



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO,  
FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS**

**CLIMÉRIO PAULO DA SILVA NETO**

**HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG E A CONSOLIDAÇÃO DA  
ÓTICA QUÂNTICA:  
CONSOLIDANDO DISCIPLINA ATRAVÉS DE LIVROS-TEXTO E  
ESCOLAS DE VERÃO**

Salvador  
2011

**CLIMÉRIO PAULO DA SILVA NETO**

**HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG E A CONSOLIDAÇÃO DA  
ÓTICA QUÂNTICA:  
CONSOLIDANDO DISCIPLINA ATRAVÉS DE LIVROS-TEXTO E  
ESCOLAS DE VERÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Olival Freire Jr.

Salvador  
2011

**CLIMÉRIO PAULO DA SILVA NETO**

**HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG E A CONSOLIDAÇÃO DA  
ÓTICA QUÂNTICA:  
CONSOLIDANDO DISCIPLINA ATRAVÉS DE LIVROS-TEXTO E  
ESCOLAS DE VERÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre e aprovada pela seguinte banca examinadora:

Prof. <sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Margaret Lopes \_\_\_\_\_  
Doutora em História Social, Universidade de São Paulo  
Museu de Astronomia e Ciências Afins - MAST/MCT

Prof. Dr. Saulo Carneiro de Souza Silva \_\_\_\_\_  
Doutor em Física, Universidade de São Paulo  
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Aurino Ribeiro Filho \_\_\_\_\_  
Doutor em Física, University of Essex  
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Olival Freire Junior \_\_\_\_\_  
Doutor em História Social, Universidade de São Paulo  
Universidade Federal da Bahia

Suplentes:

Prof. Dr. Antonio Augusto Passos Videira \_\_\_\_\_  
Doutor em Filosofia, Université de Paris VII - Université Denis Diderot  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof. <sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cibelle Celestino Silva \_\_\_\_\_  
Doutora em Física, Universidade Estadual de Campinas  
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. André Luís Mattedi Dias \_\_\_\_\_  
Doutor em História Social, Universidade de São Paulo  
Universidade Federal da Bahia

Salvador, 14 de Outubro de 2011

Às mulheres de minha vida:  
minha mãe, Mariza,  
minha esposa, Daria,  
e minha filha, Vitória.  
Fontes de motivação.

Ao orientador e amigo, Olival.  
Fonte de inspiração.

## AGRADECIMENTOS

À minha esposa Daria, pela compreensão, força e coragem que tem demonstrado, e à minha pequena Vitória. Elas foram minha principal fonte de força e motivação nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

À minha mãe, minhas avós e minha família, pelo amor, carinho e suporte ao longo de minha vida. Sem eles, eu nada seria.

À Olival, minha maior referência de professor e pesquisador, pela imensa contribuição para minha formação, pelo apoio, orientação e amizade ao longo desses cinco anos. Certamente, essas palavras não são suficientes para expressar minha gratidão, mas espero poder demonstrá-la em minha trajetória futura, que é certamente um fruto de seu trabalho. Cuidarei para que seja um bom fruto.

Ao amigo Elder, meu coorientador na minha primeira iniciação científica, em ensino de ciências, pela contribuição para minha formação e pelas inúmeras caronas com direito a boa música e boas conversas. Espero que trabalhemos juntos novamente.

Aos professores Augusto Videira, Aurino e Saulo pelos comentários e sugestões na qualificação.

Aos amigos do LACIC, Thiago – sempre gentil e disposto a ajudar – Indianara, Fábio e todos os outros que fizeram contribuições importantes para esse trabalho.

Aos meus amigos, em especial, Welber, Gustavo, Leyla, Ana Louise, Laís, Judith e Matthias, que estiveram presentes ao longo desse processo e muitas vezes me fizeram dar uma pausa no trabalho (amigos são para essas coisas). A amizade de vocês tornou a caminhada mais agradável.

Aos professores Alexei Kojevnikov e Fátima Pires, cujos comentários foram fundamentais no curso da pesquisa.

Aos colegas e professores e funcionários do programa de pós-graduação e à turma do mestrado em história de 2011.1, pelo acolhimento e pelas discussões inspiradoras.

Às instituições que contribuíram para minha formação e para esse trabalho: CAPES, pelo apoio financeiro através da bolsa de mestrado; CNPq, pelas bolsas de iniciação científica; à *Comission For History of Modern Physics* e ao *American Institute of Physics* pelo suporte que me permitiram apresentar resultados parciais desse trabalho na conferência *Continuity and Discontinuity in the Physical Sciences Since the Enlightenment*.

## RESUMO

A ótica passou por uma profunda reconfiguração devida à invenção do laser e à outros desenvolvimentos técnicos e teóricos que ocorreram ao longo da década de 1960, com uma descontinuidade no campo e a conseqüente criação de uma nova disciplina, a ótica quântica. Enquanto isso, no Brasil, a comunidade brasileira de físicos, devido à instabilidade econômica e política, passava por um de seus períodos mais difíceis, mas que também foi um de seus períodos de maior crescimento. Nessa dissertação, seguindo a trajetória do físico Herch Moysés Nussenzveig, prestando especial atenção a seus dois livros-texto de introdução à ótica quântica e às escolas de verão que os originaram, discutiremos algumas transformações ocorridas na comunidade de ótica e na comunidade brasileira de físicos por volta da década de 1960. Nussenzveig vivenciou momentos cruciais na história da comunidade brasileira de física, como emigração de cientistas por conta da situação econômica e/ou política do Brasil. Sendo ele mesmo um dos cientistas que deixaram o país, dos Estados Unidos, além de acompanhar as perseguições do regime militar, fazendo o possível para ajudar os que ficaram no Brasil, ele acompanhou também os debates que deram origem à ótica quântica, um novo campo de pesquisa sobre o qual ele escreveu dois dos cinco primeiros livros-texto. Os livros são baseados em cursos ministrados na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em 1968, e na Escola Latino-Americana de Física, em 1970. Aqueles foram os primeiros cursos de ótica quântica na América Latina. Veremos como Nussenzveig interagiu com o contexto sociopolítico do Brasil e como ele, seus livros e cursos ajudaram a consolidar e espalhar a ótica quântica pelas Américas.

**Palavras chave:** História da ótica quântica. História da física no Brasil. História da Física Moderna.

## ABSTRACT

The field of optics was shaken by the invention of the Laser and by the new technical and theoretical developments that took place during the 1960's, resulting in a discontinuity in the field and the creation of a new discipline, the quantum optics. At the same time, in Brazil, the Brazilian physics community, due to the political and economic instability, was going through one of its toughest periods, but that was also one of its period of intensive growth. In this dissertation, following the life trajectory of the Brazilian physicist Herch Moysés Nussenzveig, and focusing on his two textbooks of introduction to quantum optics and on the summer schools on which they are based, we will discuss some of the transformations of the optics community and of the Brazilian physics community circa 1960's. Nussenzveig lived through some key moments in the history of the Brazilian physics community, as the Brazilian brain drain. Being one of the scientists who left the country, Nussenzveig, in the United States, followed not only the persecution of physicist by the Brazilian military government, doing the possible to help them, but he also saw the rise of the quantum optics, a new research field on which he wrote two of the first five textbooks. The textbooks are based on lectures given at the Catholic University of Rio de Janeiro, in 1968, and at the Latin-American School of Physics held in La Plata, Argentina, in 1970. Those were the first lectures on quantum optics in Latin America. In this dissertation, we will discuss how Nussenzveig interacted with the Brazilian socio-political context, and how he, his textbooks, and his courses played an important role to consolidate and spread quantum optics over the Americas.

**Keywords:** history of quantum optics, history of Brazilian physics, history of modern physics.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>08</b>
<b>2 HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG</b>	<b>15</b>
2.1 O CAMINHO À FÍSICA	16
2.2 APRENDIZ DE FÍSICA TEÓRICA NA USP DA DÉCADA DE 1950	20
2.3 GUIDO BECK E A TESE DE DOUTORAMENTO	25
2.4 ANOS COMO RECÉM-DOCTOR: CBPF E ESTÁGIOS DE PÓS-DOCTORADO	27
2.5 ENTRE BRASIL E ESTADOS UNIDOS (1963-1975)	31
<b>3 CONTINUIDADE E DESCONTINUIDADE NA ÓTICA DO SÉCULO XX</b>	<b>43</b>
3.1 A CONTINUIDADE DA PRIMEIRA METADE DO SÉCULO	44
3.2 A TEORIA DA DIFRAÇÃO	48
3.3 MEDINDO ESTRELAS, DESPERTANDO CONTROVÉRSIAS: O EXPERIMENTO DE HANBURY BROWN E TWISS (1955)	51
3.4 A CONTROVÉRSIA GLAUBER VS. WOLF, MANDEL E SUDARSHAN	58
3.5 A ELETRODINÂMICA QUÂNTICA EM QUESTÃO	61
<b>4 CONSOLIDANDO A ÓTICA QUÂNTICA ATRAVÉS DE LIVROS-TEXTOS E ESCOLAS DE VERÃO</b>	<b>65</b>
4.1 DEFININDO DISCIPLINAS: OS LIVROS DE INTRODUÇÃO À ÓTICA QUÂNTICA	67
4.2 A RECEPÇÃO E REPERCUSSÃO DO LIVRO	70
4.3 O I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FÍSICA TEÓRICA E O CURSO DE INTRODUÇÃO À ÓTICA QUÂNTICA	74
4.4 ALUNOS E INFLUÊNCIAS	76
4.5 A ESCOLA LATINOAMERICANA DE FÍSICA	79
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>84</b>



