresentada por Raman em 1930, é anedótica e modifica ou omite alguns dos fatos historicamente documentados (em especial, as observações de Gratia, conhecidas por Fleming) em prol de uma narrativa que suporte a visão particular que o cientista tem a respeito de seu trabalho.

Um dos detalhes que diferem as ideias apresentadas por Fleming, sob a abordagem da Ciência Integral, das outras palestras analisadas, é que Fleming enfatiza um aspecto que pode ser relacionado à dimensão sociocultural da confiabilidade das ciências: a importância que certas pesquisas têm num contexto de tensão geopolítica – especificamente no caso das Guerras Mundiais. Embora não seja um aspecto manifesto no inventário de Allchin (e que, como vimos, não *precisa* ser), uma guerra, ainda mais uma de proporções globais, influencia diretamente o fazer científico, tanto indiretamente (como no caso da inspiração, mencionada por Fleming, por pesquisar antissépticos, mencionada no 22º parágrafo de sua palestra), quanto diretamente, no caso do direcionamento de recursos para a pesquisa da penicilina e sua produção em grande escala.

A ênfase dada ao complexo processo que existe desde uma potencial descoberta de um medicamento, até a produção deste em larga escala e a disponibilização ao público, é um aspecto do discurso de Fleming que pode ser especialmente interessante de ser abordado no contexto brasileiro atual, devido aos debates recentes envolvendo assuntos como os interesses envolvidos na descoberta e na produção de medicamentos e na forma como esses medicamentos são testados e verificados antes de serem liberados à população geral. Contraposto à ideia de que um medicamento, ao ser descoberto, só tem impedimentos burocráticos para ser disponibilizado, encontramos na palestra de Fleming informações que, além de revelarem que este caminho não é simples (mesmo sem considerar a burocracia envolvida), também revela que essa complexidade não ocorre somente no caso do Brasil, nem somente nos tempos atuais. É dito por Fleming que diversos fatores influenciam a produção de um remédio, desde os testes iniciais, até a transposição de produções em pequena escala para uma em larga escala. Em suma, mesmo que um remédio em potencial seja descoberto, o caminho até que esse remédio possa ser acessível de maneira segura não é simples. Ter um cientista historicamente relevante, como Fleming, fornecendo uma fonte que embase essa ideia, pode ser interessante num contexto de ensino científico básico, a fim de evitar algumas

polêmicas a respeito de assuntos delicados, como se viu nos últimos anos com o caso do anúncio da fosfoetanolamina⁴⁴.

6.3.1 ANEDOTA OU TRABALHO ÁRDUO? CONSIDERAÇÕES SOBRE A NARRATIVA DE FLEMING A RESPEITO DA DESCOBERTA ACIDENTAL DA PENICILINA

A narrativa apresentada por Alexander Fleming mistura duas versões dos fatos históricos referentes ao seu trabalho na descoberta da penicilina. Ora, Fleming defende uma narrativa em que a descoberta teria sido puramente acidental, oriunda de uma contaminação não-controlada e aleatória de uma placa. Essa versão, bastante conhecida e popularizada, pode ser encontrada nos seguintes trechos (FLEMING, 1945):

3 Certamente os trabalhos mais antigos sobre antagonismo não tiveram influência no começo da penicilina. [As pesquisas sobre penicilina] floresceram simplesmente a partir de uma ocorrência fortuita que aconteceu enquanto eu trabalhava num problema bacteriológico puramente acadêmico, que não tinha nada a ver com antagonismo, nem com mofo, nem antissépticos, nem antibióticos.

4 Em minha primeira publicação eu poderia ter dito que eu havia chegado à conclusão, como resultado de um estudo sério da literatura e pensamentos profundos, de que substâncias antibacterianas valiosas eram produzidas por mofo e que eu então começara a investigar o problema. Isso seria inverdade. Eu preferi dizer a verdade de que a penicilina começou como uma observação ao acaso. Meu único mérito é que eu não negligenciei a observação e pesquisei o fenômeno como bacteriologista. Minha publicação em 1929 foi o ponto inicial do trabalho de outros que desenvolveram a penicilina principalmente no campo da química.

29 ...Para mim, era de especial interesse ver como uma simples observação feita num laboratório bacteriológico de hospital em Londres eventualmente se desenvolveu numa grande indústria. Como aquilo que era meramente um brinquedo meu, após purificação transformou-se na abordagem mais próxima a uma substância ideal para a cura de muitas de nossas infecções comuns.

34 Eu disse a vocês sobre os primórdios da penicilina. Como um mofo, indesejado, contaminou uma das minhas placas de cultura. Como ele produziu um efeito que demandou investigação. Como eu investiguei suas propriedades e descobri que, enquanto ele tinha um efeito poderoso em muitos dos micróbios comuns que nos infectam, ele era aparentemente não venenoso a animais ou a células de sangue humano. Como ele era uma substância instável e como nós falhamos em concentrá-lo e estabilizá-lo.

Essas descrições corroboram uma visão anedótica de como a ciência funciona. E provavelmente era de interesse de Fleming enfatizar essa narrativa, pois ela é muito mais atraente para o público do que uma versão mais intrincada e complexa dos fatos

⁴⁴ Não faz parte do escopo de nosso trabalho abordar as sutilezas deste tema. O anúncio da fosfoetanolamina, medicamento que supostamente curaria certos tipos de câncer, causou comoção nacional e gerou polêmicas e debates acirrados sobre a liberação de medicamentos potencialmente funcionais para o grande público. Muitas notícias – algumas de caráter claramente sensacionalista e alarmista – foram veiculadas a respeito, por exemplo: (DIAS, 2016; MARTINS, 2015; CRUZ, 2017; RUPRECHT e BERGAMO, 2016; ORSI, 2017; PIOVEZAN, 2015; LEDFORD, 2015).

históricos. No entanto, em outros trechos do discurso, Fleming comenta com maiores detalhes sobre como essa suposta observação acidental da penicilina não foi exatamente acidental, posto que ele já tinha um contexto de pesquisar antissépticos e antibióticos, além de conhecer outros trabalhos semelhantes. Vemos, por exemplo, nos seguintes trechos:

1 Para a minha geração de bacteriologistas, a inibição de um micróbio por outro era lugar comum. Nós todos fomos ensinados sobre essas inibições. De fato é raro que um bacteriologista clínico observador passe uma semana sem ver, em seu trabalho, exemplos bem definidos de antagonismo bacteriano.

Ora, se para a geração de Fleming era “lugar comum” o entendimento da inibição de um micróbio por outro, então como poderia a observação da penicilina ter sido feita completamente ao acaso? Isto é, mesmo que a contaminação da placa pelo *Penicillium notatum* tenha ocorrido “ao acaso”, não podemos dizer que Fleming não tinha de antemão um arcabouço teórico próprio de sua área de pesquisa para lidar com a observação. Em outras palavras, a teoria precedeu a observação, num caso como este.

Em outro trecho, Fleming reforça que a penicilina não foi a primeira descoberta de antibiótico realizada por ele:

5 A penicilina não foi o primeiro antibiótico que eu descobri. Em 1922, eu descrevi a lisozima – um fermento antibacteriano poderoso, que tem um efeito lítico extraordinário em algumas bactérias. Uma suspensão densa e leitosa de bactérias pode ser completamente limpa em poucos segundos por uma fração de gota de lágrimas humanas ou clara de ovo.

Para isolar a penicilina e estudá-la, Fleming utilizou métodos já conhecidos por ele, pois ele usou os mesmos métodos para descobrir outros antibióticos. Esses detalhes permitem que, pelo menos, possamos desconfiar da narrativa de uma descoberta puramente acidental. Fleming já tinha familiaridade com métodos para pesquisar antibióticos. Além disso, ele rapidamente identificou o *Penicillium* como podendo ser trabalhado de acordo com seu arcabouço teórico. Claramente o processo entre observação e publicação envolve muitas complexidades que vão além de um simples acidente.

Nos parágrafos 6 e 7, Fleming descreve como foi a observação inicial do mofo que contaminou sua placa. Nessa descrição, ele comenta que o tipo de mofo que dá origem à penicilina não era desconhecido. Na verdade, já eram conhecidos inclusive trabalhos sobre como isolá-lo:

6 A origem da penicilina foi a contaminação de uma placa de cultura de estafilococos devido a um mofo. Foi percebido que, a certa distância ao redor da colônia de mofo, as colônias de estafilococos ficaram translúcidas, uma evidência de que havia lise acontecendo. Isso foi uma aparição extraordinária (Fig. 1) e parecia demandar investigação, então o mofo foi isolado em cultura pura e algumas de suas propriedades foram determinadas.

7 O mofo, foi descoberto, pertencia ao gênero *Penicillium*, sendo eventualmente identificado como *Penicillium notatum*, um membro do grupo *P. chrysogenum*, originalmente isolado por Westling a partir de hissopo em decomposição.

Temos, então, que Fleming estava ciente do trabalho de Richard Westling, que isolara o *Penicillium* a partir da planta hissopo, que era conhecida por possuir propriedades medicinais. Além deste trabalho, também era conhecido à época que John Tyndall havia observado propriedades bactericidas do *Penicillium*. E com certeza Fleming conhecia outro trabalho dessa natureza, realizado pelo belga André Gratia, que Fleming, ainda em 1945, referiu-se como “meu grande amigo” em outra ocasião. Podemos afirmar com segurança que as observações de Fleming eram baseadas no conhecimento científico da época. Portanto, a narrativa anedótica é uma simplificação extrema e fantasiosa dos fatos (LANDSBERG, 1949).

6.3.2 O IMPACTO DAS GUERRAS MUNDIAIS NA PESQUISA DE FLEMING

Outro fator que influenciou no trabalho de Fleming, além de seu conhecimento prévio a respeito do que se sabia cientificamente sobre o *Penicillium*, foram as duas Guerras Mundiais. Fleming menciona explicitamente cada uma delas, apontando como cada uma teve papel diferente no curso de suas pesquisas. Primeiramente ele menciona a Primeira Guerra:

22 Eu tive interesse em antissépticos desde a Guerra de 1914-1918. Em 1924 eu descrevi o que penso ser provavelmente o melhor experimento que já fiz. Ele mostrou, de um jeito dramático, a atividade relativa de um químico em bactérias e em leucócitos humanos.

Então a carreira de Fleming já havia sido influenciada pelas tensões políticas da Guerra. Evidentemente, esse interesse sobre os antissépticos provavelmente não era único de Fleming, pois, numa guerra, quaisquer pesquisas que possam melhorar a qualidade de vida dos soldados e curar enfermidades são incentivadas. Portanto, eram de interesse dos cientistas que vivem naquele contexto. Essa informação reforça a ideia de que Fleming não poderia ter feito todas as suas observações sobre a penicilina ao completo acaso, pois ele, além do conhecimento científico, tinha também um interesse pessoal naquele tipo de pesquisa.

A Segunda Guerra Mundial (1939-1945) também teve um papel na pesquisa de Fleming. No entanto, esse papel foi completamente diferente do que houve na Primeira Guerra. Voltemos ao parágrafo 29:

29 Os resultados deles foram pela primeira vez publicados em 1940 no meio de uma grande Guerra, quando a economia ordinária está suspensa e quando a produção pode continuar independentemente do custo. Eu tive a oportunidade, nesse verão, de ver na América algumas das grandes fábricas de penicilina que foram erguidas a custos enormes, nas quais o mofo esteve crescendo em grandes tanques aerados e violentamente agitados.

Portanto, temos aqui o relato sobre outro fator importante numa pesquisa científica. Havia, na época descrita, grandes dificuldades em se isolar e estabilizar a penicilina, então era muito difícil a produção em grandes quantidades com a certeza de que o medicamento não reagiria negativamente com o paciente. No entanto, no contexto da Guerra, a economia convencional estava suspensa. Dessa maneira, a pesquisa sobre a penicilina pôde ser acelerada de uma forma que, em tempos comuns, não seria possível. Nas palavras de Fleming, foi aí que a penicilina deu origem a uma grande indústria.

Um contexto de tensão geopolítica, como é o caso das Guerras Mundiais, influencia diretamente o fazer científico de sua época. Fleming é um exemplo de cientista que foi influenciado por esses fatores. Seu relato ao receber o Prêmio Nobel, no exato ano que marcou o fim da Segunda Guerra Mundial, explicita os tipos de influência que podem haver. Temos, então, que os interesses e objetivos ao se investir em pesquisa científica não são neutros, nem desinteressados, mas dependem da época e do contexto. E os desdobramentos das pesquisas científicas podem ter grande impacto mesmo quando passado o contexto de tensão.

6.3.3 O CAMINHO ENTRE DESCOBERTA E COMERCIALIZAÇÃO DE UM MEDICAMENTO

Da ideia de se ter criado um novo medicamento, até a garantia de que aquele produto é realmente um medicamento eficaz, seguro e que pode ser comercializado, até a efetiva comercialização do medicamento, há um caminho longo e complexo. Fleming relata, com certo grau de detalhe, alguns dos processos pelos quais sua pesquisa teve de passar entre as primeiras observações e a disponibilização do medicamento ao público.

O primeiro estágio, segundo a descrição do cientista, envolvia pesquisas num ambiente acadêmico, sobre como isolar a penicilina a partir do mofo que Fleming

observara. Além disso, Fleming menciona ter comparado suas observações com outras similares que ele havia feito:

9 Tendo o mofo em uma cultura pura, eu o inseri em outra placa de cultura. Após ele ter crescido em temperatura ambiente por 4 ou 5 dias, eu espalhei diferentes micróbios radialmente pela placa. Alguns deles cresceram até o mofo – outros foram inibidos a uma distância de muitos centímetros. Isso mostrou que o mofo produz uma substância antibacteriana, que afetava alguns micróbios e não outros.

10 Da mesma maneira, eu testei outros tipos de mofo, mas eles não produziam essa substância antibacteriana, o que mostrou que o mofo que eu havia isolado era um bastante excepcional.

11 Então, o mofo foi crescido em meio fluido para vermos se a substância antisséptica ocorria no fluido. Após alguns dias, o fluido no qual o mofo havia crescido foi **testado da mesma maneira que eu já tinha pensado para a lisozima** – colocando-o numa vala feita numa placa de cultura, inserindo então diferentes micróbios ao longo da placa. O resultado mostrado na Fig. 3 é **muito similar ao observado com lisozima, mas com uma importante diferença**, a saber, que os micróbios mais fortemente inibidos eram alguns daqueles responsáveis por nossas infecções mais comuns.

Podemos perceber, então, que a comparação entre outros trabalhos conhecidos e o contexto de uma pesquisa puramente acadêmica, isto é, sem visar a princípio uma produção em massa, marcou esse primeiro estágio da pesquisa. Fleming também comenta, em seguida, que o primeiro uso da penicilina não foi voltado para a cura de enfermidades, mas sim para a preparação de meios de cultura para realizar mais testes a respeito de quais eram as propriedades dela:

14 **Isso nos levou ao nosso primeiro uso prático da penicilina, que foi a preparação de diversos meios de cultura.** Havia uma distinção tão clara entre os micróbios sensíveis e insensíveis, que ao adicionar penicilina ao meio de cultura todos os micróbios sensíveis eram inibidos, enquanto que os insensíveis cresciam sem qualquer impedimento.

O primeiro uso da penicilina por Fleming não foi, então, o uso medicinal. Isso porque, para que o uso medicinal pudesse ser viável, deveriam ser entendidas as propriedades exatas daquele fungo. A intenção inicial de Fleming, nesse estágio de sua pesquisa, era usar a penicilina para a demonstração de suas propriedades bactericidas. Outras substâncias eram conhecidas, à época, que tinham propriedades bactericidas. No entanto, essas substâncias eram nocivas ao corpo humano por interagirem com sistemas de defesa do organismo, não sendo, portanto, recomendadas para o uso medicinal. Fleming aponta que uma das propriedades estudadas da penicilina, nesses estudos, permitiu que se pensasse na possibilidade dela ser usada como medicamento:

21 Com um saca-rolhas, são cortados discos de uma placa de cultura de agar. Discos de filtro de papel, umedecidos em antissépticos, são posicionados ao fundo dos buracos formados no agar, então esses buracos são preenchidos com agar derretido. A superfície é então plantada

com estafilococos. Na incubação, o estafilococo cresce por todo o antisséptico antigo, mas é inibido a uma distância considerável da penicilina, mostrando, então, que a penicilina é a única dessas substâncias que é livremente difusiva (Fig. 5). **Eu considero essa difusibilidade uma propriedade importante em qualquer substância que vá ser usada como agente antibacteriana dentro do corpo.**

Adiante, o cientista dá mais detalhes sobre que tipos de propriedades deveriam ser observadas a fim de se concluir que a penicilina era um possível medicamento e que, portanto, poderia ser testada em seres humanos.

24 Eu testei todos os químicos que foram usados como agentes antibacterianos e eles todos se comportaram da mesma maneira – em certa concentração, eles destruíam leucócitos e permitiam o crescimento de bactérias. Quando eu testei penicilina da mesma maneira no estafilococo, a história foi diferente. O mofo bruto de penicilina inibiria completamente o crescimento de estafilococos em uma diluição de até 1 em 1000, quando testado em sangue humano normal, mas não apresentava mais efeitos tóxicos nos leucócitos que o meio de cultura original no qual o mofo havia crescido. Eu também injetei [penicilina] em animais e aparentemente não houve toxicidade. Foi a primeira substância que eu testei que era mais antibacteriana do que era antileucocítica. Foi especialmente isso que me convenceu de que um dia, quando ela pudesse ser concentrada e deixada mais estável, poderia ser usada para o tratamento de infecções.

Portanto, não é uma conclusão simples a de que a penicilina *poderia ser* um medicamento. Foi necessário um conhecimento sólido a respeito do que se sabia à época sobre bactericidas e sobre o próprio funcionamento do corpo humano ao serem usados esses tipos de medicamentos. A partir desses estudos e experimentos, Fleming testou o medicamento em pacientes. No entanto, mais dificuldades foram encontradas (ênfases nossas):

25 Se eu fosse um clínico ativo, sem dúvidas eu teria usado [a penicilina] mais terapêuticamente do que eu usei. Do jeito que estava, quando eu tinha alguma penicilina ativa, encontrava **grande dificuldade em achar pacientes adequados para testes. Devido à instabilidade havia geralmente nenhum suprimento de penicilina caso algum caso adequado aparecesse.** Algumas tentativas de testes deram resultados favoráveis, mas nada milagroso. Eu estava convencido de que, antes de poder ser usada extensivamente, ela deveria ser concentrada e parte dos fluidos brutos de cultura deviam ser removidos.

26 Nós tentamos concentrar penicilina mas descobrimos, assim como outros, que a penicilina é facilmente destruída. Para todos os fins, nós falhamos. Éramos bacteriologistas – não químicos – e nossos procedimentos relativamente simples eram inúteis, o que não é surpreendente, visto o problema que os químicos tiveram com a penicilina em anos recentes.

Então, ter consolidado um estudo acadêmico e controlado sobre as propriedades do medicamento em potencial não é o suficiente para se declarar que esse medicamento é viável para o consumo humano e para a produção em larga escala. A produção da penicilina conforme os métodos disponíveis era extremamente difícil. O produto era instável, o que poderia apresentar um perigo aos pacientes para os quais se ministrasse

esse remédio. É interessante notar que Fleming comenta que, mesmo nos testes que tinham dado resultado favorável à penicilina, esse resultado não era completamente conclusivo a ponto de se afirmar todo o potencial curativo do remédio. Portanto, o próprio cientista teve de analisar seus resultados de maneira criteriosa, sabendo das limitações de sua descoberta.

Conforme mencionado na seção anterior, a dificuldade em se produzir penicilina em grande escala e de maneira estável só foi vencida no contexto extremo da Segunda Guerra Mundial, pois a economia de exceção pôde acelerar a construção de indústrias próprias para aquele fim. Obviamente, nada disso seria possível sem que houvesse estudos sólidos e confiáveis das propriedades da penicilina, realizados há décadas tanto por Fleming quanto por muitos outros cientistas que não ficaram famosos.

Mesmo assim, a produção e a comercialização da penicilina ainda não era disponível ao grande público, pois são necessários estudos clínicos mais detalhados para se distribuir qualquer remédio à população geral. Por isso, Fleming comenta:

33 Há de chegar o tempo em que penicilina poderá ser comprada por qualquer um em lojas. Aí então há o perigo de que o homem ignorante possa facilmente fazer uma subdosagem em si, expondo seus micróbios a quantidades não letais da droga, fazendo-os ficarem resistentes. Eis uma ilustração hipotética: Sr. X está com a garganta inflamada. Ele compra penicilina e toma em quantidade não suficiente para matar os estreptococos, mas o suficiente para ensiná-los a serem resistentes a penicilina. Ele então infecta sua esposa. A Sra. X contrai pneumonia e é tratada com penicilina. Como os estreptococos são agora resistentes a penicilina, o tratamento falha. Sra. X morre. Quem é o responsável primário pela morte da Sra. X? É o Sr. X, cujo uso negligente da penicilina mudou a natureza do micróbio. *Moral:* Se você for usar penicilina, use o suficiente.

34 Eu disse a vocês sobre os primórdios da penicilina. Como um mofo, indesejado, contaminou uma das minhas placas de cultura. Como ele produziu um efeito que demandou investigação. Como eu investiguei suas propriedades e descobri que, enquanto ele tinha um efeito poderoso em muitos dos micróbios comuns que nos infectam, ele era aparentemente não venenoso a animais ou a células de sangue humano. Como ele era uma substância instável e como nós falhamos em concentrá-lo e estabilizá-lo.

No parágrafo 33, Fleming indica ainda outra sutileza a respeito da pesquisa de medicamentos. Nenhum medicamento deve ser considerado uma panaceia, ou milagroso, pois todos os medicamentos interagem, de alguma forma, com o corpo humano e podem ter efeitos colaterais que nem sempre são facilmente detectáveis ou tratáveis. No exemplo dado por Fleming, o mau uso da penicilina poderia promover, por seleção natural, uma resistência bacteriana ao medicamento. Dessa maneira, a penicilina poderia agravar uma situação de doença simples. Ao fazer essa descrição, Fleming comete um erro conceitual: ele diz que os estreptococos são “ensinados” a serem resistentes à penicilina. Isso é tecnicamente inacurado, pois o que ocorre nesse processo

é uma seleção natural, não uma espécie de adestramento. Provavelmente Fleming conhecia a seleção natural, pois era um profissional renomado de sua área. No entanto, esse erro grosseiro pode ter sido originado da tentativa de se comunicar com um público mais amplo, havendo, com isso, uma super-simplificação e consequente distorção de um conceito científico. Essa espécie de distorção não é incomum em materiais dirigidos ao público geral ou aos iniciantes.

Os trechos que analisamos acima ressaltam algumas das complexidades que existem entre a descoberta e a produção de um medicamento. A importância dos estudos clínicos e do contexto econômico de uma pesquisa científica são mencionados. Ao termos o relato de um cientista tão famoso quanto Fleming a esse respeito, podemos contrapor visões caricatas a respeito do desenvolvimento de novos medicamentos, incentivando, dessa maneira, uma visão crítica.

6.3.4 A ÉTICA PROFISSIONAL DE UM CIENTISTA ACLAMADO

Muito podemos apreender pelo que um cientista menciona em suas comunicações oficiais. Mas também muito podemos apreender pelo que ele (ou ela) deixa de mencionar. E Fleming deixa de mencionar algo importante em sua apresentação ao receber o Nobel.

Como já vimos, a propriedade antibacteriana do mofo *Penicillium* não era desconhecida. Pelo menos desde John Tyndall, no século XIX, isso era sabido. Depois dele a pesquisa continuou: Fleming foi um entre vários cientistas que pesquisaram essas propriedades. Uma série de trabalhos particularmente importantes foi realizado por André Gratia, Sara Dath e Bernice Rhodes⁴⁵ na década de 1920, antes das primeiras observações de Fleming (FIORAVANTI, 2012).

Atualmente, mesmo com a facilidade em se pesquisar por informações de certa área de pesquisa e com a rapidez do acesso a arquivos e artigos científicos recentemente publicados, muitas vezes é difícil saber sobre grande parte do que tem sido estudado, mesmo numa área muito específica do conhecimento. Na época de Fleming, essa dificuldade era ainda maior, pois não havia meios como a *internet*, então é

⁴⁵ Conseguimos encontrar algumas (poucas) informações sobre André Gratia, sendo possível inclusive encontrar fotos do microbiologista. No entanto, é *extremamente* difícil encontrar algo sobre as mulheres que participaram da pesquisa. Tanto Sara Dath quanto Bernice Rhodes foram tão importantes quanto Gratia nesses trabalhos citados, mas muito pouco material biográfico é disponível sobre as duas.

compreensível que havia a possibilidade de muitos cientistas fazerem trabalhos semelhantes, independentemente, sem ter conhecimento do que o outro estava fazendo.

Isso, no entanto, não pode ser afirmado sobre o caso de Fleming. Especificamente sobre André Gratia, Fleming comentou, em 1947, numa entrevista a uma rádio universitária belga, que era o belga Gratia quem deveria receber o reconhecimento da descoberta da penicilina. Ainda em 1945, mesmo ano em que foi reconhecido pelo Nobel, Fleming teve contato direto com Gratia por ventura de uma solenidade realizada na Universidade de Liège. Podemos afirmar que Fleming *conhecia* o trabalho de Gratia e suas colegas. Por que ele não fez qualquer menção a isso no discurso proferido ao Nobel?

Muitos podem ter sido os motivos. Fleming pode ter omitido essa informação para enfatizar seu próprio crédito na descoberta da penicilina. Nesse caso, seria uma atitude de caráter duvidoso do cientista. Por outro lado, é possível que Fleming, bem como seus pares, não considerassem Gratia como sendo *o descobridor* da penicilina, uma vez que o trabalho de Gratia não foi tão aclamado quanto o de Fleming. Com certeza Fleming teve condições materiais de seguir sua pesquisa, aplicar diferentes métodos para explorar as propriedades do mofo e teve contato com outros cientistas e profissionais que puderam levar suas ideias a um patamar industrial, que era de interesse político em sua época.

Sob o ponto de vista da ética científica, Fleming, ao ter conhecimento das pesquisas de Gratia, deveria, no momento de maior reconhecimento de um cientista, que é o Prêmio Nobel, ter mencionado com mais detalhamento sobre qual era o estado da arte das pesquisas sobre penicilina em sua época. Mas cientistas não são santos nem demônios. A escolha sobre qual história ele quer que seja contada para a humanidade pode desvelar, ainda que sutilmente, algumas das qualidades mais humanas dos que são considerados gênios.

6.4 PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA DE 1965

Figura 5: Gráfico da Popularidade de Richard Feynman no Prêmio Nobel de Física entre 1/1/2016 e 17/11/2017. Elaborado pelo autor.

O Prêmio Nobel de Física de 1965 foi dado a três cientistas: O japonês Sin-Itiro Tomonaga (1906 – 1979) e os norte-americanos Julian Schwinger (1918 – 1994) e Richard Phillips Feynman (1918-1988). Estes cientistas receberam o Prêmio “por seus trabalhos fundamentais em eletrodinâmica quântica, com grandes consequências na Física de partículas elementares” (NOBEL MEDIA AB, 2014). O mais popular dos três é Richard Feynman. Além das contribuições importantes dele para a física teórica, Feynman também se tornou prestigiado por suas aulas, condensadas na série de livros *Lições de Física* (tradução brasileira da série *The Feynman Lectures on Physics*⁴⁶) e por seus modos informais de explicar assuntos cientificamente complexos⁴⁷. Um aspecto que destaca Feynman é o fato de ele ser um físico teórico. Dada a preferência do Nobel em reconhecer trabalhos de origem experimental ou aplicada, a visão de ciência

⁴⁶ As aulas transcritas nas *Lectures* foram baseadas em aulas ministradas pelo cientista entre os anos de 1961 e 1963. Além das traduções integrais dos livros, também foi publicada uma versão reduzida, chamada *Física em 12 Lições – Fáceis e Não Tão Fáceis*, com algumas aulas selecionadas das *Lectures*. Doravante, vamos nos referir às *Lições de Física* conforme a tradução em português, em vez do original *Lectures on Physics*.

⁴⁷ O estudo que se segue, a respeito do contexto da premiação de Feynman, Tomonaga e Schwinger em 1965, foi baseado no que consta no capítulo 22, “Fundamental Theories”, na subseção “QED”, do livro de Helge Kragh (2002).

transmitida por um físico que trabalha com a parte teórica das ciências é interessante para esse tipo de análise.

O trabalho que rendeu o Prêmio Nobel a Richard Feynman foi desenvolvido a partir de 1947, 18 anos antes da laureação. Esse trabalho tem suas origens cerca de duas décadas antes, por volta de 1928, com a teoria de Paul Dirac (1902 – 1984) sobre o átomo de hidrogênio, que reproduzia a estrutura fina espectral proposta por Arnold Sommerfeld (1868 – 1951). Essa primeira formulação do que passou a ser chamado de eletrodinâmica quântica (*Quantum Electrodynamics*, ou *QED*, em inglês), apesar de corroborada por algumas evidências experimentais, trazia algumas discrepâncias importantes que demoraram algumas décadas até serem solucionadas, cuja resolução marcou uma importante mudança na maneira de se entender a interação das partículas fundamentais da matéria.

Em linhas gerais, a teoria de Dirac ignorava efeitos associados com a interação entre elétron e o campo eletromagnético que ele próprio gerava. Experimentos realizados ao longo da década de 1930 apresentavam resultados que diferiam das previsões teóricas. Essas discrepâncias entre experimento e teoria geraram inúmeros debates entre os cientistas da época. Eram observados pequenos, mas consistentes, desvios nos resultados de uma linha espectral (a linha alfa) do átomo de hidrogênio. Em 1938, o físico Simon Pasternack (1914 – 1976) sugeriu o que, anos mais tarde, seria chamado de desvio de Lamb⁴⁸ (em homenagem a Willis Lamb (1913 – 2008), que após a Primeira Guerra Mundial conduziu experimentos mais conclusivos sobre este fenômeno) no qual a explicação para a discrepância se dá ao considerar que dois estados quânticos do átomo de hidrogênio, $2S(1/2)$ e $2P(1/2)$, que na teoria de Dirac possuíam a mesma energia, na verdade tinham uma separação energética correspondente ao número de onda⁴⁹ $0.033/\text{cm}$.

A importância do desvio de Lamb para a reformulação da eletrodinâmica quântica é realçada no discurso de apresentação do Prêmio Nobel de Física de 1965,

⁴⁸ O desvio de Lamb é uma diferença entre dois níveis de energia do átomo de hidrogênio, não prevista pela eletrodinâmica de Dirac. Atualmente, esse fenômeno é explicado devido à interação entre o elétron do átomo de hidrogênio e as flutuações de energia do vácuo. As observações do fenômeno foram publicadas numa série de artigos de Willis Lamb e Robert C. Retherford na década de 1950. O desvio de Lamb é considerado um ponto de virada para o desenvolvimento das formulações posteriores da eletrodinâmica quântica (SAKURAI, 1967).

⁴⁹ Na espectroscopia, o conceito de *número de onda* é ubíquo nas teorias físicas. Este conceito é referente à frequência espacial de uma onda, e sua medida é inversamente proporcional ao *comprimento de onda*. Por isso a unidade, neste caso, é cm^{-1} .

dado pelo Professor Ivar Waller (1898 – 1991), membro do *Comitê Nobel de Física*. No segundo parágrafo, ele diz:

Um resultado importante dos ganhadores deste ano do Prêmio Nobel Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger e Richard Feynman foi a explicação do Desvio de Lamb. O trabalho deles é, no entanto, muito mais geral e de significado profundo para a Física. [O trabalho] tem explicado e previsto muitos fenômenos importantes. É a continuação de algumas investigações realizadas no fim dos anos 1920 para encontrar as leis gerais da mecânica quântica que dizem sobre como os átomos, em específico, os elétrons, dão origem a campos eletromagnéticos (por exemplo, emitem luz) e como são influenciados por estes campos. Aplicando mecânica quântica não somente à matéria, mas também ao campo eletromagnético, Dirac, Heisenberg e Pauli conseguiram naqueles anos formular uma teoria, chamada de Eletrodinâmica Quântica, que contém as leis da mecânica quântica para a interação de partículas carregadas, especificamente os elétrons, com o campo eletromagnético. [A teoria] satisfaz a condição importante de concordar com a teoria da relatividade (WALLER, 1965).

Nesse trecho do discurso de Waller é notória a importância que se dá ao fato de que os novos desenvolvimentos em eletrodinâmica *explicam e preveem* fenômenos. Na época em que Richard Feynman relata ter começado suas pesquisas em QED, a importância do desvio de Lamb já era reconhecida. No ano de 1947, ele, juntamente com outros importantes físicos da época, inclusive Schwinger, participaram de uma conferência sobre os fundamentos da mecânica quântica, em que o trabalho de Lamb foi apresentado.

Outros estudos importantes para a construção da nova geração de QED foram os relacionados ao momento magnético anômalo do elétron, conduzidos por Schwinger em 1947, que mostrou que o valor do momento magnético era levemente diferente do que previa a teoria de Dirac. Nessa época com 29 anos de idade, Schwinger começou a desenvolver sua versão da QED, que era bastante complexa matematicamente, descrevendo os resultados observados experimentalmente com maior precisão. Como forma de comparação, enquanto a teoria de Dirac previa que o fator g , relacionado com o momento magnético do elétron, era exatamente 2, a teoria de Schwinger encontrava o valor de 2.00232. Os experimentos de 1948 indicavam o valor 2.00236. Portanto, a teoria de Schwinger mostrava uma discrepância de apenas 0,002% em relação ao valor medido. O desenvolvimento feito por Schwinger foi apresentado numa reunião em 1948. Versões impressas foram publicadas numa série de artigos na *Physical Review Letters* entre 1948 e 1951.

A teoria de Schwinger gerou uma eletrodinâmica quântica autoconsistente que, além de concordar com as observações experimentais, possibilitava a descrição de qualquer sistema que contivesse elétrons, pósitrons e fótons na presença de um campo

coulombiano externo. Na mesma época, Sin-Itiro Tomonaga, juntamente com seu grupo no Japão, desenvolveu de maneira independente e sem conhecimento por parte de Schwinger, uma teoria similar, que também utilizava a técnica de renormalização e buscava uma formulação covariante da teoria de Dirac. Em 1948, Tomonaga e seus colaboradores publicaram na *Physical Review* um sumário de seus trabalhos, incluindo um cálculo do desvio de Lamb.

Richard Feynman entra nesse contexto como tendo desenvolvido o que passou a ser chamada de uma terceira versão da QED. Feynman defendeu seu doutorado em 1942, sob supervisão de John Archibald Wheeler, propondo uma nova formulação da eletrodinâmica clássica baseada na interação direta entre partículas. A ideia original de Feynman era primeiro resolver os problemas das divergências na teoria clássica, acreditando que os problemas também desapareceriam na versão quântica. Embora isso não tenha acontecido, esses trabalhos o inspiraram para formular a mecânica quântica em uma visão espaço-temporal e em termos de amplitudes de trajetórias. Os cálculos eram auxiliados por uma técnica diagramática que posteriormente ficou conhecida como Diagramas de Feynman. Sua teoria foi desenvolvida em artigos publicados entre 1948 e 1951, sendo que, num dos artigos, “A Abordagem Espaço-Temporal para a Eletrodinâmica Quântica”, foram apresentadas as regras para uso de seus diagramas.

Em 1948, existiam duas versões da QED renormalizada⁵⁰. Uma delas era a de Schwinger e Tomonaga, a outra era de Feynman. Ambas as versões geravam os mesmos resultados, mas elas não concordavam entre si. A equivalência entre as formulações foi demonstrada em 1949 pelo trabalho de Freeman Dyson (1923 -), um matemático inglês de 25 anos na época. Em 1948 ele havia calculado o desvio de Lamb e mostrado a equivalência entre as formulações de Schwinger e Tomonaga. Em 1949, ele derivou a teoria de Feynman de sua própria maneira, formulando-a pela primeira vez como teoria de campo, provando (em termos matemáticos) que a teoria de Schwinger e a de Feynman eram equivalentes. Com essa síntese, a nova QED renormalizada estava completa.