# 1 INTRODUÇÃO

A ótica passou por uma profunda reconfiguração devida à invenção do laser e à outros desenvolvimentos técnicos e teóricos que ocorreram ao longo da década de 1960, com uma descontinuidade no campo e a conseqüente criação de uma nova disciplina, a ótica quântica. Entretanto, como historiadores da ciência têm mostrado, a constituição de disciplinas científicas é um processo demasiadamente complexo para ser visto como simples resultado de avanços técnicos e/ou teóricos. Timothy Lenoir, por exemplo, a partir de uma série de estudos históricos focados na constituição de disciplinas científicas em diferentes contextos, mostra que esse processo é melhor compreendido quando visto por uma perspectiva que envolve – junto com os desenvolvimentos técnicos e teóricos – uma intrincada rede de interesses que são ao mesmo tempo políticos, econômicos e sociais (LENOIR, 1997). Em sintonia com essa perspectiva, recentemente historiadores da ciência têm chamado atenção para o papel da pedagogia científica, ou treinamento de cientistas, e de ferramentas como os livros-textos na criação de disciplinas e na acomodação de controvérsias científicas. Algumas das contribuições mais notáveis nesse sentido estão reunidas no livro *Pedagogy and the Practice of Science*, editado por David Kaiser (2005). Questionando a relação entre o treinamento e a prática de jovens cientistas, ultrapassando as reflexões clássicas de Thomas Kuhn, os trabalhos presentes no livro mostram, para contextos tão diversos como a Inglaterra vitoriana, União Soviética e Estados Unidos do Pós-Segunda Guerra, como os métodos e instrumentos pedagógicos influenciaram o desenvolvimento de disciplinas científicas nesses locais e tempos específicos.

As investigações sobre livros-textos, uma das abordagens presentes no livro, fornecem uma contribuição substancial para a compreensão do processo de consolidação de disciplinas científicas. Esses trabalhos desafiam a visão tradicional sobre livros-textos, segundo a qual eles são a expressão final do conhecimento autorizado pela comunidade científica, mostrando que os livros muitas vezes refletem a criatividade e idiossincrasia do autor, que se expressa, por exemplo, na organização do conteúdo ou na forma como eles acomodam as controvérsias científicas contemporâneas (GARCÍA-BELMAR e colaboradores, 2005). Se olharmos para o processo de consolidação da ótica quântica por esse ângulo veremos que é notável a participação do físico brasileiro Herch Moysés Nussenzveig como um dos pioneiros na difusão dessa disciplina. Nussenzveig é autor de dois dos cinco primeiros livros-textos de ótica quântica.

O objetivo dessa dissertação é reconstruir a trajetória de Moysés Nussenzveig tendo em vistas suas contribuições para a formação da comunidade de ótica quântica, em particular, através de seus dois livros-textos e dos cursos que os originaram. O primeiro livro é baseado em notas de aulas de um curso ministrado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) no verão de 1968 e foi publicado no mesmo ano sob o título *Introdução à Ótica Quântica*. O segundo é baseado nas notas de aula da Escola Latino-Americana de Física realizada em La Plata, Argentina, em 1970, e foi publicado em 1973 sob o título *Introduction to Quantum Optics*. Aqueles foram os primeiros cursos de ótica quântica na América Latina e ambos os livros figuram entre os cinco primeiros voltados para essa disciplina.

A própria ideia do projeto que resultou nessa dissertação surgiu por conta do livro publicado em 1973. Há alguns anos, quando participava de um evento sobre história da física da American Physical Society, Olival Freire Jr. estava assistindo a uma apresentação do físico Joseph Eberly, que havia sido convidado para falar sobre a história da ótica quântica, quando notou uma coisa curiosa. Em uma das transparências, Eberly colocara uma lista dos primeiros livros-textos de ótica quântica. Naquele momento, Olival viu um nome que lhe era bem familiar, um nome geralmente associado ao curso de física básica mais popular entre os cursos de física das universidades brasileiras, simplesmente conhecido como “o Moysés”. Ele manteve aquilo em mente. Gostara da ideia de ter um brasileiro como um dos pioneiros de uma das principais áreas da física na atualidade e de onde saíram contribuições importantes para a pesquisa em fundamentos da teoria quântica (seu tema de trabalho). Daria um bom projeto de pesquisa.

Lembro-me bem quando sentamos para conversar sobre meu projeto de mestrado. Entre outros temas, Olival apresentou a ideia de resgatar as contribuições de Nussenzveig para a ótica quântica com um leve tom de desafio: “o tema é duro, mas se você topa compramos o livro agora mesmo”. Semanas depois, tinha em minhas mãos o livro que seria meu objeto de estudo, preocupações e reflexões nos próximos dois Anos. O resultado segue apresentado nas páginas seguintes. Espero que delas saiam contribuições relevantes para a compreensão da história da física no Brasil e para a história da ótica quântica.

A fim de alcançar nosso objetivo, lançaremos mão de fontes primárias como publicações originais, cartas e entrevistas. Entre os textos originais, além dos livros de introdução à ótica quântica de Nussenzveig, utilizamos também sua tese de doutorado, os livros-textos *Principles of Optics* de Max Born e Emil Wolf (1959), o *Optics* de Arnold Sommerfeld (1954) e artigos de físicos envolvidos em debates sobre a criação da ótica quântica. Juntas, essas fontes foram a base para nossa discussão sobre a ótica entre as décadas

de 1950 e 1970, período no qual se desenrola nossa narrativa. Outra fonte importante foram cartas entre Guido Beck, orientador de Nussenzveig, e os físicos Max Born, Nicolaas Godfried van Kampen e Christoffel Jacob Bouwkamp, relacionadas ao trabalho de Nussenzveig. Essas cartas encontram-se depositadas no Arquivo de Guido Beck, no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. O acesso a elas foi possível graças à autorização de Antônio Augusto Passos Videira, curador do arquivo, que gentilmente traduziu a carta de Max Born para Beck do alemão para o português, pelo que expressamos nossa gratidão. Há duas entrevistas e uma palestra sobre a ótica no Brasil concedidas por Nussenzveig, que nos foram de grande utilidade na reconstituição de sua trajetória (ABREU e colaboradores, 2008; ZORZETTO, 2010; NUSSENZVEIG, 2005). Esses documentos, além de fornecerem informações ricas sobre Nussenzveig, desenharam uma trilha que seguimos com o objetivo de refazer suas andanças desde sua infância em São Paulo até seu retorno ao Brasil, depois de uma estada prolongada nos Estados Unidos. Além disso, realizamos uma entrevista com o físico Basílio Baseia, primeiro estudante de doutorado de Nussenzveig no Brasil, e nos servimos também de uma entrevista com o físico Emil Wolf, disponível no acervo de história oral do *Niels Bohr Library & Archives do American Institute of Physics*, e entrevistas com físicos brasileiros, algumas já publicadas em periódicos ou disponíveis online, outras realizadas no âmbito do projeto de história oral sobre a relação entre os físicos brasileiros e o regime militar conduzido por Olival Freire Jr., Antônio Augusto P. Videira e Aurino Ribeiro Filho<sup>1</sup>, do qual participei como estudante de Iniciação Científica através da elaboração de entrevistas e transcrição do áudio.

Entre as fontes secundárias, utilizamos textos que versam sobre a história da física brasileira e seus personagens, como o livro *Físicos, mésons e política*, de Ana Maria Ribeiro de Andrade (1999), os artigos de Freire Jr. (2010) e Freire Jr., Clemente (2010), sobre a relação entre os físicos brasileiros e o regime militar; além de fontes da história do Brasil, como os livros de Elio Gaspari sobre a ditadura militar e artigos sobre a história da comunidade judaica no Brasil. Essas fontes foram essenciais para o diálogo com o contexto social e político do Brasil no período. Voltando-se para a ótica, utilizamos, como fontes secundárias, um artigo dos físicos Brown e Pike (1995) sobre a história da ótica no século XX, o trabalho de Joan Bromberg (2006), onde ela discute em detalhes o debate entre os

---

1 Os resultados parciais do projeto estão in: FREIRE JR., O.; VIDEIRA, A. A. P.; RIBEIRO FILHO, A. Ciência e política durante o regime militar (1964-1984): a percepção dos físicos brasileiros. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Humanas**, v. 4, n. 3, p. 479-485, 2009.

físicos Edward Jaynes e Roy Glauber, e os trabalhos de Indianara Silva (2010) e Joan Bromberg (2010), que discutem alguns debates que movimentaram a comunidade de ótica no final de década de 1950.

A literatura secundária sobre a história da ótica no século XX ainda carece de trabalhos de rigor historiográfico. Quando enfrentou a tarefa de escrever uma história da física no conjunto do século XX, o historiador Helge Kragh, que inicialmente planejava dedicar parte do livro à história da ótica, teve que deixar essa disciplina de fora por conta da carência de fontes secundárias (KRAGH, 1999). Boa parte da história da ótica naquele século deve-se a narrativas construídas por físicos praticantes do campo e reflete a memória coletiva da disciplina. Segundo essas narrativas, a virada do século XIX para o XX marca o início de uma revolução que atingiu muitas áreas da física. O surgimento da teoria da relatividade e da mecânica quântica passou a ser visto na física como uma guinada que marca a transição da física clássica para a física moderna. Dessas duas teorias, a mecânica quântica, que tem sua origem geralmente associada com o trabalho de Planck de 1900, teve um impacto tremendo sobre diversas áreas da física. No que concerne à ótica, essa revolução teria gerado uma mudança radical na compreensão da natureza da luz com o trabalho de Einstein de 1905, em que ele aplicou a hipótese de que a luz era composta por quantidades mínimas de energia – que posteriormente receberiam o nome de fótons – com grande sucesso na explicação do efeito fotoelétrico. Dessa forma, o efeito fotoelétrico é geralmente visto em retrospectiva como a evidência da natureza corpuscular ou quantizada da luz que teria mais tarde sido reforçada pela descoberta do efeito Compton. Assim, esses acontecimentos marcariam, também para a ótica, “o final de uma era (ótica clássica) e o início de outra (ótica quântica)” (BROWN & PIKE, 1995).

Entretanto, como argumentaremos, essa ideia de descontinuidade, quando aplicada à ótica da primeira metade do século XX, não fornece uma boa representação da dinâmica da disciplina no período. Pelo contrário, a história da ótica nesse período é marcada por continuidade, por uma espécie de assimilação de uma revolução que tinha ocorrido no campo no século anterior, a saber, a unificação da ótica com o eletromagnetismo. O sucesso da teoria eletromagnética de Maxwell na resolução de problemas encontrados no mundo macroscópico, ou mundo clássico, fez com que os criadores da mecânica quântica, em particular Niels Bohr, formulassem um princípio heurístico, denominado de princípio da correspondência. Uma das maneiras de expressar esse princípio é dizer que para altos valores de energia, como é o caso das energias envolvidas em fenômenos macroscópicos, a teoria quântica deveria coincidir com as teorias clássicas, conciliando assim duas descrições de mundo à primeira vista

incompatíveis. Assim, por mais que o conceito de fóton fosse utilizado com sucesso na teoria quântica, os físicos que trabalhavam em ótica podiam trabalhar tranquilos sem se preocupar com eles, ao menos até a década de 1950, quando o avanço na técnica de detecção e o desenvolvimento de novas fontes de luz levaram os físicos a explorar domínios onde não se podia mais evitar questões sobre a natureza corpuscular da luz, levando a debates e controvérsias como as que serão alvo de nossa discussão.

O primeiro capítulo é dedicado a uma apresentação biográfica que nos permitirá, além de conhecer o personagem, discutir o contexto histórico em que nossa narrativa se desenrola. Nussenzweig ingressou no curso de Física da Universidade de São Paulo (USP) em uma época que a física brasileira ganhava destaque na mídia nacional e internacional por conta da participação do físico César Lattes na descoberta de uma nova partícula elementar, o méson  $\pi$ . Finda a graduação, doutorou-se na mesma universidade sob orientação do físico Guido Beck, trabalhando em um problema de ótica, o que contrasta com os temas mais em evidência na física brasileira àquela época, física de partículas e física nuclear. Ao longo de sua carreira, Nussenzweig foi personagem de episódios como a evasão de talentos que o Brasil sofreu ao longo da década de 1960, inicialmente devido às condições de trabalho oferecidas pelas instituições no país e depois pelo clima político que se instaurou com o golpe militar de 1964. Tendo saído do país pelo primeiro dos motivos, as condições de trabalho, Nussenzweig chegou aos Estados Unidos a tempo de presenciar um período dourado da física americana, época de pujança financeira e prestígio social. A ótica, em especial, vivia um período quase que de euforia que se seguiu à invenção do *laser*, a nova fonte de luz que com todas as suas aplicações tecnológicas, civis e militares, atraiu uma enxurrada de financiamentos para o campo, despertou controvérsias e intensificou outras que já existiam. Discutiremos então como Nussenzweig interagiu com esses cenários e a influência que eles tiveram sobre sua carreira.

A dissertação foi organizada segundo uma lógica que torna inevitável certas superposições cronológicas na narrativa. Assim, no segundo capítulo nos voltaremos para o campo da ótica entre as décadas de 1950 e 1970. Começaremos focando na década de 1950 com dois principais propósitos: o primeiro é entender qual era o status do eletromagnetismo clássico para essa disciplina na década de 1950, o segundo, entender como o trabalho de doutorado de Nussenzweig, que utiliza o eletromagnetismo clássico, se localiza diante desse campo como um todo. De certa forma, os dois propósitos se complementam, uma vez que o problema da difração, tema da tese, se apresenta como um exemplo onde a teoria eletromagnética clássica estava sendo aplicada com sucesso na resolução de problemas físicos

importantes. Em seguida, discutiremos o experimento realizado pelos físicos britânicos Robert Hanbury Brown e Richard Twiss, que foi o ponto de partida de controvérsias que resultaram no que a historiadora Joan Bromberg chamou de revolução do meio do século XX em ótica (BROMBERG, 2010, p. 4). Fechando o capítulo, focaremos em dois debates envolvendo físicos importantes para a ótica do século XX e que são parte do processo de criação da ótica quântica. O primeiro envolvendo Roy Glauber e seus seguidores, que defendiam a necessidade de quantização da luz, contra os físicos da Universidade de Rochester, Emil Wolf e Leonard Mandel, para quem, até certo ponto, a quantização do campo eletromagnético não era necessária para o estudo da ótica. O segundo debate envolve o mesmo Glauber contra o físico Edwin T. Jaynes. Mais enfático do que Wolf e Mandel, Jaynes era hostil à própria teoria da eletrodinâmica quântica (EDQ), teoria quântica e relativística do campo eletromagnético. Esses dois debates são representativos da falta de consenso que havia em torno da necessidade da quantização do campo eletromagnético para o estudo da ótica. Compreender o cenário de dissensão em torno da real necessidade da quantização do campo é fundamental para compreensão da importância que Moysés Nussenzveig e seus livros-textos de introdução à ótica quântica tiveram para a formação dessa nova comunidade. Como veremos, os livros são publicados antes mesmo da aparição dos primeiros efeitos que não podiam ser explicados por teorias semiclássicas, mas ainda assim advoga em favor da ótica quântica.

O terceiro capítulo é voltado para a análise da influência dos livros de Nussenzveig de introdução à ótica quântica, que são encarados não apenas como o produto final que é encontrado nas estantes de bibliotecas universitárias, mas como o resultado de um processo que começou desde a preparação das primeiras notas de aulas do curso ministrado na PUC, passando pela Escola Latino Americana de Física em 1970, até sua utilização na formação de novos pesquisadores. Veremos como o livro apresenta e define a ótica quântica e como isso nos ajuda a compreender a forma como físicos encaravam essa disciplina. Discutiremos a recepção e repercussão do livro através de resenhas publicadas nas revistas *Nature* e *Physics Today* e do número de bibliotecas que atualmente possuem exemplares do livro. Além disso, veremos como os cursos foram importantes para a formação da comunidade latino-americana de física. Encerramos o capítulo discutindo as contribuições de Nussenzveig para o desenvolvimento da comunidade da ótica no Brasil através da formação dos físicos Luiz Davidovich e Basílio Baseia.

Essa narrativa, a partir da trajetória de Moysés Nussenzveig, nos permite uma interpretação de momentos importantes no desenvolvimento da comunidade brasileira de

físicos e também da ótica na segunda metade do século XX. Além disso, ela traz à tona o papel dos livros-textos e das escolas de verão na consolidação de novas disciplinas científicas. Mais do que divulgar as novas teorias, essas iniciativas eram formas de familiarizar e alistar as novas gerações de cientistas que foram ou estavam sendo formados em áreas mais tradicionais.

## 2 HERCH MOYSÉS NUSSENZVEIG

Herch Moysés Nussenzveig nasceu em 13 de Janeiro de 1933 em uma família judaica que veio para o Brasil fugindo dos pogroms<sup>2</sup> que estavam acontecendo na Polônia durante a década de 20. A família de Nussenzveig, como muitas outras, desembarcou no Brasil fugindo do ambiente hostil que a Europa havia se tornado para os judeus no período que compreende as décadas de 1920 e 1930, época de maior crescimento da comunidade judaica no Brasil. Segundo alguns historiadores que estudaram a formação da comunidade judaica no Brasil, esse crescimento foi resultado das restrições impostas pelos Estados Unidos e Argentina à imigração de determinados grupos, com os judeus. O Brasil que já era um dos polos de imigração passou a ser um dos destinos mais comuns (DECOL, 2001). Para termos uma ideia do crescimento demográfico ocorrido nessas duas décadas, a população judaica brasileira passou de aproximadamente 15 mil por volta de 1920, para cerca de 75 mil em 1940 (CRUZ, 2009). Outros estimam que entre 1920 e o início da segunda guerra mundial mais de 50 mil judeus tenham aqui aportado (LETSCHINSKY, 1961; WISCHNITZER, 1948; apud DECOL, 2001). Esse último número é compatível com o anterior, considerando que muitas dessas famílias eram jovens e tiveram filhos no Brasil, como Moysés Nussenzveig e de seus dois irmãos, Israel Nussenzveig e Victor Nussenzweig, que nasceram na cidade de São Paulo.

Os pais de Nussenzveig, Michel e Regina Nussenzveig, instalaram-se na cidade de São Paulo no bairro do Bom Retiro, de acordo com Moysés, um bairro quase que exclusivamente judaico. Michel Nussenzveig trabalhava como mascate, profissão muito comum entre os moradores do Bom Retiro, caminhando pela vizinhança e até mesmo nos bairros adjacentes vendendo principalmente roupas que eram fabricadas no próprio bairro. Parte das vendas era feita a prazo e Michel as registrava em sua caderneta juntamente com informações sobre os clientes, suas compras e as prestações que iam pagando, desenvolvendo uma clientela fixa que frequentemente lhe fazia encomendas (ABREU e colaboradores, 2008).

Foi no bairro do Bom Retiro, na casa 712 da Rua Prates, que Nussenzveig viveu sua infância e adolescência. A casa ficava a meia parede com a sinagoga onde Michel e Regina, apesar de não serem devotos, participavam dos principais rituais da religião judaica.

---

<sup>2</sup> *Pogrom*: (em russo: "devastação", ou "revolta") um ataque violento e maciço, seja aprovado ou tolerado pelas autoridades, contra pessoas e propriedades de uma minoria religiosa, racial ou nacional. O termo é geralmente utilizado para ataques contra os judeus no Império Russo no final do século 19 e início do século 20.