Esse detalhe do contexto histórico deste episódio revela, em si, um importante aspecto da dimensão *conceitual* da Ciência Integral: duas teorias diferentes, mas que

⁵⁰ O termo “renormalização” se refere a uma técnica bastante presente em desenvolvimentos da mecânica quântica. Ao se levar em consideração as interações de partículas com os campos gerados por elas mesmas, é comum haver divergência matemática, isto é, valores infinitos para certas quantidades cujas observações indicam resultados finitos. A renormalização consiste em contornar esse tipo de problema.

concordavam com os dados observados, coexistiam, mas foi necessária uma terceira formulação para que ambas concordassem entre si.

Os trabalhos em QED foram tão importantes para a física que pelo menos cinco cientistas que trabalharam no tema foram premiados com o Nobel: Lamb e Polykarp Kusch (1911 – 1993) foram laureados em 1955; Schwinger, Feynman e Tomonaga dez anos depois. Embora o trabalho da renormalização da QED tenha sido fruto do trabalho de quatro cientistas (Feynman, Tomonaga, Schwinger e Dyson), muitos outros, menos famosos, colaboraram ao longo dos anos⁵¹. Ao contrário do que se via até o início do século XX, os cientistas europeus, nesse âmbito, tiveram participação tímida, sendo protagonistas principalmente os físicos norte-americanos (mesmo Dyson, que era inglês, desenvolveu todo seu trabalho nos Estados Unidos, na Universidade de Cornell).

A teoria construída não era de fato uma teoria nova, no sentido de que ela não negava nem substituída a teoria antiga. Em vez disso, ela pode ser vista como uma versão melhorada do que se fazia antes da Guerra. Os físicos mais jovens da época tinham essa continuidade em mente, em contraste com as atitudes revolucionárias da geração anterior (representada por cientistas como Dirac, Bohr e Heisenberg). Feynman, Schwinger, Tomonaga e Dyson tinham uma postura mais pragmática, considerando tanto a mecânica quântica quanto a teoria da relatividade como pilares fundamentais, usando-as para o desenvolvimento de teorias novas como as versões de QED.

Feynman apresenta, ao receber o Nobel, a palestra “O desenvolvimento da visão espaço-temporal da eletrodinâmica quântica”. Nessa palestra, ele relata alguns episódios que levaram ao desenvolvimento de sua parte da QED. Por dividir o Prêmio com outros dois cientistas, Feynman ressalta que não vai dar tanta atenção aos aspectos técnicos de seu trabalho, pois os outros já o fariam. Em vez disso, ele prefere contar sobre outros aspectos, sobretudo os erros que cometeu e as ideias equivocadas que teve ao longo do desenvolvimento científico.

Quatro aspectos podem ser ressaltados na palestra de Feynman: os erros, que ele mesmo comenta considerar importantes para o entendimento de seu trabalho; as crenças epistemológicas de Feynman, que muitas vezes menciona a simplicidade das leis da natureza e tem uma atitude pragmática em relação a como se deve proceder uma

⁵¹ Existem outros casos do Prêmio Nobel em que cientistas que participaram ativamente de um desenvolvimento premiado não foram, eles mesmos, premiados. Um caso bem estudado é o do capítulo anterior, quando mencionamos a descoberta do “Efeito Raman” por cientistas soviéticos. Outro episódio parecido envolveu a descoberta e as aplicações do laser, que teve influências de aspectos nacionalistas e ideológicos quanto aos cientistas que foram reconhecidos pela comunidade científica (NETO e JUNIOR, 2017).

investigação científica; o recorrente uso de anedotas, típico de Feynman; por fim, alguns comentários de cunho machista que Feynman faz em trechos de sua apresentação, refletindo assim uma visão de mundo e valores influenciados por sua época e local.

6.4.1 QUANDO FEYNMAN ERROU

Logo no primeiro parágrafo de sua palestra, Feynman diz que ele trataria de questões que geralmente não têm espaço, nos periódicos científicos tradicionais, para serem tratadas, por exemplo, os erros e caminhos sem saída encontrados por ele durante sua pesquisa.

Apresentar os próprios erros pode ser uma ferramenta retórica útil para que um cientista passe uma imagem confiável a respeito de como procedeu em sua pesquisa. Alguns autores apontam, por exemplo, que esse recurso foi amplamente utilizado pelo químico Robert Boyle no século XVII, para que a comunicação de seus resultados de pesquisa passasse a imagem de honestidade e franqueza (SHAPIN e SCHAFFER, 1985). Ao mencionar seus erros numa ocasião de tamanha abrangência mundial como é uma palestra de Prêmio Nobel, Feynman transmite uma ideia de confiabilidade sobre o que ele fez – afinal, se ele sabe seus erros, ele também soube como corrigi-los. Por exemplo, tomemos os seguintes trechos:

9 Então eu fui para a pós-graduação. Em algum ponto eu aprendi o que estava errado com a ideia de que um elétron não atua sobre si mesmo. Quando você acelera um elétron, ele irradia energia e você deve fazer trabalho extra para explicar essa energia. A força extra contra a qual esse trabalho é realizado é chamada de força de resistência de radiação. A origem dessa força extra era identificada, naqueles dias, seguindo Lorentz, como a ação do elétron. O primeiro termo dessa ação, do elétron sobre si mesmo, dava um tipo de inércia (que não era relativisticamente satisfatória). Mas esse termo inercial era infinito para uma carga pontual. Ainda assim, o próximo termo na sequência dava uma taxa de perda, que para uma carga pontual concorda exatamente com a taxa que você encontra calculando quanta energia é irradiada. Então, a força de resistência de radiação, que é absolutamente necessária para a conservação da energia, desapareceria se eu dissesse que a carga não atua em si mesma.

10 **Portanto eu aprendi, no tempo em que eu estava na pós-graduação, a falha evidentemente óbvia da minha própria teoria. Mas eu ainda estava apaixonado pela teoria original e ainda estava pensando que nela estava a solução para as dificuldades da eletrodinâmica quântica. Então eu continuei a tentar salvá-la, de alguma maneira.** Deve haver alguma ação desenvolvida num dado elétron quando eu o acelero, para dar conta da resistência de radiação. Mas, se eu deixar que elétrons atuem somente sobre outros elétrons, a única fonte possível dessa ação é outro elétron. Então, um dia, quando eu estava trabalhando para o Professor Wheeler e não conseguia mais resolver o problema que ele havia me dado, eu pensei de novo sobre isso e calculei o seguinte: suponha que eu tenha duas cargas – eu chacoalho a primeira, a qual eu penso como uma fonte. Isso faz com que a segunda chacoalhe, mas o chacoalhar da segunda produz um efeito de volta na fonte. Então eu calculei quanto era esse efeito sobre a primeira carga, esperando que isso resultasse na força de resistência de radiação. Não deu certo, claro, mas eu contei ao Professor Wheeler minhas ideias. Ele disse: sim, mas a resposta que você consegue para as duas cargas que você mencionou vai depender, infelizmente, da carga e da massa da segunda carga, variando inversamente com o quadrado da distância R

entre as cargas, enquanto que a força de resistência de radiação não depende dessas grandezas. Eu pensei que com certeza ele havia computado isso por si mesmo, mas agora, tendo me tornado professor, eu sei que uma pessoa pode ser sábia o bastante para ver imediatamente o que um estudante de pós-graduação demora semanas para desenvolver. Ele também apontou algo que também me incomodou: que se nós tivéssemos uma situação com muitas cargas ao redor da fonte original, numa densidade grosseiramente uniforme e se somássemos o efeito de todas as cargas do entorno, o R ao quadrado inversamente proporcional seria compensado pelo R^2 do elemento de volume. Teríamos um resultado proporcional à grossura da camada, que iria para o infinito. Por fim, ele me disse “você se esqueceu de mais um detalhe: quando você acelera a primeira carga, a segunda atua depois. Essa reação na primeira acontece ainda depois. Em outras palavras, a ação ocorre no tempo errado”. **Eu subitamente percebi o quanto eu era estúpido**, pois o que eu havia descrito e calculado era apenas luz refletida, ordinária, não a reação de radiação.

No 9º parágrafo, ele menciona um de seus erros: o de ter considerado que um elétron não atua sobre si mesmo. No parágrafo seguinte, ele diz que a falha cometida era “evidentemente óbvia”, mas que tinha tanto apreço pela teoria inicial que se esforçaria em salvá-la – ou seja, corrigir os erros era uma prioridade para Feynman, que não considerava recomeçar tudo do zero. Ainda no 10º parágrafo, Feynman relata a importância que seu orientador à época, John Wheeler, teve ao apontar erros que o próprio Feynman não conseguiria identificar.

Outro erro comentado por Feynman é apresentado no 31º parágrafo:

31 Eu tentei – e lutei com isso de muitas maneiras. Uma das maneiras foi: se eu tivesse osciladores harmônicos interagindo com um atraso no tempo, eu poderia descobrir quais eram os modos normais e chutar que a teoria quântica dos modos normais era a mesma daquela de osciladores simples, e meio que fazer o caminho de volta em termos das variáveis originais. Eu consegui fazer isso, mas eu esperava generalizar para algo além de um oscilador harmônico. Aprendi, para meu arrependimento, algo que muitas pessoas aprenderam. **O oscilador harmônico é demasiadamente simples.** Muito frequentemente você consegue saber o que fazer em teoria quântica sem ter muitas dicas sobre como generalizar seus resultados para outros sistemas.

Neste parágrafo, Feynman diz que o *modelo* que pensou para fazer quantizar uma determinada parte da eletrodinâmica clássica era demasiadamente simples. Feynman aponta que certos resultados na mecânica quântica são difíceis de serem generalizados para outros sistemas. Em seu caso, não seria possível fazer uma abordagem tão simples quanto a que ele inicialmente gostaria de ter feito. O modelo em questão é o de descrever interações de partículas elementares meio de osciladores harmônicos. Este modelo é ubíquo na física, sendo ensinado desde os primeiros semestres dos cursos tradicionais de física, até em estágios mais avançados. Ter um registro de Feynman sobre um caso em que esse modelo *não* serviu é interessante para mostrar que, embora o modelo de osciladores harmônicos seja útil e prático, ele tem limitações quando se tenta aplicá-lo em certos casos. Em outras palavras, esse trecho de

Feynman sobre osciladores harmônicos é uma fonte histórica para que se possa ter um entendimento mais crítico a respeito desse modelo específico.

Nos parágrafos 41 e 42, Feynman revela um aspecto pessoal de sua pesquisa. Ao contrário da ideia de que cientistas são sempre guiados pela razão, Feynman menciona que “sentia” ter errado:

41 Também foi fácil adivinhar como modificar a eletrodinâmica, se qualquer um quisesse fazê-lo. Eu apenas mudei o delta para uma função f , assim como eu faria para o caso clássico. Então era bem fácil, bem simples. Para descrever a velha teoria de ondas atrasadas sem mencionar explicitamente os campos, eu teria que escrever probabilidades, não apenas amplitudes. Eu teria que quadrar minhas amplitudes e isso envolveria integrais duplas de trajetória, em que existem dois S e assim por diante. **Ainda assim, quando eu trabalhei muitos desses casos e estudei formas diferentes e condições de contorno diferentes, eu tive um tipo de sensação engraçada de que as coisas não estavam exatamente certas. Eu não conseguia identificar claramente qual era a dificuldade. Em um dos curtos períodos nos quais eu imaginei que teria de deixar isso de lado por um tempo, publiquei uma tese e recebi meu Ph. D.**

42 Durante a Guerra, eu não tive tempo de trabalhar nesses assuntos muito extensivamente, mas fiquei pensando sobre isso enquanto estava nos ônibus e assim por diante, com alguns pedaços de papel, me esforçando para trabalhar isso e **descobri que de fato havia algo errado, algo terrivelmente errado**. Descobri que se alguém generalizar a ação a partir das boas formas lagrangianas (2) para as formas (1), então as quantidades que eu defini como energia e tal, seriam complexas. Os valores de energia de estados estacionários não seriam reais. As probabilidades de eventos não somariam 100%. Isto é, se você tomar a probabilidade de que isso vai acontecer e de que aquilo vai acontecer e de que tudo o que você imaginar vai acontecer, a soma não seria 1.

No 41º parágrafo, após contar sobre diversos avanços teóricos que desenvolveu na quantização da eletrodinâmica, Feynman comenta que *sentia* que havia cometido um erro, mas que não conseguia identificar exatamente qual era esse erro. Foi, segundo ele no 42º parágrafo, no contexto da Segunda Guerra Mundial, enquanto trabalhava no Projeto Manhattan, que finalmente entendeu o que tinha feito de errado. Ao fazer uma generalização da ação⁵², conforme ele comenta anteriormente, algumas quantidades físicas ficariam complexas, como consequência, a probabilidade total dos eventos estudados não soma 100%. Esse problema foi alvo de intensos estudos na eletrodinâmica quântica, tanto que o próprio Feynman confessa que não conseguiu chegar a uma conclusão que fosse satisfatória para ele:

45 Então eu sonhava que, se eu fosse esperto, eu poderia encontrar uma fórmula para a amplitude de uma trajetória, que fosse maravilhosa e simples para três dimensões de

⁵² Em física, *ação* é uma função da qual podem ser derivadas as equações de movimento de um determinado sistema. Essa quantidade foi proposta no contexto da mecânica clássica, tratando-se da integral temporal da diferença entre energia cinética e potencial (essa diferença é chamada de *Lagrangiana* de um sistema). Embora pensada originalmente para sistemas clássicos, a ação é uma quantidade útil para se chegar a resultados também na mecânica quântica (KIBBLE e BERKSHIRE, 2004).

espaço e uma de tempo, que seria equivalente à Equação de Dirac, para a qual os quadricomponentes, matrizes e todas aquelas outras coisas matemáticas saíam como uma simples consequência – eu também nunca consegui fazer isso. **Mas eu queria mencionar algumas das coisas mal sucedidas pelas quais me esforcei, assim como as coisas que funcionaram.**

Temos, portanto, claramente o fato de que, para Feynman, seus erros eram tão importantes para entender o processo científico quanto os acertos. Esse tipo de discurso difere a postura do cientista em relação aos outros casos que estudamos, em que houve ênfase somente nos acertos das pesquisas, diminuindo ou omitindo completamente os registros de erros e equívocos.

Mais um erro, dessa vez de ordem operacional, é apontado por Feynman no 52º parágrafo:

52 Então voltei para a minha sala e fiquei pensando sobre essa coisa. Fiquei andando em círculos tentando achar o que estava errado, porque eu tinha certeza de que fisicamente tudo precisava dar um resultado finito e eu não conseguia entender por que estava dando infinito. Fiquei mais e mais interessado. Finalmente percebi que eu precisava aprender como fazer um cálculo. Então, definitivamente, eu me ensinei a calcular a auto-energia de um elétron, trabalhando pacientemente sobre a terrível confusão daqueles dias a respeito de estados de energias negativas, contribuições longitudinais e assim por diante. **Quando eu finalmente descobri como fazer e fiz com as modificações que eu queria sugerir, acabou que [o cálculo] era belamente convergente e finito, como eu esperava que fosse. O Professor Bethe e eu nunca fomos capazes de descobrir o que fizemos de errado na lousa, dois meses antes, mas aparentemente nós só tivemos um deslize em algum lugar e nunca conseguimos descobrir onde. No fim, o que eu tinha proposto, se tivéssemos feito sem cometer erros, daria certo e daria uma correção finita. De qualquer forma, isso me forçou a revisar tudo aquilo e me convencer de que fisicamente nada deveria dar errado.** Em qualquer razão, a correção da massa agora era finita, proporcional a $\ln\left(\frac{ma}{h}\right)$ onde a é a espessura daquela função f que eu havia substituído na δ . Se você quisesse uma eletrodinâmica sem modificações, você deveria tomar a igual a zero, tendo uma correção infinita de massa. Mas esse não era o ponto. Mantendo a finito, eu simplesmente segui o programa delineado pelo Professor Bethe e mostrei como calcular as várias quantidades, os espalhamentos dos elétrons por átomos sem radiação, os deslocamentos de níveis e assim por diante, calculando tudo em termo da massa experimental, notando que os resultados, conforme sugeridos por Bethe, não eram sensíveis a a nessa forma, até tendo um limite definido conforme a ia para zero.

Tanto com a teoria antiga, quanto com a nova, o cálculo dessa energia gerava uma quantidade infinita, o que era indesejável. Segundo Feynman, a teoria nova, na verdade, não gerava uma divergência: o que havia acontecido foi um erro de cálculo, feito numa lousa. Numa época em que máquinas de calcular, computadores e sistemas de simulação não eram tão avançados quanto os de hoje em dia, esse tipo de deslize, errar uma conta, poderia ser cometido até mesmo pelos cientistas considerados geniais.

Por fim, outra dificuldade enfrentada por Feynman é relatada por ele nos parágrafos 59 e 60:

59 Deve ser claramente compreendido que, em todo esse trabalho, eu estava representando a eletrodinâmica convencional com interação retardada, não minha teoria metade avançada e metade retardada correspondente a (1). Eu meramente usei (1) para adivinhar nas fórmulas. E uma das coisas que adivinhei correspondia a trocar delta por uma função f de largura a^2 , de forma que eu pudesse calcular resultados finitos para os problemas. **Isso me leva à segunda coisa que estava faltando quando eu publiquei o artigo, uma dificuldade não resolvida. Com delta substituída por f os cálculos dariam resultados que não eram “unitários”, ou seja, para os quais a soma das probabilidades de todas as alternativas não era unitária.** O desvio da unidade era bem pequeno, na prática, se a fosse muito pequeno. No limite em que eu tomava a muito pequeno, poderia sequer fazer qualquer diferença. **E, então, o processo de renormalização poderia ser feito, você poderia calcular tudo em termos da massa experimental e então tomar o limite e a aparente dificuldade de que a unidade é violada temporariamente parecia desaparecer. Eu não fui capaz de demonstrar que, de fato, isso acontece.**

60 Foi sorte que eu não tenha querido esclarecer esse ponto, pois, até onde eu sei, ninguém foi capaz, ainda, de resolver essa questão. Experiências com teorias de méson com acoplamentos mais fortes e com fótons vetores fortemente acoplados, apesar de não provarem nada, me convencem de que se o acoplamento fosse mais forte, ou se você fosse a uma ordem maior (137ª ordem da teoria de perturbação da eletrodinâmica), essa dificuldade permaneceria no limite e haveria reais problemas. Isto é, eu acredito que não há realmente uma eletrodinâmica quântica satisfatória, mas eu não tenho certeza. E eu acredito que, uma das razões para a lentidão do progresso atual em entender as interações fortes é que não há qualquer modelo teórico relativístico, pelo qual você possa calcular tudo. Apesar de ser usualmente dito que a dificuldade está no fato de que as interações fortes são muito difíceis de calcular, eu acredito que seja na verdade porque interações fortes em teoria de campos não tem soluções, não tem sentido se forem ou infinitas ou, se você tentar modifica-las, que a modificação destrua a unidade. Eu não acho que temos um modelo quântico relativístico satisfatório, sequer um que não concorde com a natureza mas que pelo menos concorde com a lógica de que a soma das probabilidades das alternativas deva ser 100%. Portanto, eu acho que a teoria de renormalização é uma maneira simples de varrer as dificuldades das divergências da eletrodinâmica para baixo do tapete. **Eu, obviamente, não tenho certeza disso.**

Novamente, os problemas enfrentados pelo cientista diziam respeito ao cálculo de probabilidade de eventos na teoria que ele ajudou a desenvolver. Ao trocar uma delta de Dirac⁵³ por uma função, ainda acontecia o problema das probabilidades não somarem 100%. Feynman diz que teve sorte ao não querer esclarecer esse problema, posto que, segundo ele, ninguém ainda havia conseguido resolvê-lo. Quando Feynman revela que “obviamente” não tem certeza de algo importante em seu trabalho, também admite um caráter crítico em relação ao trabalho científico: muitas vezes, avanços científicos acontecem baseados em passos não muito seguros, com possíveis falhas, permeados por procedimentos incertos.

⁵³ Delta de Dirac, simbolizada por $\delta(x)$, é uma distribuição, isto é, o limite de uma sequência de funções matemáticas. Ela, em si, não é uma função, pois é definida como sendo nula em todo lugar com exceção da origem, em que ela diverge para infinito. Quando uma função é multiplicada pela delta de Dirac e integrada num intervalo $[a,b]$ que inclui a origem, ocorre a importante propriedade de que a função integrada assume seu valor na origem do sistema, isto é, $f(0) = \int_a^b f(x)\delta(x)dx$.

Na parte final da palestra, Feynman ressalta que grande parte das ideias que ele teve ao longo de seu trabalho não foram usadas nos resultados finais pelos quais ele foi premiado:

61 Isso completa a história do desenvolvimento da visão espaço-temporal da eletrodinâmica quântica. Eu penso se alguma coisa pode ser aprendida disso. Eu duvido. **O mais impressionante é que maior parte das ideias desenvolvidas no decorrer dessa pesquisa não foram usadas no resultado final.** Por exemplo, o potencial metade avançado e metade retardado não foi usado no fim, a expressão de ação (1) não foi usada, a ideia de que as cargas não atuam sobre si mesmas foi abandonada. A formulação de integrais de trajetória da mecânica quântica foi útil para fazer estimativas nas expressões finais e para formular a teoria geral da eletrodinâmica de maneiras novas – mas ela não foi estritamente necessária. O mesmo vale para ideia do pósitron ser um elétron se movendo para trás no tempo, era muito conveniente mas não estritamente necessário para a teoria porque é exatamente equivalente ao ponto de vista do mar de energia negativa.

62 Nós estamos impressionados pelo grande numero de pontos de vista físicos diferentes e das formulações matemáticas muito diferentes que são equivalentes entre si. O método usado aqui, de pensar em termos físicos, portanto, parece ser extremamente ineficiente. Olhando para o trabalho em retrospectiva, eu posso apenas sentir um tipo de arrependimento pela enorme quantidade de pensamento físico e re-expressões matemáticas que acabaram por meramente re-expressar o que já era sabido, embora numa forma que é muito mais eficiente para o cálculo de problemas específicos. Não teria sido mais fácil simplesmente trabalhar completamente numa moldura matemática para elaborar uma expressão mais eficiente? Isso seria certamente o caso, mas deve ser ressaltado que, apesar do problema resolvido ser apenas essa reforma, o problema originalmente abordado era o (possivelmente ainda não resolvido) problema de se evitar os infinitos da teoria usual. Portanto, uma nova teoria era buscada, não apenas uma modificação da antiga. Apesar da demanda ter sido mal sucedida, nós devemos olhar para a questão do valor das ideias físicas ao desenvolver uma *nova* teoria.

Vemos, portanto, que no decorrer de um trabalho científico é comum que haja não-linearidades. Caminhos sem saída, erros que não são consertados e ideias equivocadas fazem parte da investigação científica. Feynman, nesses trechos de sua palestra, fornece uma contraposição à ideia de linearidade, muitas vezes apresentada para se referir a como cientistas trabalham.

6.4.2 A SIMPLICIDADE DAS LEIS DA NATUREZA E AS CRENÇAS EPISTEMOLÓGICAS DE FEYNMAN

Em diversos pontos de sua apresentação, Feynman deixa transparecer algumas de suas crenças epistemológicas, suas visões filosóficas sobre a física e também sobre as formas que ele considerava mais adequadas para se construir um novo conhecimento.

A primeira menção a um tipo de crença que guiaria seus trabalhos aparece no final do 3º parágrafo:

3 Eu trabalhei nesse problema por cerca de oito anos até a publicação final em 1947. O começo de tudo foi no *Massachusetts Institute of Technology*, quando eu era um estudante de graduação, lendo sobre a física conhecida, aprendendo lentamente sobre todas essas coisas com as quais as pessoas estavam se preocupando, percebendo que o problema fundamental daqueles dias era que a teoria quântica da eletricidade e do magnetismo não era completamente satisfatória. Isso eu aprendi de livros como aqueles do Heitler e do Dirac. **Eu estava inspirado pelas observações nesses livros; não pelas partes em que tudo estava provado e demonstrado cuidadosamente e calculado, porque eu não conseguia entender isso muito bem. Quando eu era mais novo, o que eu podia entender eram os comentários sobre o fato de que aquilo não fazia qualquer sentido. A última frase do livro de Dirac eu ainda posso me lembrar, “parece que algumas ideias físicas essencialmente novas são aqui necessárias”. Então eu tomei isso como desafio e inspiração. Eu também tive um sentimento pessoal de que, já que eles não conseguiram uma resposta satisfatória para o problema que eu queria resolver, eu não precisava prestar muita atenção no que eles fizeram.**

Feynman comenta que, quando era mais novo, ao saber que existiam problemas na eletrodinâmica elaborada por cientistas como Paul Dirac, ele “sentia” que não era necessário prestar tanta atenção ao que aqueles cientistas desenvolveram, mas sim pensar em criar ideias novas. Essa atitude traz consigo uma das crenças de Feynman, a de que ideias científicas novas podem surgir independentemente de um contexto mais amplo. Ao longo da palestra, Feynman se refere muitas vezes a pensamentos que ele baseia em sentimentos e crenças pessoais, não necessariamente elaborados de maneira racional. Esses pensamentos, essas ideias *achadas* por Feynman constituem um corpo interessante de conhecimentos desse cientista, notório por ter, em muitas vezes, menosprezado o papel da filosofia da ciência.

No 7º parágrafo, Feynman afirma que um plano geral sobre como ele deveria desenvolver seu trabalho baseava-se em resolver um problema clássico. Então, a solução quântica se seguiria automaticamente:

7 Vejam, então, que o meu plano geral era primeiro resolver o problema clássico, livrar-me das auto-energias infinitas da teoria clássica e esperar que quando eu fizesse uma teoria quântica disso, tudo estaria bem.

Esse tipo de abordagem não é o único possível. Um cientista poderia defender que uma teoria quântica deveria ser construída independentemente dos pressupostos clássicos. Mas esse não era o caso de Feynman, que deixa claro em outros pontos da palestra seu esforço para seguir esse programa específico.

Outro ponto recorrente ressaltado por Feynman diz respeito à simplicidade e à elegância das teorias físicas. Logo no 8º parágrafo, Feynman relata que “se apaixonou” pela eletrodinâmica devido a sua simplicidade e elegância, apegando-se à teoria. Esses fatores são retomados no 18º parágrafo, em que Feynman diz que, como “toda a

eletrodinâmica clássica” estava contida numa formula simples, isso tornava a teoria “indubitavelmente verdadeira”:

8 Este foi o começo. A ideia parecia tão óbvia e tão elegante para mim que **eu me apaixonei por ela**. E, assim como se apaixonar por uma mulher, só é possível se você não sabe muito sobre ela, então você não vê seus defeitos. Esses defeitos só são aparentes mais tarde, mas depois do amor ser tão intenso a ponto de te prender a ela. Então eu me apeguei a essa teoria, apesar de todas as dificuldades, pelo meu entusiasmo juvenil.

18 Então toda a eletrodinâmica clássica estava contida nessa fórmula bem simples. **Ela tinha boa aparência. Portanto, era indubitavelmente verdadeira, ao menos para um principiante.** Ela automaticamente gerava os efeitos metade avançados e metade atrasados. Não tinha campos envolvidos. Omitindo o termo na soma quando $i=j$, eu omiti a auto-interação e não tinha mais qualquer auto-energia infinita. Essa então era a solução sobre a qual estávamos esperançosos para nos livrarmos dos infinitos da eletrodinâmica clássica.

Essa também é uma ideia que não segue de uma lei fundamental da natureza. É conhecido que, entre cientistas, mesmo os contemporâneos, há uma preferência por teorias e formulações que primem pela simplicidade e pela subjetiva elegância apresentada. No entanto, uma teoria pode ser considerada correta e uma explicação pode ser verdadeira, sem que, no entanto, elas sejam as mais simples. Da mesma maneira, uma explicação mais simples ou elegante pode estar errada, não sendo “indubitavelmente verdadeira”.

No 27º parágrafo, Feynman volta ao tema da simplicidade das leis da natureza:

27 Gostaria de interromper aqui para fazer um apontamento. O fato de que a eletrodinâmica pode ser escrita de tantas maneiras – as equações diferenciais de Maxwell, vários princípios mínimos com campos, princípios mínimos sem campos, todos os diferentes modos, era algo que eu sabia mas nunca havia entendido. Parecia sempre estranho para mim que as leis fundamentais da física, quando descobertas, possam aparecer de tantas maneiras, em tantas formas que a princípio não pareçam idênticas, mas que, com um pouco de trabalho matemático, podemos demonstrar as relações. Um exemplo disso é a equação de Schrödinger e a formulação de Heisenberg da mecânica quântica. Eu não sei o porquê – isso continua um mistério – mas é algo que aprendi da experiência. Há sempre outra maneira de dizer a mesma coisa, que não se parece com a maneira como você disse anteriormente. Eu não sei qual é a razão disso. Eu acho que é, de alguma forma, a representação da simplicidade da natureza. Algo como a lei do inverso do quadrado pode ser representada como a solução da equação de Poisson, que, portanto, é uma maneira bem diferente de dizer a mesma coisa, de maneira que não se parece com a forma como foi dito anteriormente. Eu não sei o que isso significa, por que a natureza escolhe essas formas curiosas, mas talvez essa seja uma maneira de definir simplicidade. Talvez uma coisa seja simples se você pode descrevê-la completamente de muitas maneiras diferentes sem imediatamente saber que você está descrevendo a mesma coisa.

Ao relatar que há muitas maneiras equivalentes de se formular a eletrodinâmica, ele defende que essa variedade poderia “definir” simplicidade: se um fato natural pode ser expresso de maneiras diferentes, mas equivalentes entre si, sem que se saiba imediatamente que todas essas maneiras sejam equivalentes, então isso, segundo Feynman, é uma representação da simplicidade das leis naturais. Isso também é uma crença, que pode ser defendida por alguns cientistas e criticada por outros. Não constitui uma regra.

Outra crença epistemológica de Feynman aparece quando ele aborda o tema do pragmatismo e da utilidade das teorias científicas. Desde pelo menos o 34º parágrafo, Feynman toca nesse assunto, dizendo que, na visão de seu colega de trabalho, o alemão Herbert Jehle (1907-1983), a forma como os físicos norte-americanos trabalhavam sempre buscavam uma utilidade para as teorias, o que não ocorria entre físicos europeus:

34 O Professor Jehle me mostrou isso, eu li, ele me explicou e eu disse “o que ele quer dizer é que elas são análogas, mas o que *análogo* significa?”. Ele respondeu “vocês, americanos! Sempre tentam achar uma utilidade pra tudo!”. Eu disse que eu pensei que o que Dirac queria dizer é que ambas eram iguais. “Não”, ele explicou, “ele não quer dizer que são iguais”. “Bem”, eu disse, “vamos ver o que acontece se eu fizer com que sejam iguais”.

Feynman defende que buscar utilidade para as teorias é uma forma aceitável de se descobrir fenômenos novos mais tarde no discurso, recomendando esse tipo de comportamento a estudantes que estejam iniciando seus estudos científicos.

Quanto ao pragmatismo, Feynman comenta, especialmente no 58º parágrafo, sobre sua prioridade em construir um método que fosse útil e fácil de ser aplicado para o cálculo de grandezas físicas, mesmo que não fosse matematicamente demonstrado. Essa ideia contradiz a visão de que uma teoria física sempre é construída sobre uma base matemática sólida:

58 Nesse estágio, eu me sentia compelido a publicar isso porque todo mundo dizia que parecia um jeito fácil de fazer cálculos. Todos queriam saber como se fazia. Eu precisava publicar, mas faltavam duas coisas: uma era a prova de cada afirmação, no sentido convencional matemático. De vez em quando, mesmo no contexto de um físico, eu não tinha a demonstração de como chegar a todas essas regras e equações a partir da eletrodinâmica convencional. Mas eu sabia, da experiência, de ficar brincando por aí, que tudo aquilo era, de fato, equivalente à eletrodinâmica regular. Eu tinha provas parciais em pedaços, embora nunca tenha realmente sentado, como Euclides ou os geômetras da Grécia, e tenha tido certeza de que eu poderia conseguir tudo aquilo a partir de um simples conjunto de axiomas. Por consequência, o trabalho

foi criticado, eu não sei se de maneira favorável ou desfavorável. O “método” foi chamado de “método intuitivo”. Àqueles que não percebem isso, no entanto, eu quero ressaltar que há muito trabalho envolvido ao usar esse “método intuitivo” da maneira correta. Pois, já que não há prova simples da fórmula ou das ideias, é necessário fazer um grande tanto de checagens e re-checagens para consistência e correção em termos do que é conhecido, comparando-se com outros exemplos análogos, casos limitantes, etc. Em face da falta de demonstração matemática direta, você deve ser cuidadoso e metucioso para ter certeza do seu ponto e deve também tentar perpetuamente demonstrar o tanto da fórmula quanto possível. Apesar disso, uma grande quantidade de verdades podem ser sabidas que podem ser provadas.

Este não é o caso do desenvolvimento dos famosos Diagramas de Feynman. As demonstrações rigorosas da validade destes diagramas não eram prioritárias para Feynman, posto que, segundo ele, ele “sentia” que tudo estava certo. No entanto, justamente pela falta de provas matemáticas da validade, Feynman relata que naquela época havia algumas críticas a essa metodologia e muitas revisões deviam ser realizadas antes que um resultado alcançado por essa metodologia pudesse ser minimamente confiado. Atualmente, os diagramas de Feynman foram suficientemente estudados por físicos e por matemáticos, de forma que eles são ensinados em programas de eletrodinâmica e física de partículas com certo grau de confiança.

Por fim, nos últimos parágrafos Feynman reforça sua visão sobre a existência de diversas formulações equivalentes das leis da eletrodinâmica, reforçando sua visão de que ideias diferentes podem descrever uma mesma realidade física. Para ele, teorias que são distintas, mas equivalentes em todas as previsões, são *cientificamente indistinguíveis* (64º parágrafo). No 63º parágrafo, Feynman defende que a melhor maneira de se construir uma teoria física sobre novos fenômenos é pela “adivinhação de equações”, desprezando modelos ou descrições sobre os sistemas físicos trabalhados:

63 Muitas ideias físicas diferentes podem descrever a mesma realidade física. Então, a eletrodinâmica clássica pode ser descrita por uma visão de campos, ou por ações à distância, etc. Originalmente, Maxwell preencheu o espaço com polias e Faraday com linhas de campo, mas de alguma maneira as equações de Maxwell, em si, são primordiais, independentes da elaboração de palavras que tentam uma descrição física. **A única descrição física real é aquela que descreve o significado experimental das quantidades na equação – ou melhor, o modo como as equações são usadas ao descrever observações experimentais.** Esse sendo o caso, talvez a melhor maneira de proceder seja adivinhar as equações e desprezar modelos físicos ou descrições. Por exemplo, McCullough adivinhou as equações corretas para propagação de luz num cristal, muito antes de seus colegas, que usavam modelos elásticos, conseguirem obter algum significado do problema. Ou então, Dirac obteve sua equação para a descrição do elétron de uma maneira quase puramente matemática. Uma visão simplesmente física pela qual todo o conteúdo dessa equação possa ser visto ainda está em falta.