Aquela foi também a sinagoga onde Moisés e seus dois irmãos fizeram o *bar-mitzvah* (filho do mandamento), uma cerimônia na qual crianças que seguem a religião judaica (meninos aos 13 anos e meninas aos 12) passam a ser considerados como um membro maduro da comunidade, sendo a partir de então, declarados responsáveis pelos seus atos perante a lei judaica. Segundo Moisés, o ritual consistia em “decorar uma porção de coisas em hebraico [...] com a tradução em iídiche.” Essas passagens provavelmente eram trechos da Torá, que são os cinco primeiros livros da bíblia judaica, onde se encontram os fundamentos legais e éticos da religião. A tradução em iídiche é indício de que muitos dos seguidores da religião continuavam a utilizar o iídiche dentro da comunidade. De fato, segundo Moisés, apesar de falarem português com ele, seus pais falavam bastante o iídiche entre eles e com os parentes, o que fez com que ele aprendesse um pouco da língua (ABREU e colaboradores, 2008).

Esse recomeço de vida da família de Nussenzveig é representativo do que aconteceu com grande parte dos judeus que chegaram ao Brasil na década de 1920. Assim como eles, a maior parte dos imigrantes se dividiu basicamente entre São Paulo, Rio de Janeiro e Porto Alegre, os grandes centros urbanos do país, aglutinando-se em bairros como Bom Retiro e Santa Cecília, bairros da capital paulista onde foram formadas grandes comunidades que permitiram aos judeus a preservação de seus costumes e identidade. De acordo com o censo do IBGE de 1940, em uma época onde apenas 8% da população brasileira vivia na zona urbana, 74,3% dos que se autodeclaravam judeus viviam nos centros urbanos (DECOL, 2001). O caráter urbano da comunidade propiciou que eles aproveitassem o momento em que o país se encontrava em transição para uma nação cada vez mais urbana e industrializada. Nesse cenário de urbanização, a maior parte dos judeus, da mesma forma que Michel Nussenzveig, ocupava-se do pequeno comércio e da indústria, em especial da indústria têxtil. As demandas da economia brasileira por atividades industriais lhes permitiram um progresso econômico comparável apenas a poucos imigrantes no Brasil (LESSER, 1995).

Michel Nussenzveig não fez fortuna a partir de sua atividade comercial. No caso de sua família a ascensão veio por outra via, também, amplamente favorecida pelo cenário socioeconômico da cidade de São Paulo, a academia. Como veremos na próxima seção, oportunidades como o acesso a ensino público de qualidade, em todos os níveis do sistema educacional, foram fundamentais para a melhoria do status social da família Nussenzveig.

## 2.1 O CAMINHO À FÍSICA

A formação escolar de Moisés Nussenzveig foi na rede pública de ensino da cidade

de São Paulo, cursando o primário no Grupo Escolar Prudente de Moraes e o ginásio e secundário no Ginásio do Estado, que posteriormente passou a se chamar Colégio Estadual Presidente Roosevelt. Já no primário Nussenzweig mostrou ser um bom estudante e ter grande interesse por literatura. Entre as suas lembranças mais fortes desse período estão as visitas à Biblioteca Infantil Municipal e a leitura de obras que vão desde a literatura infantil, como a coleção Terramarear<sup>3</sup>, aos grandes clássicos da literatura universal, como Júlio Verne e Dostoiévski. A relação de Nussenzweig com a literatura não se limitava à leitura. Ainda no primário, ele fez publicações periódicas na coluna *Viagem pela História da Arte* da revista infantil *Voz da Infância*, em coautoria com um amigo. Estudante aplicado, Nussenzweig desde cedo mostrou grande interesse pelas mais diversas áreas do conhecimento, o que se refletia no boletim escolar, que seu pai orgulhosamente mostrava a todos os seus clientes (ABREU e colaboradores, 2008).

Concluindo o primário, Moysés foi aprovado no concurso para o ginásio do Estado de São Paulo que, segundo ele, “não devia grande coisa aos famosos *lyceés* franceses”. Nesse período, Nussenzweig destaca como principal influência o professor de matemática, Cândido Gonçalves Gomide, e os professores de Latim e Francês, cursos que eram dados desde o primeiro ano do ginásio. Moysés conta que no ginásio aprendeu o suficiente para ler bem em latim, e no caso do francês, ler, escrever e falar corretamente. A qualidade do ensino no Ginásio do Estado e as aulas do professor Gomide acabaram ficando registradas na história da física no Brasil. Pai de Elza Furtado Gomide, uma das maiores matemáticas do país, Cândido Gomide marcou muitos membros das primeiras gerações de físicos brasileiros. Os que passaram pelo Ginásio do Estado na década de 1940 são unânimes na ênfase sobre o papel da formação básica no Ginásio do Estado e das aulas de matemática do professor Gomide, que com seu jeito um pouco desengonçado atraiu bons estudantes para campos relacionados à matemática, como a física e a engenharia (DAMY, 1994; LATTES, 1987; SALMERON, 2002; ABREU e colaboradores, 2008; HAMBURGER & HAMBURGER, 2007).

A formação básica dos filhos de Regina e Michel rendeu bons resultados. Em 1942 o mais velho dos filhos, Israel Nussenzweig, foi aprovado no vestibular para a Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Em 1948 foi a vez do segundo filho, Victor Nussenzweig, alimentando o que Moysés Nussenzweig chamou de “a tradicional felicidade da

---

3 Coleção de clássicos da literatura infantil estrangeira, publicados pela Cia. Editora Nacional, a partir de 1933. Muitos deles foram traduzidos por grandes nomes da literatura brasileira, como Monteiro Lobato e Manoel Bandeira.

mãe judaica de ter filho médico” (ABREU e colaboradores, 2008). Junto com a satisfação de ver os dois filhos mais velhos no curso de medicina, veio também a melhora na situação financeira da família. Os filhos, incluindo Moysés, já estavam crescidos e agora complementavam a renda familiar por meio de aulas particulares. Nussenzveig, que ainda estava no Ginásio do Estado, também dava aulas particulares de latim, o que ajudava a pagar o curso de literatura com duração de 4 anos que fazia na Aliança Francesa.

No curso de literatura francesa na Aliança Francesa, também, Nussenzveig se destacou entre os estudantes da classe, ganhando alguns dos prêmios em concursos anuais promovidos pela instituição. No último ano do curso ele ganhou um prêmio que teve profunda influência sobre sua formação e conseqüentemente sobre sua carreira posterior: uma viagem de intercâmbio com bolsa de estudos de um ano de duração para estudar em uma universidade francesa, em qualquer área do conhecimento. O prêmio, concedido pelo governo francês, incluía passagem de navio e uma bolsa de estudos. Assim, Nussenzveig, que só havia saído do estado de São Paulo uma vez, se preparava para passar um ano longe da família e da familiar comunidade do Bom Retiro.

Preparar-se para a viagem significava também tomar uma decisão que atemoriza a maioria dos jovens ao final do ensino secundário, qual carreira seguir. No caso de Nussenzveig era apenas um curso de um ano de duração, mas certamente deveria estar relacionado com o seu futuro curso universitário. Se por um lado ele estava encantado pela matemática e pelas aulas do professor Gonçalves Gomide, por outro, ele dedicava boa parte de suas horas vagas a outra paixão, o cinema, querendo fazer disso uma profissão. Durante o ensino secundário Nussenzveig havia se envolvido bastante com o cinema, participando das primeiras reuniões do Grupo de Estudos Cinematográficos do Museu de Arte de São Paulo, grupo com o qual ajudou a organizar um dos primeiros festivais de cinema do Brasil em 1950 (ABREU e colaboradores, 2008; ZORZETTO, 2010). Assim, Nussenzveig ficou dividido entre ir para o IDHEC, o *Institute des Hautes Études Cinématographiques*<sup>4</sup>, em Paris, para seguir a carreira de cinema, e a matemática.

Tomar essa decisão demandava uma ampla gama de informações sobre os cursos e instituições, que na época, antes da existência da internet, eram pouco acessíveis daqui do Brasil. Entretanto, para a sorte de Nussenzveig, o mundo acadêmico francês era uma das principais fontes de influência da Universidade de São Paulo (MORI, 2011). Se os departamentos de ciências humanas tiveram como visitantes nomes como o antropólogo

---

4 Instituto Avançado de Estudos Cinematográficos.

estruturalista Claude Lévi-Strauss e o historiador Fernand Braudel, o departamento de matemática abrigou os matemáticos franceses Jean Frédéric Auguste Delsarte e André Weil, membros do prestigiado grupo conhecido como Escola de Bourbaki. Nussenzveig soube aproveitar essa oportunidade para conhecer melhor o sistema educacional francês a partir de pessoas que nele foram formadas. Ele conta ter ido ao departamento de matemática conversar com André Weil e Jean Delsarte que recomendaram ir para Nancy, onde a escola de Bourbaki era a principal referência. Entretanto, a sugestão de Delsarte e Weil não foi a que mais agradou Nussenzveig, pois ele seguiu para a matemática, mas não em Nancy, como haviam sugerido, e sim na Sorbonne (ABREU e colaboradores, 2008).

Em 1951, na iminência de completar 18 anos, Nussenzveig embarcou na primeira classe do navio Lavoisier em direção à França. O curso de matemática na Sorbonne, *mathématiques générales*, foi uma introdução aos tópicos mais fundamentais da matemática de forma prática e com muita resolução de exercícios. As aulas aconteciam em um grande anfiteatro onde se acomodavam centenas de estudantes, franceses e estrangeiros. Moysés diz ter ficado muito impressionado com o curso e ter se esforçado bastante para conseguir passar nos exames, escrito e oral, e conseguir o diploma da Sorbonne. Olhando em retrospectiva podemos ter uma boa ideia do impacto desse curso sobre sua carreira posterior. Uma década depois, Nussenzveig viria a trabalhar em um problema de causalidade, o qual, nas palavras dele, “envolvia uma matemática muito bonita que eu tinha me apaixonado desde a época daquele curso na Sorbonne” (ABREU e colaboradores, 2008, p. 82).

Na volta ao Brasil era de se esperar que Nussenzveig, que recentemente havia se “apaixonado” pela matemática, desse continuidade aos seus estudos fazendo um curso de matemática. Entretanto, por influência de um amigo, Ernst Wolfgang Hamburger, com quem havia estudado desde o ginásio, Moysés decidiu fazer o curso de física na USP. Como Nussenzveig, Ernst Hamburger era filho de imigrantes judeus que vieram para o Brasil para escapar do antissemitismo na Europa. Sua família vivia na Alemanha onde seu pai foi Juiz de direito até 1935, quando foi demitido por ser judeu e decidiu deixar o país para recomeçar a vida no Brasil (HAMBURGER & HAMBURGER, 2007).

Nussenzveig começou o curso de física em 1952 sem prestar vestibular, caindo de paraquedas no segundo ano do curso. O departamento de física aceitou o diploma obtido na Sorbonne como substituto do vestibular e algumas disciplinas como equivalente as disciplinas iniciais do curso, de modo que em 1952 Nussenzveig estava cursando as mesmas disciplinas que Ernst Hamburger, que havia entrado um ano antes. Os dois amigos que frequentemente estudavam juntos nos anos de escola dão então continuidade à parceria, agora no curso de

Física da USP.

A trajetória de Nussenzveig e de seus irmãos nos revela também outra faceta da comunidade judaica que se estabeleceu no Brasil. Para os filhos de imigrantes, as atividades intelectuais como a carreira acadêmica passou a figurar entre os principais mecanismos de ascensão social. O depoimento do físico César Lattes (1987) – que embora não tivesse a identidade judaica era descendente de judeus – ajuda a compreendermos um dos motivos para a preferência pela carreira acadêmica. Recordando uma conversa com o pai sobre a escolha da profissão, Lattes reproduz a seguinte fala do pai: "Olha, de vez em quando, o judeu entra pelo cano. Agora, a situação pode estar tranquila, embora possa começar tudo de novo. Procure uma profissão que você possa levar na cabeça [...]". A carreira acadêmica se encaixava perfeitamente nessa definição. A julgar pela trajetória dos filhos de seu Michel e dona Regina, possivelmente eles davam conselhos semelhantes aos filhos.

## 2.2 APRENDIZ DE FÍSICA TEÓRICA NA USP DA DÉCADA DE 1950

O prestígio da física brasileira na década de 1950 também foi um fator importante para a decisão de Nussenzveig. No final dos anos 1940, a jovem comunidade brasileira de físicos havia ganhando reconhecimento internacional. Segundo Nussenzveig “a matemática da USP não era das melhores, mas a física não, a física já tinha fama” (ABREU e colaboradores, 2008, p. 80). Podemos entender esse reconhecimento como resultado de dois desenvolvimentos de grande importância para a física brasileira: primeiro, a forma como o departamento de física da USP foi criado, em 1934; e segundo, a participação de César Lattes, físico brasileiro formado na USP, na descoberta de uma partícula elementar, o méson  $\pi$ , em 1947. Esse dois tópicos serão discutidos com maiores detalhes nos próximos parágrafos para que possamos entender melhor a origem dessa fama referida por Nussenzveig e o ambiente do departamento de física da USP quando ele começou o curso.

O departamento de Física - assim como outros departamentos que ficavam na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL) da USP - formou-se aos moldes do sistema acadêmico europeu através da contratação de pesquisadores em plena atividade para coordenar e dinamizar a pesquisa na recém-criada universidade, de forma que a USP foi a primeira universidade brasileira a integrar pesquisa e ensino de maneira frutífera (ANDRADE, 1999; DAMY, 1998). O departamento de física ficou a cargo dos Italianos Gleb Wataghin, que chegou em 1934, e Giuseppe Occhialini, que chegou em 1938.

Em pouco tempo, Wataghin conseguiu recrutar um pequeno grupo de estudantes

que já estavam no meio do curso de matemática ou de engenharia, cujos primeiros anos eram muito parecidos com os da física. A forma como o recrutamento aconteceu, por vezes, foi um tanto quanto informal. Vejamos o exemplo do físico Marcelo Damy de Souza Santos, que em 1934 estava no terceiro ano do curso da engenharia na Escola Politécnica.

Quando a FFCL foi criada, Damy e outros estudantes da Politécnica que se interessavam por física passaram a frequentar os cursos dados por Wataghin. Alguns, como o pernambucano Mário Schenberg, se matricularam em dois cursos simultaneamente. Damy assistia os cursos do professor Wataghin como ouvinte, e durante a avaliação de um desses cursos este o chamou para o exame oral. Reconhecendo o potencial de Damy, Wataghin fez a seguinte proposta:

[...] “você assistiu a todos os cursos fundamentais da Politécnica [...], vou estudar a possibilidade de você fazer todos os exames correspondentes aos três anos da faculdade em um período curto, de um ou dois meses. Aí você fica sendo meu assistente”. Aceitei, fui dispensado daqueles exames que já havia feito nas cadeiras comuns com a Politécnica e tive de fazer os outros em um período de dois meses. Foi o período que mais estudei na minha vida. Tinha de trabalhar, frequentar aulas e, às vezes, ficava tão cansado que dormia nos estribos do bonde. Mas fiz os exames, fui muito bem e comecei a trabalhar com Wataghin, isso durante dois anos – 1936 e 37. No início de 1938, [ele] resolveu mandar-me para a Inglaterra. Fui para a Universidade de Cambridge. (DAMY, 1994, p. 81-82).

O trecho acima nos dá uma ideia de como Wataghin e Occhialini conseguiam reunir no departamento de física um grupo de jovens promissores como Mário Schenberg, Marcelo Damy de Souza Santos, Paulus Ponpéia e César Lattes, que em meados da década de 1940 já estavam trabalhando e publicando artigos importantes sobre raios cósmicos – partículas subatômicas altamente energéticas, vindas do espaço sideral, que ao se chocarem com núcleos de átomos da atmosfera terrestre dão origem a outras partículas que chegam à superfície da terra.

A habilidosa decisão tomada por Wataghin de implantar a pesquisa em raios cósmicos no Brasil permitiu que aqui fosse feita pesquisa de baixo custo, mas que estava na agenda dos principais centros de pesquisa em física da época. Wataghin e seus primeiros assistentes, Mário Schenberg e Marcelo Damy, chegaram a trabalhar por mais de dois anos no sótão do prédio principal da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras (DAMY, 1994), mas apesar do baixo orçamento, conseguiam fazer física de fronteira. Os trabalhos eram publicados em revistas internacionais competindo em pé de igualdade com físicos de países que já tinham longa tradição em física. Como declarou a historiadora Ana Maria Ribeiro de Andrade, “na Universidade de São Paulo se fazia ciência de alcance internacional, mesmo

estando em um país de periferia” (ANDRADE, 1999).

O reconhecimento da física na comunidade brasileira veio após 1947 pela participação de César Lattes na descoberta do méson  $\pi$ , na Inglaterra, e na posterior detecção da mesma partícula produzida artificialmente no acelerador de partículas do *Radiation Laboratory of Berkeley*, nos Estados Unidos. A repercussão desse último feito desde o início extrapolou a comunidade científica. Nos Estados Unidos - em plena Guerra Fria - “o acontecimento foi transformado em um carnaval” no intuito atrair ainda mais financiamento para a física (ANDRADE, 1999). O consulado do Brasil naquele país organizou uma recepção para as autoridades locais, professores e estudantes de pós-graduação brasileiros que viviam na Califórnia. No Brasil não ficou por menos. O jovem Cesar Lattes, aos 23 anos, havia virado manchete no noticiário do rádio. O físico Guido Beck – de quem falaremos em detalhes mais adiante – propôs que os mésons fossem usados para auxiliar a física do Rio de Janeiro, que embora fosse a capital federal, no que concerne física, estava atrasada em relação a São Paulo; o Almirante Álvaro Alberto escreveu ao presidente da Academia Brasileira de Ciências propondo que a academia registrasse a descoberta (ANDRADE, 1999). O Almirante tinha consciência de que aquela realização poderia ser um passo em direção ao domínio da tecnologia nuclear que havia chocado o mundo no final da Segunda Guerra Mundial, de forma que esses acontecimentos acabaram culminando em uma aliança entre físicos, militares, empresários e políticos que levou à criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) (ANDRADE, 1999).

Embora o prestígio da física estivesse em alta, quando Nussenzveig começa o curso de física, a USP havia perdido o vigor que demonstrara nos anos 40. Wataghin, Occhialini e a maior parte dos jovens físicos que eles haviam formado haviam se afastado da USP. Wataghin e Occhialini tinham voltado para a Europa, Mário Schenberg havia sido eleito deputado estadual pelo partido comunista em 1946 e teve que ir para a Europa logo no ano seguinte, quando teve o seu mandato cassado (SHENBERG, 1984). César Lattes e Roberto Salmeron haviam trocado a USP pelo recém criado CBPF, que agora ameaçava a supremacia da primeira. Dentre eles, apenas Marcelo Damy e o Oscar Sala permaneceram no instituto de física, onde montaram dois grupos rivais de física experimental que se desenvolveram em torno de dois aceleradores de partículas, o Bétatron e o Van der Graaff (ABREU e colaboradores, 2008; HAMBURGER & HAMBURGER, 2007).