64 Portanto, eu penso que a adivinhação de equações pode ser o melhor método para proceder e obter as leis das partes da física que atualmente são desconhecidas. Ainda

assim, quando eu era muito mais novo, eu tentei essa adivinhação de equações e vi muitos estudantes também tentarem, mas é sempre muito fácil ir para direções selvagemmente incorretas e impossíveis. Penso que o problema seja não o de achar um *melhor* ou mais eficiente método, mas qualquer método afinal. Raciocínio físico ajuda algumas pessoas a gerarem sugestões sobre como o desconhecido pode ser relacionado com o conhecido. Teorias sobre o conhecido, que são descritas por diferentes ideias físicas podem ser equivalentes em todas as previsões e então cientificamente indistinguíveis. No entanto, elas não são psicologicamente idênticas quando tentam se mover dessa base para o desconhecido. Porque diferentes visões sugerem diferentes tipos de modificações que podem ser feitas e portanto não são equivalentes nas hipóteses que uma pessoa gera a partir delas e naquelas que tentam entender o que ainda não se entende. Eu, portanto, penso que um bom físico teórico hoje pode achar útil ter um grande alcance de pontos de vista físicos e expressões matemáticas da mesma teoria (por exemplo, de eletrodinâmica quântica) disponíveis a ele. Isso pode ser pedir muito de um só homem. Então novos estudantes, como disciplina, devem ter isso. Se cada estudante individual segue a mesma moda em expressar e pensar sobre eletrodinâmica ou teoria de campos, então a variedade das hipóteses sendo geradas para entender, por exemplo, interações fortes, é limitada. Talvez de maneira correta, já que possivelmente a chance é alta de que a verdade esteja numa direção convencional. Mas, no caso da pouca chance de que esteja em outra direção – uma direção óbvia a partir de uma visão não convencional da teoria de campos – quem vai achá-la? Apenas alguém que se sacrificou ao ensinar a si mesmo eletrodinâmica quântica por um ponto de vista peculiar e não usual; um que talvez ele tenha que inventar por si mesmo. Eu digo “sacrificar a si mesmo” porque ele provavelmente não vai conseguir nada com isso, pois a verdade pode estar em outra direção, talvez a mais convencional.

Dessa maneira, defende o cientista, novas descobertas poderiam ser alcançadas, sem estarem limitadas a uma descrição em termos do que já é conhecido.. No mesmo parágrafo, ele diz que essa variedade de formulações é interessante para a formação de novos cientistas.

6.4.3 O ANEDOTÁRIO FEYNMANIANO

Além de sua proficiência enquanto cientista, Feynman também é bastante popular pelas histórias anedóticas contadas por ele, tanto em materiais mais informais, como suas autobiografias, quanto em seus livros de física. A riqueza de detalhes nessas anedotas torna as histórias interessantes para atrair não somente o público adepto de suas realizações científicas, mas também os leigos. No entanto, apresentar as anedotas em si não é informativo. Em vez disso, consideramos essas histórias contadas por Feynman como interessantes para que problematizemos os estereótipos e visões equivocadas que elas trazem sobre cientistas e sobre NdC. Nesta seção, discutiremos algumas das anedotas apresentadas por Feynman em seu discurso sob essa ótica.

A menção a fatos curiosos envolvendo outras pessoas e a si mesmo é uma estratégia usada por Feynman para tornar seus discursos mais interessantes para o público. Geralmente esses relatos de Feynman envolvem aspectos pessoais, jogos ou

picantes. Logo nos primeiros dois parágrafos, o cientista diz claramente que vai fazer uso dessas anedotas, as quais, para ele, não têm qualquer valor científico:

1 Nós temos um hábito, ao escrever artigos publicados em periódicos científicos, de fazer o trabalho parecer o mais finalizado possível, cobrindo todos os caminhos, sem nos preocuparmos com os pontos cegos, ou em descrever como tivemos a ideia errada primeiro, assim por diante. Assim, não há muito espaço para publicar, de maneira digna, o que você realmente fez em seu trabalho, apesar de que, nos últimos tempos, tem havido algum interesse nesse tipo de coisa. **Como ganhar o Prêmio é algo pessoal, pensei que eu poderia ser perdoado se, nessa situação particular, eu pudesse dizer pessoalmente sobre minha relação com a eletrodinâmica quântica, em vez de discutir o assunto em si de maneira refinada e finalizada. Além do mais, uma vez que três pessoas ganharam o Prêmio em Física, se todos eles fossem falar sobre a eletrodinâmica quântica em si, vocês poderiam ficar entediados com o tema. Então, o que eu gostaria de dizer hoje é sobre a sequência de eventos, a sequência verdadeira de ideias que ocorreram, e pelas quais eu acabei com um problema não resolvido, pelo qual, em última instância, eu recebi o Prêmio.**

2 Eu entendo que um artigo científico seria de mais valor, mas tal tipo de artigo eu poderia publicar em periódicos regulares. **Então, eu decidi usar essa palestra do Nobel como oportunidade para fazer algo de menor valor, mas que eu não poderia fazer em qualquer outro lugar. Eu peço suas indulgências em outro aspecto: vou incluir detalhes de anedotas que não possuem qualquer valor científico, nem para o entendimento do desenvolvimento de ideias. Elas são incluídas apenas para deixar a palestra mais interessante.**

Para além disso, Feynman diz até mesmo que as anedotas não tem qualquer valor para o entendimento do que realmente houve no desenvolvimento de suas teorias e que elas seriam incluídas apenas para que a palestra ficasse mais interessante. Feynman admite que as anedotas não expressam os fatos históricos a que se referem. Mesmo que ele tivesse a pretensão de descrever factualmente como seus trabalhos foram realizados, ainda assim haveria os vieses devido aos interesses que o cientista tem em transmitir uma determinada narrativa.

A primeira grande anedota apresentada por Feynman nesse discurso acontece no 25º parágrafo. Nesta, ele descreve como seu orientador na época, John Archibald Wheeler, certa vez lhe telefonou dizendo ter chegado à conclusão de que todos os elétrons do universo eram o mesmo elétron. Isso, para Wheeler, explicaria o porquê dos elétrons serem indistinguíveis entre si:

25 Como um subproduto dessa mesma visão, eu recebi um telefonema certo dia na pós-graduação de Princeton do Professor Wheeler, em que ele disse “Feynman, eu sei por que todos os elétrons tem mesma carga e mesma massa”. “Por quê?”. “Porque eles são todos o mesmo elétron!”. E então ele me explicou pelo telefone: “suponha que as linhas de mundo que estamos considerando ordinariamente até agora no espaço e no tempo, em vez de irem em frente no tempo, fossem um tremendo nó. Então, quando cortamos através do nó, pelo plano correspondente a um plano fixo, veríamos muitas, muitas linhas de mundo. Isso representaria muitos elétrons, exceto por um detalhe: se, em uma seção, essa é uma linha de mundo comum de

elétron, na seção em que ela se inverte e está voltando do futuro nós teríamos o sinal errado para o tempo próprio das quadri-velocidades próprias. Isso é equivalente a trocar o sinal da carga. Portanto, aquela parte da trajetória atuaria como um pósitron”. “Mas, Professor”, eu disse, “não existem tantos pósitrons quanto elétrons”. “Bem, talvez eles estejam escondidos nos prótons ou algo assim”, ele disse. Eu não levei tão a sério a ideia de que todos os elétrons são o mesmo, como levei a observação de que pósitrons poderiam ser representados simplesmente como elétrons indo do futuro para o passado em uma seção inversa de suas linhas de mundo. Isso, eu roubei!

Na explicação dada por Wheeler, haveria somente um elétron no universo, que viajaria a uma velocidade altíssima entre o espaço e o tempo. Ao se fazer uma medição, teríamos a ilusão de ver vários elétrons diferentes, quando, na verdade, o que ocorreu foi que fizemos um corte no espaço-tempo, detectando o mesmo grande elétron indo e vindo no tempo, num lugar fixo do espaço. Na formulação da eletrodinâmica quântica, há uma *simetria* importante que tem, por consequência, a equivalência entre se trocar o sinal da *carga* de um elétron e trocar o sinal do *tempo*. Isso, no contexto apresentado por Wheeler a Feynman, representaria que esse elétron único teria carga negativa ao ir do passado para o futuro e carga positiva ao viajar do futuro para o passado.

Feynman diz que não aceitou a ideia de que haveria somente um elétron no universo, mas que “roubou” a ideia de que pósitron (elétron com carga positiva em vez de negativa) pode ser entendido como um elétron vindo do futuro. No trecho final da palestra, no parágrafo 61, Feynman conclui que a ideia da troca temporal entre elétron e pósitron, apesar de útil, não era estritamente necessária para o desenvolvimento teórico da eletrodinâmica quântica:

61 Isso completa a história do desenvolvimento da visão espaço-temporal da eletrodinâmica quântica. Eu penso se alguma coisa pode ser aprendida disso. Eu duvido. O mais impressionante é que maior parte das ideias desenvolvidas no decorrer dessa pesquisa não foram usadas no resultado final. Por exemplo, o potencial metade avançado e metade retardado não foi usado no fim, a expressão de ação (1) não foi usada, a ideia de que as cargas não atuam sobre si mesmas foi abandonada. A formulação de integrais de trajetória da mecânica quântica foi útil para fazer estimativas nas expressões finais e para formular a teoria geral da eletrodinâmica de maneiras novas – mas ela não foi estritamente necessária. O mesmo vale para a ideia do pósitron ser um elétron se movendo para trás no tempo, era muito conveniente mas não estritamente necessário para a teoria porque é exatamente equivalente ao ponto de vista do mar de energia negativa.

Segundo o cientista, o mais importante dessa ideia era a simetria que existia entre trocar o sinal do tempo e da carga do elétron e as consequências matemáticas dessa troca. O realce dado por Feynman para o caráter matemático dessa ideia concorda com a postura pragmática adotada pelo cientista. Se é menos importante, para Feynman,

a interpretação física do fenômeno estudado, então mesmo uma ideia aparentemente esdrúxula pode ser útil no contexto do trabalho científico, desde que essa ideia “funcione”, num sentido matemático e no de concordar com os experimentos conhecidos, no formalismo considerado.

Outra anedota contada por Feynman aparece a partir do parágrafo 32:

32 Então isso não me ajudou muito. Mas quando eu estava atacando esse problema, fui a uma festa de cerveja na Taverna Nassau em Princeton. Havia esse senhor, recentemente chegado da Europa (Herbert Jehle), que veio e se sentou ao meu lado. Os europeus são muito mais sérios do que nós somos na América porque eles pensam que um bom lugar para discutir assuntos intelectuais é uma festa com cerveja. Então ele sentou e perguntou “o que você faz?” e tal. Eu disse “estou bebendo cerveja”. Então percebi que o que ele queria saber era qual o trabalho que eu estava fazendo. Eu disse que estava atacando esse problema. Simplesmente disse a ele “escuta, você sabe qualquer modo de se fazer mecânica quântica, começando com ação, onde a integral aparece na mecânica quântica?”, “não”, ele disse, “mas o Dirac tem um artigo em que a lagrangiana, pelo menos, aparece na mecânica quântica. Eu mostro pra você amanhã”.

33 No dia seguinte nós fomos à Biblioteca de Princeton, eles tinham umas salas pequenas ao lado para discutirmos coisas e ele me mostrou o tal artigo. O que Dirac dizia era o seguinte: existe, na mecânica quântica, uma quantidade muito importante que leva a função de onda de um tempo para outro, que não é a equação diferencial mas é equivalente a ela, um tipo de núcleo, que iremos chamar de $K(x', x)$, que leva a função de onda $\psi(x)$, conhecida num tempo t , até uma função de onda $\psi(x')$, no tempo $t + \epsilon$. Dirac aponta que essa função K era *análoga* à quantidade em mecânica clássica que você calcularia se tomasse a exponencial de $i\epsilon L$, multiplicada pela lagrangiana $L(\dot{x}, x)$, imaginando que essas duas posições x, x' correspondem a t e $t + \epsilon$. Em outras palavras,

$$K(x', x) \text{ é análoga a } e^{i\epsilon L\left(\frac{x' - x}{\epsilon}, x\right)/\hbar}$$

34 O Professor Jehle me mostrou isso, eu li, ele me explicou e eu disse “o que ele quer dizer é que elas são análogas, mas o que *análogo* significa?”. Ele respondeu “vocês, americanos! Sempre tentam achar uma utilidade pra tudo!”. Eu disse que eu pensei que o que Dirac queria dizer é que ambas eram iguais. “Não”, ele explicou, “ele não quer dizer que são iguais”. “Bem”, eu disse, “vamos ver o que acontece se eu fizer com que sejam iguais”.

No contexto de ter falhado ao usar um modelo demasiadamente simples em sua teoria, Feynman comenta que encontrou o cientista Herbert Jehle, que lhe apresentou a um referencial teórico de Paul Dirac durante uma festa. Segundo Feynman, ao não compreender o que Dirac queria dizer com uma equação ser “análoga” a outra, ele descobriu que as duas equações eram *proporcionais* e isso constituiu uma importante descoberta. É Jehle que também diz sobre os físicos norte-americanos buscarem uma utilidade para tudo, diferentemente dos europeus, segundo Feynman.

Mesmo ao contar sobre feitos de outros cientistas, Feynman recorre a anedotas. Por exemplo, quando comenta a respeito da importância dos trabalhos de Lamb para a área da eletrodinâmica e como o cientista Hans Bethe pôde solucionar alguns dos

problemas encontrados por Feynman, ele diz que Bethe fez a “mais importante descoberta da história da eletrodinâmica quântica” num trem em Ithaca. Esse tipo de detalhe, primeiramente, não é estritamente necessário para que se aprecie a importância de um desenvolvimento teórico, mas demonstra uma visão sobre NdC de que descobertas importantes acontecem isoladamente, em rampantes. É mais provável que Hans Bethe estivesse pensando sobre esse problema há algum tempo, então atribuir todo o mérito da descoberta a um único instante, tão prosaico como o descrito, é mais um recurso retórico que uma descrição factual.

A última anedota de Richard Feynman ocorre no 57º parágrafo, quando ele relata ter chegado a uma versão muito mais geral de certa formulação matemática do que a que era conhecida à época:

57 Certo dia, uma disputa emergiu numa reunião da *Physical Society*, sobre a correção de um cálculo de Slotnick sobre a interação de um elétron com um nêutron usando teoria pseudo-escalar com acoplamento de pseudo-vetores. Além disso, teoria de pseudo-escalar com acoplamento pseudo-escalar. Ele havia descoberto que as respostas não eram as mesmas. Na verdade, por uma teoria, o resultado era divergente, embora convergente pela outra. Algumas pessoas acreditavam que as duas teorias deveriam dar a mesma resposta para o problema. Essa era uma boa oportunidade inicial para eu testar meus achismos sobre eu ter realmente entendido o que eram esses acoplamentos. Então eu fui pra casa e durante a tarde eu trabalhei no espalhamento do elétron e do nêutron para o acoplamento pseudo-escalar e pseudo-vetorial, vi que eles não eram iguais e os subtraí. Esmiucei a diferença em detalhes. No dia seguinte, na reunião, eu vi Slotnick e disse “Slotnick, eu trabalhei [neste problema] na noite passada, queria ver se eu tinha as mesmas respostas que você. Eu tive respostas diferentes para cada acoplamento, mas eu queria checar em detalhes com você porque eu quero ter certeza dos meus métodos”. Ele disse, então, “o que você quer dizer com ‘trabalhou noite passada’? Isso me tomou seis meses!” Quando comparamos as respostas, ele olhou para a minha e perguntou “o que é esse Q aqui, essa variável Q?” (eu tinha expressões como $\frac{\tan^{-1}Q}{Q}$, etc). Eu disse “esse é o momentum transferido pelo elétron, o elétron defletido por diferentes ângulos”. “Oh”, ele disse, “não, eu só tenho o valor limite quando Q se aproxima de zero; o espalhamento frontal”. Bom, foi bem fácil substituir Q por zero na minha forma e então eu tive as mesmas respostas que ele. Mas demorou seis meses para ele fazer o caso da transferência nula de *momentum*, enquanto que, numa tarde, eu havia resolvido o caso da transferência finita e arbitrária de momentum. Esse foi um grande momento para mim, foi como receber o Prêmio Nobel, porque eu havia me convencido de que, enfim, eu tinha um tipo de método e técnica. Entendia como fazer algo que outras pessoas não sabiam fazer. Esse foi o meu momento de triunfo, em que percebi que eu realmente tinha sucedido em fazer algo que valia a pena.

Isso, para Feynman, representava uma superioridade de seus métodos em relação ao que era consolidado à época. Esses métodos, já mencionados na seção anterior, eram acompanhados de certa crítica por não serem matematicamente rigorosos. No entanto, Feynman relata que, ao ter contato com um determinado cálculo sobre a interação de um elétron com um nêutron, durante uma reunião da *Physical Society*,

testou seu método e em uma noite conseguiu um resultado que em seis meses de trabalho outro cientista não tinha conseguido alcançar. Feynman atribui grande importância a esse episódio, sendo o caráter anedótico presente quando o cientista trata da disputa como uma grande batalha intelectual em que ele próprio sai vencedor. Para Feynman, essa realização foi tão importante quanto ganhar um Prêmio Nobel, pois foi quando ele percebeu que havia “triunfado”.

6.4.4 “FEYNMAN PORCO SEXISTA!”

O título desta seção foi escrito pelo próprio Richard Feynman, em uma de suas autobiografias (FEYNMAN e LEIGHTON, 1988). Naquele capítulo de sua biografia, ele comenta sobre uma desavença que teve com um grupo feminista que questionava algumas das formas como ele se comunicava com o público. Portanto, a polêmica sobre algumas colocações de Richard Feynman terem um cunho machista não são uma novidade.

No caso da palestra analisada, Feynman faz uma comparação relacionando uma mulher à teoria física a que tinha se apegado enquanto jovem. Essa comparação é apresentada primeiramente no 8º parágrafo e retomada ao fim da palestra:

8 Este foi o começo. A ideia parecia tão óbvia e tão elegante para mim que eu me apaixonei por ela. E, assim como se apaixonar por uma mulher, só é possível se você não sabe muito sobre ela, então você não vê seus defeitos. Esses defeitos só são aparentes mais tarde, mas depois do amor ser tão intenso a ponto de te prender a ela. Então eu me apeguei a essa teoria, apesar de todas as dificuldades, pelo meu entusiasmo juvenil.

66 Então o que aconteceu com a velha teoria com a qual eu me apaixonei quando jovem? Bem, eu diria que ela se tornou uma velha senhora, com pouca atratividade sobrando e os jovens de hoje não sentem mais palpitações no coração quando olham para ela. Mas o que nós podemos dizer de melhor sobre qualquer velha mulher é que ela se tornou uma mãe muito boa e deu à luz alguns bons filhos. E eu agradeço a Academia Sueca de Ciências por elogiar um deles. Obrigado.

Para Feynman, só é possível se apaixonar por uma mulher quando não se sabe o suficiente sobre ela. Quando o amor é suficientemente intenso, já se está preso a ela. Essa comparação é machista, não sendo necessária para explicar que a teoria física pela qual Feynman se afeiçoava tinha problemas.

A comparação é retomada no último parágrafo da palestra, quando Feynman diz que essa velha teoria se tornou uma senhora “pouco atrativa”, mas que “deu luz a alguns

bons filhos”. Além disso, ele diz que essa afirmação é o “melhor que se pode dizer sobre qualquer mulher velha”. Essas falas podem soar até mesmo chocantes quando confrontamos a visão idealizada de Feynman – como gênio bem-humorado, contrário à visão burocrática e sisuda de alguns cientistas – com a visão humanizada dele, alcançada por meio de estudos históricos sobre o cientista, que podem ajudar a esclarecer que ele também podia emitir opiniões absurdas.

Feynman realizou grandes contribuições para a física, mas não vivia numa bolha, nem num vácuo social. Ele também era um fruto do seu tempo e de sua cultura, sujeito a falhas, vicissitudes e a erros. As opiniões emitidas por um cientista, especialmente quando referentes a áreas que não são a sua especialidade, devem ser recebidas de maneira crítica. Conhecer as comparações que ele fez entre mulheres e teorias físicas inegavelmente abre caminho para uma nova camada de considerações quando pensamos sobre a *persona* de Richard Feynman. Mesmo em sua época, fazer a objetificação das mulheres dessa maneira representada em seu discurso não era adequado. O tom absurdo do discurso de Feynman é ainda mais ressaltado com o olhar atual, em que estão cada vez mais em voga os debates sobre o papel das mulheres nas ciências e as desigualdades causadas pelo viés de gênero nas instituições científicas. Assim sendo, ler essa palestra de Feynman pode incentivar discussões sobre o que mudou desde 1965 e o que não mudou nesse aspecto.

As estreitas relações que existiram entre Richard Feynman e o Brasil acentuam a relevância dos estudos a respeito do que pensava esse cientista específico. Ao se ter contato, por exemplo, com relatos do cientista a respeito do ensino de ciências no Brasil e na América Latina em geral (FEYNMAN, 1963; MEHRA, 1994), é interessante ter um conhecimento prévio a respeito do que pensava Richard Feynman, o que o influenciava e que tipos de ideias ele era propenso a defender. Sua relevância para o contexto do ensino de ciências no Brasil é tamanha que, no ano de 2018, por ser comemorado o aniversário de 100 anos do nascimento de Feynman, a Revista Brasileira de Ensino de Física publicou uma edição especial com estudos a respeito desse cientista. Uma tradução da palestra de Feynman no Nobel, realizada independentemente da nossa, foi publicada (NOVAES, 2018). No entanto, nossa análise por meio da abordagem de ciência integral é inédita.

7 A CIÊNCIA INTEGRAL NO ENSINO

Neste capítulo apontamos, sob a perspectiva da ciência integral, quais aspectos das dimensões de confiabilidade são evidenciados nas palestras estudadas e que podem subsidiar o desenho de intervenções didáticas. Diante das muitas informações apreendidas das palestras oficiais, temos à disposição um material que pode enriquecer o ensino de ciências já que as palestras analisadas revelam aspectos importantes da construção do conhecimento científico ao longo do século XX. Na abordagem de ciência integral, são explicitados aspectos das dimensões observacionais, conceituais e socioculturais presentes nos discursos dos ganhadores do Nobel, o que ilustra como fatores ditos extra-científicos influenciam as ações e escolhas dos cientistas e agentes de financiamento, bem como a forma como os cientistas comunicam seus resultados aos pares e ao grande público. Evidenciamos que os processos de construção e validação das ciências não são simples. Eles dependem do contexto histórico em que se desenvolvem.

Observamos que a análise de uma fonte primária, como uma palestra de Prêmio Nobel, tem o potencial de se abrir muitos caminhos para o entendimento a respeito da construção científica. Além da parte conceitual e cognitiva dos conhecimentos científicos, torna-se possível, a partir de uma abordagem como esta, alcançar conhecimentos referentes ao contexto sociocultural em que ocorreu algum avanço científico, como aconteceram as validações dos novos conhecimentos produzidos e que possíveis interesses ou crenças estiveram em jogo. Essas questões afastam algumas ideias ingênuas sobre as ciências, por exemplo, a de que a ciência é neutra, ou que os cientistas seguem sempre um mesmo método, guiados somente pela razão e pela lógica. Esse confronto de visões é desejável para que o ensino de ciências se dê de maneira construtiva, dialógica, havendo uma comparação embasada e crítica entre o que pode ser apreendido a partir das fontes históricas e o que é apresentado em materiais instrucionais. Essas discrepâncias entre narrativas suscita questões que podem ser debatidas a partir de uma análise como a que apresentamos: a quem ou a que interessa a propagação de uma visão específica de ciências, quando há claramente uma pluralidade e uma complexidade inerente ao fazer científico? Em relação aos cientistas, são eles próprios que promovem essas visões específicas?

Como pudemos averiguar, existem diferentes casos possíveis. Um cientista pode, por si próprio, promover uma visão distorcida sobre seu próprio trabalho a fim de exaltar sua participação nos momentos de maior prestígio das ciências. Este é o caso, por exemplo, de Fleming, que descreve em seu discurso uma descoberta puramente acidental e desinteressada. Nesse caso, a visão do cientista não se sustenta a partir da comparação com os fatos históricos. Por outro lado, quando estudamos o discurso de Feynman, notamos que o próprio cientista tinha posturas inadequadas em relação, por exemplo, às mulheres. No entanto, em materiais de divulgação científica e em livros-textos, essa faceta não é revelada. Portanto, nesse último caso o interesse em se omitir certa informação historicamente acessível não parte somente do cientista em si.

A abordagem que adotamos faz uma separação dos aspectos de confiabilidade das ciências em três dimensões: a observacional, a conceitual e a sociocultural. Elas não são exaustivas, isto é, não almejam compreender a completude de todo o processo científico. No entanto, são boas referências a respeito de como um trabalho científico possui influências e interesses que vão muito além do simples amor pela ciência ou pelo descobrimento, utilizando-se de métodos que vão além da visão indutivista. Além disso, o próprio contexto social e cultural de determinada descoberta científica tem papel importante, que pode ser explicitado por meio de uma análise como a realizada. Discutiremos, a seguir, quais aspectos ficaram evidenciados nos discursos analisados, em cada uma dessas dimensões.

7.1 DIMENSÃO OBSERVACIONAL

As ciências são geralmente vistas como um campo do conhecimento que exige tanto construções teóricas quanto evidências de cunho experimental para que as teorias sejam validadas. No entanto, essa relação entre teoria e observação não é simples, nem óbvia. Em contextos históricos distintos, a relação que os cientistas têm com suas observações passa por critérios diferentes. É comum a ideia de que os cientistas, em seus desenvolvimentos, devem realizar observações cuidadosas a fim de confiar nos fenômenos observados. Mas o que define esse cuidado? Em cada época, há contextos teóricos distintos e aparelhos de medida diversos. Observações que, em certo contexto, são inconclusivas por não se encaixarem às teorias vigentes ou por não terem precisão

suficiente de acordo com os equipamentos da época, podem ter *status* completamente diferente em outra época.

Historicamente, não é raro encontrar registros de observações que fogem às teorias científicas da época, nem por isso representam algum “perigo” à teoria. Era sabido desde muito tempo antes da teoria da relatividade, por exemplo, que havia um grande erro entre a previsão teórica do período da precessão do periélio do planeta Mercúrio e o que era observado na realidade. Outro exemplo, já no século XX, trata-se da documentação detalhada e rigorosa a respeito de supostos efeitos de absorção gravitacional por matéria, em experimentos tecnicamente rigorosos e confiáveis feitos por um cientista relevante em sua área de pesquisa (MARTINS, 2002). No caso de Mercúrio, apenas muito tempo depois a explicação sobre a divergência entre teoria e observação passou a ser algo relevante para ser explicado. No caso da absorção gravitacional por matéria, até o dia de hoje essa questão parece ter sido abandonada. É possível que, na ciência de um futuro talvez distante, esse efeito volte a ter alguma importância.

Cada área de pesquisa tem preocupações específicas a respeito dos métodos empregados nas observações e na validação desses resultados. Muitas vezes uma validação pode se dar por meio da confiança num dado equipamento experimental novo, moderno, preciso. Em outros casos, por exemplo em estudos clínicos, a confiabilidade das observações se relaciona com os métodos estatísticos e o cuidado com falsos-positivos, falsos-negativos, exames cegos e duplos-cegos. Há o problema dos vieses de confirmação, quando os resultados “errados”, isto é, que divergem de uma certa teoria científica, são menosprezados em relação aos resultados desejados, etc. Portanto, há muitos fatores em jogo no que tange as observações científicas.

Salientamos algumas dessas diferentes relações entre cientistas e suas observações nas palestras analisadas:

- Para **Marie Curie**, em 1911, é realçada a importância dos estudos sistemáticos realizados pela cientista. Ela se refere algumas vezes ao “trabalho árduo” experimental que foi realizado para verificação das teorias construídas⁵⁴. Essa noção contradiz a visão de que ciência é construída sempre em rampantes, ocasiões raras em que grandes coisas

⁵⁴ Por exemplo, no parágrafo 18, em que ela relata a complexidade de se isolar as substâncias radioativas.

ocorrem. Além disso, o processo de experimentação e observação a respeito da descoberta dos novos elementos levou à criação de uma nova área da química, que a cientista chamou de “química do imponderável”⁵⁵. Esse aspecto demonstra que, num contexto de novas construções científicas, a pesquisa de um fenômeno específico pode levar à criação de ferramentas que auxiliem o progresso de um campo mais geral das ciências. Essa consolidação de uma nova área de pesquisa também é complexa, pois exige relações de convencimento da comunidade científica sobre a confiabilidade em métodos experimentais novos. Todos esses processos ficam omissos num discurso breve como o de Curie, pois, além da inerente complexidade, grande parte dessas etapas de consolidação de uma nova área do conhecimento foram realizadas por muitos outros cientistas, em diversos lugares e em épocas diferentes da de Curie.

- **C. V. Raman**, em 1930, destaca a importância de recursos materiais como equipamentos novos e mais precisos para a validação de observações experimentais. Especificamente, o cientista relata que algumas das observações realizadas por sua equipe eram inconclusivas em relação às teorias físicas que estavam sendo construídas por eles, até que um novo sistema de iluminação fosse adquirido⁵⁶. Vemos, nesse detalhe, que há um ferramental teórico que precede a observação. Raman e seus colegas já tinham uma teoria física a respeito do novo fenômeno, ao realizarem as observações experimentais⁵⁷. Só dessa maneira se podia dizer que uma determinada observação era inconclusiva. Portanto, a visão de senso comum de que as observações da natureza precedem as teorias físicas pode ser confrontada com esse episódio. Também é ressaltado que o trabalho científico não segue somente um único caminho para ser validado. No caso das pesquisas sobre o efeito Raman, foram necessárias diversas observações segundo experimentos e abordagens distintas, para o fornecimento de evidências sólidas e

⁵⁵ Ela usa esse termo no último parágrafo da palestra. Mas já no primeiro parágrafo menciona que essa “nova ciência” havia sido reconhecida pelo Prêmio que ela, Pierre e Becquerel haviam recebido em 1903.

⁵⁶ Raman menciona isso no 9º parágrafo de seu discurso.

⁵⁷ Isso fica mais evidente quando analisamos a dimensão conceitual do trabalho de Raman, na seção seguinte.

robustas a uma certa construção teórica⁵⁸. As observações segundo diferentes métodos e abordagens devem estar numa delicada harmonia com as expectativas teóricas, sem que, no entanto, essas harmonias sejam forjadas segundo uma imposição. A quantidade de cientistas diferentes trabalhando em diferentes vertentes das investigações do efeito físico evidenciam essa complexidade da validação das observações científicas.

- **Alexander Fleming**, em 1945, faz relatos contraditórios de seus estudos, ora de forma que eles contem registros anedóticos, nos quais o cientista defende que a descoberta da penicilina foi puramente acidental⁵⁹, ora destacando o caráter sistemático e processual da pesquisa científica, envolvendo experimentos diferentes, estudos clínicos e comparação com trabalhos conhecidos⁶⁰. Esse dualismo na narrativa de Fleming é interessante para problematizarmos a imagem, às vezes construída, de que os cientistas atuam de forma simples, estereotipada, em suas investigações. O questionamento da narrativa contraditória de Fleming levanta discussões a respeito do quanto das histórias científicas que chegam ao grande público podem ser confiadas, em contraposição a um trabalho sensivelmente diferente realizado pelos cientistas de fato ao longo de suas pesquisas. De maneira semelhante ao que é relatado por Raman, quinze anos antes, Fleming também demonstra cuidado ao fazer diferentes abordagens experimentais para validar suas observações. Além desses aspectos, no discurso de apresentação do Prêmio é mencionada a importância da pesquisa em animais⁶¹. Esse fator é controverso sob o ponto de vista da ética da experimentação em seres vivos. Em 1945, no entanto, algumas metodologias científicas não carregavam a mesma controvérsia que carregam atualmente. Isso é um retrato do contexto cultural de uma época distinta.
- O caso de **Richard Feynman**, em 1965, traz a contribuição de um físico teórico para as ciências. Diferentemente dos casos de ciência com enfoque majoritariamente experimental, as preocupações observacionais

⁵⁸ Uma das importâncias conferidas por Raman aos seus colaboradores foi o fato de cada um realizar uma abordagem distinta da pesquisa. Discutimos isso com maior detalhamento na seção 6.2.1.

⁵⁹ Por exemplo, no 4º parágrafo da palestra.

⁶⁰ Ao longo do discurso, Fleming menciona ter conhecimento de observações anteriores do mofo *Penicillium*, por exemplo no 7º parágrafo.

⁶¹ Conforme apresentado na seção 6.3.

de Feynman traziam outros aspectos. Embora o foco do trabalho de Feynman tenha sido teórico, as relações entre teorias e observações experimentais permeiam a descrição realizada na palestra. O cientista conta como os experimentos já consolidados sobre o desvio de Lamb, por exemplo, foram influentes ao nortear as expectativas que Feynman tinha em relação aos resultados que sua teoria deveria prever. Muitas vezes Feynman realça que suas construções teóricas deveriam concordar com o que era conhecido experimentalmente. As observações feitas por Feynman, muitas vezes, não diziam respeito aos experimentos diretamente, mas a como as teorias que estavam sendo construídas eram válidas quando comparadas com trabalhos experimentais conhecidos.

O que podemos apreender, nesses casos estudados, é que a relação entre teoria e observação, nas ciências, é mais complexa do que às vezes é transparecido numa descrição simplificada dos processos científicos. Por um lado, há casos em que podemos concluir que os experimentos norteiam o desenvolvimento das teorias científicas, por exemplo o caso de Fleming, que precisava da validação observacional das propriedades da penicilina, ou então o caso de Feynman, que buscava sempre uma concordância entre seus desenvolvimentos teóricos e as observações conhecidas⁶². Por outro lado, o caso de Raman nos dá bases para que possamos considerar a possibilidade de que as teorias precedem os experimentos, posto que, em seus desenvolvimentos, apesar do forte caráter experimental, a conclusividade das observações era pautada por analogias realizadas entre o novo fenômeno e um fenômeno conhecido (o efeito Compton).

No âmbito do ensino, há uma forte crítica à noção de que os experimentos precedem a teoria. Por conta disso, o oposto costuma ser defendido de maneira enfática. Podemos ver, com os casos estudados, que esse pode não ser o único caso. Há uma compreensão entre epistemólogos de que as coisas são mais complexas que esses extremos. O estudo de palestras de diferentes épocas e contextos do Nobel pode nos dar bases para verificar parte dessa complexidade.

⁶² Além dessas, um exemplo histórico que pode nos dar bases para defender que experimentos e observações precedem teorias é o da Garrafa de Leiden, importante para o desenvolvimento teórico do eletromagnetismo no século XVII. Ao se analisar os primórdios desse fenômeno, podemos chegar à conclusão de que o fenômeno físico passou por um processo de ser transformado num fato científico, isto é, a observação precedeu a construção teórica (SILVA e HEERING, 2018).

7.2 DIMENSÃO CONCEITUAL

A construção e validação conceitual dos conhecimentos científicos também apresenta diversas nuances, que quando exploradas revelam mais aspectos das complexidades que existem no processo da validação dos conhecimentos científicos. São diversos os recursos possíveis para se construir uma teoria científica válida. Geralmente, há a noção de que cientistas seguem necessariamente uma linha de raciocínio lógica, baseada em razão e em rigor matemático. Podemos ver, nesses episódios, que este não é sempre o caso.

Em épocas diferentes, há diferentes padrões de pensamento e diferentes crenças epistemológicas. As teorias científicas vigentes num determinado contexto podem ser diferentes das de outro. Por exemplo: ao se construir uma teoria científica válida nos dias de hoje, é imprescindível que campos como a mecânica quântica e a mecânica relativística sejam observados. Dificilmente vemos uma violação das bases teóricas mais elementares, por exemplo, a conservação da energia. Quando essas violações ocorrem, rapidamente são encontradas maneiras de se explicar e encaixar os fenômenos relacionados a algo que não invalide as teorias vigentes. O norte fornecido pelo ambiente científico de uma determinada época influencia na forma como os conceitos são construídos⁶³. Portanto, ao analisarmos pesquisas de diferentes épocas, é de se esperar que encontremos diferentes padrões de raciocínio. A própria visão de ciência, a expectativa dos cientistas e do público geral a respeito desses profissionais desempenha um papel importante, pois um cientista profissional não costuma ter posicionamentos de ruptura em relação ao que se considera cientificamente confiável e válido em seu contexto⁶⁴.