Depois da segunda guerra mundial, o departamento de física da USP foi aos poucos se reconfigurando para aderir à área da física que mais havia se desenvolvido durante a guerra, a física nuclear. No final de 1945 ficou decidido entre Wataghin e seus discípulos

que o departamento deveria mudar o foco de raios cósmicos para a física nuclear (SALA, 1998). Eles conseguiram uma doação da Fundação Rockefeller, a convite da qual, Damy e Wataghin foram para os Estados Unidos visitar diversos laboratórios onde estavam instalados aceleradores de partículas. A Fundação decidiu fazer uma doação de U\$ 75 mil para a instalação de um acelerador de elétrons na USP – o bétatron – que foi doado pelo seu inventor, Donald Kerst (ABREU e colaboradores, 2008). Oscar Sala, que havia sido enviado para os Estados Unidos para estudar física nuclear, quando voltou ao Brasil, em 1948, em vez de procurar uma doação como Damy e Wataghin, decidiu construir um acelerador de partículas aqui no Brasil. Assim começaram as preparações para a construção do Van der Graaff, o primeiro acelerador de partículas construído fora dos países desenvolvidos. A construção mobilizou técnicos, engenheiros e indústrias como a White Martins, para a produção de Nitrogênio líquido, e a Bardella, que fabricou o primeiro grande tanque de alta pressão no Brasil (SALA, 1998). Com essa transição, a física brasileira deixou de ser aquela física de baixo custo que era feita no sótão da FFCL. A montagem do Bétatron e a construção do Van der Graaff exigiram dos físicos que estavam à frente desses projetos muito mais do que suas habilidades de pesquisadores, exigiram também articulação política e a capacidade de angariar fundos e coordenar pessoas com diferentes formações, como técnicos, engenheiros e estudantes, que eram formados ao longo desse processo. Essas características estavam presentes tanto no Marcelo Damy que, segundo o físico Shigueo Watanabe (2009), “era um diplomata de primeira linha”, quanto em Oscar Sala, como aparece no depoimento de Ernst e Amélia Hamburger (2008) – que participaram como alunos da construção do Van der Graaff.

No começo do curso de física, Nussenzweig acompanhou a construção da cidade universitária da USP, onde “havia apenas o instituto de eletrotécnica, o Bétatron, o Van der Graaff e praticamente mais nada” (ABREU e colaboradores, 2008, p. 80). Com a saída de Gleb Wataghin e Mário Schenberg, que eram os dois principais físicos teóricos do departamento de física, a física nuclear experimental passou a ser o principal campo da pesquisa em física na USP e, conseqüentemente, o que mais atraía os jovens estudantes como Nussenzweig, que saiu da matemática e foi direto para a física experimental, uma trajetória não muito linear.

Como aprendiz de físico experimental no grupo de Oscar Sala, Nussenzweig começou trabalhando na construção do Van der Graaff. Em sua primeira tarefa ele trocou o papel e caneta, até então suas ferramentas habituais, por um macacão, uma lixa rotatória e um capacete de mineiro, daqueles com lanterna na frente. A tarefa era lixar tanque de alta pressão



construído pela Bardella que fora testado com água para ver se suportaria a pressão do nitrogênio líquido. O tanque, que era “imenso como um vagão de estrada de ferro”, resistiu ao teste, mas a água fez com que ele enferrujasse por dentro. Nussenzveig passou dias a fio limpando o tanque do Van der Graaff, de onde saía com pó de ferrugem dos pés à cabeça (ABREU e colaboradores, 2008).

Todavia, a trajetória de Nussenzveig na física experimental, não foi das mais frutíferas. Aparentemente, ele não era tão habilidoso no manejo dos equipamentos quanto com os problemas teóricos, e não demorou para que ele percebesse que a física experimental não seria a melhor opção (NUSSENZVEIG, 2005). Juntando isso com a afinidade que tinha com a matemática, ele decidiu mudar de área. Quando tomou essa decisão, segundo ele, para sua sorte, desde 1951 a USP tinha um ilustre professor visitante, o físico teórico americano David Bohm, que tinha vindo para o Brasil fugindo da caça aos comunistas empreendida pelo senador americano Joseph MacCarthy, conhecida como macartismo (ABREU e colaboradores, 2008; ZORZETTO, 2010).

Podemos entender a não-linearidade da trajetória de Nussenzveig da matemática para a física experimental sob duas perspectivas distintas, mas não excludentes. A primeira é que a opção pela física experimental teria sido mais uma vez influenciada pelo seu amigo Ernst Hamburger que já trabalhava no Van der Graaff quando Moysés chegou à USP. Como dissemos acima, Nussenzveig decidiu cursar física em parte por influência de Ernst, de forma que seria natural que ele, uma vez ingressado no curso, fosse trabalhar no mesmo grupo que o amigo. A segunda perspectiva seria de que, quando Nussenzveig começa o curso, o departamento de física, que começara com um equilíbrio entre física teórica e física experimental, com a volta de Wataghin para a Europa e com a ausência de Mário Schenberg, agora pendia para a física experimental. Relembremos que Schenberg quando teve seu mandato de deputado estadual cassado deixou o Brasil, retornando apenas em 1953 (SCHENBERG, 1984). Sob essa última perspectiva, a “sorte” que Nussenzveig teve de ter um físico como David Bohm trabalhando na USP em um momento em que ele se interessava por física teórica seria devido não só pelo prestígio intelectual de Bohm, mas também porque este era um teórico de peso em um departamento dominado por experimentais. As duas perspectivas são plausíveis, porém, mais plausível ainda é a combinação das duas. Assim, Nussenzveig teria começado na física experimental por influência de Ernst e só começado sua migração para física teórica em 1953, quando fez o primeiro curso com David Bohm e Mário Schenberg retorna ao Brasil.

A aproximação de Nussenzveig da física teórica se deu inicialmente por meio dos

cursos oferecidos por Bohm e Schenberg, físicos teóricos que Nussenzveig cita como maiores influências desse período. No entanto, nessa época David Bohm estava completamente imerso no debate sobre a sua teoria quântica causal e embora tenha publicado artigos com físicos brasileiros, não formou nenhum físico no Brasil (FREIRE JR., 2005). Quanto a Schenberg, para o jornalista científico Cássio Vieira (2010), apesar de ele ser um dos maiores físicos brasileiros, a formação de jovens pesquisadores não era seu forte. Para completar, Schenberg dividia seu tempo também com a sua vida política e sua atuação como crítico de arte. Nussenzveig encontrava-se, então, com duas referências de bons pesquisadores, mas sem nenhum que estivesse disposto a orientá-lo pelos problemas da física teórica. Somente quando Guido Beck chega à USP em 1954, substituindo Bohm que havia ido para Israel, é que começa a jornada do nosso protagonista pela física teórica.

### 2.3 GUIDO BECK E A TESE DE DOUTORAMENTO

Se Nussenzveig teve sorte pela presença do David Bohm na USP, mais sorte ainda ele teve com a sua partida para Israel e a conseqüente chegada de Guido Beck. Físico Austro-húngaro, judeu, Beck veio parar no Brasil, também, fugindo da ascensão do antissemitismo na Europa. Mais uma vez a física brasileira se beneficiara da infeliz conjuntura internacional do período entre guerras. Beck circulou por importantes instituições da física europeia e interagiu com os principais físicos de seu tempo, chegou a fazer parte do seletos e prestigiado grupo de físicos que se reunia com Niels Bohr para discutir os problemas e os progressos da mecânica quântica (VIDEIRA, 2001, p. 154). Com a ascensão nazista na Europa, tornou-se difícil para ele conseguir uma posição permanente em uma universidade. Após percorrer uma série de países em busca de estabilidade, Guido Beck vem para a América do Sul, primeiro Argentina, depois Brasil, onde se estabelece até o final de sua vida. “Sempre que percebeu que as condições externas não eram favoráveis à pesquisa científica, Beck mudou de cidade ou de país” (VIDEIRA, 2001, p. 160).

O maior legado deixado por Beck não foi uma grande realização científica, mas os jovens pesquisadores que ele formou. Para ele, a pesquisa e o ensino sempre foram atividades complementares, mas em sua passagem pela América Latina Beck deu preferência à orientação de novos alunos. Como um pesquisador que havia passado por diversas instituições de ensino e pesquisa, Beck sabia que a formação de jovens pesquisadores era um dos fatores essenciais para consolidar a jovem comunidade de física da América do Sul e estava sempre em busca de problemas que pudessem atrair a atenção de jovens pesquisadores

(VIDEIRA, 2001). Foi um desses problemas que ele tinha em mente quando chegou à USP e pediu a Mário Schenberg que lhe indicasse um aluno porque ele tinha um problema interessante para dar. Schenberg recomendou Nussenzveig, que estava prestes a se apaixonar novamente, dessa vez pela física teórica.

O problema interessante que Beck deu a Nussenzveig foi um problema de ótica clássica, sobre difração de ondas eletromagnéticas – desvio na direção de propagação da onda devido à passagem por uma abertura ou ao espalhamento por um obstáculo, facilmente observado quando o comprimento da onda é da mesma ordem de grandeza que as dimensões da abertura ou obstáculo. No entanto, a motivação principal não era ótica: “tratava-se de um problema que não podia ser abordado por métodos perturbativos. Essa era uma das questões centrais da física: como lidar com problemas não-perturbativos” (NUSSENZVEIG, 2005, p. 85). Provavelmente, Beck tinha o problema em mente desde a época do seu doutorado, que foi em relatividade geral. Segundo Nussenzveig, Beck “havia vislumbrado uma conexão entre difração e efeitos de curvatura em relatividade geral”, que ele, Nussenzveig, perseguiu durante muitos anos, mas só conseguiu estabelecer muito depois (NUSSENZVEIG, 2005, p. 85). Apesar de só ter conseguido estabelecer a conexão entre a difração e a relatividade geral anos depois, Nussenzveig resolveu o problema que lhe foi proposto por Beck e que terminou sendo sua tese de doutoramento, defendida no final de 1957.

Os resultados da tese, além de inéditos, foram de grande relevância e agradaram Guido Beck profundamente. Ao final do trabalho, Beck havia chegado à conclusão que “Nussenzveig é o rapaz mais promissor que encontrei desde que comecei minha carreira” (BECK, 1957, carta a José Leite Lopes). A relevância do problema e da solução obtida por Nussenzveig foi também reconhecida pela revista *Philosophical transactions of the Royal Society* em 1959, que dedicou toda uma edição para a publicação dos resultados da tese (NUSSENZVEIG, 1959a, 1959b). Mas antes disso, ainda em 1957, Beck pediu a Nussenzveig que repetisse a defesa de tese na presença do físico Richard Feynman e enviou a tese para Wolfgang Pauli e Max Born – ambos laureados pelo Nobel por suas contribuições à mecânica quântica – que tinham trabalhando em problemas semelhantes. Quando Max Born recebeu sua cópia da tese, seu assistente, Emil Wolf, estava embarcando para os Estados Unidos. Segundo Nussenzveig, quando Wolf ia embarcar Born lhe disse: “acabei de receber essa tese, você vai de navio, leia na viagem” (ZORZETTO, 2010). Anos depois, em 1965, Wolf foi quem convidou Nussenzveig para fazer parte do grupo de ótica da Universidade de Rochester, nos Estados Unidos.

Existem algumas peculiaridades da formação de Nussenzveig que vale a pena

chamarmos atenção. Primeiramente, embora tivesse sido defendida e publicada em uma universidade brasileira, a tese é integralmente escrita em inglês. Além disso, o caráter original da tese contrasta com as que até então eram defendidas no Brasil. Àquela época ainda não havia cursos de pós-graduação regulares. Para obter o grau de doutor era necessário apenas passar por exames e defender uma tese, que não precisava conter resultados originais, perante uma banca com professores reconhecidos pela instituição. A originalidade das teses defendidas no Brasil, como argumenta Elza Gomide, que também obteve doutorado na década de 1950, dependia fortemente do compromisso do orientador com a formação de pesquisadores (GOMIDE & LOPES, 1997). No caso da física, os estudantes que completavam a graduação, caso quisessem fazer doutorado, geralmente iam para os Estados Unidos ou Europa.

Em uma época em que a física brasileira se concentrava em poucas áreas, como raios cósmicos e física nuclear, o tema da tese também era uma novidade. Até então, o que se fazia em ótica no Brasil estava limitado à vertente experimental, com o físico-químico Hans Stammreich, trabalhando com espectroscopia Ramam, e à produção de instrumentos ópticos pela Associação dos Amadores de Astronomia (NUSSENZVEIG, 2005).

Ainda sobre o problema, outra coisa que vale a pena ressaltar é que muito tempo depois da publicação dos famosos artigos de Albert Einstein, sobre o efeito fotoelétrico (1905), e de Arthur Compton, sobre o Efeito Compton (1923) - muitas vezes apresentados como evidências do caráter corpuscular da luz – e das subsequentes discussões sobre a natureza dual da luz, um problema de ótica clássica ainda era considerado como tema de fronteira da pesquisa em física. Esse ponto, relativo ao status da ótica clássica entre as décadas de 1950 e 1970, será retomado mais adiante, no segundo capítulo.

Durante o doutorado, Nussenzveig e Beck estabeleceram laços de amizade muito fortes, indo muito além da típica relação orientador-orientando. Para Nussenzveig, “Beck foi, de longe, a pessoa que teve maior influência” sobre ele. Beck foi o “vovô” dos filhos dele, que o chamavam de “vovô Beck” (ABREU e colaboradores, 2008). Enfim, tornaram-se praticamente familiares. Nos períodos em que viveram em cidades distintas, os dois mantiveram intensa correspondência até a morte de Beck em 1988.

#### 2.4 ANOS COMO RECÉM-DOCTOR: CBPF E ESTÁGIOS DE PÓS-DOCTORADO

Em 1956, pouco antes da defesa da tese, Nussenzveig mudou-se de São Paulo para o Rio de Janeiro para trabalhar no CBPF. Beck tinha ido para a USP por conta de um

escândalo financeiro ocorrido em 1954 no CBPF envolvendo o seu diretor financeiro, mas não conseguiu se adaptar à cidade de São Paulo. Depois de ter passado “15 meses no 'interior'”, com a situação no CBPF mais amena, Beck voltou à Capital Federal levando consigo “a coisa de maior valor que encontrou em São Paulo, [...] H. M. Nussenzveig” (BECK, 1957).<sup>5</sup> Àquela época Nussenzveig já trabalhava como professor assistente na USP e assumiu o mesmo cargo no CBPF, dando aulas de física teórica.

Quando Nussenzveig chegou ao CBPF em 1956, lá encontrou um centro de excelência em física teórica e um ambiente intelectual efervescente. Criado em 1949, na sua primeira década o CBPF, com o esforço e dedicação dos seus pesquisadores, chegou ao “patamar de maior grupo de física teórica da América Latina, alcançando o nível de um bom departamento em universidades estrangeiras”(NUSSENZVEIG, 1969). Além da equipe de professores titulares como César Lattes, Guido Beck, José Leite Lopes, Jayme Tiomno e Roberto Salmeron, na década de 1950, o CBPF recebeu professores visitantes como os ganhadores do Prêmio Nobel Richard Feynman e Emilio Segrè (ANDRADE, 1999). Lá, Nussenzveig deu aulas de física teórica e juntamente com Beck orientou jovens estudantes, como o baiano José Walter Bautista Vidal, em temas ligados à sua tese (NUSSENZVEIG, 1995)<sup>6</sup>. No entanto, o principal campo de pesquisa do CBPF era a física de partículas e Nussenzveig trabalhava relativamente isolado em sua área, o que reforçava a necessidade de um estágio no exterior, que não tardou a acontecer.

Guido Beck foi pessoalmente procurar Anísio Teixeira para falar sobre os resultados da tese de Nussenzveig e conseguir o apoio financeiro da Capes para que Nussenzveig pudesse continuar sua formação no exterior. Segundo Nussenzveig, após ouvir o relato de Beck sobre os resultados da tese, Anísio Teixeira, muito admirado exclamou: 'Mas esse trabalho é um trabalho original, ninguém nunca fez isso antes!' Nussenzveig disse achar curiosa a reação de Anísio Teixeira: “pelo menos em ciência, ele achava que era uma coisa fantástica ter um trabalho que era realmente original”. A reação de Anísio é perfeitamente compreensível se tivermos em mente que, como dissemos acima, não havia a exigência de que as teses defendidas nas universidades brasileiras fossem originais. Ademais, Beck sabia fazer propaganda em prol do desenvolvimento da pesquisa. Por ocasião da participação de César Lattes na descoberta do Méson  $\pi$ , ele foi um dos primeiros a sugerir que esse fato fosse

---

5 Carta a José Leite Lopes.

6 Ao longo de sua carreira, Nussenzveig também contribuiu para a formação de outros físicos baianos, mas nessa dissertação optamos por focar os seus dois primeiros estudantes relacionados à ótica quântica: o carioca Luiz Davidovich e o paulista Basílio Baseia.

usado para promover a física no Rio de Janeiro (ANDRADE, 1999). Beck também “instruía seus discípulos a aproveitar toda e qualquer oportunidade para fazer propaganda, isto é, tornar conhecidos os esforços e os resultados alcançados” (VIDEIRA, 2001, p. 161).

O episódio acima põe em cena o papel das recém-criadas instituições de fomento à pesquisa, a Capes e o CNPq, que foram divisores de águas na formação da comunidade científica brasileira. Se antes da década de 1950, os físicos tinham que recorrer à Fundação Rockefeller ou à Fundação Guggenheim para obter bolsas ou suporte financeiros, Nussenzveig contou com financiamentos da CAPES e do CNPq durante o doutoramento e suporte do CNPq para a publicação da tese (NUSSENZVEIG, 1957). Durante o pós-doutorado ele recebeu uma bolsa do CNPq que, segundo ele, era algo entre U\$150,00 e U\$ 200.00, atualizando os valores com base no índice de preços ao consumidor, a bolsa teria um poder de compra equivalente a algo entre U\$1180.00 e U\$1580.00 em 2009, nos Estados Unidos<sup>7</sup>.

No pós-doutorado, o primeiro destino foi a Universidade Técnica de Eindhoven, Holanda, no final de 1958. Na sequência, Nussenzveig parte para a Universidade de Utrecht, também na Holanda, passando depois pela Universidade de Birmingham, Inglaterra, e por último, pelo Instituto Federal Suíço de Tecnologia (*Eidgenössische Technische Hochschule*), em Zurique. Essa foi uma fase importante na formação de Nussenzveig, que deu continuidade à pesquisa desenvolvida no doutorado, publicou os resultados, interagiu com pesquisadores importantes e também diversificou sua agenda de pesquisa, passando a trabalhar em outros temas que lhe interessavam.