Nas palestras analisadas, vemos quatro abordagens distintas a respeito dos trabalhos dos cientistas e dos métodos utilizados na construção científica.

⁶³ Esse aspecto é fortemente relacionado a uma concepção Kuhniana de ciência. Usando a terminologia de Kuhn, em tempos de ciência normal há esse comportamento descrito. Quando existem tantas complicações e tantas divergências entre observações e teorias, a ponto de não ser mais possível fazer a conciliação de cada caso destoante ao que se aceita como ciência válida, ocorrem então as “quebras de paradigma”, em que a visão de mundo científica é mudada drasticamente, passando a considerar diferentes pressupostos e diferentes formas de construir o conhecimento.

⁶⁴ Por exemplo: na época de Johannes Kepler, não seria controverso que um pensador que hoje chamamos de “cientista” estudasse astrologia e usasse de argumentos astrológicos em seus trabalhos. Atualmente, é impensável que um cientista tradicional sequer considere a possibilidade de utilizar argumentos astrológicos em uma pesquisa científica. O contexto atual, inclusive das ciências, é completamente distinto do contexto em que vivia Kepler.

- **Marie Curie**, em 1911, descreve uma construção metodológica linear, sistemática, que reflete pensamentos da época em que ela vivia⁶⁵. É defendida uma visão de que a construção do conhecimento se dá através da lógica e do empirismo. Nesse tipo de narrativa, as descontinuidades, contradições e erros conceituais cometidos ao longo da pesquisa são ignorados, pois é mais importante relatar o que deu certo e que deve ser tomado como modelo para uma pesquisa científica. Essa atitude em relação ao âmbito conceitual das ciências é uma representação da influência do pensamento positivista no trabalho de Curie, posto que, naquela época, essa escola de pensamento era bastante influente nos círculos científicos, portanto, seria inadequado para um cientista tradicional fugir a essa tradição filosófica, ainda mais em um discurso de caráter oficial tão prestigiado quanto a premiação do Nobel. Marie Curie, no que cerne ao modo como retrata sua pesquisa, busca uma conformidade em relação ao que se esperava, pela comunidade científica, de seus representantes.
- **C. V. Raman**, em 1930, faz uso de *analogias* para explicar um novo efeito em comparação a um efeito já consolidado⁶⁶. Esse recurso não é raro nas investigações científicas. Historicamente, vários fenômenos novos tentaram ser compreendidos analogamente a fenômenos já conhecidos. Na eletrodinâmica clássica, por exemplo, muito do formalismo usado até os dias atuais baseou-se naquele usado para o estudo de fluidos, mesmo a eletricidade, atualmente, não ser considerada um fluido⁶⁷. No caso de Raman, o cientista comenta que muitos dos desenvolvimentos teóricos de sua equipe foram pautados pelo que já era conhecido, à época, sobre o chamado efeito Compton. Ao tratar o fenômeno do espalhamento no efeito Raman como sendo um análogo óptico do efeito Compton, o cientista e sua equipe puderam fazer certas previsões e construir determinadas configurações experimentais que visassem comparar os dois fenômenos, para que, dessa forma,

⁶⁵ Conforme discutimos na seção 6.1.1.

⁶⁶ Discutido em maior detalhamento na seção 6.2.2.

⁶⁷ Na forma vetorial das equações de Maxwell, por exemplo, vemos entidades matemáticas como “divergentes”, “rotacionais” e “gradientes”, que originalmente eram empregados para estudar o movimento de fluidos em meios materiais. O próprio Maxwell tinha um modelo mecânico para explicar fenômenos elétricos e magnéticos como se fossem devido a movimentos num éter (SILVA, 2002).

conceitualmente se pudesse confiar no desenvolvimento teórico. Ao dedicar uma seção inteira de seu discurso para mencionar a analogia que foi realizada, Raman nos dá um material relevante para abordar, no âmbito do ensino, a importância das analogias em alguns dos desenvolvimentos científicos. Esse aspecto pode ser útil para questionar a visão de que um novo avanço científico surge a partir do nada.

- **Alexander Fleming**, em 1945, traz um contraponto à visão de que há somente um único método científico. São apresentados diversos métodos que o cientista usou para seguir sua linha de pesquisa, recorrendo a diferentes experimentos e a diferentes análises de suas hipóteses. Esse aspecto é reforçado desde o discurso de apresentação do Prêmio, em que o representante do comitê do Nobel diz explicitamente que Fleming demonstrou diversos métodos científicos que levaram à validação de seus resultados. Desde testes laboratoriais, realizados pelo próprio Fleming, até estudos clínicos, realizados por outros profissionais a respeito da eficácia da penicilina quando usada num ser humano, fornecem evidências de que a ideia de um único método científico, que não dependa de seu contexto, é inadequada. Fleming se utilizou de recursos e ferramentas de pesquisa disponíveis em sua época. Algumas dessas ferramentas são diferentes das atuais. Mesmo um estudo clínico, atualmente, obedece a normas diferentes e mais rebuscadas do que as presentes na época de Fleming.
- **Richard Feynman**, em 1965, faz uso de diferentes recursos conceituais em suas pesquisas. O cientista menciona o papel dos erros na construção científica, quando relata sobre as ideias conceitualmente falhas que teve ao longo de seus desenvolvimentos, bem como os erros operacionais em algumas contas que realizou⁶⁸. Também ficam evidentes algumas das crenças epistemológicas do cientista: o caráter pragmático de suas abordagens científicas e a defesa de que um bom método de se descobrir algo novo nas ciências é por meio de “tentativa e erro” marcam o discurso de Feynman⁶⁹. O uso de modelos e a criação de diagramas para facilitar cálculos são aspectos intimamente relacionados à abordagem

⁶⁸ Seção 6.4.1.

⁶⁹ Seção 6.4.2.

teórica de Feynman, sendo, portanto, aspectos diferenciados em relação à maioria dos ganhadores do Prêmio (que possuem abordagens mais experimentais ou práticas das ciências).

Portanto, os conceitos científicos também envolvem complexidades que vão além de um uso irrestrito e ingênuo da razão e da lógica. Motivações pessoais, convicções e visões de mundo desempenham forte papel na insistência em se confiar em uma, em vez de em outra, teoria científica que possa explicar e concordar com as observações conhecidas. A relação entre experimento e teoria também tem papel nessa dimensão, apesar de ser mais diretamente influente na dimensão observacional. A forma como uma teoria científica é construída e validada é influenciada pela forma como os cientistas enxergam o fazer científico, os aportes teóricos e filosóficos dos cientistas envolvidos, bem como das perspectivas da comunidade científica a respeito. Feynman é um exemplo claro de que, às vezes, o rigor que é supostamente inerente às ciências não é relevante na construção de uma teoria científica válida. Ao construir o formalismo dos diagramas de Feynman, ele reconhece que essa ferramenta não era matematicamente rigorosa, mas insistiu em usá-la mesmo assim. Essa é uma visão de mundo e de ciência diferente, por exemplo, daquela apresentada por Marie Curie no início do século, em que de fato um caráter racional e indutivo das ciências era exaltado.

Ao se apresentarem as ciências para cidadãos em estágios iniciais de formação, é comum haver visões estereotipadas sobre como os conceitos científicos são construídos e aceitos pelos cientistas. Isso reduz o fazer científico a uma espécie de manual de como pessoas da ciência devem se portar. Não é adequado reduzir toda a complexidade dos processos científicos, inclusive os que envolvem a parte puramente conceitual das ciências, a essas regras. Diferentes épocas e contextos abrem possibilidades para diferentes atitudes a respeito das ciências. Como expresso no próprio discurso de Feynman, ao se ter uma atitude inesperada, heterodoxa em relação a descoberta de novos fenômenos físicos, podemos chegar a lugares novos, avançando, dessa maneira, o conhecimento da humanidade sobre a natureza.

7.3 DIMENSÃO SOCIOCULTURAL

Ao longo de um trabalho científico, não são somente os aspectos de observação de fenômenos e construção de teorias científicas que desempenham papel relevante. Há, além destes, aspectos referentes às relações entre os cientistas, entre cientistas e instituições, o papel das agências de fomento, políticas de estado relacionadas às ciências, relação entre o que cientistas fazem e o que a sociedade espera de cientistas, negociações e assim por diante.

Influências da chamada dimensão sociocultural das ciências, sob a perspectiva da ciência integral, podem atuar desde um âmbito mais íntimo do cientista, por exemplo quando este precisa convencer seus pares de que seus resultados de pesquisa são importantes e devem ser considerados, usando, para isso, recursos retóricos e técnicas de persuasão. Também podemos pensar em efeitos mais amplos da dimensão sociocultural das ciências: quais áreas de pesquisa são consideradas importantes num determinado país, e não em outros; que tipos de trabalhos científicos recebem mais ou menos recursos em determinado local ou época; que interesses estão por trás do financiamento de certo projeto de pesquisa em detrimento de outro, etc.

Quando analisamos discursos ministrados durante o Prêmio Nobel, também estamos analisando uma parte das ciências que é substancialmente sociocultural: o Nobel tem uma importância social e cultural muito forte para a sociedade ocidental contemporânea. O que é dito e validado pelos laureados tem um poder muito maior de influenciar o pensamento científico, bem como o pensamento *sobre* as ciências, do que aquilo que é dito por cientistas de menor estirpe. Por isso, podemos ponderar que, numa comunicação oficial desse porte, visões de mundo bastante específicas são transmitidas, recursos retóricos e persuasivos são empregados visando a transmissão de uma versão específica dos fatos. Essa visão pode ser confrontada com aquelas oriundas, por exemplo, de investigações históricas acerca dos mesmos episódios.

Ao relatarem os processos e episódios que levaram às descobertas que renderam a premiação, os cientistas inevitavelmente deixam transparecer, em seus discursos, aspectos relacionados ao contexto em que viviam. Em grau mais direto ou mais sutil, todas as palestras apresentam ideias a respeito das motivações socioculturais dos cientistas estudados.

- **Marie Curie**, em 1911, se mostra como influenciada pelo ambiente filosófico de sua época⁷⁰. Desde seu nascimento, Curie teve contato com

⁷⁰ Novamente, esse aspecto pode ser claramente visto nos parágrafos realçados na seção 6.1.1.

o pensamento indutivo-positivista, especialmente influenciada por seu pai. Além disso, as próprias condições em que se encontrava socialmente, no contexto de sua premiação, exerciam uma pressão para que ela se portasse, neste tipo de discurso, conforme o que era esperado de um cientista de sua época. Mais especificamente, se por um lado Marie Curie demonstra conformidade com o que a comunidade científica esperava das atitudes de um cientista, por outro essa conformidade com o *status quo* não era vista em sua vida particular (QUINN, 2011). Na época da premiação, Marie Curie havia passado por polêmicas, principalmente nos anos que sucederam a morte de seu marido Pierre, que envolveram tanto sua indicação para a presidência da Academia de Paris (que nunca havia sido ocupada por uma mulher), quanto também a respeito dos boatos, circulados na mídia europeia poucos meses antes da indicação ao Nobel, sobre seu suposto relacionamento com o cientista Paul Langevin. À época, a questão do machismo era ainda mais presente na comunidade científica. Quando vemos, no discurso de Marie Curie, a constante referência à importância de seu marido Pierre, além da postura conservadora em relação ao trabalho científico, podemos comparar essa construção narrativa com o que permeava a vida da cientista no contexto da premiação. Isso não quer dizer que Pierre não tenha desempenhado um papel importante nas investigações científicas de Marie Curie. No entanto, pode ser indicativo de que, naquela ocasião, era importante para ela mencionar explicitamente a memória do marido não somente pelos méritos científicos, mas motivada por questões pessoais e íntimas.

- **C. V. Raman**, em 1930, teve a intenção de realçar o trabalho de cientistas indianos⁷¹. Ao mencionar explicitamente seus colegas indianos, Raman pôde divulgar, para um público bastante amplo, que as ciências também são construídas fora do eixo europeu-EUA. As ciências como empreendimento coletivo também são realçadas, contrariando a ideia, muitas vezes propagada, de que as grandes descobertas científicas são frutos do pensamento de cientistas isolados. Quando Raman explicita a grande quantidade de “hábeis colaboradores”, temos uma evidência de

⁷¹ Posto que, como vimos, o Nobel tem um claro viés de nacionalidade, realçando os trabalhos de cientistas do eixo EUA-Europa, conforme discutido no capítulo 3.

que, mesmo em épocas anteriores às grandes cooperações internacionais, a ciência já era construída coletivamente⁷². Além desses aspectos, Raman também ressalta a importância de boas condições materiais para a realização de uma pesquisa científica. Ao mencionar que certos resultados seriam inconclusivos antes da aquisição de novos e mais potentes equipamentos, Raman nos permite problematizar e questionar a ideia da importância dos investimentos em pesquisa científica, mesmo nos dias atuais.

- **Alexander Fleming**, em 1945, explicita a influência das Guerras Mundiais em seu pensamento científico: a Primeira, ao despertar o interesse do cientista sobre os antissépticos⁷³. A Segunda, ao fazer todo o sistema econômico mundial ficar suspenso, permitindo a construção de grandes laboratórios e indústrias que possibilitaram um rápido avanço a respeito de como fabricar penicilina em grande escala⁷⁴. É realçado também que o caminho da descoberta de um possível medicamento até sua disponibilização ao público não é simples e requer trabalho de muitos grupos de cientistas, realizando diferentes abordagens. Esse aspecto problematiza uma visão de que possíveis medicamentos devam ser disponibilizados o mais rápido possível. Na verdade, Fleming ressalta diversas vezes a importância dos estudos clínicos para que se tenha evidências seguras de que o remédio possa ser aplicado em seres humanos. O discurso de Fleming também permite uma problematização da ética científica: o cientista omite deliberadamente os trabalhos de André Gratia, Sara Dath e Berenice Rhodes, além de omitir trabalhos ainda mais antigos sobre as observações do *Penicillium*, como as observações feitas por John Tyndall. Essa atitude é questionável sob a perspectiva da ética científica⁷⁵.
- **Richard Feynman**, em 1965, faz uso recorrente de anedotas, típico deste cientista⁷⁶. Isto constitui um recurso retórico importante para se passar

⁷² Isso é discutido com maiores detalhes na seção 6.2.1.

⁷³ Parágrafo 22 da palestra.

⁷⁴ Parágrafo 29 da palestra.

⁷⁵ Conforme discutido na seção 6.3.4.

⁷⁶ Reforçamos que, por “anedota”, entendemos não somente casos engraçados, mas descrições prosaicas, com detalhes jocosos, picantes ou supostamente íntimos, que geralmente não correspondem a uma descrição factual dos acontecimentos.

um tipo de imagem específica sobre o trabalho do cientista – e, por consequência, sobre as ciências em geral. Portanto, o uso das anedotas representa um aspecto da comunicação do cientista não somente com seus pares, mas com toda a humanidade e com a história (dada a importância do Prêmio Nobel). Além disso, também destacamos nesta palestra os comentários machistas⁷⁷ do cientista, demonstrando que, apesar de todas as contribuições para a ciência e para o ensino, Feynman não está acima dos erros e das opiniões controversas. Pode ser incluída nesta dimensão, ainda, o viés de nacionalidade de Feynman, que, em uma das anedotas, compara o modo de trabalho dos cientistas norte-americanos ao dos cientistas europeus.

É um jargão comum de algumas áreas do conhecimento dizer que “cientistas não vivem numa bolha”. Isso quer dizer que os cientistas, como qualquer pessoa que vive em sociedade, é influenciada e também influencia o ambiente cultural, social e político ao seu redor, mesmo quando não há intenção direta de se fazer isso. Ao analisarmos sob um olhar voltado para a sociologia das ciências os discursos dos ganhadores do Nobel, muitas vezes ficam claras as influências e os interesses que os cientistas reconhecidos tinham ao transmitir certas visões de mundo e de ciência.

As ciências funcionam por meio de processos. Esses processos envolvem desde questões mais íntimas, como a relação do cientista consigo mesmo, com seus pares e com seus colegas, até questões mais amplas, como a relação entre cientistas e instituições, a relação entre instituições e a relação de todos esses com governos e autoridades. Jogos de poder, disputas de narrativas e processos de convencimento e persuasão ocorrem nas ciências desde sempre. No entanto, não é nossa intenção reduzir as ciências a esses aspectos. Ao reconhecer a importância dessa dimensão sociocultural na construção e validação do conhecimento científico, podemos justamente apreender a importância de outros fatores nas ciências, por exemplo, as questões observacionais e conceituais do fazer científico.

No ensino, especialmente nos dias atuais, é relevante apresentar as ciências em contexto, para que se perceba que, apesar de todas as falhas em vários dos aspectos relacionados à construção do conhecimento científico, apesar dos interesses, vieses e erros cometidos pelos cientistas, as ciências ainda constituem um campo seguro de

⁷⁷ Seção 6.4.4.

conhecimento. Para que se reconheça essa solidez do conhecimento científico, é necessário ponderar sobre quais as dimensões envolvidas, até onde vão os jogos de poder e até que ponto podemos ter certeza das afirmações realizadas por cientistas ou autoridades científicas. Essa visão crítica é necessária num tempo em que questões intimamente relacionadas às ciências impactam diariamente a vida da nossa sociedade.

7.4 SÍNTESE

A análise das palestras do Nobel sob a ótica da ciência integral revela vários aspectos interessantes para a construção de um posicionamento crítico sobre as ciências e sobre os cientistas. Alguns dos aspectos realçados são percebidos mais diretamente, por exemplo a intenção que Raman teve de exaltar o trabalho de seus conterrâneos, sendo essa uma mostra do caráter coletivo das ciências. Outros aspectos são mais sutis: quando Marie Curie fala sobre seu trabalho, há uma visão de ciência específica permeando seu pensamento. Essa visão, não declarada explicitamente mas transparecida em seu relato, é um retrato de como no início do século XX se enxergava a ciência. Contrapor esse tipo de visão com a visão atual é importante para que entendamos as diferenças entre contextos históricos.

Há, ainda, aspectos que servem como contraste a visões estabelecidas e caricatas a respeito de alguns episódios históricos. Em especial, no discurso de Alexander Fleming há tanto a presença da narrativa anedótica, em que o cientista diz ter descoberto a penicilina por acaso, ao mesmo tempo em que o próprio Fleming menciona o contexto do seu interesse por antissépticos e antibióticos, detalhando vários dos processos que permearam sua investigação.

De forma geral, podemos explicitar em nossa análise alguns dos fatores que fazem as ciências produzirem conhecimentos que são válidos. Não se tratam de processos simples, nem lineares. Mesmo o que se considera lugar-comum das ciências, por exemplo a importância das evidências experimentais, passa por diversas sutilezas nem sempre óbvias: as condições materiais para se realizar uma pesquisa, a confiança nas evidências, a validação da comparação das observações com teorias referentes a outros fenômenos físicos... Além disso, as dimensões conceituais e socioculturais também podem ser exploradas nesse tipo de fonte histórica, pois a própria escolha de

narrativa, a forma como se apresenta o trabalho científico, são representativos de visões específicas de ciência, localizadas no espaço, no tempo e na cultura.

8 CONCLUSÕES

Numa sociedade intrinsecamente influenciada pelo pensamento científico e pelos desenvolvimentos trazidos pelos profissionais da ciência, é sumária uma formação escolar que prepare os cidadãos e as cidadãs para tomarem posicionamentos críticos, informados e embasados a respeito de quais são os objetivos, os métodos e os interesses dos cientistas. Uma visão estereotipada e anedótica não é adequada, pois, além de não representar a factualidade do fazer científico, acarreta numa visão desimportante a respeito das ciências, quando enxergada especialmente pelo público leigo. Esse tipo de desprezo pelo trabalho científico é perigoso para o desenvolvimento de qualquer sociedade contemporânea. Uma das maneiras de se entender, de maneira crítica, a importância das ciências, é reconhecendo os limites e os processos que permeiam a construção do conhecimento científico. Extremismos, que colocam os cientistas ou como gênios incontestáveis ou como meros especuladores a respeito de abstrações, também são inadequados, pois afastam o fazer científico da sociedade. Esses extremismos impedem que pessoas “comuns” almejem uma carreira científica, sendo que, na realidade, toda a ciência é construída por pessoas ditas comuns, desde o início. Os gênios são construídos. Ao mesmo tempo, os cientistas não produzem conhecimento somente com base na autoridade, mas por meio de processos complicados que viabilizam e validam o que é construído.

Salientamos, por meio da análise das palestras oficiais de laureados do Prêmio Nobel, que a ciência não se constrói de maneira simplista, nem se apoia em uma suposta neutralidade ou sobre um suposto método científico único. Não é possível separar a ciência de seu contexto. A cada época, a cada grupo de cientistas, diferentes interesses e influências tomam parte do desenvolvimento das ciências. Ainda assim, com todas as complexidades e sutilezas, todos os vieses e todos os possíveis enganos cometidos ao longo de uma investigação científica, a ciência se mostra como um campo confiável de conhecimento, passível de ser aprimorada, refutada e continuamente construída, mesmo quando ocorrem grandes rupturas a respeito do que se considerava válido cientificamente⁷⁸. Esse aspecto é sumário num programa de ensino de ciências que busque apresentá-las de maneira contextualizada e crítica, pois saber que as ciências podem falhar não é o suficiente: é preciso saber em que ponto elas podem falhar, o

⁷⁸ Numa perspectiva Kuhniana.

porquê das possíveis falhas, mas, ao mesmo tempo, é preciso reconhecer o porquê das ciências, ainda assim, constituírem um campo confiável de conhecimento.

Uma forma frutífera de abordar essas complexidades do desenvolvimento científico é o ensino por meio da história das ciências. Ao se abordarem episódios históricos específicos e contextualizados, é possível construir conhecimentos sólidos a respeito de como a ciência funcionou em diferentes épocas, questionar as formas como a ciência funciona hoje. Dessa forma, podem ser confrontadas visões oriundas do senso comum. Aspectos de natureza da ciência, isto é, *sobre* as ciências e não somente sobre os produtos finais das ciências, que podem ser explicitados por meio da História são diversos, não havendo uma única abordagem possível para identificá-los⁷⁹. Por isso, é importante ter clareza a respeito do que se quer explorar dos processos relacionados às ciências: no nosso caso, as dimensões de confiabilidade do trabalho científico foram o foco dos nossos estudos. Tivemos esse foco justamente porque essas dimensões agregam tanto a parte observacional das ciências, quanto as partes conceituais e socioculturais. Indissociadas, esses três eixos nos apresentam algumas complexidades importantes dos processos científicos, apesar de ainda não alcançarem uma totalidade a respeito do entendimento das ciências⁸⁰.

Ao longo do século XX, muito do que entendemos hoje como ciência foi construído, validado e consolidado, em muitos lugares do mundo, por inúmeras pessoas e instituições. Áreas completamente novas de pesquisa, como a física de partículas e a nanotecnologia foram criadas, exercendo grande influência sobre o modo de vida das sociedades contemporâneas. Por isso, um entendimento sólido sobre como a ciência foi desenvolvida no século XX é importante para entendermos o estado atual das ciências e pensarmos sobre as possibilidades que se abrem para o futuro.

O Prêmio Nobel, instituído no início do século XX, abrangeu muitos dos principais desenvolvimentos científicos desde então. Desde seus primórdios, o Prêmio possui grande estima e valor para a comunidade científica e é representativo da ciência para o público geral, a nível mundial. Por isso, uma abordagem crítica a respeito de quais os interesses e os métodos por trás dos discursos proferidos pelos laureados é relevante para que tenhamos um retrato de como pensam alguns dos mais influentes membros de uma elite da comunidade científica global, em diferentes épocas.

⁷⁹ Vimos, no capítulo 4, algumas das abordagens possíveis.

⁸⁰ Qualquer visão está fadada a não contemplar o todo. Isso não quer dizer que não devemos fazer um recorte e apreender os conceitos que nos são evidenciados, desde que tenhamos boas evidências e objetivos claros para tomar um caminho em vez de outro.

Pudemos explicitar alguns aspectos importantes relacionados a natureza da ciência, de acordo com os próprios cientistas. Questões como a problematização de um método científico único, a influência de questões geopolíticas e econômicas numa pesquisa científica, a importância do trabalho colaborativo para o entendimento de novos fenômenos físicos e também as motivações pessoais que levam um cientista a desenvolver sua pesquisa puderam ser trabalhadas, a partir de fontes primárias disponíveis ao público geral. Posicionamentos controversos, como o de Feynman quando compara as antigas teorias a mulheres velhas, também puderam ser discutidos.

A abordagem escolhida para nossos estudos, a chamada ciência integral, mostra-se adequada para um tipo de análise dessa natureza, uma vez que permite avaliar, por uma perspectiva sociológica, as dimensões que conferem confiabilidade ao conhecimento científico construído, realçando que o processo de validação dos novos conhecimentos não se dá de forma simples. Um sumário dos aspectos de ciência integral explicitados nas palestras que analisamos em nossa pesquisa pode ser conferido na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3: Aspectos de Ciência Integral nas palestras analisadas

	Dimensão Observacional	Dimensão Conceitual	Dimensão Sociocultural
Marie Curie	Papel das evidências para generalização de uma teoria	Papel das crenças epistemológicas	Visão indutivista e continunista sobre a ciência, influência do contexto filosófico
C. V. Raman	Completeza das evidências	Analogias para explicar novo fenômeno	Colaboração entre vários cientistas, viés de nacionalidade, financiamento de pesquisa
Alexander Fleming	Estudos sistemáticos x Registros anedóticos	Motivações para se fazer ciência, papel de interesses prévios	Contexto de Guerra, Omissão de estudos prévios, ética acadêmica.
Richard Feynman	Concordância entre teoria e experimentos conhecidos	Pragmatismo precedendo rigor, uso de analogias	Viés de nacionalidade na abordagem de um problema físico. Machismo.

Consideramos que a análise de palestras oficiais do Prêmio Nobel é um instrumento longe de ter suas potencialidades exauridas, mesmo que eventualmente o Prêmio em si tenha seu *status* questionado⁸¹. Ao longo das décadas, mais de 900 pessoas foram laureadas pela premiação máxima das ciências. Portanto, a quantidade de materiais que podem ser analisados é gigantesca. Cada um dos discursos oficiais pode apresentar aspectos diferentes e relevantes para entendermos como a ciência foi desenvolvida ao longo do século XX e como algumas das questões apresentadas desde as décadas iniciais daquele século continuam relevantes para serem discutidas até hoje. Nesta dissertação, buscamos apresentar uma forma sólida de se analisar essas palestras, que possa ser replicada e aprimorada por professores e professoras de ciências em seus programas de ensino.

⁸¹ Não é possível prever se isso vai acontecer. No entanto, mesmo que por algum motivo o Prêmio passe a ser irrelevante para os cientistas, a grande importância dele para a ciência contemporânea o torna historicamente relevante.

Tendo em vista qual o contexto e o estado das pesquisas nessa área, o que apresentamos de diferente é a abordagem, os métodos e a problematização referente ao material analisado. Não buscamos, com essas análises, glorificar os trabalhos dos ganhadores do Prêmio, nem usá-los apenas como inspiração para a abordagem de outros conteúdos. Em vez disso, reconhecendo a importância que o Nobel possui para a visão que se tem a respeito das ciências, usamos os discursos dos próprios laureados a fim de explicitar conceitos referentes à NdC, para, dessa maneira, promover uma visão mais crítica sobre o desenvolvimento científico e sobre as (possíveis) semelhanças e (certas) discrepâncias entre os pensamentos de cientistas diversos, de épocas e contextos distintos. Evidentemente, também não esperamos exaurir essa investigação, pois, se já é possível analisar por abordagens distintas uma mesma fonte histórica, o caso se torna ainda mais complexo quando tomamos a quantidade de materiais disponíveis sobre o Nobel. Por isso, a metodologia aqui aplicada permite que o uso dessas fontes primárias não seja restrito às que escolhemos, mas ampliadas sobre toda a miríade de episódios históricos documentados oficialmente pelo Prêmio Nobel. Portanto, para além das análises das palestras específicas apresentadas, visamos também fornecer subsídios para que outras possam ser exploradas.

8.2 PALAVRAS FINAIS

De maneira contrária às visões simplistas e anedóticas sobre as ciências, ao decorrer desta pesquisa pudemos explicitar, a partir das visões dos próprios cientistas, como são ricos e complexos os processos de criação, experimentação e validação de ideias científicas. A partir de alguns episódios específicos do século XX, vimos diferenças importantes no que diz respeito às motivações e métodos de profissionais que atuaram em épocas, contextos e lugares diferentes da História da humanidade.

O Prêmio Nobel é, evidentemente, um recorte bastante específico e não diz tudo que engloba o fazer científico. No entanto, é um recorte representativo, por demonstrar o que oficialmente a comunidade científica tem a intenção de transmitir sobre seu próprio trabalho. O que os cientistas produziram em seus discursos, após revisões e edições, é um fragmento de ideias que eles e elas *queriam* transmitir, portanto, uma análise desse tipo de fonte é esclarecedor sobre como a ciência foi construída ao longo dos anos.

Na formação de futuros cidadãos e cidadãs, tanto os que almejem dedicar-se às carreiras científicas, quanto os que seguirão outros caminhos no universo do conhecimento, sempre será relevante entender as ciências, não somente em seu caráter operacional, mas também em suas questões contextuais, em suas relações com outros campos do conhecimento. O entendimento sobre a importância do papel das científicas e dos cientistas numa sociedade contemporânea, bem como a reflexão crítica sobre quais as possibilidades e os limites das ciências, é fundamental para que as escolhas tomadas por uma sociedade sejam informadas, não somente fruto de fanatismos.

Nos próximos anos, continuaremos a ver desdobramentos de muito o que se iniciou no século XX, nas ciências e também em outras áreas do pensamento. Ao mesmo tempo, também contemplaremos novas criações e novas ideias que surgirão para recusar outras que hoje são consolidadas. Este parece ser um caminho comum nas ciências. Nunca se chega ao final, nem a uma única e indiscutível Verdade. O estudo de episódios históricos das ciências nos mostra que, entre a natureza e os livros, há sempre uma variedade de escolhas, debates, concordâncias, discordâncias, caos e ordem acontecendo de maneira não-linear. Uma pessoa pode fazer ciência racionalizando o próprio trabalho, vendo uma metodologia claramente linear em seus feitos; ao mesmo tempo outra pode construir uma ciência igualmente válida a partir de pressupostos e métodos distintos. Com as ferramentas tecnológicas que dispomos hoje, é possível até mesmo que a ciência do futuro se baseie em algo que hoje não conhecemos atualmente.

É difícil, numa variedade tão grande de materiais como os discursos de todos os ganhadores do Nobel, acreditarmos que haja uma ou duas ideias que sejam comuns a todos e todas. Talvez um dos poucos aspectos que se aproximem de algo geral seja justamente este: a ciência e os cientistas não estão isolados de seus contextos e de suas Histórias. Os educadores e as educadoras que visem fomentar um ensino de ciências crítico, que encoraje posicionamentos informados e conscientes de seus estudantes a respeito de temas científicos, que estimulem mudanças na forma de vida da sociedade, devem ter à sua disposição materiais confiáveis para prepararem seus programas de ensino. Nessa pesquisa, apresentamos uma das muitas possibilidades de ferramentas existentes para esses profissionais e uma das possíveis formas de se trabalhar com esse tipo de fonte histórica.

É comum que, ao relatar para o público geral, para seus pares e para a própria história os desenvolvimentos científicos, os cientistas façam uma racionalização dos eventos históricos, omitam certos detalhes e exagerem outros. Numa ocasião como o

discurso oficial do Nobel, esses aspectos são muito presentes, pois se trata do maior reconhecimento existente pela comunidade científica. Seria enganoso tomar os discursos do Nobel, isolados, para tentar entender como exatamente ocorreram os processos das investigações estudadas, justamente por causa dessa racionalização e da construção das narrativas dos cientistas. No entanto, esses discursos são representativos a respeito da *intenção* dos cientistas. Tendo passado por ensaios e edições, podemos considerar que o que é dito é aquilo que se tem a intenção de transmitir sobre a história, não necessariamente uma descrição factual. Entre o dito e o feito pelos cientistas, pode haver um grande abismo. Mas, metaforicamente, desse abismo podemos extrair muitos conhecimentos construtivos para entendermos um pouco mais sobre como são construídas as nossas ciências.

REFERÊNCIAS

ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO, M.; ESTANY, A. Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. **Enseñanza de las ciencias**, 20, n. 3, 2002. 465-76.

ALLCHIN, D. Nobel Ideals & Noble Errors. **The American Biology Teacher**, 70, n. 8, Out 2008. 502-5.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, 95, 2011. 518-542.

ALLCHIN, D. The Nature of Science: From Test Tubes to YouTube. In: ALLCHIN, D. **Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources**. Saint Paul: SHiPS Education Press, 2013. Cap. 1, p. 3-27.

ALTERS, B. J. Whose nature of science? **Journal of research in science teaching**, 31, n. 1, Jan 1997. 39-55.

BAGDONAS, A.; SILVA, C. C. Controvérsias sobre a natureza da ciência na educação científica. In: PRESTES, M. E. B.; SILVA, C. C. **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas**. São Carlos: Tipographia, 2013. p. 213-24.

BAIMA, C.; GRANDELLE, R. Laureados do Nobel enviam carta a Temer em defesa da ciência brasileira. **O Globo**, 30 Set 2017. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/laureados-do-nobel-enviam-carta-temer-em-defesa-da-ciencia-brasileira-21892442>>. Acesso em: 22 Jan 2018.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BERÇOT, F. F.; PRESTES, M. E. B. Narrativa de história da biologia para a sala de aula: "Abraham Trembley (1710-1784) e a criatura que desafiou a classificação". **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, 10, 2016. 7-22.

BRUSH, S. G. Should the History of Science be Rated X? **Science, New Series**, 183, n. 4130, 22 Mar 1974. 1164-72.

CHARYTON, C. et al. Gender and Science: Women Nobel Laureates. **Journal of Creative Behavior**, 45, n. 3, 2011. 203-14.

CHARYTON, C.; DEDIOS, S. L.; NYGREN, T. E. Scientific Productivity and Idea Acceptance in Nobel Laureates. **The Journal of Creative Behavior**, 49, n. 4, 2014. 245-62.

CLOUGH, M. P. Teaching the Nature of Science to Secondary and Post-Secondary Students: Questions Rather Than Tenets. **California Journal of Science Education**, 8, n. 2, 2008. 31-40.

COMPTON, A. H. A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements. **Physical Review**, 21, n. 5, 1923. 483-502.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. As conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, 27, n. 3, Dez 2010. 473-514.

COUTINHO, M.; FREIRE JR, O.; DIAS, J. C. P. The Noble Enigma: Chagas' Nominations for the Nobel Prize. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, 94, Set 1999. 123-129.

CRAWFORD, E. **The Beginnings of the Nobel Institution: The Science Prizes, 1901-1915**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

CRUZ, E. P. CPI da Fosfoetanolamina ouve pesquisadores da USP e do Instituto do Câncer. **Agência Brasil**, 29 Nov 2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-11/cpi-da-fosfoetanolamina-ouve-pesquisadores-da-usp-e-do-instituto-do-cancer>>. Acesso em: 28 Jan 2018.

CURIE, M. Radium and the New Concepts in Chemistry. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 1911. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/marie-curie-lecture.html>. Acesso em: 22 Jan 2018.

DAHLGREN, E. W. Award Ceremony Speech. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 1911. Disponível em:

<https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/press.html>.

Acesso em: 22 Jan 2018.

DIAS, T. Como a fosfoetanolamina foi aprovada no Senado mesmo contrariando as evidências científicas. **Nexo Jornal**, 23 Mar 2016. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/expresso/2016/03/23/Como-a-fosfoetanolamina-foi-aprovada-no-Senado-mesmo-contrariando-as-evid%C3%A2ncias-cient%C3%ADficas>>. Acesso em: 29 Jan 2018.

DIJK, E. M. V. Portraying real science in science communication. **Science Education**, 95, 2011. 1086-1100.

DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. **Science & Education**, Dordrecht, 22, n. 9, Set 2013. 2109-2139.

ESCOBAR, H. Cortes na Ciência ameaçam o futuro do Brasil, dizem ganhadores do Nobel. **O Estado de São Paulo**, 30 Set 2017. Disponível em: <<http://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral,cortes-na-ciencia-ameacam-o-futuro-do-brasil-dizem-ganhadores-do-nobel,70002021809>>. Acesso em: 21 Jan 2018.

ESHACH, H. et al. Introducing Taiwanese undergraduate students to the nature of science through Nobel Prize stories. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, 9, n. 1, 2013. 1-15.

FEYNMAN, R. P. The Problem of Teaching Physics in Latin America. **Engineering and Science**, 27, n. 2, 1963. 21-30.

FEYNMAN, R. P. The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 1965. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-lecture.html>. Acesso em: 22 Jan 2018.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. Feynman Sexist Pig! In: FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. **What do you care what other people think? Further adventures of a Curious Character**. New York: Bantam Books, 1988. p. 72-75.

FIORAVANTI, C. André Gratia, pioneiro pouco conhecido da história dos antibióticos. **Cadernos de História da Ciência - Instituto Butantan**, VIII, n. 2, Jul/Dez 2012. 285-297.

FLEMING, A. Penicillin. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 1945. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1945/fleming-lecture.pdf>. Acesso em: 22 Jan 2018.

FORATO, T. C. D. M.; MARTINS, R. D. A.; PIETROCOLA, M. History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies. **Science & Education**, 21, n. 5, 2012. 657-682.

FRIEDMAN, R. M. Nobel physics prize in perspective. **Nature**, 292, 1981. 793-98.

GIL PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, 7, n. 2, 2001. 125-53.

GOLINSKI, J. V. Language, Discourse and Science. In: OLBY, R. C., et al. **Companion to the history of modern science**. London & New York: Princeton University Press, 1990. Cap. 9, p. 110-126.

GURGEL, C. B. M. F.; MAGDALENA, C. V.; PRIOLI, L. F. Carlos Chagas e o Enigma do Prêmio Nobel. **Caderno de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, 17, n. 4, 2009. 799-809.

HARRIS, H. Müller, Schleiden and Schwann. In: HARRIS, H. **The Birth of the Cell**. New Haven and London: Yale University Press, 1999. Cap. 10, p. 94-105.

HENLEY, J.; FLOOD, A. Nobel prize in literature 2018 cancelled after sexual assault scandal. **The Guardian**, 4 Mai 2018. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/books/2018/may/04/nobel-prize-for-literature-2018-cancelled-after-sexual-assault-scandal>>. Acesso em: 14 Mai 2018.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. **Science & Education**, 20, 2011. 293-316.

IRZIK, G.; NOLA, R. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, 20, 2011. 591-607.

JENSEN, W. P.; PALENIK, G. J.; SUH, I.-H. The History of Molecular Structure Determination Viewed through the Nobel Prizes. **Journal of Chemical Education**, 80, n. 7, Jul 2003. 753-61.

JUSTI, R.; MENDONÇA, P. C. C. Discussion of the Controversy Concerning a Historical Event among Pre-Service Teachers: Contributions to Their Knowledge about Science, Their Argumentative Skills, and Reflections about Their Future Teaching Practices. **Science & Education**, 25, n. 7-8, 2016. 795-822.

KIBBLE, T. W. B.; BERKSHIRE, F. H. Hamilton's principle; Lagrange's equations. In: KIBBLE, T. W. B.; BERKSHIRE, F. H. **Classical Mechanics**. 5^a. ed. London: Imperial College Press, 2004. Cap. 3.7, p. 62-65.

KRAGH, H. Sources. In: KRAGH, H. **An introduction to the historiography of science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. Cap. 11, p. 120-132.

KRAGH, H. Fundamental Theories. In: KRAGH, H. **Quantum Generations: a History of Physics in the Twentieth Century**. Princeton: Princeton University Press, 2002. Cap. 22, p. 332-48.

KRAGH, H. Nobel Physics. In: KRAGH, H. **Quantum Generations: A history of Physics in the Twentieth Century**. Princeton: Princeton University Press, 2002. Cap. 28, p. 427-39.

LANDSBERG, H. Prelude to the Discovery of Penicillin. **Isis**, 40, n. 3, 1949. 225-227.

LEDERMAN, N. G. et al. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. **Journal of research in science teaching**, 39, n. 6, 2002. 497-521.

LEDFORD, H. Brazilian courts tussle over unproven cancer treatment. **Nature**, 527, 26 Nov 2015. 420-421.

LILJESTRAND, G. Award Ceremony Speech. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 1945. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1945/press.html>. Acesso em: 22 Jan 2018.

LURIA, S. E. The Goals of Science. **Bulletin of the Atomic Scientists**, 33, n. 5, 1977. 29-33.

MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 24, n. 1, abr 2007. 112-131.

MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 32, n. 3, dez 2015. 703-37.

MARTINS, M. Fosfoetanolamina, um composto polêmico. **Carta Capital**, 30 out. 2015. Disponível em: <<https://www.cartacapital.com.br/revista/873/composto-polemico-2508.html>>. Acesso em: 28 Jan 2018.

MARTINS, R. D. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 7 (Número Especial), Jun 1990. 27-45.

MARTINS, R. D. A. Majorana's experiments on gravitational absorption. In: EDWARDS, M. R. **Pushing gravity: New perspectives on Le Sage's Theory of Gravitation**. Montreal: Apeiron, 2002. p. 219-238.

MARTINS, R. D. A. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. **Estudos de história e filosofia das ciências**. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. xvii-xxx.

MARTINS, R. D. A. Eponyms as a stumbling block in the way of an adequate history of science. **IHPST 13th Biennial International Conference**, Rio de Janeiro, 1, 2015. 1-9.

MARTINS, R. D. A.; SILVA, C. C.; PRESTES, M. E. B. History and Philosophy of Science in Science Education, in Brazil. In: MATTHEWS, M. R. **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. Dordrecht: Springer, v. III, 2014. Cap. 70, p. 2271-99.

MATTHEWS, M. R. Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In: KHINE, M. S. **Advances in Nature of Science Research**. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2012. Cap. 1, p. 3-26.

MCCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H. The nature of science in Science Education: An Introduction. **Science & Education**, 7, 1998. 511-32.

MEHRA, J. From Cornell to Caltech via Copacabana and Kyoto. In: MEHRA, J. **The Beat of a Different Drum: The life and science of Richard Feynman**. New York: Oxford University Press, 1994. Cap. 16, p. 330-347.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. D. C. Análise Textual Discursiva: Análise de conteúdo? Análise de discurso? In: MORAES, R.; GALIAZZI, M. D. C. **Análise Textual Discursiva**. 3a. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2016. Cap. 6, p. 161-84.

NETO, C. P. D. S.; JUNIOR, O. F. Um presente de Apolo: lasers, história e aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 39, n. 1, 2017. (e1502-1)-(e1502-10).

NICKLES, T. Discovery. In: OLBY, R. C., et al. **Companion to the history of modern science**. London & New York: Routledge, 1990. Cap. 11, p. 148-166.

NOBEL MEDIA AB. The Nobel Prize in Chemistry 1911. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 2014. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/>. Acesso em: 22 Jan 2018.

NOBEL MEDIA AB. The Nobel Prize in Physics 1930. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 2014. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1930/>. Acesso em: 22 Jan 2018.

NOBEL MEDIA AB. The Nobel Prize in Physics 1965. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 2014. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/>. Acesso em: 22 Jan 2018.

NOBEL MEDIA AB. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1945. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 2014. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1945/>. Acesso em: 22 Jan 2018.

NOBEL, A. B. Full Text of Alfred Nobel's Will. **The Official Web Site of the Nobel Prize**, 27 Nov 1895. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/alfred_nobel/will/will-full.html>. Acesso em: 22 Jan 2018.

NOVAES, M. A eletrodinâmica quântica de Feynman – tradução de sua palestra Nobel. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. e4209, 2018.

OLESKO, K. M. Myth 25: That science has been largely a solitary enterprise. In: NUMBERS, R. L.; KAMPOURAKIS, K. **Newton's Apple and other myths about science**. Cambridge, Massachussets & London: Harvard University Press, 2015. Cap. 25, p. 202-209.

OLMSTED III, J. What Chemists Do. **Journal of Chemical Education**, 87, n. 10, 2010. 1045-49.

ORSI, C. Fosfoetanolamina, o “caso que envergonhou a ciência brasileira”. **Gazeta do Povo**, 1 Jun 2017. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/ideias/fosfoetanolamina-ocaso-que-envergonhou-a-ciencia-brasileira-d5wnxh6h28oop2z9b3xsg6v3w>>. Acesso em: 28 Jan 2018.

PAGLIARINI, C. R. **Leituras de cientistas do início da física quântica no ensino médio**: Fronteiras com a física clássica. Campinas: Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2016.

PANUSCH, M.; HEERING, P.; SINGH, R. How Robert A. Millikan Got the Physics Nobel Prize. **Interchange: A Quarterly Review of Education**, 41, n. 4, 2010. 425-42.

PARAMESWARAN, U. **C.V. Raman: A Biography**. [S.l.]: Penguin Books, 2011.

PIOVEZAN, S. Pacientes pedem na Justiça que USP forneça cápsula de combate ao câncer. **G1 (Portal de Notícias)**, 17 Ago 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2015/08/pacientes-pedem-na-justica-que-usp-fornece-capsula-de-combate-ao-cancer.html?noAudience=true>>. Acesso em: 28 Jan 2018.

PITTELLA, J. E. H. O processo de avaliação em ciência e a indicação de Carlos Chagas ao Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, 42, n. 1, Jan-Fev 2009. 67-72.

PLEIJEL, H. Award Ceremony Speech. **Nobelprize.org**, 1930.

PRESTES, M. E. B.; CALDEIRA, A. M. D. A. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, 4, 2009. 1-16.

PRINCIPE, L. M. Myth 4: That alchemy and astrology were superstitious pursuits that did not contribute to science and scientific understanding. In: NUMBERS, R. L.; KAMPOURAKIS, K. **Newton's Apple and Other Myths about Science**. Cambridge, Massachussets & London, England: Harvard University Press, 2015. Cap. 4, p. 32-39.

QUINN, S. **Marie Curie: A Life**. Lexington: Plunkett Lake Press, 2011.

RAMAN, S. C. V. The Molecular Scattering of Light. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 1930. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1930/raman-lecture.html>. Acesso em: 22 Jan 2018.

RILEY, K. F.; HOBSON, M. P.; BENCE, S. J. Eigenvectors and Eigenvalues. In: RILEY, K. F.; HOBSON, M. P.; BENCE, S. J. **Mathematical Methods for Physics and Engineering**. 3ª. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. Cap. 8.13, p. 272-279.

ROBINSON, J. T. Science Teaching and the Nature of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, 3, 1965. 37-50.

RONCOLATO, M. Por que cientistas vencedores de prêmios Nobel enviaram uma carta a Temer. **Nexo Jornal**, 2 Out 2017. Disponível em: <<https://www.nexojornal.com.br/expresso/2017/10/02/Por-que-cientistas-vencedores-de-pr%C3%AAsios-Nobel-enviaram-uma-carta-a-Temer>>. Acesso em: 22 Jan 2018.

RUDOLPH, J. L. Reconsidering the 'nature of science' as a curriculum component. **Journal of Curriculum Studies**, 32, n. 3, 2000. 403-419.

RUPRECHT, T.; BERGAMO, K. Um raio x da pílula contra o câncer. **Saúde é Vital (Revista)**, 28 Out 2016. Disponível em: <<https://saude.abril.com.br/bem-estar/um-raio-x-da-pilula-contr-o-cancer/>>. Acesso em: 28 Jan 2018.

SAKURAI, J. J. The self-energy of a bound electron; the Lamb shift. In: SAKURAI, J. **J. Advanced Quantum Mechanics**. Boston: Addison-Wesley, 1967. Cap. 2-8, p. 64-74.

SCHWEBER, S. S. **QED and the men who made it**: Dyson, Feynman, Schwinger and Tomonaga. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1994.

SCOVILLE, C.; BROUWER, C.; DUJARDIN, M. Nobel Chronicle: Fleming and Gratia (Correspondence). **The Lancet**, 354, 17 Jul 1999. 258.

SHAPIN, S.; SCHAFFER, S. **Leviathan and the Air-Pump**: Hobbes, Boyle and the Experimental Life. Princeton: Princeton University Press, 1985.

SHAVININA, L. V. Explaining high abilities of Nobel laureates. **High Ability Studies**, 15, n. 2, 2004. 243-54.

SILVA, C. C. **Da força ao tensor**: evolução do conceito físico e representação matemática do campo eletromagnético. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física "Gleb Wataghin", Unicamp. Campinas: UNICAMP, 2002.

SILVA, C. C.; HEERING, P. Re-examining the early history of the Leiden jar: Stabilization and variation in transforming a phenomenon into a fact. **History of Science**, v. 56, n. 3, p. 314-342, 2018.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. A Natureza da Ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 30, n. 1, 2008. 1602-10.

SINGH, R.; RIESS, F. The 1930 Nobel Prize for Physics: A close decision? **Notes and Records of The Royal Society**, London, 55, Mai 2001. 267-283.

SISARIO, B. Bob Dylan Will Not Attend Nobel Ceremony. **The New York Times**, 16 Nov 2016. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2016/11/17/books/bob-dylan-not-attending-nobel-prize-ceremony-stockholm.html>>. Acesso em: 14 Mai 2018.

THE ROYAL SOCIETY. Sir Tim Hunt resigns from Royal Society awards committee. **The Royal Society**, 11 Jun 2015. Disponível em: <<https://royalsociety.org/news/2015/06/sir-tim-hunt-resigns-from-royal-society-awards-committee/>>. Acesso em: 22 Jan 2018.

THURS, D. P. Myth 26: That the scientific method accurately reflects what scientists actually do. In: NUMBERS, R. L.; KAMPOURAKIS, K. **Newton's Apple and other myths about science**. Cambridge, Massachussets & London: Harvard University Press, 2015. Cap. 26, p. 210-218.

WALLER, I. Award Ceremony Speech. **The Official Web Site of The Nobel Prize**, 1965. Disponivel em:
 <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/press.html>. Acesso em: 22 Jan 2018.

WOODCOCK, B. A. "The Scientific Method" as Myth and Ideal. **Science & Education**, 23, 2014. 2069-2063.

ANEXO 1: PALESTRA DE MARIE CURIE EM 1911

Rádio e os Novos Conceitos em Química

Palestra do Prêmio Nobel, 11 de Dezembro de 1901

1 Cerca de 15 anos atrás, a radiação do urânio era descoberta por Henri Becquerel. Dois anos depois o estudo deste fenômeno era estendido a outras substâncias, primeiramente por mim e então por Pierre Curie e eu. Este estudo rapidamente nos levou à descoberta de novos elementos, cujas radiações, apesar de análogas à do urânio, eram bem mais intensas. Todos os elementos que emitiam tal radiação eu chamei de *radioativos*. Essa nova propriedade da matéria, revelada nessas emissões, recebeu o nome de *radioatividade*. Graças à descoberta de novas e mais poderosas substâncias radioativas, especialmente o rádio, o estudo da radioatividade progrediu com uma rapidez maravilhosa: descobertas seguiram-se em rápidas sucessões e era óbvio que uma nova ciência estava sendo desenvolvida. A *Academia Sueca de Ciências* foi gentil o suficiente para celebrar o nascimento dessa nova ciência ao dar o Prêmio Nobel de Física aos primeiros que trabalharam nessa área, Henri Becquerel, Pierre Curie e Marie Curie (1903).

2 Daquele tempo em diante, numerosos cientistas devotaram-se ao estudo da radioatividade. Deixem-me lembrá-los de um deles que, pela certeza de seu julgamento e pela audácia de suas hipóteses e depois de muitas investigações feitas por ele e por seus pupilos, teve sucesso não somente em aumentar nosso conhecimento, mas também em classificá-lo com grande clareza; ele proveu uma coluna vertebral para a nova ciência, na forma de uma teoria bastante precisa, admiravelmente conveniente para o estudo dos fenômenos. Eu fico feliz em lembrar que Rutherford veio a Estocolmo em 1908 para receber o Prêmio Nobel como recompensa merecida por seu trabalho.

3 Longe de ficar estagnado, o desenvolvimento da nova ciência continuou, constantemente, a seguir um curso ascendente. E agora, apenas 15 anos depois da descoberta de Becquerel, estamos frente a frente com todo um novo mundo de novos fenômenos que pertencem a um campo que, apesar da proximidade com os campos da física e da química, é especialmente bem definido. Neste campo, a importância do rádio, do ponto de vista de teorias gerais, tem sido decisivo. A história da descoberta e do isolamento dessa substância forneceu prova para minha hipótese de que *radioatividade*

é uma propriedade atômica da matéria e pode prover um meio de buscar novos elementos. Esta hipótese levou às teorias atuais de radioatividade, de acordo com as quais nós podemos prever com certeza a existência de cerca de 30 novos elementos que nós não podemos, em geral, nem isolar nem caracterizar por métodos químicos. Também assumimos que esses elementos passam por transformações atômicas. A prova mais direta em favor dessa teoria é providenciada pelo fato experimental da formação do quimicamente definido elemento *hélio* a partir do quimicamente definido elemento *rádio*.

4 Vendo o assunto por esse ângulo, pode se dizer que a tarefa de isolar rádio é a pedra fundamental do edifício da ciência da radioatividade. Além disso, o rádio permanece sendo a mais útil e poderosa ferramenta nos laboratórios de radioatividade. Eu acredito que devido a essas considerações a *Academia Sueca de Ciências* me deu a grande honra de receber o Prêmio Nobel deste ano em Química.

5 É, portanto, meu dever apresentar a vocês o rádio, em particular, como um novo elemento químico e deixar de lado a descrição dos muitos fenômenos radioativos que já foram descritos nas palestras de H. Becquerel, P. Curie e E. Rutherford.

6 Antes de abordar o assunto desta palestra, gostaria de lembrar que as descobertas do rádio e do polônio foram feitas por Pierre Curie em colaboração comigo. Também devemos a Pierre Curie a pesquisa básica no campo da radioatividade, que foi feita por ele sozinho, em colaboração com seus pupilos.

7 O trabalho químico de isolar rádio no estado de sal puro e caracterizá-lo como novo elemento foi feito principalmente por mim, mas é intimamente relacionado com nosso trabalho conjunto. Eu, portanto, sinto que interpreto corretamente a intenção da *Academia de Ciências* ao assumir que um prêmio de tamanha distinção dado a mim é motivado por esse trabalho em conjunto. Portanto, presta homenagem à memória de Pierre Curie⁸².

8 Vou lembrá-los, a princípio, de que uma das propriedades mais importantes dos elementos radioativos é a de ionizar o ar em suas vizinhanças (Becquerel). Quando um composto de urânio é colocado numa placa de metal A, situada

⁸² Nesta tradução, foram respeitados os espaçamentos maiores que ocorrem entre alguns parágrafos, segundo a transcrição original, por exemplo entre este e o próximo.

oposta a outra placa B e é mantida uma diferença de potencial entre as placas A e B, uma corrente elétrica surge entre essas placas; essa corrente pode ser medida com precisão sob condições favoráveis, servindo como uma medida da atividade da substância. A condutividade conferida ao ar pode ser associada à ionização produzida pelos raios emitidos dos compostos de urânio.

9 Em 1897, usando este método de medida, eu fiz um estudo da radiação de compostos de urânio. Logo estendi esse estudo a outras substâncias, com o objetivo de saber se a radiação desse tipo ocorre em outros elementos. Encontrei, dessa maneira, que, dos outros elementos conhecidos, apenas os compostos de tório se comportam como os de urânio.

10 Eu fiquei chocada pelo fato de que a atividade dos compostos de urânio e de tório parecia ser *uma propriedade atômica do elemento urânio e do elemento tório*. Compostos químicos e misturas contendo urânio e tório são ativos em proporção direta à quantia desses materiais contidos nelas. A atividade não é destruída nem por mudanças físicas de estado nem por transformações químicas.

11 Eu medi a atividade de um número de minerais; todos os que pareciam ser radioativos sempre continham urânio ou tório. Mas um fato inesperado foi notado: alguns materiais (pechblenda, chalcólita, autunita) tinham maior atividade que a esperada com base no conteúdo de urânio ou tório. Então, certas pechblendas que continham 75% do óxido de urânio eram cerca de quatro vezes mais radioativas que esse óxido. Chalcólita (fosfato cristalizado de cobre e urânio) era cerca de duas vezes mais radioativa que urânio. Isso entrava em conflito com visões de que nenhum mineral devia ser mais radioativo que urânio metálico. Para explicar esse ponto eu preparei chalcólita sintética a partir de produtos puros e obtive cristais cuja atividade era completamente consistente com o conteúdo de urânio; essa atividade é cerca de metade daquela do urânio.

12 Eu então pensei que a maior atividade dos minerais naturais devia ser determinada pela presença de uma pequena quantidade de um material altamente radioativo, diferente de urânio, tório e dos elementos conhecidos na época. Também ocorreu a mim que, se esse fosse o caso, eu poderia extrair essa substância do mineral por meio de métodos ordinários de análise química. Pierre Curie e eu certa vez fizemos essa pesquisa, esperando que a proporção do novo elemento pudesse alcançar um alto percentual. Na realidade, a proporção do elemento hipotético era muito menor, levando muitos anos para se mostrar inequivocamente que a pechblenda contém pelo menos um

material altamente radioativo que é um novo elemento no sentido que a química usa o termo.

13 Fomos, então, levados a criar um novo método de procurar elementos, *um método baseado em radioatividade, considerada uma propriedade atômica da matéria*. Cada separação química é seguida por uma medição da atividade dos produtos obtidos. Dessa maneira, é possível determinar como a substância ativa se comporta do ponto de vista químico. Este método veio a ter aplicações gerais, sendo similar, em algum sentido, à análise espectral. Devido à alta variedade da radiação emitida, o método pode ser aperfeiçoado e estendido, de forma que seja possível não apenas descobrir materiais radioativos, mas distingui-los entre si com grande certeza.

14 Também foi descoberto, ao usar o método considerado, que de fato era possível concentrar a atividade por métodos químicos. Descobrimos que a pechblenda contem pelo menos dois materiais radioativos, a um dos quais, ao lado do bismuto, foi dado o nome de *polônio*, enquanto o outro, pareado com o bário, foi batizado *rádio*.

15 Outros elementos radioativos foram descobertos desde então: actínio (Debierne), radiotório e mesotório (Hahn), iônio (Boltwood), etc.

16 Estamos convencidos de que os materiais que descobrimos eram novos elementos químicos. Essa convicção foi baseada somente na natureza atômica da radioatividade. Mas, a princípio, do ponto de vista químico, era como se nossas substâncias tivessem sido bismuto puro e, a outra, bário puro. Era vital mostrar que a propriedade radioativa era conectada com traços de elementos que não fossem nem bismuto nem bário. Para fazer isso, os elementos hipotéticos teriam de ser isolados. No caso do rádio, o isolamento foi completamente bem sucedido, mas foram precisos muitos anos de esforço incessante. Rádio, na forma de sal puro, é uma substância cuja manufatura atualmente chegou à escala industrial; nenhuma outra substância radioativa obteve resultados tão positivos.

17 Os materiais radíferos tem sido sujeitos a estudos entusiasmados porque a presença de rádio confere a eles um valor considerável. Eles são identificáveis tanto por método eletrométrico, ou simplesmente pela impressão que eles produzem numa placa fotográfica. O melhor minério de rádio é a pechblenda de St. Joachimsthal (Áustria) que tem sido por muito tempo processada para gerar sais de urânio. Após a extração desse último, o minério deixa um resíduo que contem rádio e polônio. Nós geralmente usamos esse resíduo como nossa matéria bruta.

18 O primeiro tratamento consiste em extrair o bário e o bismuto radíferos contidos no polônio. Esse tratamento, que foi pela primeira vez realizado em um laboratório com muitos quilogramas de material bruto (cerca de 20 kg) teve, então, de ser feito numa fábrica, devido à necessidade de se processar milhares de quilogramas. Na verdade, nós aprendemos gradualmente da experiência que o rádio é contido no material bruto numa proporção de alguns decigramas por toneladas. Cerca de 10 a 20 kg de sulfato cru de bário contendo rádio são extraídos de cada tonelada de resíduo. A atividade desses sulfatos chega a ser 30 a 60 vezes maior que a do urânio. Esses sulfatos são purificados e convertidos em cloretos. Na mistura de bário e cloretos de rádio o rádio é presente apenas na proporção de 3 partes por 100.000. Na indústria do rádio, na França, um minério de pior qualidade é o mais usado e a proporção indicada é ainda menor. Para separar o rádio do bário eu usei um método de cristalização fracionária do cloreto (bromida por ser usada, também). O sal de rádio, menos solúvel que o sal de bário, torna-se concentrado nos cristais. Fracionamento é uma operação longa e metódica que gradualmente elimina o bário. Para obter um sal muito puro eu tive de realizar muitos milhares de cristalizações. O progresso do fracionamento é monitorado por medições de atividade.

19 Uma primeira prova de que o elemento rádio existe foi provida por análise espectral. O espectro de um cloreto enriquecido por cristalização exibiu uma nova linha que Demarcay atribuiu a um novo elemento. Ao passo que a atividade ficava mais concentrada, a nova linha aumentava em intensidade e outras linhas apareciam, enquanto o espectro do bário ficava cada vez menos pronunciado. Quando a pureza é muito alta, o espectro do bário é escasso.

20 Eu repetidamente determinei o peso atômico médio do metal no sal sujeito à análise espectral. O método usado foi o que consistia em determinar o conteúdo de cloro na forma de cloreto de prata numa quantidade conhecida de cloreto anidro. Descobri que esse método dá resultados muito bons mesmo com poucas quantidades de substância (0,1 a 0,5g), já que uma balança muito rápida é usada para evitar a absorção da água pelo sal alcalino-terroso durante as pesagens. O peso atômico aumenta com o enriquecimento do rádio, conforme indicado pelo espectro. Os pesos atômicos sucessivos obtidos foram: 138; 146; 174; 225; 226.45. Esse último valor foi determinado em 1907 com 0,4g de sal muito puro de rádio. Os resultados de um número de determinações foram 226.62; 226.31; 226.42. Estes foram confirmados por experimentos mais recentes.

21 A preparação de sais puros de rádio e a determinação do peso atômico do rádio provou positivamente que o rádio é um novo elemento e consolidou uma posição definida associada a ele. Rádio é o maior homólogo do bário na família dos metais alcalino-terrosos; ele entrou na tabela de Mendeleev na coluna correspondente, na fileira que contém urânio e tório. O espectro de rádio é conhecido com precisão. Esses resultados claros do rádio convenceram os químicos e justificou o estabelecimento da nova ciência das substâncias radioativas.

22 Em termos químicos, o rádio difere pouco do bário; os sais desses dois elementos são isomorfos, enquanto que os do rádio são usualmente menos solúveis que os de bário. É muito interessante notar que a intensa radioatividade do rádio não envolve anomalias químicas e que as propriedades químicas são na verdade aquelas que correspondem à posição no Sistema Periódico indicada por seu peso atômico. A radioatividade do rádio em sais sólidos é cerca de 5 milhões de vezes maior que aquela de um peso igual de urânio. Devido a essa atividade, seus sais são espontaneamente luminosos. Eu também gostaria de lembrar que o rádio dá origem a uma liberação contínua de energia que pode ser medida na forma de calor, sendo cerca de 118 calorias por grama de rádio por hora.

23 O rádio tem sido isolado no estado metálico (M. Curie e A. Debierne, 1910). O método usado consistia em destilar, sob hidrogênio muito puro, o amálgama do rádio formado pela eletrólise de uma solução de cloreto usando um cátodo de mercúrio. Um decigrama, apenas, de sal era tratado e, por consequência, dificuldades consideráveis estavam envolvidas. O metal obtido derrete a cerca de 700°C. Acima dessa temperatura ele começa a volatilizar. Ele é muito instável no ar e decompõe água vigorosamente.

24 As propriedades radioativas do metal são exatamente as que podem ser previstas na suposição de que a radioatividade dos sais é uma propriedade atômica do rádio, o qual não é afetado pelo estado de combinação. É de real importância corroborar esse ponto, pois algumas dúvidas têm sido apontadas por aqueles que ainda não consideram a hipótese atômica da radioatividade como evidente.

25 Apesar de o rádio ser, por enquanto, apenas obtido em pequenas quantidades, ainda é verdade dizer, em conclusão, que ele é um elemento químico perfeitamente definido e já bem estudado.

26 Infelizmente, o mesmo não pode ser dito sobre o polônio, para o qual grandes esforços já foram dirigidos. A pedra no caminho aqui é o fato de que a proporção do polônio no minério é cerca de 5.000 vezes menor que a do rádio.

27 Antes que evidências teóricas estivessem disponíveis para prever essa proporção, eu conduzi muitas operações extremamente laboriosas para concentrar polônio. Dessa maneira, garanti produtos com altíssima atividade sem conseguir chegar a resultados definidos como no caso do rádio. A dificuldade é aumentada pelo fato de que o polônio se desintegra espontaneamente, desaparecendo pela metade num período de 140 dias. Nós agora sabemos que o rádio não tem uma vida infinita, também, mas a taxa de desaparecimento é muito menor (desaparece pela metade em 2.000 anos). Com nossas instalações, temos poucas esperanças de determinar o peso atômico do polônio porque a teoria prevê que um minério rico pode conter apenas poucas centenas de miligramas por tonelada, mas nós podemos ter esperanças de observar o espectro. A operação de concentrar polônio, como devo apontar mais tarde, é, acima de tudo, um problema de grande interesse teórico.

28 Recentemente, em colaboração com Debierne, eu tratei muitas toneladas de resíduos de minério de urânio com o intuito de preparar polônio. Inicialmente conduzido na indústria, depois em laboratório, esse tratamento finalmente gerou poucos miligramas de uma substância cerca de 50 vezes mais ativa que um peso igual de rádio puro. No espectro da substância algumas novas linhas puderam ser observadas, que pareciam atribuíveis ao polônio e das quais a mais importante tinha o comprimento de onda de 4170.5 Angstroms. De acordo com a hipótese atômica da radioatividade, o espectro do polônio deve desaparecer ao mesmo tempo em que a atividade e esse fato pode ser confirmado experimentalmente.

29 Até o momento, considere o rádio e o polônio apenas como substâncias químicas. Eu mostrei como a hipótese fundamental que diz que a radioatividade é uma propriedade atômica da substância levou à descoberta de novos elementos químicos. Eu devo agora descrever como o escopo desta hipótese tem sido consideravelmente aumentado pelas considerações e fatos experimentais que resultaram no estabelecimento da teoria das transformações atômicas radioativas.

30 O ponto de partida dessa teoria deve ser buscado nas considerações da fonte de energia envolvida no fenômeno da radioatividade. Essa energia torna-se

manifesta como uma emissão de raios que produzem fenômenos térmicos, elétricos e luminosos. Como a emissão ocorre espontaneamente sem qualquer causa de excitação, várias hipóteses tem sido usadas para explicar a liberação de energia. Uma das hipóteses defendidas no começo de nossa pesquisa por Pierre Curie e por mim consistia em assumir que a radiação era uma emissão de matéria acompanhada por uma perda no peso das substâncias ativas, que a energia é tirada de uma substância cuja evolução ainda não é completa e a qual passa por uma transformação atômica. Essa hipótese, que a princípio poderia ser apenas enunciada com outras teorias igualmente válidas, conquistou importância dominante e finalmente consolidou-se em nossas mentes devido a um corpo de evidências experimentais que a substanciavam. Essa evidência é essencialmente a seguinte: uma série de fenômenos radioativos existe, nos quais a radioatividade parece estar presa à matéria numa quantidade imponderável. A radiação, além de não ser permanente, desaparece mais ou menos rapidamente com o tempo. Assim são o polônio, emanções radioativas e depósitos de radioatividade induzida.

31 Tem sido estabelecido, além disso, certos casos em que a radioatividade observada aumenta com o tempo. Isso é o que acontece no caso do rádio recém-preparado, da emanção recém-introduzida no aparelho de medição, do tório desprovido de tório X, etc.

32 Um estudo cuidadoso desses fenômenos tem mostrado que uma explicação geral muito satisfatória pode ser dada assumindo-se que, a cada vez que é observado um decréscimo da radioatividade, há destruição de matéria radioativa e que, a cada vez que um aumento de radioatividade é observado, há produção de matéria radioativa. As radiações que desaparecem e aparecem são, além disso, de naturezas variadas. É admitido que todo tipo de raio determinado pode servir para caracterizar uma substância que é sua fonte e aparece e desaparece com ele.

33 Enquanto que a radioatividade é, em adição, uma propriedade essencialmente atômica, a produção ou destruição de um tipo distinto de radiação corresponde à produção ou destruição de átomos de uma substância radioativa.

34 Finalmente, se é suposto que a energia radioativa é um fenômeno emprestado da transformação atômica, pode ser deduzido disso que toda substância radioativa passa por tal transformação, mesmo que nos pareça ser invariável. A transformação, neste caso, é apenas muito lenta e é isso que acontece no caso do rádio ou urânio.

35 Essa teoria que eu acabei de resumir é o trabalho de Rutherford e Soddy, que eles chamaram de *teoria da desintegração atômica*. Ao aplicar essa teoria, pode ser concluído que uma substância radioativa primária, como o rádio, passa por uma série de transmutações atômicas em virtude das quais o átomo de rádio dá origem a um trem de átomos de pesos menores e menores, já que um estado estável não pode ser obtido enquanto o átomo formado for radioativo. Estabilidade pode ser obtida apenas por matéria inativa.

36 Por este ponto de vista, um dos mais brilhantes triunfos da teoria é a previsão de que o gás hélio, sempre presente em minérios radioativos, pode representar um dos produtos finais da evolução do rádio e que é na forma de raios alfa que os átomos de hélio, formados quando átomos de rádio desintegram, são descarregados. Agora, a produção de hélio por rádio tem sido provada por experimentos de Ramsay e Soddy, não podendo ser contestado que o perfeitamente definido elemento químico, rádio, dá origem a formação de outro igualmente definido elemento – hélio. Além disso, as investigações feitas por Rutherford e seus estudantes provaram que as partículas alfa emitidas por rádio com uma carga elétrica também são encontradas na forma do gás hélio no espaço em que elas foram coletadas.

37 Devo ressaltar aqui que a interpretação audaciosa da relação entre rádio e hélio baseia-se somente na certeza de que o rádio tem a mesma premissa de ser um elemento químico do que todos os outros elementos conhecidos e que não pode haver questão sobre ele ser uma combinação molecular de hélio com outro elemento. Isso mostra quão fundamental, nessas circunstâncias, tem sido o trabalho feito para provar a individualidade química do rádio. Também pode ser visto de que maneira a hipótese da natureza atômica da radioatividade a teoria das transformações radioativas levaram à descoberta experimental de uma transmutação atômica pela primeira vez claramente estabelecida. Este é um fato cuja significância não pode escapar a ninguém, um que incontestavelmente marca uma época do ponto de vista dos químicos.

38 Trabalho considerável, guiado pela teoria das transformações radioativas, levou a aproximadamente 30 novos elementos radioativos sendo buscados, classificados em 4 séries de acordo com a substância primária: essas séries são as de urânio, rádio, tório e actínio. As séries de urânio e rádio podem ser, de fato, combinadas, por parecer provado que o rádio é um derivado do urânio. Na série do rádio o último corpo

radioativo conhecido é o polônio, cuja produção pelo rádio é agora um fato comprovado. É provável que a série do actínio seja relacionada com a do rádio.

39 Vimos que o gás hélio é um dos produtos da desintegração do rádio. Os átomos de hélio são desacoplados daqueles do rádio e seus derivados durante o processo da transformação. É suposto que após a saída dos quatro átomos de hélio, o átomo de rádio gera um átomo de polônio; a saída de um quinto átomo de hélio determina a formação de um corpo inativo com peso atômico que se acredita ser igual a 206 (20 unidades abaixo da do rádio). De acordo com Rutherford, esse elemento final é nada mais que chumbo. Essa suposição está sendo agora sujeita a verificação experimental em meu laboratório. A produção de hélio a partir do polônio tem sido diretamente provada por Debiegne.

40 A quantidade relativamente grande de polônio preparada por Curie e Debiegne tem permitido a realização de um estudo importante. Ele consiste em contar um grande número de partículas alfa emitidas por polônio e em coletar e medir o volume correspondente de hélio. Uma vez que cada partícula é um átomo de hélio, o número de átomos de hélio é encontrado ocupando um dado volume e tendo um dado peso. Portanto, isso nos permite deduzir, de forma geral, o número de moléculas num grama. Este número, conhecido como Constante de Avogadro, é de grande importância. Experimentos conduzidos no polônio forneceram um primeiro valor a este número, que está em bom acordo com os valores obtidos por outros métodos. A enumeração de partículas alfa é feita por um método eletrométrico proposto por Rutherford; este método tem sido levado à perfeição por meio de aparelhos de registro fotográfico.

41 Investigações recentes mostram que o potássio e o rubídio emitem uma radiação muito tênue, similar à radiação beta do urânio e do rádio. Não sabemos ainda se devemos considerar essas substâncias como verdadeiramente radioativas, isto é, como corpos em processo de transformação.

42 Para concluir, gostaria de enfatizar a natureza da nova química dos corpos radioativos. Toneladas de material devem ser tratados para que se possa extrair rádio do minério. As quantidades de rádio disponíveis num laboratório são da ordem de um miligrama, ou de um grama no máximo. Essa substância tem o valor de 400.000 francos por grama. Muito frequentemente materiais têm sido manipulados cuja presença do rádio não pode ser detectada nem por balanças, nem pelo espectroscópio. E, mesmo

assim, temos métodos de medição tão perfeitos e tão sensíveis que podemos saber com muita exatidão as pequenas quantidades de rádio que estamos usando. Análise radioativa por métodos eletrométricos permite que calculemos dentro de uma margem de erro de 1% uma quantidade de um milésimo de miligrama de rádio e detectar a presença de 10^{-10} gramas de rádio diluído em alguns gramas de material. Este método é o único que poderia ter levado à descoberta do rádio tendo em vista a diluição desta substância no minério. A sensibilidade dos métodos é ainda mais chocante no caso da emissão do rádio, que pode ser detectada quando a quantidade presente é de cerca de apenas 10^{-10} mm³. Como a atividade específica de uma substância é, no caso das radiações análogas, aproximadamente em proporção inversa à vida média, o resultado é que, se a meia-vida é muito breve, a reação radioativa pode atingir uma sensibilidade sem precedentes. Estamos acostumados a lidar, atualmente, no laboratório, com substâncias cujas presenças só podem ser reveladas por meio de suas propriedades radioativas, mas que, apesar disso, podemos determinar, dissolver, re-precipitar de suas soluções e depositar eletroliticamente. Isso significa que nós temos aqui um tipo completamente separado de químico, para o qual a ferramenta corrente que usamos é o eletrômetro, não a balança, e que nós podemos chamar de química do imponderável.

ANEXO 2: PALESTRA DE CHANDRASEKHARA VENKATA RAMAN EM 1930

O Espalhamento Molecular da Luz

Palestra do Prêmio Nobel, 11 de Dezembro de 1930

A cor do mar

1 Na história da ciência, às vezes descobrimos que o estudo de algum fenômeno natural foi o ponto de partida no desenvolvimento de um novo ramo do conhecimento. Isso aconteceu, por exemplo, com a cor do céu, que inspirou numerosas investigações ópticas e cuja explicação, proposta pelo tardio Lorde Rayleigh, subsequentemente verificada por observação, forma o início do nosso conhecimento sobre o assunto dessa palestra. Até mais chocante, apesar de não tão familiar a todos, é a cor exibida pelas águas oceânicas. Uma viagem para a Europa no verão de 1921 me deu pela primeira vez oportunidade de observar a maravilhosa opalescência azul do Mar Mediterrâneo. Parecia não ser improvável que o fenômeno tinha origem no espalhamento da luz solar pelas moléculas de água. Para testar essa explicação, parecia desejável saber as leis que governavam a difusão da luz em líquidos. Experimentos sobre isso começaram imediatamente em meu retorno a Calcutá, em Setembro de 1921. Logo ficou evidente, todavia, que esse tema possuía uma significância que se estendia a muito além do propósito original pelo qual o trabalho havia começado, oferecendo um escopo ilimitado de pesquisa. Parecia, de fato, que o estudo do espalhamento da luz poderia carregar um dos problemas mais profundos da física e da química. Foi essa crença que levou ao assunto que se tornara o principal tema de nossas atividades em Calcutá a partir de então.

A teoria das flutuações

2 A partir do trabalho dos primeiros meses, ficou claro que o espalhamento molecular da luz era um fenômeno bastante geral que poderia ser estudado não apenas em gases e vapores, mas também em líquidos e em sólidos cristalinos e amorfos. Era um efeito primariamente devido ao desarranjo molecular no meio e consequentemente

às flutuações locais de densidade óptica. Exceto em sólidos amorfos, tais desarranjos moleculares poderiam presumidamente ser atribuídos à agitação térmica e os resultados experimentais pareciam suportar essa visão. O fato de que as moléculas são opticamente anisotrópicas e podem orientar-se livremente em líquidos deu origem a um tipo adicional de espalhamento. Este poderia ser distinguido do espalhamento devido a flutuações de densidade, pelo motivo de que [o primeiro] é praticamente não polarizado, enquanto que o último é completamente polarizado na direção transversal. O assunto como um todo foi criticamente revisado e os resultados obtidos até então foram divulgados num ensaio publicado pela Calcutta University Press em Fevereiro de 1922.

3 Os vários problemas que precisavam de solução, indicados nesse ensaio, foram investigados com a ajuda de uma sucessão de hábeis colaboradores. É possível mencionar brevemente apenas algumas das numerosas investigações que foram realizadas em Calcutá durante os seis anos entre 1922 e 1927. O espalhamento da luz em fluidos foi estudado por Ramanathan ao longo de um grande alcance de pressões e temperaturas, com resultados que pareciam suportar a teoria de “flutuação” original. Seu trabalho também revelou as notáveis mudanças no estado da polarização que acompanham as variações de intensidade com temperatura em vapores e líquidos. Misturas líquidas foram investigadas por Kameswara Rao e forneceram prova óptica da existência, nestes sistemas, de flutuações simultâneas de densidade, composição e orientação molecular. Srivastava estudou o espalhamento da luz em cristais em relação às flutuações térmicas de densidade e seu aumento com temperatura. Ramdas investigou o espalhamento da luz em superfícies líquidas devido à agitação térmica, estabelecendo uma relação entre tensão superficial e opalescência superficial. Ele também traçou a transição da opalescência de superfície para a opalescência de volume que ocorre na temperatura crítica. Sogani investigou a difração de raios X em líquidos, para conectá-la com o comportamento óptico e testar a aplicação da teoria de flutuação ao espalhamento de raios-X.

A anisotropia das moléculas

4 Como mencionado acima, o estado da polarização da luz espalhada em fluidos é conectada com a anisotropia óptica das moléculas. Muitos dos trabalhos feitos em Calcutá entre 1922 e 1927 tinham intenção de obter dados referentes a essa propriedade e estabelecer suas relações com vários fenômenos ópticos. Krishnan

examinou muitos líquidos. Seu trabalho mostrou muito claramente a dependência da anisotropia óptica das moléculas em suas constituições químicas. Ramakrishna Rao estudou a despolarização da luz espalhada em um grande número de gases e vapores, obtendo informações de grande importância para o progresso do assunto. Venkateswaram estudou o espalhamento da luz em soluções aquosas para encontrar a influência dela em dissociações eletrolíticas. Ramachandra Rao investigou líquidos compostos por moléculas altamente alongadas e também substâncias polares num grande alcance de temperaturas, descobrindo a influência da forma molecular e da associação molecular na despolarização da luz espalhada em líquidos.

5 A interpretação das observações com líquidos envolveu o desenvolvimento de uma teoria molecular de espalhamento de luz em meios densos, que foi feito por Ramanathan, eu e Krishnan. Uma fórmula revisada de opalescência foi derivada, que diferia daquela de Einstein e que gerou resultados em melhores concordâncias com a observação. Krishnan e eu também publicamos uma série de investigações mostrando como a anisotropia óptica das moléculas deduzidas do espalhamento da luz poderia ser utilizada para interpretar os comportamentos ópticos e dielétricos de fluidos e também as birrefringências elétricas, magnéticas e mecânicas exibidas por eles. As conclusões derivadas desses estudos permitiram uma conexão a ser estabelecida entre a anisotropia molecular observada em fluidos e a anisotropia óptica, elétrica e magnética exibida por sólidos no estado cristalino.

Um novo fenômeno

6 As investigações referidas acima foram principalmente guiadas pela teoria eletromagnética clássica da luz, cuja aplicação aos problemas de espalhamento de luz é principalmente associada aos nomes de Rayleigh e Einstein. Mesmo assim, a possibilidade de que a natureza corpuscular da luz pudesse ser evidenciada no espalhamento não foi negligenciada. Foi de fato elaboradamente discutida nesse ensaio de Fevereiro de 1922, publicado pelo menos um ano antes das conhecidas descobertas de Compton sobre o espalhamento de raios X. Enquanto nossos experimentos pareciam suportar a teoria eletromagnética da luz, surgiram evidências nos estágios iniciais de investigação sobre a existência de um fenômeno que parecia estar alheio ao esquema clássico de pensamento. O espalhamento da luz em fluidos transparentes é extremamente fraco, muito mais fraco, de fato, que o efeito Tyndall usualmente

observado em meios turvos. Foi experimentalmente descoberto que associado ao tipo de espalhamento molecular de Rayleigh-Einstein, havia outro tipo de radiação secundária, ainda mais fraca, cuja intensidade era da ordem de grandeza de alguns centésimos do espalhamento clássico, diferindo dele em não ter o mesmo comprimento de onda da radiação primária ou incidente. A primeira observação deste fenômeno foi feita em Calcutá em Abril de 1923 por Ramanathan, que foi levado a observar quando tentava explicar por que em certos líquidos (água, éter e álcoois metílico e etílico), a despolarização da luz espalhada variava com o comprimento de onda da radiação incidente. Ramanathan descobriu que, depois de exaustiva purificação química e repetidas destilações lentas do líquido em vácuo, a nova radiação persistia diminuída em intensidade, mostrando que ela era uma propriedade característica da substância estudada, não devida a impurezas fluorescentes. Krishnan observou um efeito similar em muitos outros líquidos em 1924 e um fenômeno ainda mais conspícuo foi observado por mim no gelo e em vidros ópticos.

O análogo óptico do Efeito Compton

7 A origem deste intrigante fenômeno naturalmente nos interessou. No verão de 1925, Venkateswaran tentou investiga-lo fotografando o espectro da luz espalhada por líquidos, utilizando luz solar filtrada através de filtros coloridos, mas não foi capaz de reportar resultados decisivos. Ramakrishna Rao em seus estudos da depolarização do espalhamento entre 1926 e 1927 buscou cuidadosamente por um fenômeno similar em gases e vapores, mas sem sucesso. Este problema foi abordado de novo por Krishnan ao fim de 1927. Enquanto seu trabalho estava sendo realizado, a primeira indicação da verdadeira natureza do fenômeno nos veio por outro lado. Um dos problemas que nos interessava à época era o comportamento do espalhamento da luz em líquidos orgânicos altamente viscosos, que eram capazes de passar para o estado vítreo. Venkateswaran estudou essa questão e reportou o resultado altamente interessante de que a cor da luz do sol espalhada numa amostra altamente purificada de glicerina era verde brilhante, em vez do usual azul. O fenômeno parecia ser similar àquele descoberto por Ramanathan em água e nos álcoois, mas muito mais intenso. Portanto, mais fácil de ser estudado. Nenhum tempo foi perdido em se seguir este assunto. Testes foram realizados com uma série de filtros transmitindo regiões estreitas do espectro solar e colocados no caminho do feixe incidente, o que mostrou que em todo caso a cor da luz

espalhada era diferente daquela da luz incidente e era desviada em direção ao vermelho. As radiações eram também fortemente polarizadas. Estes fatos indicaram uma clara analogia entre os aspectos empíricos do fenômeno e o Efeito Compton. O trabalho de Compton trouxe familiaridade à ideia de que o comprimento de onda da radiação poderia ser degradado no processo de espalhamento. As observações com glicerina sugeriram para mim que o fenômeno que havia nos intrigado desde 1923 era, de fato, um análogo óptico do Efeito Compton. Essa ideia naturalmente estimulou maiores investigações com outras substâncias.

8 A principal dificuldade que nos oprimiu no estudo do novo fenômeno era sua extrema fraqueza em geral. Isso foi superado usando um telescópio refrator de 7 polegadas, em combinação com uma lente de foco curto para condensar a luz solar num pincel de intensidade muito alta. Com esses arranjos, usando filtros de luz complementares na trajetória dos feixes incidentes e espalhados, foi encontrado que eles poderiam ser prontamente observados em muitos líquidos. Em muitos casos eles eram fortemente polarizados. Krishnan, que me assistiu materialmente nessas investigações, descobriu ao mesmo tempo em que o fenômeno poderia ser observado em muitos vapores orgânicos, sucedendo até mesmo em determinar visualmente o estado da polarização das radiações modificadas a partir deles. Gases comprimidos, como o CO e N₂O, gelo cristalino e vidros ópticos também exibiam as radiações modificadas. Essas observações deixaram poucas dúvidas de que o fenômeno era realmente uma espécie de análogo de espalhamento da luz ao Efeito Compton.

As características espectroscópicas do novo efeito

9 Graças à iluminação mais poderosa disponível pelo refrator de 7 polegadas, o exame espectroscópico do efeito, que tinha sido abandonado em 1925 por ser indeciso, agora estava ao alcance do estudo visual direto. Com um filtro Zeiss de vidro de cobalto colocado na trajetória do feixe incidente e um ou outro de uma série de líquidos orgânicos como substância espalhadora, uma banda na região azul-verde foi observada por mim no espectro da luz espalhada, separada por um intervalo escuro em relação à região índigo-violeta transmitida pelo filtro. *Ambas* as regiões do espectro ficaram mais nítidas quando a região de transmissão foi estreitada pela inserção de um filtro adicional no feixe incidente. Isso sugeriu o emprego, em vez de luz solar, de

radiações altamente monocromáticas geradas por um arco de mercúrio em combinação com um condensador de abertura larga e um filtro de vidro de cobalto.

10 Com esses arranjos o espectro da luz espalhada por uma variedade de líquidos e sólidos foi visualmente examinado. A observação surpreendente foi a de que o espectro geralmente incluía um número de linhas agudas ou bandas num fundo difuso que não estavam presentes na luz do arco de mercúrio.

Figura 6: Espectro do tetracloreto de carbono.

11 A lâmpada de quartzo e mercúrio era tão poderosa e conveniente como fonte de iluminação monocromática que, pelo menos no caso de líquidos e sólidos, fotografar o espectro da luz espalhada não apresentava quaisquer dificuldades extraordinárias. As primeiras imagens do fenômeno foram, de fato, capturadas com um espectrógrafo portátil de quartzo, do menor tamanho feito pela empresa de Hilger. Com um instrumento maior, do mesmo tipo, Krishnan obteve espectrogramas muito satisfatórios com líquidos e com cristais nos quais medidas de precisão desejada puderam ser feitas, nos quais as presenças de linhas deslocadas em direção ao violeta foram, pela primeira vez, definitivamente estabelecidas. As dificuldades experimentais eram naturalmente maiores no caso de gases ou vapores, apesar de que elas podiam ser diminuídas trabalhando-se com substâncias sob pressão. Com um instrumento improvisado de maior abertura ($f/1.8$), Ramdas obteve os primeiros espectrogramas com substância gasosa (vapor de éter) à pressão atmosférica.

12 Ao interpretar os fenômenos observados, a analogia com o Efeito Compton foi adotada como princípio orientador. O trabalho de Compton ganhou aceitação geral para a ideia de que o espalhamento de radiação é um processo unitário no qual os princípios de conservação se mantêm. Aceitando essa ideia se segue que, se a

partícula sendo espalhada ganha qualquer energia durante o encontro com o quantum, o último é privado de uma mesma quantidade de energia. De acordo, [a energia] aparecia após o espalhamento como radiação de frequência diminuída. Dos princípios termodinâmicos, segue que o processo reverso também deve ser possível. Adotando essas ideias, as observações reais podiam ser interpretadas e a concordância dos deslocamentos observados com as frequências infravermelhas das moléculas deixou claro que o novo método abriu um campo ilimitado da pesquisa experimental no estudo da estrutura da matéria.

Interpretação do efeito

13 Parece desejável enfatizar que, apesar do princípio de conservação de Compton ser útil ao interpretar os efeitos revelados por experimento, é em si insuficiente para explicar os fenômenos observados. Como é bem sabido dos estudos sobre espectros moleculares, uma molécula gasosa possui quatro diferentes espécies de energia de crescentes ordens de magnitude, a saber, aquelas correspondentes a movimento translacional, rotação, vibração e excitação eletrônica. Cada um desses, com exceção do primeiro, é quantizado e pode ser representado por um inteiro numa sequência estendida de números quânticos. A energia agregada de uma molécula pode, portanto, assumir qualquer um de um grande número de possíveis valores. Se assumirmos que uma troca de energia ocorre na colisão entre molécula e o quantum, se nos limitamos aos casos em que a energia final da molécula é menor que aquela do quantum incidente, nós chegamos ao resultado de que o espectro da luz espalhada deve conter um número imenso de novas linhas e devem, de fato, rivalizar em complexidade o espectro de banda da molécula, observado na emissão ou absorção da luz. Nada mais diferente do que realmente é observado poderia ser imaginado por essa visão. O aspecto mais conspícuo revelado pelo experimento é a maravilhosa simplicidade dos espectros, mesmo das moléculas poliatômicas complicadas, obtidos pelo espalhamento da luz, uma simplicidade que fica em um chocante contraste em relação à extrema complexidade de seus espectros de emissão ou absorção. É essa simplicidade que dá ao estudo de espalhamento da luz sua significância especial e seu valor. É claro que o efeito realmente observado não era e não poderia ser previsto por uma aplicação de princípios de conservação.

14 O princípio geral de correspondência entre teorias quânticas e clássicas, enunciado por Niels Bohr, nos permite, por outro lado, obter um discernimento real sobre o fenômeno. A teoria clássica do espalhamento da luz nos diz que, se uma molécula espalha luz enquanto se move, roda ou vibra, as radiações espalhadas devem incluir certas frequências, diferentes daquelas das ondas incidentes. Essa imagem clássica, em muitos respeitos, é surpreendentemente parecida com o que nós observamos de fato nos experimentos. Ela explica por que as mudanças de frequência observadas caem em três classes, translacional, rotacional e vibracional, de diferentes ordens de grandeza. Ela explica as regras observadas de seleção, por exemplo, por que as frequências de vibração deduzidas da luz espalhada incluem somente as fundamentais e não os sobre-tons e combinações que são tão conspícuos nos espectros de emissão e absorção. A teoria clássica pode ir ainda além e nos dar uma indicação grosseira da intensidade e polarização das radiações de frequência alterada. Além disso, a imagem clássica deve ser modificada em pontos essenciais para dar até mesmo uma descrição qualitativa dos fenômenos e nós temos, portanto, que invocar o auxílio de princípios quânticos. O trabalho de Kramers e Heisenberg, os novos desenvolvimentos em mecânica quântica, que tem raízes no princípio de correspondência de Bohr, parecem oferecer um caminho promissor para a abordagem em direção a um entendimento dos resultados experimentais. Mas até que saibamos muito mais do que sabemos no presente sobre a estrutura das moléculas e tenhamos um conhecimento experimental quantitativo suficiente do efeito, seria precipitado sugerir que eles dão uma explicação completa sobre isso.

A significância do efeito

15 A universalidade do fenômeno, a conveniência da técnica experimental e a simplicidade dos espectros obtidos permitem que o efeito seja usado como um auxílio experimental para a solução de uma grande variedade de problemas em física e química. De fato, pode ser dito que é este fato que constitui a principal significância do efeito. As diferenças de frequência determinadas pelos espectros, a espessura e o caráter das linhas que aparecem neles e a intensidade e estado de polarização das radiações espalhadas nos permitem obter um vislumbre da estrutura definitiva da substância espalhadora. Como a pesquisa experimental tem mostrado, esses aspectos nos espectros são definitivamente influenciados pelas condições físicas, como temperatura e estado de agregação, por

condições físico-químicas como mistura, solução, associação molecular e polimerização, mais essencialmente pela constituição química. Segue-se que o novo campo de espectroscopia tem um escopo praticamente irrestrito no estudo de problemas relacionados à estrutura da matéria. Podemos também ter esperanças de que isso vai nos levar a um entendimento mais completo da natureza da luz e das interações entre matéria e luz.

Algumas observações finais

16 Por um ponto de vista físico, o estudo quantitativo do efeito com as moléculas mais simples sustenta a maior esperança de avanços fundamentais. O belo trabalho de McLennan com gases liquefeitos e o de R. W. Wood e Rasetti, são investigações pioneiras neste campo, merecendo as maiores admirações. O estudo quantitativo do efeito com cristais das mais simples constituições químicas é naturalmente de grande importância. O caso do diamante, que foi investigado por Ramaswamy, Robertson e Fox, com especial completeza por Bhaagavantam, é de especial interesse. Resultados muito surpreendentes têm sido obtidos com essa substância, que podem ser o caminho para um entendimento mais completo da natureza do estado cristalino. Eu também gostaria de chamar atenção para o trabalho de Krishnamurti, que traçou uma dependência notável da intensidade das linhas espectrais, observadas no espalhamento, com a natureza da ligação química e seguiu a transição da combinação química, do tipo homopolar para o heteropolar. A observação de Krishnamurti, de que o paramagnetismo de cristais aparentemente influencia a intensidade observada das linhas deslocadas, é uma das mais notáveis feitas nesse novo campo de pesquisa.

ANEXO 3: PALESTRA DE ALEXANDER FLEMING EM 1945

Penicilina

Palestra do Prêmio Nobel de Fisiologia/Medicina, 11 de Dezembro de 1945

1 Eu vou contar para vocês sobre os primeiros dias da penicilina, pois esta é a parte da história da penicilina que me rendeu o Prêmio Nobel. Frequentemente, tenho sido questionado sobre o porquê de eu ter inventado o nome “Penicilina”. Eu apenas segui linhas perfeitamente ortodoxas e cunhei uma palavra que explica que substância penicilina é derivada de uma planta do gênero *Penicillium*, assim como há muitos anos a palavra “Digitalina” foi inventada para uma substância derivada da planta *Digitalis*. Para a minha geração de bacteriologistas, a inibição de um micróbio por outro era lugar comum. Nós todos fomos ensinados sobre essas inibições. De fato é raro que um bacteriologista clínico observador passe uma semana sem ver, em seu trabalho, exemplos bem definidos de antagonismo bacteriano.

2 Parece provável que este fato, de que os antagonismos bacterianos sejam tão comuns e bem conhecidos, impediu, em vez de ter ajudado, a iniciação do estudo de antibióticos como conhecemos hoje em dia.

3 Certamente os trabalhos mais antigos sobre antagonismo não tiveram influência no começo da penicilina. [As pesquisas sobre penicilina] floresceram simplesmente a partir de uma ocorrência fortuita que aconteceu enquanto eu trabalhava num problema bacteriológico puramente acadêmico, que não tinha nada a ver com antagonismo, nem com mofos, nem antissépticos, nem antibióticos.

4 Em minha primeira publicação eu poderia ter dito que eu havia chegado à conclusão, como resultado de um estudo sério da literatura e pensamentos profundos, de que substâncias antibacterianas valiosas eram produzidas por mofos e que eu então começara a investigar o problema. Isso seria inverdade. Eu preferi dizer a verdade de que a penicilina começou como uma observação ao acaso. Meu único mérito é que eu não negligenciei a observação e pesquisei o fenômeno como bacteriologista. Minha publicação em 1929 foi o ponto inicial do trabalho de outros que desenvolveram a penicilina principalmente no campo da química.

5 A penicilina não foi o primeiro antibiótico que eu descobri. Em 1922, eu descrevi a lisozima – um fermento antibacteriano poderoso, que tem um efeito lítico extraordinário em algumas bactérias. Uma suspensão densa e leitosa de bactérias pode

ser completamente limpa em poucos segundos por uma fração de gota de lágrimas humanas ou clara de ovo. Ou, se o material que contém lisozima fosse incorporado em ágar preenchendo um corte numa placa de ágar e então diferentes micróbios fossem espalhados nessa placa até o corte, foi visto que o crescimento de alguns deles pararia a uma distância considerável da valeta.

6 Infelizmente, os micróbios que eram mais fortemente afetados pela lisozima eram aqueles que não afetam o homem. Meu trabalho em lisozima continuou e, posteriormente, a natureza química e o modo de ação foram pesquisados por meus colaboradores nesse Prêmio Nobel – Sir Howard Florey e Dr. Chain. Apesar da lisozima não ter sido proeminente em terapias práticas, ela foi muito útil pra mim, pois a mesma técnica desenvolvida para pesquisar lisozima foi aplicada quando a penicilina surgiu em 1928.

Figura 1: Fotografia de uma placa de cultura mostrando a dissolução de colônias de estafilococos na vizinhança de uma colônia de *Penicillium*.

7 A origem da penicilina foi a contaminação de uma placa de cultura de estafilococos devido a um mofo. Foi percebido que, a certa distância ao redor da colônia de mofo, as colônias de estafilococos ficaram translúcidas, uma evidência de que havia lise acontecendo. Isso foi uma aparição extraordinária (Fig. 1) e parecia demandar investigação, então o mofo foi isolado em cultura pura e algumas de suas propriedades foram determinadas.

8 O mofo, foi descoberto, pertencia ao gênero *Penicillium* e era eventualmente identificado como *Penicillium notatum*, um membro do grupo *P. chrysogenum*, que foi originalmente isolado por Westling, a partir de hissopo⁸³ em decomposição.

9 Tendo o mofo em uma cultura pura, eu o inseri em outra placa de cultura. Após ele ter crescido em temperatura ambiente por 4 ou 5 dias, eu espalhei diferentes micróbios radialmente pela placa. Alguns deles cresceram até o mofo – outros foram inibidos a uma distância de muitos centímetros. Isso mostrou que o mofo produz uma substância antibacteriana, que afetava alguns micróbios e não outros (Fig. 2).

Figura 2: Diferentes bactérias guiadas radialmente até uma colônia de quatro dias de idade de *Penicillium notatum* em ágar. As bactérias são: (1) *Staphylococcus* [sic]; (2) *Streptococcus* (hemolítica); (3) *B. diphtheriae*; (4) *B. anthracis*; (5) *B. typhosus*; (6) *B. coli*.

10 Da mesma maneira, eu testei outros tipos de mofo, mas eles não produziam essa substância antibacteriana, o que mostrou que o mofo que eu havia isolado era um bastante excepcional.

11 Então, o mofo foi crescido em meio fluido para vermos se a substância antisséptica ocorria no fluido. Após alguns dias, o fluido no qual o mofo havia crescido foi testado da mesma maneira que eu já tinha pensado para a lisozima – colocando-o numa vala feita numa placa de cultura e então inserindo diferentes micróbios ao longo

⁸³ *Hyssopus officinalis*, planta às vezes empregada como medicinal devido a propriedades antissépticas.

da placa. O resultado mostrado na Fig. 3 é muito similar ao observado com lisozima, mas com uma importante diferença, a saber, que os micróbios mais fortemente inibidos eram alguns daqueles responsáveis por nossas infecções mais comuns.

12 Essa era uma diferença importante.

Figura 3: Inibição diferencial de bactérias por penicilina (acima) e lisozima (abaixo), colocadas numa ranhura em placa de ágar.

Figura 4: Efeito da penicilina na mistura de *Staphylococcus* e *B. violaceus*.

13 Por este método e pelo método da diluição seriada, eu testei a sensibilidade de muitos dos micróbios comuns que nos infectam. Descobri exatamente o que está ilustrado pela Fig. 2 – que muitos dos patógenos humanos são fortemente inibidos enquanto outros permanecem inalterados.

14 Isso nos levou ao nosso primeiro uso prático da penicilina, que foi a preparação de diversos meios de cultura. Havia uma distinção tão clara entre os micróbios sensíveis e insensíveis, que ao adicionar penicilina ao meio de cultura todos os micróbios sensíveis eram inibidos, enquanto que os insensíveis cresciam sem qualquer impedimento. Essa observação facilitou o isolamento de micróbios como o bacilo da coqueluche e o bacilo de influenza de Pfeiffer, que são encontrados normalmente no trato respiratório em associação a um grande número de cocos sensíveis a penicilina.

15 Naqueles primeiros dias eu também usei penicilina para demonstrar antagonismos bacterianos de maneira dramática, combinando isso com o uso de um método que eu havia desenvolvido para crescer bactérias cromogênicas. Se um disco de papel é colocado em agar numa placa de cultura, o material nutritivo difunde para o papel e suporta o crescimento das bactérias colocadas na superfície. Se essas bactérias são cromogênicas, como a *Staphylococcus aureus*, *B. prodigiosus* ou *B. violaceus*, elas desenvolvem suas cores maravilhosamente no papel branco.

16 A Fig. 4 mostra o resultado obtido quando misturas de *Staphylococcus aureus* e *B. violaceus* são plantadas em um disco de papel no qual *Penicillium notatum* tinha sido desenvolvida por quatro dias. O mofo desenvolveu penicilina, que difundiu a uma distância considerável e inibiu o estafilococo. O estafilococo além do alcance da penicilina inibiu completamente a *B. violaceus* que, sendo insensível à penicilina, cresceu exuberantemente assim que o estafilococo foi inibido pela penicilina.

Tabela 1: Sensibilidade de bactérias à penicilina.

Sensível	Insensível
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Enterococcus</i>
<i>Staphylococcus epidermis</i>	Cocci não-patogênicos gram-negativos encontrados na boca.
<i>Streptococcus</i> (hemolítico)	<i>B. pyocyaneus</i>
<i>Streptococcus</i> (viridians)	<i>B. proteus</i>
<i>Pneumococcus</i>	<i>B. freundländeri</i>
<i>Gonococcus</i>	<i>B. coli</i>
<i>Meningococcus</i>	<i>B. typhosus</i>
<i>M. catarrhalis</i>	<i>B. paratyphosus</i>
Grupo difteria	<i>B. dysenteriae</i>
<i>B. anthracis</i>	<i>Vibrio cholera</i>
Micrococci do ar <i>Sarcina</i>	<i>Pasteurella</i>
<i>Actinomyces</i>	<i>Brucella abortus</i> and <i>melitensis</i>
<i>B. welchii</i>	<i>B. tuberculosis</i>
<i>Vibrion septique</i>	
<i>B. oedamatiens</i>	
<i>B. tetani</i>	
<i>Spirochaetes</i>	
Nota: As que constam abaixo da linha foram adicionadas após meu artigo original em 1929.

Figura 5: Comparação da difusibilidade da penicilina e alguns outros antissépticos. Discos de papel absorvente umedecidos em antisséptico colocados em placa de ágar inoculadas com *Staphylococcus*.

17 O mesmo método de cultura em papel me permitiu preparar excelentes espécimes permanentes de *Penicillium notatum* e outras culturas de mofo. O mofo é crescido no disco de papel na superfície de um meio adequado de cultura. Quando a colônia está desenvolvida, o disco de papel é removido, esterilizado em vapor de formalina e então montado. Gostaria de presentear-lo, Sr. Reitor, com uma dessas culturas.

18 Mas voltando às propriedades da penicilina. Nós estabelecemos sua especificidade. Descobrimos que era de tal força que o fluido de cultura poderia ser diluído 1000 vezes e ainda assim inibiria o crescimento dos estafilococos. Nessa relação é bom lembrar que o fenol perde seus poderes inibitórios quando diluído mais de 300 vezes. Então, nesse respeito, o fluido bruto de cultura no qual o mofo cresceu era três vezes mais potente que o fenol.

19 Quanto à sua ação nos micróbios. Todos os experimentos que eu citei mostraram que [a penicilina] é bacteriostática, isto é, inibe o crescimento de micróbios. Mas eu também mostrei que é bactericida – na verdade, ela os mata. Além disso, a primeira observação da penicilina mostrou que ela induzia mudanças líticas nas

bactérias. Portanto era bacteriostática, bactericida e bacteriolítica – propriedades que desde então são mostradas como pertencentes à penicilina purificada.

20 As primeiras observações em penicilina que mencionei mostraram que a penicilina é livremente difusiva em agar. Nisso ela difere dos antissépticos antigos. Essa propriedade é mostrada de maneira impressionante no seguinte experimento:

21 Com um saca-rolhas, são cortados discos de uma placa de cultura de agar. Discos de filtro de papel, umedecidos em antissépticos, são posicionados ao fundo dos buracos formados no agar. Então esses buracos são preenchidos com agar derretido. A superfície é então plantada com estafilococos. Na incubação, o estafilococo cresce por todo o antisséptico antigo, mas é inibido a uma distância considerável da penicilina, mostrando, então, que a penicilina é a única dessas substâncias que é livremente difusiva (Fig. 5). Eu considero essa difusibilidade uma propriedade importante em qualquer substância que vá ser usada como agente antibacteriana dentro do corpo.

22 Eu tive interesse em antissépticos desde a Guerra de 1914-1918. Em 1924 eu descrevi o que penso ser provavelmente o melhor experimento que já fiz. Ele mostrou, de um jeito dramático, a atividade relativa de um químico em bactérias e em leucócitos humanos.

23 Sangue humano normal tem um forte poder bactericida nos cocos ordinários, por exemplo o estafilococo e o estreptococo, mas essa potência é completamente perdida se os leucócitos são removidos do sangue. Se sangue desfibrilado é infectado com um baixo número de estafilococos (digamos, 4000 por centímetro cúbico) e incubado num espaço capilar – uma célula deslizante ou tubo capilar - , os cocos que sobrevivem crescem e se tornam colônias que podem ser facilmente enumeradas. Mas apenas cerca de 5 por cento continuam crescendo. Se, no entanto, fenol é adicionado a uma concentração de 1 em 600, todos os cocos crescem livremente. Nesse caso, o fenol numa concentração que não interfere com crescimento bacteriano destruiu os leucócitos que constituem uma das defesas mais poderosas contra infecções (Fig. 6).

Figura 6: Experimento ilustrando a maior toxicidade de fenol a leucócitos do que em relação a bactérias. (Cada célula contém sangue humano + 50 estafilococos)

24 Eu testei todos os químicos que foram usados como agentes antibacterianos e eles todos se comportaram da mesma maneira – em certa concentração, eles destruíam leucócitos e permitiam o crescimento de bactérias. Quando eu testei penicilina da mesma maneira no estafilococo, a história foi diferente. O mofo bruto de penicilina inibiria completamente o crescimento de estafilococos em uma diluição de até 1 em 1000, quando testado em sangue humano normal, mas não apresentava mais efeitos tóxicos nos leucócitos que o meio de cultura original no qual o mofo havia crescido. Eu também injetei [penicilina] em animais e aparentemente não houve toxicidade. Foi a primeira substância que eu testei que era mais antibacteriana do que era antileucocítica. Foi especialmente isso que me convenceu de que um dia, quando ela pudesse ser concentrada e deixada mais estável, poderia ser usada para o tratamento de infecções.

25 Se eu fosse um clínico ativo, sem dúvidas eu teria usado [a penicilina] mais terapêuticamente do que eu usei. Do jeito que estava, quando eu tinha alguma penicilina ativa, encontrava grande dificuldade em achar pacientes adequados para testes. Devido à instabilidade havia geralmente nenhum suprimento de penicilina caso algum caso adequado aparecesse. Algumas tentativas de testes deram resultados favoráveis, mas nada milagroso. Eu estava convencido de que, antes de poder ser usada

extensivamente, ela deveria ser concentrada e parte dos fluidos brutos de cultura deviam ser removidos.

26 Nós tentamos concentrar penicilina mas descobrimos, assim como outros, que a penicilina é facilmente destruída. Para todos os fins, nós falhamos. Éramos bacteriologistas - não químicos – e nossos procedimentos relativamente simples eram inúteis, o que não é surpreendente, visto o problema que os químicos tiveram com a penicilina em anos recentes.

27 No entanto, eu presevei a cultura do mofo e usei penicilina habitualmente para culturas diferenciais.

28 Em 1929, eu publiquei os resultados que eu brevemente mencionei a vocês e sugeri que [a penicilina] seria útil para o tratamento de infecções de micróbios sensíveis. Eu referi outra vez a penicilina em uma ou duas publicações até 1936, mas poucas pessoas prestaram atenção. Foi apenas cerca de 10 anos depois, após a introdução da *sulfonamida* ter mudado completamente a mente médica a respeito da quimioterapia de infecções bacterianas e após Dubos ter mostrado que um poderoso agente antibacteriano, *gramicidina*, era produzido por algumas bactérias, que meus co-participantes nesse Prêmio Nobel, Dr. Chain e Sir Howard Florey, participaram da investigação. Eles continuaram meus esforços sobre *Penicillium notatum* e sucederam em concentrar penicilina com o resultado de que agora temos penicilina concentrada, que é muito mais ativa do que eu jamais poderia sonhar naqueles dias primitivos.

29 Os resultados deles foram pela primeira vez publicados em 1940 no meio de uma grande Guerra, quando a economia ordinária está suspensa e quando a produção pode continuar independentemente do custo. Eu tive a oportunidade, nesse verão, de ver na America algumas das grandes fábricas de penicilina que foram erguidas a custos enormes, nas quais o mofo esteve crescendo em grandes tanques aerados e violentamente agitados. Para mim, era de especial interesse ver como uma simples observação feita num laboratório bacteriológico de hospital em Londres eventualmente se desenvolveu numa grande indústria e como aquilo que era meramente um brinquedo meu, após purificação transformou-se na abordagem mais próxima a uma substância ideal para a cura de muitas de nossas infecções comuns.

30 E nós não estamos no fim da história da penicilina. Talvez estejamos apenas no início. Estamos numa época química. A penicilina poderá ser mudada pelos químicos, de forma que todas as desvantagens possam ser removidas e um novo e melhor derivado possa ser produzido.

31 O sucesso fenomenal da penicilina nos levou a uma intensa pesquisa sobre produtos antibacterianos produzidos por mofo e outros membros inferiores do reino vegetal. Muitas substâncias foram descobertas, mas infelizmente muitas delas são tóxicas. Há uma, no entanto, que é a *estreptomicina*, descoberta por Waksman na América, que certamente aparecerá em práticas terapêuticas. Há muitas outras que ainda precisam ser investigadas.

32 Mas eu gostaria de mencionar uma nota de aviso. Penicilina é, para todas as intenções e propósitos, não venenosa, então não há por que nos preocuparmos sobre dar uma superdosagem e envenenar o paciente. Pode haver um perigo, no entanto, na subdosagem. Não é difícil fazer com que micróbios fiquem resistentes a penicilina, no laboratório, ao expô-los a concentrações que não são suficientes para mata-los. A mesma coisa tem acontecido nos corpos.

33 Há de chegar o tempo em que penicilina poderá ser comprada por qualquer um em lojas. Aí então há o perigo de que o homem ignorante possa facilmente fazer uma subdosagem em si, expondo seus micróbios a quantidades não letais da droga, fazendo-os ficarem resistentes. Eis uma ilustração hipotética: Sr. X está com a garganta inflamada. Ele compra penicilina e toma em quantidade não suficiente para matar os estreptococos, mas o suficiente para ensiná-los a serem resistentes a penicilina. Ele então infecta sua esposa. A Sra. X contrai pneumonia e é tratada com penicilina. Como os estreptococos são agora resistentes a penicilina, o tratamento falha. Sra. X morre. Quem é o responsável primário pela morte da Sra. X? É o Sr. X, cujo uso negligente da penicilina mudou a natureza do micróbio. *Moral*: Se você for usar penicilina, use o suficiente.

34 Eu disse a vocês sobre os primórdios da penicilina. Como um mofo, indesejado, contaminou uma das minhas placas de cultura. Como ele produziu um efeito que demandou investigação. Como eu investiguei suas propriedades e descobri que, enquanto ele tinha um efeito poderoso em muitos dos micróbios comuns que nos infectam, ele era aparentemente não venenoso a animais ou a células de sangue humano. Como ele era uma substância instável e como nós falhamos em concentrá-lo e estabilizá-lo.

35 Eu deixo agora Sir Howard Florey continuar a história da penicilina.

ANEXO 4: PALESTRA DE RICHARD PHILLIPS FEYNMAN EM 1965

O Desenvolvimento da Visão Espaço-Temporal da Eletrodinâmica Quântica

Palestra do Prêmio Nobel, 11 de Dezembro de 1965

1 Nós temos um hábito, ao escrever artigos publicados em periódicos científicos, de fazer o trabalho parecer o mais finalizado possível, cobrindo todos os caminhos, sem nos preocuparmos com os pontos cegos, ou em descrever como tivemos a ideia errada primeiro e assim por diante. Assim, não há muito espaço para publicar, de maneira digna, o que você realmente fez em seu trabalho, apesar de que, nos últimos tempos, tem havido algum interesse nesse tipo de coisa. Como ganhar o Prêmio é algo pessoal, pensei que eu poderia ser perdoado se, nessa situação particular, eu pudesse dizer pessoalmente sobre minha relação com a eletrodinâmica quântica, em vez de discutir o assunto em si de maneira refinada e finalizada. Além do mais, uma vez que três pessoas ganharam o Prêmio em Física, se todos eles fossem falar sobre a eletrodinâmica quântica em si, vocês poderiam ficar entediados com o tema. Então, o que eu gostaria de dizer hoje é sobre a sequência de eventos, a sequência verdadeira de ideias que ocorreram e pelas quais eu acabei com um problema não resolvido, pelo qual, em última instância, eu recebi o Prêmio.

2 Eu entendo que um artigo científico seria de mais valor, mas tal tipo de artigo eu poderia publicar em periódicos regulares. Então, eu decidi usar essa palestra do Nobel como oportunidade para fazer algo de menor valor, mas que eu não poderia fazer em qualquer outro lugar. Eu peço suas indulgências em outro aspecto: vou incluir detalhes de anedotas que não possuem qualquer valor científico, nem para o entendimento do desenvolvimento de ideias. Elas são incluídas apenas para deixar a palestra mais interessante.

3 Eu trabalhei nesse problema por cerca de oito anos até a publicação final em 1947. O começo de tudo foi no *Massachusetts Institute of Technology*, quando eu era um estudante de graduação, lendo sobre a física conhecida, aprendendo lentamente sobre todas essas coisas com as quais as pessoas estavam se preocupando e percebendo que o problema fundamental daqueles dias era que a teoria quântica da eletricidade e do magnetismo não era completamente satisfatória. Isso eu aprendi de livros como aqueles do Heitler e do Dirac. Eu estava inspirado pelas observações nesses livros; não pelas

partes em que tudo estava provado e demonstrado cuidadosamente e calculado, porque eu não conseguia entender isso muito bem. Quando eu era mais novo, o que eu podia entender eram os comentários sobre o fato de que aquilo não fazia qualquer sentido. A última frase do livro de Dirac eu ainda posso me lembrar, “parece que algumas ideias físicas essencialmente novas são aqui necessitadas”. Então eu tomei isso como desafio e inspiração. Eu também tive um sentimento pessoal de que, já que eles não conseguiram uma resposta satisfatória para o problema que eu queria resolver, eu não precisava prestar muita atenção no que eles fizeram.

4 Apreendi das minhas leituras, no entanto, que duas coisas eram as fontes de dificuldades com as teorias eletrodinâmicas quânticas. A primeira era uma energia infinita de interação do elétron consigo mesmo. E essa dificuldade existia também na teoria clássica. A outra dificuldade vinha de alguns infinitos que tinham a ver com os infinitos graus de liberdade no campo. Eu entendia isso naquele tempo (pelo menos o quanto eu consigo me lembrar) como sendo simplesmente a dificuldade de que, se você quantiza os osciladores harmônicos do campo (por exemplo, numa caixa), cada oscilador tem energia fundamental de $\frac{1}{2}\hbar\omega$ e há um número infinito de modos numa caixa, cada um com frequência crescente ω . Portanto, há uma energia infinita dentro da caixa. Agora eu percebo que esse não era um enunciado completamente correto do problema central; [o problema dos infinitos segundo este enunciado] pode ser removido simplesmente mudando o zero a partir do qual a energia é medida. Em qualquer grau, eu acreditei que a dificuldade surgia, de alguma forma, da combinação do elétron agindo em si mesmo e do infinito número de graus de liberdade do campo.

5 Parecia para mim bem evidente a ideia de que uma partícula atuar sobre ela mesma, de que a força elétrica atua na mesma partícula que a gera, não era uma ideia necessária – na verdade, era uma ideia meio boba. Então, eu sugeri que os elétrons não poderiam atuar sobre si mesmo, mas apenas em outros elétrons. Isso significaria que não há campo. Vejam, se todas as cargas contribuem para a formação de um único campo comum e se esse campo comum age de volta em todas as cargas, então cada carga deve atuar de volta sobre si mesma. Bem, aí estava o erro: não havia campo. O que acontecia era que, quando você chacoalhava uma carga, outra iria chacoalhar mais tarde. Havia uma interação direta entre cargas, apesar de ter um atraso. A lei de força conectando o movimento de uma carga com o movimento de outra iria envolver apenas um atraso. Chacoalhe esta e aquela chacoalhará mais tarde. Um átomo do Sol

chacoalha; o elétron do meu olho chacoalha oito minutos depois, devido a uma interação direta.

6 Isso tinha o aspecto atrativo de que resolvia os dois problemas de uma vez. Primeiramente, posso dizer de imediato, eu não permito que um elétron atue sobre si mesmo; eu apenas deixo que ele atue sobre outros. Portanto, sem auto-energia!⁸⁴ Em segundo lugar, não há um número infinito de graus de liberdade no campo. Não há campo! Ou, se você insistir em pensar em termos de campos, esse campo é sempre determinado pela ação das partículas que o produzem. Você chacoalha essa partícula, ela chacoalha aquela outra, mas se você quer pensar em termos de campos, o campo, se estivesse ali, seria completamente determinado pela matéria que o gera e, portanto, o campo não tem qualquer grau *independente* de liberdade e os infinitos dos graus de liberdade são, então, removidos. A bem da verdade, quando nós olhamos para algum lugar e vemos luz, podemos sempre “ver” alguma matéria como fonte de luz. Nós não vemos apenas luz (exceto que, recentemente, algumas recepções de rádio têm sido encontradas sem uma fonte material aparente).

7 Vejam, então, que o meu plano geral era primeiro resolver o problema clássico, livrar-me das auto-energias infinitas da teoria clássica e esperar que quando eu fizesse uma teoria quântica disso, tudo estaria bem.

8 Este foi o começo. A ideia parecia tão óbvia e tão elegante para mim que eu me apaixonei por ela. E, assim como se apaixonar por uma mulher, só é possível se você não sabe muito sobre ela, então você não vê seus defeitos. Esses defeitos só são aparentes mais tarde, mas depois do amor ser tão intenso a ponto de te prender a ela. Então eu me apeguei a essa teoria, apesar de todas as dificuldades, pelo meu entusiasmo juvenil.

9 Então eu fui para a pós-graduação. Em algum ponto eu aprendi o que estava errado com a ideia de que um elétron não atua sobre si mesmo. Quando você acelera um elétron, ele irradia energia e você deve fazer trabalho extra para explicar essa energia. A força extra contra a qual esse trabalho é realizado é chamada de força de resistência de radiação. A origem dessa força extra era identificada, naqueles dias, seguindo Lorentz, como a ação do elétron. O primeiro termo dessa ação, do elétron sobre si mesmo, dava um tipo de inércia (que não era relativisticamente satisfatória).

⁸⁴ “Auto-energia”, em inglês, *self-energy*, nesse contexto, significa a energia do elétron atuando sobre si mesmo. Feynman aqui não se refere ao conceito matemático de “autoenergia”, que, em inglês, é *eigenenergy*.

Mas esse termo inercial era infinito para uma carga pontual. Ainda assim, o próximo termo na sequência dava uma taxa de perda, que para uma carga pontual concorda exatamente com a taxa que você encontra calculando quanta energia é irradiada. Então, a força de resistência de radiação, que é absolutamente necessária para a conservação da energia, desapareceria se eu dissesse que a carga não atua em si mesma.

10 Portanto eu aprendi, no tempo em que eu estava na pós-graduação, a falha evidentemente óbvia da minha própria teoria. Mas eu ainda estava apaixonado pela teoria original e ainda estava pensando que nela estava a solução para as dificuldades da eletrodinâmica quântica. Então eu continuei a tentar salvá-la, de alguma maneira. Deve haver alguma ação desenvolvida num dado elétron quando eu o acelero, para dar conta da resistência de radiação. Mas, se eu deixar que elétrons atuem somente sobre outros elétrons, a única fonte possível dessa ação é outro elétron. Então, um dia, quando eu estava trabalhando para o Professor Wheeler e não conseguia mais resolver o problema que ele havia me dado, eu pensei de novo sobre isso e calculei o seguinte: suponha que eu tenha duas cargas – eu chacoalho a primeira, a qual eu penso como uma fonte, e isso faz com que a segunda chacoalhe, mas o chacoalhar da segunda produz um efeito de volta na fonte. E então eu calculei quanto era esse efeito sobre a primeira carga, esperando que isso resultasse na força de resistência de radiação. Não deu certo, claro, mas eu contei ao Professor Wheeler minhas ideias. Ele disse: sim, mas a resposta que você consegue para as duas cargas que você mencionou vai depender, infelizmente, da carga e da massa da segunda carga, variando inversamente com o quadrado da distância R entre as cargas, enquanto que a força de resistência de radiação não depende dessas grandezas. Eu pensei que com certeza ele havia computado isso por si mesmo, mas agora, tendo me tornado professor, eu sei que uma pessoa pode ser sábia o bastante para ver imediatamente o que um estudante de pós-graduação demora semanas para desenvolver. Ele também apontou algo que também me incomodou: que se nós tivéssemos uma situação com muitas cargas ao redor da fonte original, numa densidade grosseiramente uniforme e se somássemos o efeito de todas as cargas do entorno, o R ao quadrado inversamente proporcional seria compensado pelo R^2 do elemento de volume. Teríamos um resultado proporcional à grossura da camada, que iria para o infinito. E, por fim, ele me disse “você se esqueceu de mais um detalhe: quando você acelera a primeira carga, a segunda atua depois. Essa reação na primeira acontece ainda depois. Em outras palavras, a ação ocorre no tempo errado”. Eu subitamente percebi o quanto

eu era estúpido, pois o que eu havia descrito e calculado era apenas luz refletida, ordinária, não a reação de radiação.

11 Mas o que eu tinha de estúpido, o Professor Wheeler tinha de esperto, porque ele então começou a dar uma palestra como se ele já tivesse pensado nisso tudo de antemão, como se já estivesse completamente preparado, mas ele não estava. Na verdade estava pensando nisso conforme o trabalho avançava. Primeiramente, disse ele, suponhamos que a ação de retorno das cargas do absorvedor atinjam a fonte por meio de ondas adiantadas assim como por meio das ondas atrasadas de luz refletida; então a lei de interação age de trás para frente no tempo e também de frente para trás. Eu era suficientemente físico na época pra dizer “ah não, como pode?”. Hoje em dia, todos os físicos sabem, quando estudam Einstein e Bohr, que às vezes uma ideia que pareça completamente paradoxal a princípio pode, se analisada em todos os detalhes e em sua complexidade, em situações experimentais, não ser paradoxal. Então não me incomodou mais do que incomodou o Professor Wheeler o uso de ondas adiantadas para a reação de rebote – uma solução das equações de Maxwell que não havia sido fisicamente usada até então.

12 O Professor Wheeler usou ondas adiantadas para chegar à reação no momento certo e então sugeriu isto: se tivessem muitos elétrons no absorvedor, haveria um índice de refração n , então as ondas retardadas vindo da fonte teriam seus comprimentos um pouco modificados quando passassem pelo absorvedor. Mas se assumirmos que as ondas adiantadas voltam do absorvedor sem um índice – por quê? Eu não sei, apenas vamos assumir isso – então haverá uma mudança gradual de fase entre o sinal original e o sinal que retorna, então perceberíamos que as contribuições atuam como se elas viesse de uma espessura finita, aquela da primeira zona de onda (Mais especificamente, até a profundidade em que a fase no meio é deslocada de maneira apreciável em relação ao que seria no vácuo; uma espessura proporcional a $\frac{\lambda}{(n-1)}$). Mas, quanto menos elétrons ali, menos cada um contribui, mas será mais espessa a camada que efetivamente contribui, pois, com menos elétrons, o índice difere menos de 1. Quanto maior a carga desses elétrons, mais cada um contribui, mas a camada efetiva é mais fina porque o índice é maior. E quando estimamos o valor, (fazendo um cálculo não muito cuidadoso a ponto de manter os fatores numéricos corretos), encontramos que a ação de retorno na fonte é completamente independente das propriedades das cargas que estão no absorvedor que a circula. Além disso, era correto

conceitualmente fazer essa representação da resistência de radiação, mas não éramos capazes de ver se o tamanho estava correto. [Wheeler] me mandou de volta pra casa com o dever de encontrar exatamente quanto de ondas avançadas e quanto de ondas retardadas precisávamos para fazer com que o cálculo estivesse numericamente correto. Após isso, encontrar o que acontece com os efeitos avançados que se espera quando colocamos uma carga de teste perto da fonte. Porque, se todas as cargas geram efeitos avançados e retardados, por que a carga de teste não seria afetada pelas ondas avançadas da fonte?

13 Eu descobri que se chega na resposta correta se você usa ondas metade avançadas e metade adiantadas como campo gerado por cada carga. Isto é, basta usar a solução para a equação de Maxwell que seja simétrica no tempo e o motivo pelo qual não temos efeitos avançados num ponto próximo da fonte apesar da fonte estar produzindo um campo avançado é este: suponha que a fonte s esteja cercada por uma parede absorvedora esférica a dez segundos-luz de distância e que a carga de teste está a um segundo à direita da fonte. Então a fonte está no máximo a onze segundos de algumas partes da parede e a nove de outras. A fonte atuando no tempo $t = 0$ induz movimentos na parede a um tempo $+ 10$. Efeitos avançados dessa configuração podem apenas atuar na carga de teste tão cedo quanto onze segundos antes, ou em $t = -1$. Esse é exatamente o tempo em que as ondas avançadas diretas da fonte atingem a carga de teste. Acaba que os dois efeitos são exatamente iguais, opostos e se cancelam! No tempo posterior $+1$, os efeitos na carga de teste a partir da fonte e a partir das paredes são novamente iguais, mas dessa vez são de mesmo sinal e se somam para converter a onda metade-atrasada da fonte a uma intensidade completa.

14 Então ficou claro que havia a possibilidade de que, se assumíssemos que todas as ações são via soluções metade-atrasadas e metade-adiantadas das equações de Maxwell, se assumíssemos que todas as fontes são cercadas por material que absorve toda luz emitida, então poderíamos considerar a resistência de radiação como uma ação direta das cargas do absorvedor atuando de volta por meio de ondas adiantadas na fonte.

15 Muitos meses foram dedicados para verificar esses pontos. Meu trabalho foi mostrar que tudo é independente da forma do recipiente, que as leis são exatamente certas e que os efeitos adiantados de fato se cancelam em cada caso. Nós sempre tentamos melhorar a eficiência de nossas demonstrações, ver com mais clareza o porquê delas funcionarem. Eu não vou enchê-los de detalhes sobre isso. Por causa do nosso uso de ondas adiantadas, nós também tivemos muitos aparentes paradoxos, que fomos

resolvendo um por um. Vimos que na verdade não havia dificuldades lógicas com a teoria. Ela era perfeitamente satisfatória.

16 Nós também descobrimos que poderíamos reformular de outro jeito, que seria pelo princípio da mínima ação. Uma vez que meu plano original era descrever tudo diretamente em termos dos movimentos das partículas, era meu desejo representar essa nova teoria sem dizer qualquer coisa sobre os campos. Acabou que nós achamos uma forma para uma ação que envolvia diretamente apenas os movimentos das cargas, cuja variação daria as equações de movimento dessas cargas. A expressão para essa ação A é:

$$A = \sum_i m_i \int (\dot{X}_\mu^i \dot{X}_\mu^i)^{\frac{1}{2}} d\alpha_i + \frac{1}{2} \sum_{ij, i \neq j} e_i e_j \iint \delta(I_{ij}^2) \dot{X}_\mu^i(\alpha_i) \dot{X}_\mu^j(\alpha_j) d\alpha_i d\alpha_j \quad (I)$$

Onde

$$I_{ij}^2 = [X_\mu^i(\alpha_i) - X_\mu^j(\alpha_j)][X_\mu^i(\alpha_i) - X_\mu^j(\alpha_j)]$$

Onde $X_\mu^i(\alpha_i)$ é o quadrvetor de posição da i-ésima partícula como função de alguns parâmetros α_i e $\dot{X}_\mu^i$ é $\frac{dX_\mu^i(\alpha)}{d\alpha_i}$. O primeiro termo é a integral do tempo próprio, a ação ordinária da mecânica relativística de partículas livres de massa m_i (Nós somamos da maneira usual, sobre os índices repetidos μ). O segundo termo representa a interação elétrica das cargas. É somado sobre cada par de cargas (o fator $\frac{1}{2}$ é para contar cada par apenas uma vez, o termo $i=j$ é omitido para evitar auto-interação). A interação é uma integral dupla sobre uma função delta do quadrado do intervalo espaço-temporal I^2 entre dois pontos nas trajetórias. Então, a interação ocorre apenas quando esse intervalo é nulo, ou seja, ao longo de cones de luz.

17 O fato de que a interação é exatamente metade avançada e metade atrasado significava que nós poderíamos escrever como um princípio de mínima ação, enquanto que a interação *via* ondas atrasadas, sozinha, não pode ser escrita dessa forma.

18 Então toda a eletrodinâmica clássica estava contida nessa fórmula bem simples. Ela tinha boa aparência. Portanto, era indubitavelmente verdadeira, ao menos para um principiante. Ela automaticamente gerava os efeitos metade avançados e metade atrasados e não tinha campos envolvidos. Omitindo o termo na soma quando $i=j$, eu omiti a auto-interação e não tinha mais qualquer auto-energia infinita. Essa então

era a solução sobre a qual estávamos esperançosos para nos livrarmos dos infinitos da eletrodinâmica clássica.

19 É claro que você pode recolocar campos se quiser, mas você deve manter em vista os campos produzidos por cada partícula separadamente. Isso porque, para encontrar o campo correto para agir numa determinada partícula, você deve excluir o campo que ela mesma cria. Um único campo universal, para o qual todas as partículas contribuem, não funcionam. Essa ideia foi sugerida anteriormente por Frenkel, então nós chamamos esses campos de campos de Frenkel. Essa teoria, que permitia apenas que partículas agissem umas sobre as outras, era equivalente a usar campos de Frenkel com soluções metade avançadas e metade atrasadas.

20 Houve várias sugestões sobre modificações interessantes da eletrodinâmica. Nós discutimos várias delas, mas eu vou falar sobre apenas uma. A sugestão era de substituir essa função delta na interação por outra função, digamos $f(I_{ij}^2)$, que não é infinitamente estreita. Em vez de ter a ação ocorrendo apenas quando o intervalo entre as duas cargas é exatamente zero, nós trocaríamos a função delta de I^2 por algo com pico estreito. Digamos que $f(Z)$ assuma grandes valores apenas perto de $Z = 0$, numa largura de ordem a^2 . As interações agora vão ocorrer quando $T^2 - R^2$ é da ordem de a^2 , onde T é a diferença temporal e R é a separação entre as cargas. Pode parecer que isso contradiz a experiência, mas se a é uma distância pequena, como 10^{-13} cm, essa expressão diz que o atraso temporal T na ação é grosseiramente $\sqrt{R^2 \pm a^2}$, ou, aproximadamente, se R for muito maior que a , $T = R \pm a^2/2R$. Isso significa que o desvio do tempo T em relação ao tempo teórico ideal R de Maxwell fica menor e menor, conforme afastamos os corpos. Portanto, todas as teorias envolvidas em analisar geradores, motores, etc, de fato todos os testes da eletrodinâmica que estavam disponíveis no tempo de Maxwell, seriam adequadamente satisfeitos até 10^{-13} cm. Se R é da ordem de um centímetro, esse desvio em T é de apenas 10^{-26} partes. Então era possível, também, mudar a teoria de uma maneira simples e ainda assim concordar com todas as observações da eletrodinâmica clássica. Você não tem qualquer dica sobre qual função, precisamente, deve ser colocada em f , mas era uma possibilidade interessante de se ter em mente ao desenvolver eletrodinâmica quântica.

21 Também nos ocorreu que, se fizéssemos isso (substituir δ por f), não poderíamos recolocar o termo $i = j$ na soma porque isso agora representaria, de maneira invariante relativisticamente, uma ação finita da carga em si mesma. De fato, era

possível provar que se fizéssemos tal coisa, o principal efeito da auto-ação (desde que não houvesse acelerações muito rápidas) seria a produção de uma modificação da massa. De fato, se não houvesse a necessidade de termo de massa m_i , toda a massa mecânica poderia ser auto-ação eletromagnética. Então, se você preferir, nós poderíamos ter outra teoria com uma expressão ainda mais simples para a ação A. Na expressão (I) apenas o segundo termo é mantido. A soma é estendida sobre todo i e todo j e alguma função substitui a delta. Tal forma simples poderia representar toda a eletrodinâmica clássica, que, ao lado da gravitação, é essencialmente toda a física clássica.

22 Mesmo que pareça confuso, eu estou descrevendo muitas teorias alternativas diferentes de uma vez. O que é importante de ser notado nesse ponto é que nós tínhamos em mente todas essas diferentes possibilidades. Havia muitas possíveis soluções para a dificuldade da eletrodinâmica clássica, qualquer uma delas poderia servir como bom ponto de partida para a solução das dificuldades da eletrodinâmica quântica.

23 Eu também gostaria de enfatizar que nesse momento eu já estava ficando acostumado com um ponto de vista físico diferente do ponto de vista mais comum. Na visão comum, as coisas são discutidas em função do tempo, em grande detalhe. Por exemplo, você tem o campo nesse momento, uma equação diferencial dá o campo no próximo momento e assim por diante. Esse método eu chamo de método de Hamilton, o método do diferencial temporal. Nós temos, em vez disso (em, por exemplo, (1)), algo que descreve o caráter da trajetória ao longo de todo o espaço e do tempo. Para uma ação como (1) as equações obtidas pela variação (de $X_\mu^i(\alpha_i)$) não são mais fáceis de se colocar na forma hamiltoniana. Se você deseja usar como variáveis apenas as coordenadas das partículas, então você pode falar sobre a propriedade das trajetórias – mas a trajetória de uma partícula num dado tempo é afetada pela trajetória de outra em outro tempo. Se você tenta descrever, portanto, diferencialmente as coisas, dizendo quais são as condições presentes das partículas e como essas condições presentes vão afetar o futuro observado, é impossível de ser feito apenas com partículas, porque alguma coisa que a partícula fez no passado afetará o futuro.

24 Portanto, você precisa de muitas variáveis para saber o que a partícula fez no passado. Essas são chamadas de variáveis de campo. Você também precisará dizer como é o campo no presente momento, se quiser saber o que vai acontecer. Do ponto de

vista espaço-temporal do princípio de mínima ação, o campo desaparece, sendo apenas variáveis necessariamente guardadas pelo método hamiltoniano.

25 Como um subproduto dessa mesma visão, eu recebi um telefonema certo dia na pós-graduação de Princeton do Professor Wheeler, em que ele disse “Feynman, eu sei por que todos os elétrons tem mesma carga e mesma massa”. “Por quê?”. “Porque eles são todos o mesmo elétron!”. E então ele me explicou pelo telefone: “suponha que as linhas de mundo que estamos considerando ordinariamente até agora no espaço e no tempo, em vez de irem em frente no tempo, fossem um tremendo nó. Então, quando cortamos através do nó, pelo plano correspondente a um plano fixo, veríamos muitas, muitas linhas de mundo. Isso representaria muitos elétrons, exceto por um detalhe: se, em uma seção, essa é uma linha de mundo comum de elétron, na seção em que ela se inverte e está voltando do futuro nós teríamos o sinal errado para o tempo próprio das quadravelocidades próprias. Isso é equivalente a trocar o sinal da carga. Portanto, aquela parte da trajetória atuaria como um pósitron”. “Mas, Professor”, eu disse, “não existem tantos pósitrons quanto elétrons”. “Bem, talvez eles estejam escondidos nos prótons ou algo assim”, ele disse. Eu não levei tão a sério a ideia de que todos os elétrons são o mesmo, como levei a observação de que pósitrons poderiam ser representados simplesmente como elétrons indo do futuro para o passado em uma seção inversa de suas linhas de mundo. Isso, eu roubei!

26 Em suma, quando eu terminei essa parte, como físico eu havia ganhado duas coisas. Primeiramente, eu sabia muitas maneiras diferentes de formular a eletrodinâmica clássica, com muitas formulações matemáticas. Eu preciso saber como expressar o assunto de cada modo. Em segundo lugar, eu tinha um ponto de vista – o ponto de vista geral do espaço-tempo – e um desrespeito pelo método hamiltoniano de descrever a física.

27 Gostaria de interromper aqui para fazer um apontamento. O fato de que a eletrodinâmica pode ser escrita de tantas maneiras – as equações diferenciais de Maxwell, vários princípios mínimos com campos, princípios mínimos sem campos, todos os diferentes modos, era algo que eu sabia mas nunca havia entendido. Parecia sempre estranho para mim que as leis fundamentais da física, quando descobertas, possam aparecer de tantas maneiras, em tantas formas que a princípio não pareçam idênticas, mas que, com um pouco de trabalho matemático, podemos demonstrar as relações. Um exemplo disso é a equação de Schrödinger e a formulação de Heisenberg da mecânica quântica. Eu não sei o porquê – isso continua um mistério – mas é algo que

aprendi da experiência. Há sempre outra maneira de dizer a mesma coisa, que não se parece com a maneira como você disse anteriormente. Eu não sei qual é a razão disso. Eu acho que é, de alguma forma, a representação da simplicidade da natureza. Algo como a lei do inverso do quadrado pode ser representada como a solução da equação de Poisson, que, portanto, é uma maneira bem diferente de dizer a mesma coisa, de maneira que não se parece com a forma como foi dito anteriormente. Eu não sei o que isso significa, por que a natureza escolhe essas formas curiosas, mas talvez essa seja uma maneira de definir simplicidade. Talvez uma coisa seja simples se você pode descrevê-la completamente de muitas maneiras diferentes sem imediatamente saber que você está descrevendo a mesma coisa.

28 Eu agora estava convencido de que, já que tínhamos resolvido o problema da eletrodinâmica clássica (seguindo completamente de acordo com meu programa do MIT, estudando apenas interações diretas entre partículas, de forma que fazia campos serem desnecessários), então tudo ia definitivamente ficar bem. Eu estava convencido de que tudo o que eu tinha que fazer era construir uma teoria quântica análoga à clássica e tudo estaria resolvido.

29 Então o problema era apenas fazer uma teoria quântica, que tinha, como análogo clássico, a expressão (1). Mas não há uma maneira única de fazer uma teoria quântica a partir da mecânica clássica, embora todos os livros-textos nos façam acreditar que haja. O que eles dizem pra você fazer é achar as variáveis de momentum e substituí-las por $\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}$. Mas eu não consegui achar uma variável de momentum, porque não havia nenhuma.

30 O caráter da mecânica quântica daqueles dias era escrever as coisas do famoso jeito hamiltoniano – na forma de uma equação diferencial, que descrevia como a função de onda mudava de instante para instante e em termos de um operador H . Se a física clássica pudesse ser reduzida a uma forma hamiltoniana, tudo estaria resolvido. Mas o princípio de mínima ação não implica numa forma hamiltoniana se a ação for uma função de qualquer coisa além de posições e velocidades ao mesmo tempo. Se a ação tem forma de uma integral de uma função (usualmente chamada de lagrangiana) que depende de velocidades e posições ao mesmo tempo

$$S = \int L(\dot{x}, x) dt \quad (2)$$

Então você pode começar com a lagrangiana e então criar um hamiltoniano e trabalhar a mecânica quântica, mais ou menos unicamente. Mas essa coisa (1) envolve

as variáveis chave, posições, em dois tempos diferentes. Portanto, não era obvio o que fazer para criar o analogo quantico.

31 Eu tentei – e lutei com isso de muitas maneiras. Uma das maneiras foi: se eu tivesse osciladores harmônicos interagindo com um atraso no tempo, eu poderia descobrir quais eram os modos normais e chutar que a teoria quântica dos modos normais era a mesma daquela de osciladores simples, e meio que fazer o caminho de volta em termos das variáveis originais. Eu consegui fazer isso, mas eu esperava generalizar para algo além de um oscilador harmônico. Aprendi, para meu arrependimento, algo que muitas pessoas aprenderam. O oscilador harmônico é demasiadamente simples. Muito frequentemente você consegue saber o que fazer em teoria quântica sem ter muitas dicas sobre como generalizar seus resultados para outros sistemas.

32 Então isso não me ajudou muito. Mas quando eu estava atacando esse problema, fui a uma festa de cerveja na Taverna Nassau em Princeton. Havia esse senhor, recentemente chegado da Europa (Herbert Jehle), que veio e se sentou ao meu lado. Os europeus são muito mais sérios do que nós somos na América porque eles pensam que um bom lugar para discutir assuntos intelectuais é uma festa com cerveja. Então ele sentou e perguntou “o que você faz?” e tal. Eu disse “estou bebendo cerveja”. Então percebi que o que ele queria saber era qual o trabalho que eu estava fazendo; eu disse que estava atacando esse problema. Simplesmente disse a ele “escuta, você sabe qualquer modo de se fazer mecânica quântica, começando com ação, onde a integral aparece na mecânica quântica?”, “não”, ele disse, “mas o Dirac tem um artigo em que a lagrangiana, pelo menos, aparece na mecânica quântica. Eu mostro pra você amanhã”.

33 No dia seguinte nós fomos à Biblioteca de Princeton, eles tinham umas salas pequenas ao lado para discutirmos coisas e ele me mostrou o tal artigo. O que Dirac dizia era o seguinte: existe, na mecânica quântica, uma quantidade muito importante que leva a função de onda de um tempo para outro, que não é a equação diferencial mas é equivalente a ela, um tipo de núcleo, que iremos chamar de $K(x', x)$, que leva a função de onda $\psi(x)$, conhecida num tempo t , até uma função de onda $\psi(x')$, no tempo $t + \epsilon$. Dirac aponta que essa função K era *análoga* à quantidade em mecânica clássica que você calcularia se tomasse a exponencial de $i \cdot \epsilon$, multiplicada pela lagrangiana $L(\dot{x}, x)$, imaginando que essas duas posições x, x' correspondem a t e $t + \epsilon$. Em outras palavras,

$$K(x', x) \text{ é análoga a } e^{i\epsilon L\left(\frac{x'-x}{\epsilon}, x\right)/\hbar}$$

34 O Professor Jehle me mostrou isso, eu li, ele me explicou e eu disse “o que ele quer dizer é que elas são análogas, mas o que *análogo* significa?”. Ele respondeu “vocês, americanos! Sempre tentam achar uma utilidade pra tudo!”. Eu disse que eu pensei que o que Dirac queria dizer é que ambas eram iguais. “Não”, ele explicou, “ele não quer dizer que são iguais”. “Bem”, eu disse, “vamos ver o que acontece se eu fizer com que sejam iguais”.

35 Então eu impus que fossem iguais, pegando o exemplo mais simples, em que a lagrangiana é $\frac{1}{2} Mx^2 - V(x)$, mas logo percebi que eu deveria colocar uma constante de proporcionalidade A, adequadamente ajustada. Quando eu substituí $Ae^{i\epsilon L/\hbar}$ em K para obter

$$\psi(x', t + \epsilon) = \int A \exp \left[\frac{i\epsilon}{\hbar} L \left(\frac{x' - x}{\epsilon}, x \right) \right] \psi(x, t) dx \quad (3)$$

E calculei os termos por meio de expansão em série de Taylor e cheguei na Equação de Schrödinger. Então eu virei pro professor Jehle, não realmente entendendo e disse “bom, você vê que o Professor Dirac quis dizer que elas eram proporcionais.” Os olhos do Professor Jehle estavam escondidos – ele havia tomado um pequeno caderno e estava rapidamente copiando do quadro negro, dizendo “não, não, essa é uma descoberta importante. Vocês americanos estão sempre tentando achar algo pode ser usado. Essa é uma boa maneira de descobrir coisas!”. Então, pensei que eu tinha achado o que Dirac queria dizer, mas, na verdade, descobri que o que Dirac pensava ser análogo era, de fato, igual. Eu tinha, então, pelo menos, a conexão entre a lagrangiana e a mecânica quântica, mas ainda tinha funções de onda e tempos infinitesimais.

36 Deve ter se passado um dia ou algo assim quando eu estava deitado na cama pensando sobre essas coisas e imaginei o que aconteceria se eu quisesse calcular a função de onda a um intervalo finito depois.

37 Eu iria colocar um desses fatores $e^{i\epsilon L}$ nela. Isso me daria as funções de onda no próximo instante $t + \epsilon$ e então eu poderia substituir essa expressão de volta em (3) para conseguir outro fator $e^{i\epsilon L}$, então calcular a função de onda no momento $t + 2\epsilon$ e assim por diante. Dessa maneira eu me peguei pensando num grande numero de integrais, uma após a outra em sequência. No integrando havia o produto de exponenciais, que, é claro, era a exponencial da soma de termos como ϵL . Mas L é a lagrangiana e ϵ é como o intervalo temporal dt, então se você somar tais termos, isso é

exatamente como uma integral. É como a fórmula de Riemann para a integral $\int L dt$, basta tomar o valor em cada ponto e adicioná-los. Nós queremos tomar o limite $\epsilon \rightarrow 0$, obviamente. Portanto, a conexão entre a função de onda de um instante e a função de onda de outro instante, a um tempo finito depois, pode ser obtida por um número infinito de integrais (porque ϵ vai pra zero, é claro) da exponencial de $\left(\frac{iS}{\hbar}\right)$, onde S é a expressão de ação (2). Enfim eu havia conseguido representar a mecânica quântica diretamente em termos da ação S .

38 Isso levou, depois, à ideia da amplitude para uma trajetória, de que para cada caminho possível que a partícula possa ir de um ponto a outro do espaço-tempo, há uma amplitude. Essa amplitude é e elevado a $i/\hbar$ vezes a ação para a trajetória. Amplitudes de várias trajetórias são superpostas por adição. Esse então é outro, um terceiro modo de descrever a mecânica quântica, que parece um pouco diferente daquele de Schrödinger ou Heisenberg, mas equivalente.

39 Mas, imediatamente antes de fazer algumas checagens sobre isso, o que eu gostaria de fazer, é claro, era substituir a ação (1) em (2). O primeiro problema era que eu não conseguiria fazer a coisa funcionar no caso relativístico do spin 1/2. No entanto, apesar de eu conseguir lidar com o caso apenas não-relativístico, eu poderia lidar com a luz ou com interações de fótons perfeitamente bem, apenas colocando os termos de interação de (1) em qualquer ação, substituindo os termos de massa pelo termo não-relativístico $(Mx^2/2)dt$. Quando a ação tem um atraso, como tinha agora, e envolvia mais que um tempo, eu precisava perder a ideia de função de onda. Isto é, eu não poderia mais descrever o programa como “dadas as amplitudes para todas as posições num certo tempo, computar a amplitude em outro tempo”. No entanto, isso não me causou tanto problema. Apenas significava que eu tinha que desenvolver uma nova ideia. Ao invés de pensar em funções de onda, poderíamos pensar no seguinte: se uma fonte de algum tipo emite uma partícula e se há um detetor para recebê-la, nós podemos dar a amplitude com a qual a fonte vai emitir e o detetor vai receber. Isso nós fazemos sem especificar o instante exato da emissão da fonte ou o instante exato da recepção de qualquer detetor, sem tentar especificar o estado de qualquer coisa em qualquer tempo particular entre os eventos, mas apenas encontrando a amplitude para o experimento completo. E então nós poderíamos discutir como essa amplitude mudaria se você tivesse uma amostra espalhadora no meio, conforme você rotacionasse e mudasse ângulos e assim por diante, sem realmente ter quaisquer funções de onda.

40 Também era possível descobrir o que significariam os velhos conceitos de energia e momentum com essa ação generalizada. E então eu acreditei que eu tinha uma teoria quântica da eletrodinâmica clássica – ou, em vez disso, dessa nova eletrodinâmica clássica descrita pela ação (1). Eu fiz um número de testes. Se eu tomasse o ponto de vista dos campos de Frenkel, que, vocês lembram, são mais diferenciais, eu poderia convertê-lo diretamente em mecânica quântica de uma maneira mais convencional. O único problema era como especificar, na mecânica quântica, as condições clássicas de contorno para usar apenas soluções metade avançadas e metade retardadas. Por alguma genialidade em definir o que isso significaria, eu descobri que a mecânica quântica com campos de Frenkel, mais uma condição especial de contorno, me daria de volta a ação (1), na forma nova da mecânica quântica com um atraso. Então, várias coisas indicaram que não havia qualquer dúvida de que eu tinha esclarecido tudo.

41 Também foi fácil adivinhar como modificar a eletrodinâmica, se qualquer um quisesse fazê-lo. Eu apenas mudei o delta para uma função f , assim como eu faria para o caso clássico. Então era bem fácil, bem simples. Para descrever a velha teoria de ondas atrasadas sem mencionar explicitamente os campos, eu teria que escrever probabilidades, não apenas amplitudes. Eu teria que quadrar minhas amplitudes e isso envolveria integrais duplas de trajetória, em que existem dois S e assim por diante. Ainda assim, quando eu trabalhei muitos desses casos e estudei formas diferentes e condições de contorno diferentes, eu tive um tipo de sensação engraçada de que as coisas não estavam exatamente certas. Eu não conseguia identificar claramente qual era a dificuldade. Em um dos curtos períodos nos quais eu imaginei que teria de deixar isso de lado por um tempo, publiquei uma tese e recebi meu Ph. D.

42 Durante a Guerra, eu não tive tempo de trabalhar nesses assuntos muito extensivamente, mas fiquei pensando sobre isso enquanto estava nos ônibus e assim por diante, com alguns pedaços de papel e me esforcei para trabalhar isso e descobri que de fato havia algo errado, algo terrivelmente errado. Descobri que se alguém generalizar a ação a partir das boas formas lagrangianas (2) para as formas (1), então as quantidades que eu defini como energia e tal, seriam complexas. Os valores de energia de estados estacionários não seriam reais. As probabilidades de eventos não somariam 100%. Isto é, se você tomar a probabilidade de que isso vai acontecer, de que aquilo vai acontecer e de que tudo o que você imaginar vai acontecer, a soma não seria 1.

43 Outro problema com o qual eu lutei muito duramente foi o de representar elétrons relativísticos com essa nova mecânica quântica. Eu queria fazê-lo de uma maneira única e diferente, não apenas copiando os operadores de Dirac em algum tipo de expressão e usando algum tipo de álgebra de Dirac em vez de números complexos ordinários. Eu estava bem encorajado pelo fato de que em uma dimensão espacial eu havia encontrado um jeito de dar uma amplitude para cada trajetória, limitando-me a trajetórias que só poderiam ir para frente e para trás à velocidade da luz. A amplitude era simplesmente $i\epsilon$ elevado a uma potência igual ao número de inversões de velocidade, onde eu havia dividido o tempo em passos e eu só podia reverter a velocidade nesse tempo. Isso dá (conforme aproxima-se de zero) a equação de Dirac em duas dimensões – uma dimensão de espaço e uma de tempo ($\hbar = M = c = 1$).

44 A função de onda de Dirac tem quatro componentes em quatro dimensões, mas, nesse caso, ela tinha apenas dois componentes e essa regra para a amplitude de uma trajetória automaticamente gerava a necessidade de dois componentes. Porque se essa é a fórmula para as amplitudes da trajetória, não há qualquer benefício em saber a amplitude total de todas as trajetórias que chegam a um mesmo tempo para então encontrar a amplitude que chega no próximo ponto. Isso porque, para o próximo tempo, se ele vier pela direita, não há novos fatores $i\epsilon$ se ele sair pela direita, enquanto que se ele vier da esquerda há um novo fator $i\epsilon$. Então, para continuar essa mesma informação em frente, até o próximo momento, não era informação suficiente saber a amplitude total a chegar, mas você também precisava saber a amplitude que chegava da direita e a amplitude que chegava da esquerda, independentemente. Se você soubesse, no entanto, você poderia então computar ambas de novo independentemente, então você precisaria carregar duas amplitudes para formar uma equação diferencial (de primeira ordem no tempo).

45 Então eu sonhava que, se eu fosse esperto, eu poderia encontrar uma fórmula para a amplitude de uma trajetória, que fosse maravilhosa e simples para três dimensões de espaço e uma de tempo, que seria equivalente à Equação de Dirac, para a qual os quadricomponentes, matrizes e todas aquelas outras coisas matemáticas saíam como uma simples consequência – eu também nunca consegui fazer isso. Mas eu queria mencionar algumas das coisas mal sucedidas pelas quais me esforcei, assim como as coisas que funcionaram.

46 Para sumarizar a situação após alguns anos, eu diria que tinha muita experiência com eletrodinâmica quântica, pelo menos no conhecimento das muitas

maneiras de formulá-la, em termos de integrais de trajetória de ações e em outras formas. Um dos subprodutos importantes, por exemplo, de ter muita experiência nessas formas simples, foi que era fácil ver como combinar o que, naquela época, eram chamados de campos longitudinais e transversais e, em geral, ver claramente a invariância relativística da teoria. Devido à necessidade de fazer as coisas diferencialmente, houve, na eletrodinâmica quântica tradicional, uma completa separação do campo em duas partes, uma das quais é chamada de parte longitudinal e a outra, mediada pelos fótons, de ondas transversais. A parte longitudinal era descrita por um potencial coulombiano atuando instantaneamente na equação de Schrödinger, enquanto que a parte transversal tinha uma descrição completamente diferente, em termos da quantização das ondas transversais. Essa separação dependia da inclinação relativística dos eixos no espaço-tempo. Pessoas se movimentando a diferentes velocidades separariam o mesmo campo em componentes longitudinais e transversais de modos diferentes. Além disso, com toda a formulação da mecânica quântica insistindo, como era, na função de onda a qualquer tempo, era difícil de analisar relativisticamente. Uma pessoa em outro sistema de coordenadas calcularia a sucessão de eventos em termos de funções de ondas em fatias diferentes de espaço-tempo, com uma superação diferente das partes longitudinais e transversais. A teoria hamiltoniana não parecia relativisticamente invariante, apesar de ser. Uma das grandes vantagens do ponto de vista geral era que você poderia ver a invariância relativística imediatamente, ou, como Schwinger diria, a covariância era manifesta. Eu tinha a vantagem, portanto, de ter uma forma manifestadamente covariante da eletrodinâmica quântica, com sugestões para modificações e assim por diante. Eu tinha a desvantagem de que, se eu olhasse muito seriamente, eu teria problemas com essas energias complexas e com a falha de somar probabilidades dando 1 e tal. Eu estava lutando sem sucesso com isso.

47 Então Lamb fez seu experimento, medindo a separação dos níveis $2S_{\frac{1}{2}}$ e $2P_{\frac{1}{2}}$ do hidrogênio, verificando que era de cerca de 1000 megaciclos de diferença de frequência. Professor Bethe, com o qual eu era associado à época em Cornell, é um homem que tem essa característica: se há um bom numero experimental, você deve acha-lo pela teoria. Então ele forçou a eletrodinâmica quântica daquele tempo a dar uma resposta para a separação desses dois níveis. Ele apontou que a auto-energia do elétron é, por si só, infinita, então a energia calculada de um elétron ligado também deve ser infinita. Mas, quando você calculava a separação dos dois níveis de energia em termos

da massa corrigida em vez da antiga massa, aconteceria, ele pensava, que a teoria daria respostas convergentes finitas. Ele fez uma estimativa da separação, dessa forma, descobrindo que ainda era divergente, mas ele achou que isso era provavelmente pelo fato de que ele havia usado uma teoria não relativística da matéria. Assumindo que fosse convergente, se relativisticamente tratada, ele estimou que teria cerca de mil megaciclos para o desvio de Lamb, e, então, fez a mais importante descoberta da história da eletrodinâmica quântica. Ele descobriu isso num trem de Ithaca, Nova Iorque, para Schenectady e me telefonou animado de Schenectady para me contar o resultado, o qual eu não me lembro de ter apreciado por completo naquela época.

48 Voltando para Cornell, ele deu uma palestra sobre o assunto, da qual eu participei. Ele explicou que é muito confuso encontrar exatamente qual termo infinito corresponde a que quando se tenta fazer a correção para uma mudança infinita na massa. Se houvesse quaisquer modificações, ele disse, mesmo que não fisicamente correta, (esse não é necessariamente o modo como a natureza realmente funciona), mas qualquer modificação em quaisquer altas frequências, que fizesse essa correção ser finita, então não havia qualquer problema em encontrar como mapear tudo. Você apenas calcula a correção finita de massa Δm para um elétron de massa m_0 , substitui os valores numéricos de $m_0 + \Delta m$ em m nos resultados para quaisquer outros problemas e essas ambiguidades estariam resolvidas. Se, além disso, esse método fosse relativisticamente invariante, então nós teríamos certeza absoluta sobre como fazê-lo sem destruir a invariância relativística.

49 Após a palestra, eu falei com ele e disse “eu posso fazer isso por você, amanhã te trago”. Eu achava que sabia todas as maneiras de modificar a eletrodinâmica quântica conhecidas pelo homem, naquela época. Então eu cheguei no outro dia e expliquei o que corresponderia à modificação da função delta para f e pedi que ele me explicasse como calcular a auto-energia de um elétron, por exemplo, para vermos se é finita.

50 Quero que vocês vejam um ponto interessante. Eu não aceitei o conselho do Professor Jehle sobre ver como aquilo seria útil. Eu nunca usei todos os mecanismos que inventei para resolver sequer um problema relativístico. Eu sequer havia calculado a auto-energia de um elétron até aquele momento. Estava estudando as dificuldades com a conservação da probabilidade e tudo mais, sem nunca fazer realmente nada, exceto discutir as propriedades gerais da teoria.

51 Mas agora eu estava com o Professor Bethe, que me explicou, na lousa, enquanto trabalhávamos juntos, como calcular a auto-energia de um elétron. Até aquele ponto, quando você fazia as integrais elas divergiam logaritmicamente. Eu disse a ele como fazer as modificações relativisticamente invariantes que pensei que fossem fazer tudo dar certo. Nós montamos a integral, que então divergiu à sexta potência da frequência, em vez de logaritmicamente!

52 Então voltei para a minha sala e fiquei pensando sobre essa coisa. Fiquei andando em círculos tentando achar o que estava errado, porque eu tinha certeza de que fisicamente tudo precisava dar um resultado finito e eu não conseguia entender por que estava dando infinito. Fiquei mais e mais interessado. Finalmente percebi que eu precisava aprender como fazer um cálculo. Então, definitivamente, eu me ensinei a calcular a auto-energia de um elétron, trabalhando pacientemente sobre a terrível confusão daqueles dias a respeito de estados de energias negativas, contribuições longitudinais e assim por diante. Quando eu finalmente descobri como fazer e fiz com as modificações que eu queria sugerir, acabou que [o cálculo] era belamente convergente e finito, como eu esperava que fosse. O Professor Bethe e eu nunca fomos capazes de descobrir o que fizemos de errado na lousa, dois meses antes, mas aparentemente nós só tivemos um deslize em algum lugar e nunca conseguimos descobrir onde. No fim, o que eu tinha proposto, se tivéssemos feito sem cometer erros, daria certo e daria uma correção finita. De qualquer forma, isso me forçou a revisar tudo aquilo e me convencer de que fisicamente nada deveria dar errado. Em qualquer razão, a correção da massa agora era finita, proporcional a $\ln\left(\frac{ma}{\hbar}\right)$ onde a é a espessura daquela função f que eu havia substituído na δ . Se você quisesse uma eletrodinâmica sem modificações, você deveria tomar a igual a zero, tendo uma correção infinita de massa. Mas esse não era o ponto. Mantendo a finito, eu simplesmente segui o programa delineado pelo Professor Bethe e mostrei como calcular as várias quantidades, os espalhamentos dos elétrons por átomos sem radiação, os deslocamentos de níveis e assim por diante, calculando tudo em termo da massa experimental, notando que os resultados, conforme sugeridos por Bethe, não eram sensíveis a a nessa forma, até tendo um limite definido conforme a ia para zero.

53 O resto do meu trabalho foi simplesmente melhorar as técnicas então disponíveis para os cálculos, fazendo diagramas para ajudar a analisar mais rapidamente a teoria de perturbação. A maior parte disso foi feita adivinhando – veja, eu não tinha a

teoria relativística da matéria. Por exemplo, parecia óbvio para mim que as velocidades nas fórmulas não relativísticas tinham de ser substituídas pela matriz α de Dirac, ou, em formas mais relativísticas, pelos operadores γ_μ . Eu tirei esses meus chutes daquelas formas que eu havia desenvolvido usando integrais de trajetória para matéria não relativística, mas luz relativística. Foi fácil desenvolver regras sobre o que substituir para chegar ao caso relativístico. Eu estava muito surpreso em descobrir que isso não era conhecido naquele tempo, que todas as fórmulas que tinham sido desenvolvidas tão pacientemente separando ondas longitudinais e transversais poderiam ser obtidas usando somente as fórmulas das ondas transversais, se, ao invés de somar apenas uma das duas direções de polarização, você somasse sobre todas as quatro possíveis direções de polarização. Era tão óbvio a partir da ação (1) que eu pensei que isso fosse conhecimento geral e eu fazia isso o tempo todo. Eu entraria em discussões com pessoas, porque eu não percebi que elas não sabiam aquilo; mas acabou que todo aquele trabalho paciente deles com ondas longitudinais era sempre equivalente a apenas estender a soma de duas direções transversais de polarização a todas as quatro direções. Essa era uma das vantagens atraentes do método. Além disso, eu incluí diagramas para os vários termos da série de perturbação, notações melhoradas para serem usadas, desenvolvi novos métodos de se avaliar integrais que ocorriam nesses problemas e assim por diante e fiz um tipo de *handbook* sobre como fazer eletrodinâmica quântica.

54 Mas um passo importante, em que algo fisicamente novo estava envolvido, tinha a ver com o mar de energia negativa de Dirac, que me causou tantas dificuldades lógicas. Eu estive tão confuso que eu me lembrei da velha ideia de Wheeler sobre o pósitron ser, talvez, o elétron voltando no tempo. Portanto, na teoria de perturbação dependente do tempo que era o usual para se conseguir a auto-energia, eu simplesmente supus que por um instante nós pudéssemos ir para trás no tempo e olhei quais termos eu conseguiria ao inverter a ordem temporal das variáveis. Eles eram os mesmos termos que outras pessoas conseguiram quando resolveram o problema de um jeito mais complicado, usando buracos no mar, exceto, possivelmente, por alguns sinais. Estes, a princípio, eu determinei empiricamente inventando e tentando algumas regras.

55 Eu tentei explicar que todas as melhorias da teoria relativística, num primeiro momento, eram umas trapaças semi-empíricas, mais ou menos diretas. A cada vez que eu descobria algo, no entanto, eu voltava e checava de várias maneiras, comparava com todos os problemas que eu havia feito anteriormente em eletrodinâmica (e, mais tarde, em teoria de acoplamento fraco de mésons), para ver se sempre haveria

concordância, até que eu estivesse completamente convencido da verdade das várias regras e regulamentos que eu inventei para simplificar todo o trabalho.

56 Durante esse tempo, um pessoal esteve desenvolvendo uma teoria de mésons, um assunto que eu não estudei em quaisquer detalhes. Eu me tornei interessado na possível aplicação dos meus métodos de cálculos de perturbação na teoria de mésons. Mas, o que era a teoria de mésons? Tudo o que eu sabia era que a teoria de mésons era algo análogo à eletrodinâmica, exceto que partículas correspondentes ao fóton tinham massa. Era fácil adivinhar que a função delta em (1), que era uma solução de uma equação de d'Alembertiano igual a zero, deveria ser modificada para ser uma solução de d'Alembertiano igual a m^2 . Depois, havia vários tipos diferentes de mésons – os que tinham maior analogia com os fótons, acoplados via $\gamma_\mu \gamma_\mu$ eram chamados de mésons vetores e também havia os mésons escalares. Bem, talvez isso corresponda em colocar a unidade no lugar de γ_μ . Eu então falaria de “acoplamento de pseudo-vetores” e adivinharia o que aquilo provavelmente seria. Eu não tinha o conhecimento para entender a forma como essas coisas eram definidas nos artigos convencionais, pois elas eram expressas, naquele tempo, em termos de operadores de criação e aniquilação, os quais eu não havia aprendido bem. Eu me lembro de que quando alguém começou a me falar de operadores de criação e aniquilação, que esse operador cria um elétron, eu disse “como você cria um elétron? Isso não está de acordo com a conservação da carga!” Dessa forma, eu impedi minha mente de aprender um esquema muito prático de cálculo. Portanto, eu tive que achar o máximo de oportunidades possíveis para testar se eu adivinhei corretamente o que cada teoria era.

57 Certo dia, uma disputa emergiu numa reunião da *Physical Society*, sobre a correção de um cálculo de Slotnick sobre a interação de um elétron com um nêutron usando teoria pseudo-escalar com acoplamento de pseudo-vetores. Além disso, teoria de pseudo-escalar com acoplamento pseudo-escalar. Ele havia descoberto que as respostas não eram as mesmas. Na verdade, por uma teoria, o resultado era divergente, embora convergente pela outra. Algumas pessoas acreditavam que as duas teorias deveriam dar a mesma resposta para o problema. Essa era uma boa oportunidade inicial para eu testar meus achismos sobre eu ter realmente entendido o que eram esses acoplamentos. Então eu fui pra casa. Durante a tarde eu trabalhei no espalhamento do elétron e do nêutron para o acoplamento pseudo-escalar e pseudo-vetorial, vi que eles não eram iguais e os subtraí, esmiucei a diferença em detalhes. No dia seguinte, na reunião, eu vi Slotnick e

disse “Slotnick, eu trabalhei [neste problema] na noite passada, queria ver se eu tinha as mesmas respostas que você. Eu tive respostas diferentes para cada acoplamento, mas eu queria checar em detalhes com você porque eu quero ter certeza dos meus métodos”. Ele disse, então, “o que você quer dizer com ‘trabalhou noite passada’? Isso me tomou seis meses!” Quando comparamos as respostas, ele olhou para a minha e perguntou “o que é esse Q aqui, essa variável Q?” (eu tinha expressões como $\frac{\tan^{-1}Q}{Q}$, etc). Eu disse “esse é o momentum transferido pelo elétron, o elétron defletido por diferentes ângulos”. “Oh”, ele disse, “não, eu só tenho o valor limite quando Q se aproxima de zero; o espalhamento frontal”. Bom, foi bem fácil substituir Q por zero na minha forma e então eu tive as mesmas respostas que ele. Mas demorou seis meses para ele fazer o caso da transferência nula de momentum, enquanto que, numa tarde, eu havia resolvido o caso da transferência finita e arbitrária de momentum. Esse foi um grande momento para mim, foi como receber o Prêmio Nobel, porque eu havia me convencido de que, enfim, eu tinha um tipo de método e técnica e entendia como fazer algo que outras pessoas não sabiam fazer. Esse foi o meu momento de triunfo, em que percebi que eu realmente tinha sucedido em fazer algo que valia a pena.

58 Nesse estágio, eu me sentia compelido a publicar isso porque todo mundo dizia que parecia um jeito fácil de fazer cálculos e todos queriam saber como se fazia. Eu precisava publicar, mas faltavam duas coisas: uma era a prova de cada afirmação, no sentido convencional matemático. De vez em quando, mesmo no contexto de um físico, eu não tinha a demonstração de como chegar a todas essas regras e equações a partir da eletrodinâmica convencional. Mas eu sabia, da experiência, de ficar brincando por aí, que tudo aquilo era, de fato, equivalente à eletrodinâmica regular e eu tinha provas parciais em pedaços, embora eu nunca tenha realmente sentado, como Euclides ou os geômetras da Grécia, e tenha tido certeza de que eu poderia conseguir tudo aquilo a partir de um simples conjunto de axiomas. Por consequência, o trabalho foi criticado, eu não sei se de maneira favorável ou desfavorável. O “método” foi chamado de “método intuitivo”. Àqueles que não percebem isso, no entanto, eu quero ressaltar que há muito trabalho envolvido ao usar esse “método intuitivo” da maneira correta. Pois, já que não há prova simples da fórmula ou das ideias, é necessário fazer um grande tanto de checagens e re-checagens para consistência e correção em termos do que é conhecido, comparando-se com outros exemplos análogos, casos limitantes, etc. Em face da falta de demonstração matemática direta, você deve ser cuidadoso e

meticuloso para ter certeza do seu ponto e deve também tentar perpetuamente demonstrar o tanto da fórmula quanto possível. Apesar disso, uma grande quantidade de verdades podem ser sabidas que podem ser provadas.

59 Deve ser claramente compreendido que, em todo esse trabalho, eu estava representando a eletrodinâmica convencional com interação retardada e não minha teoria metade avançada e metade retardada correspondente a (1). Eu meramente usei (1) para adivinhar nas fórmulas. E uma das coisas que adivinhei correspondia a trocar delta por uma função f de largura a^2 , de forma que eu pudesse calcular resultados finitos para os problemas. Isso me leva à segunda coisa que estava faltando quando eu publiquei o artigo, uma dificuldade não resolvida. Com delta substituída por f os cálculos dariam resultados que não eram “unitários”, ou seja, para os quais a soma das probabilidades de todas as alternativas não era unitária. O desvio da unidade era bem pequeno, na prática, se a fosse muito pequeno. No limite em que eu tomava a muito pequeno, poderia sequer fazer qualquer diferença. E, então, o processo de renormalização poderia ser feito, você poderia calcular tudo em termos da massa experimental e então tomar o limite e a aparente dificuldade de que a unidade é violada temporariamente parecia desaparecer. Eu não fui capaz de demonstrar que, de fato, isso acontece.

60 Foi sorte que eu não tenha querido esclarecer esse ponto, pois, até onde eu sei, ninguém foi capaz, ainda, de resolver essa questão. Experiências com teorias de méson com acoplamentos mais fortes e com fótons vetores fortemente acoplados, apesar de não provarem nada, me convencem de que se o acoplamento fosse mais forte, ou se você fosse a uma ordem maior (137ª ordem da teoria de perturbação da eletrodinâmica), essa dificuldade permaneceria no limite e haveria reais problemas. Isto é, eu acredito que não há realmente uma eletrodinâmica quântica satisfatória, mas eu não tenho certeza. E eu acredito que, uma das razões para a lentidão do progresso atual em entender as interações *fortes* é que não há qualquer modelo teórico relativístico, pelo qual você possa calcular tudo. Apesar de ser usualmente dito que a dificuldade está no fato de que as interações fortes são muito difíceis de calcular, eu acredito que seja na verdade porque interações fortes em teoria de campos não tem soluções, não tem sentido se forem ou infinitas ou, se você tentar modifica-las, que a modificação destrua a unidade. Eu não acho que temos um modelo quântico relativístico satisfatório, sequer um que não concorde com a natureza mas que pelo menos concorde com a lógica de que a soma das probabilidades das alternativas deva ser 100%. Portanto, eu acho que a teoria de renormalização é uma maneira simples de varrer as dificuldades das

divergências da eletrodinâmica para baixo do tapete. Eu, obviamente, não tenho certeza disso.

61 Isso completa a história do desenvolvimento da visão espaço-temporal da eletrodinâmica quântica. Eu penso se alguma coisa pode ser aprendida disso. Eu duvido. O mais impressionante é que maior parte das ideias desenvolvidas no decorrer dessa pesquisa não foram usadas no resultado final. Por exemplo, o potencial metade avançado e metade retardado não foi usado no fim, a expressão de ação (1) não foi usada, a ideia de que as cargas não atuam sobre si mesmas foi abandonada. A formulação de integrais de trajetória da mecânica quântica foi útil para fazer estimativas nas expressões finais e para formular a teoria geral da eletrodinâmica de maneiras novas – mas ela não foi estritamente necessária. O mesmo vale para ideia do pósitron ser um elétron se movendo para trás no tempo, era muito conveniente mas não estritamente necessário para a teoria porque é exatamente equivalente ao ponto de vista do mar de energia negativa.

62 Nós estamos impressionados pelo grande numero de pontos de vista físicos diferentes e das formulações matemáticas muito diferentes que são equivalentes entre si. O método usado aqui, de pensar em termos físicos, portanto, parece ser extremamente ineficiente. Olhando para o trabalho em retrospectiva, eu posso apenas sentir um tipo de arrependimento pela enorme quantidade de pensamento físico e re-expressões matemáticas que acabaram por meramente re-expressar o que já era sabido, embora numa forma que é muito mais eficiente para o cálculo de problemas específicos. Não teria sido mais fácil simplesmente trabalhar completamente numa moldura matemática para elaborar uma expressão mais eficiente? Isso seria certamente o caso, mas deve ser ressaltado que, apesar do problema resolvido ser apenas essa reforma, o problema originalmente abordado era o (possivelmente ainda não resolvido) problema de se evitar os infinitos da teoria usual. Portanto, uma nova teoria era buscada, não apenas uma modificação da antiga. Apesar da demanda ter sido mal sucedida, nós devemos olhar para a questão do valor das ideias físicas ao desenvolver uma *nova* teoria.

63 Muitas ideias físicas diferentes podem descrever a mesma realidade física. Então, a eletrodinâmica clássica pode ser descrita por uma visão de campos, ou por ações à distância, etc. Originalmente, Maxwell preencheu o espaço com polias e Faraday com linhas de campo, mas de alguma maneira as equações de Maxwell, em si, são primordiais, independentes da elaboração de palavras que tentam uma descrição

física. A única descrição física real é aquela que descreve o significado experimental das quantidades na equação – ou melhor, o modo como as equações são usadas ao descrever observações experimentais. Esse sendo o caso, talvez a melhor maneira de proceder seja adivinhar as equações e desprezar modelos físicos ou descrições. Por exemplo, McCullough adivinhou as equações corretas para propagação de luz num cristal, muito antes de seus colegas, que usavam modelos elásticos, conseguirem obter algum significado do problema. Ou então, Dirac obteve sua equação para a descrição do elétron de uma maneira quase puramente matemática. Uma visão simplesmente física pela qual todo o conteúdo dessa equação possa ser visto ainda está em falta.

64 Portanto, eu penso que a adivinhação de equações pode ser o melhor método para proceder e obter as leis das partes da física que atualmente são desconhecidas. Ainda assim, quando eu era muito mais novo, eu tentei essa adivinhação de equações e vi muitos estudantes também tentarem, mas é sempre muito fácil ir para direções selvagememente incorretas e impossíveis. Penso que o problema seja não o de achar um *melhor* ou mais eficiente método, mas qualquer método afinal. Raciocínio físico ajuda algumas pessoas a gerarem sugestões sobre como o desconhecido pode ser relacionado com o conhecido. Teorias sobre o conhecido, que são descritas por diferentes ideias físicas podem ser equivalentes em todas as predições e então cientificamente indistinguíveis. No entanto, elas não são psicologicamente idênticas quando tentam se mover dessa base para o desconhecido. Porque diferentes visões sugerem diferentes tipos de modificações que podem ser feitas. Portanto, não são equivalentes nas hipóteses que uma pessoa gera a partir delas e naquelas que tentam entender o que ainda não se entende. Eu, portanto, penso que um bom físico teórico hoje pode achar útil ter um grande alcance de pontos de vista físicos e expressões matemáticas da mesma teoria (por exemplo, de eletrodinâmica quântica) disponíveis a ele. Isso pode ser pedir muito de um só homem. Então novos estudantes, como disciplina, devem ter isso. Se cada estudante individual segue a mesma moda em expressar e pensar sobre eletrodinâmica ou teoria de campos, então a variedade das hipóteses sendo geradas para entender, por exemplo, interações fortes, é limitada. Talvez de maneira correta, já que possivelmente a chance é alta de que a verdade esteja numa direção convencional. Mas, no caso da pouca chance de que esteja em outra direção – uma direção óbvia a partir de uma visão não convencional da teoria de campos – quem vai achá-la? Apenas alguém que se sacrificou ao ensinar a si mesmo eletrodinâmica quântica por um ponto de vista peculiar e não usual; um que talvez ele

tenha que inventar por si mesmo. Eu digo “sacrificar a si mesmo” porque ele provavelmente não vai conseguir nada com isso, pois a verdade pode estar em outra direção, talvez a mais convencional.

65 Mas, se minha experiência pessoal serve como guia, o sacrifício não é tão grande, pois se o ponto de vista peculiar tomado é realmente experimentalmente equivalente aos domínios usuais do conhecido, sempre há um grande alcance de aplicações e problemas nesses domínios para os quais o ponto de vista especial dá um poder especial e clareza de pensamento, o que é valioso em si. Além disso, ao buscar novas leis, você sempre tem a excitação psicológica de sentir que possivelmente ninguém mais já pensou na possibilidade louca para a qual você está olhando exatamente agora.

66 Então o que aconteceu com a velha teoria com a qual eu me apaixonei quando jovem? Bem, eu diria que ela se tornou uma velha senhora, com pouca atratividade sobrando e os jovens de hoje não sentem mais palpitações no coração quando olham para ela. Mas o que nós podemos dizer de melhor sobre qualquer velha mulher é que ela se tornou uma mãe muito boa e deu à luz alguns bons filhos. E eu agradeço a Academia Sueca de Ciências por elogiar um deles. Obrigado.

**ANEXO 5: GRÁFICO COMPARATIVO DA POPULARIDADE DOS
LAUREADOS ANALISADOS**