Na Universidade Técnica de Eindhoven, Nussenzveig interagiu com o físico Christoffel Jacob Bouwkamp, um “dos grandes peritos em Teoria da Difração”. Três meses depois ele foi para Utrecht, onde havia outro físico holandês, Nicolaas Godfried van Kampen, que havia feito uns “trabalhos belíssimos” sobre o conceito de causalidade e suas relações com a física, o “que envolvia uma matemática muito bonita” pela qual Nussenzveig “havia se apaixonado desde a época daquele curso na Sorbonne” (ABREU e colaboradores, 2008). Aparentemente, a interação na Universidade Técnica de Eindhoven não foi muito profícua, pois além da curta duração, Nussenzveig não cita o nome do “perito” com quem trabalhou em nenhuma das entrevistas. Sabemos que ele foi trabalhar com Bouwkamp através de duas

---

7 Cálculo feito com base no índice de preços ao consumidor dos EUA. Disponível em: <<http://www.measuringworth.com/ppowerus/>>. Samuel H. Williamson, "Seven Ways to Compute the Relative Value of a U.S. Dollar Amount, 1774 to present". Measuring Worth, April 2010.

cartas em resposta a Guido Beck. Para Bouwkamp, aquela não seria o melhor período para receber Nussenzweig, pois ele estava sobrecarregado com a criação do instituto de matemática da Universidade Técnica de Eindhoven, implementando o curriculum e organizando salas e laboratórios (Bouwkamp, 4 jun. 1958 e 2 jun.1958). Com relação à Universidade de Utrecht, muito pelo contrário, Nussenzweig faz questão de destacar a importância de Van Kampen na sua formação, enfatizando que fez bons cursos e vários trabalhos durante praticamente todo o ano de 1959.

Em 1960, Nussenzweig vai para a Universidade de Birmingham, onde, segundo ele, ficava “o mais famoso departamento de física da Europa, onde estava o grande físico Rudolf Peierls” (ABREU e colaboradores, 2008). Peierls, que dera contribuições importantes para a construção da bomba atômica como membro do Projeto Manhattan, dirigia o departamento que naquela época, de acordo com Nussenzweig, “era sem dúvida, o melhor da Europa, com uma eficiência incrível”. Nussenzweig ficou impressionado também com a forma como Peierls dirigia o departamento: “se tinha 50 ou 60 pessoas trabalhando lá, ele sabia o que cada uma estava fazendo.” (ABREU e colaboradores, 2008). De Birmingham, com recomendação de Peierls, ele segue para Zurique, onde trabalhou com “outro físico famoso, Res Jost”. Não sabemos exatamente quanto tempo Nussenzweig passou em cada uma dessas instituições, entretanto, apesar da interação com Res Jost, ter sido importante, ele dá consideravelmente mais ênfase à interação com Rudolf Peierls e aos trabalhos que fez com este. Essa foi uma época de grande importância na formação de Nussenzweig, quando ele fez trabalhos que geraram a maior parte dos artigos que publicou entre 1960 e 1963, período em que esteve no CBPF.

De volta ao CBPF em 1960, Nussenzweig retoma as atividades de professor e continua a trabalhar nos resultados da pesquisa do pós-doutorado. Foi nessa época que ele conheceu Micheline Nussenzweig, então professora assistente do CBPF, com quem se casou em 1962. Aquele foi também o ano em que Nussenzweig foi promovido a professor titular. Recém-casado e professor titular, ele e Micheline foram morar no bairro de Copacabana. Entretanto, o início da década de 1960 é marcado na história econômica do Brasil pela entrada do país em de uma forte recessão, logo após uma época de crescimento econômico acelerado.

A recessão econômica da década de 1960 se traduziu em momentos difíceis para a ciência brasileira. Para Olival Freire Jr. (2009), “a expressão mais crua dos tempos difíceis que a ciência brasileira atravessava, especialmente da deterioração das condições de trabalho, foi um movimento de cientistas buscando trabalho no exterior, um fenômeno que posteriormente seria batizado de ‘evasão de cérebros’”. No CBPF, os efeitos da crise foram

agudos. Criado em 1949 como um instituto privado, que a princípio seria sustentado por instituições privadas, o CBPF não conseguiu sobreviver com verbas que vinham dessas instituições e logo se tornou quase completamente dependente de fundos do governo federal (ANDRADE, 1999; NUSSENZVEIG, 1969; VIDEIRA, 2001). Com os reajustes salariais dependendo uma aprovação orçamentária que era realizada em votação anual no congresso, os salários dos professores não acompanhavam os aumentos salariais das outras instituições, muito menos a inflação. Em 1963, segundo suas contas, Nussenzveig ganhava menos de U\$100,00 por mês. Atualizando esse valor com base no índice de preços ao consumidor, naquele ano U\$100,00 tinha um poder de compra equivalente U\$700,00 em 2009<sup>8</sup>, uma bagatela. Sobre esse período Nussenzveig guarda a seguinte lembrança: “Micheline com o salário de primeira assistente e eu com o salário de professor titular pagávamos o aluguel e sobrava pouco para a comida”. Em face desse cenário, Nussenzveig é aconselhado por Beck a sair do país em busca de melhores condições de trabalho, que lhe permitisse se dedicar às atividades de pesquisa e ensino (ABREU e colaboradores, 2008), e resolve seguir para os Estados Unidos, onde se desenrolará a próxima parte de nossa história.

## 2.5 ENTRE BRASIL E ESTADOS UNIDOS (1963-1975)

Saindo do Brasil por conta das condições de trabalhos oferecidas no país, o casal Nussenzveig esperava voltar dentro de um ou dois anos, assim que a situação econômica do país melhorasse. Entretanto, diante dos acontecimentos dos anos seguintes eles se viram impelidos a prolongar a estada nos Estados Unidos. Em fevereiro de 1964, Nussenzveig aceitou o convite para vir para a Universidade de Brasília (UnB), mas em abril veio o Golpe Militar; no final de abril de 1969, ele aceitou o convite para trabalhar no Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), mas vieram as aposentadorias compulsórias de 68 professores universitários, incluindo os principais físicos teóricos brasileiros. Depois de duas tentativas de voltar ao Brasil, frustradas pela instabilidade política, Nussenzveig, então radicado na prestigiada Universidade de Rochester, teve que se preparar para ficar nos Estados Unidos por tempo indeterminado. Nos próximos parágrafos discutiremos mais detalhadamente esse período (1963-1975), no qual Nussenzveig passou pela Universidade de Nova Iorque (1963-1964), pelo Instituto de Estudo Avançado de Princeton (1964-1965) e,

---

8 Cálculo feito com base no índice de preços ao consumidor dos EUA. Disponível em: <<http://www.measuringworth.com/ppowerus/>>. Samuel H. Williamson. "Seven Ways to Compute the Relative Value of a U.S. Dollar Amount, 1774 to present". Measuring Worth, April 2010.



finalmente, pela Universidade de Rochester (1965-1975). Nessas instituições, ele teve oportunidade de interagir com alguns dos principais físicos que trabalhavam em ótica e presenciar debates importantes relativos à criação e consolidação de um novo campo de pesquisa, a ótica quântica. Estar no lugar certo e no momento certo, permitiu a Nussenzveig tornar-se o pioneiro na formação da comunidade brasileira de ótica quântica e um dos pioneiros na formação da comunidade internacional da mesma disciplina.

Ainda no Brasil, Nussenzveig escreveu para o Instituto Courant de Ciências Matemáticas da Universidade de Nova Iorque, onde a sua área era bem valorizada e desenvolvida. Tendo conseguido uma vaga de professor visitante, em setembro de 1963, Nussenzveig e Micheline embarcaram para os Estados Unidos com previsão de permanecer lá por dois anos, mas o consulado os aconselhou a pedir um visto permanente, e assim eles o fizeram.

Enquanto no Brasil a física passava por maus bocados, nos Estados Unidos ela vivia seu período de ouro. Para o historiador Helge Kragh, os físicos americanos estavam no topo do mundo, economicamente, socialmente, e cientificamente. A atmosfera de otimismo e entusiasmo é ilustrada por Kragh com a vivida descrição de Daniel Kevles:

Era um tempo em que os americanos classificavam os físicos como a terceira ocupação de maior status [...], à frente de todos, exceto Juízes da Suprema Corte e Médicos; quando físicos, assim como outros cientistas, eram identificados não só como construtores de bombas e foguetes, mas como os progenitores de aviões a jato, computadores, telefonia direta, transistores de rádio e TV em cores; uma época em que acreditava-se que a pesquisa e desenvolvimento [...] gerariam expansão econômica sem fim." (KEVLES, 1987, p. 391 apud KRAGH, 1999, p. 298).

Enquanto os físicos do CBPF viram o salário cair para menos de U\$100,00, em 1958, um físico nos Estados Unidos recebia em média, U\$11.000,00 por mês. Para efeito de comparação, um químico, no mesmo país, ganhava em média U\$1.900,00, um biólogo, U\$4.900,00, geólogos e matemáticos ganhavam U\$1.800,00 e U\$1.700,00, respectivamente. (KRAGH, 1999, p. 298) Levando-se em conta também a abundância de financiamentos para a pesquisa, podemos ter uma ideia do ambiente que Nussenzveig encontrou nos seus primeiros anos nos Estados Unidos.

Através da imprensa norteamericana e de amigos, Moysés e Micheline Nussenzveig acompanhavam o que estava acontecendo no Brasil, inclusive o agravamento da situação política. Entretanto, do Brasil vinham também boas notícias. Através do colega Roberto Salmeron, eles tomaram conhecimento dos esforços de Darcy Ribeiro para criar um centro de

excelência em pesquisa e ensino na Universidade de Brasília. Salmeron também os tranquilizou com relação à situação política do país: “falei com o Darcy antes de vir para cá e ele me disse que tem um esquema militar absolutamente sólido, o governo está firme”, isso em fevereiro de 1964 (ABREU e colaboradores, 2008, 2010). Darcy se referia a um “dispositivo militar” elaborado pelo general Argemiro de Assis Brasil. Pelas contas do general, esse dispositivo assegurava a João Goulart uma lealdade inédita nos quartéis. Assim como Darcy Ribeiro, o próprio João Goulart tinha total confiança nesse dispositivo, ao menos até o desenrolar dos acontecimentos de 1º de abril (GASPARI, 2002).

Salmeron havia deixado uma posição permanente no CERN, instituição europeia dedicada à pesquisa nuclear, à convite de Darcy Ribeiro para coordenar os Institutos Centrais de Ciências da UnB. Ele não só voltou ao Brasil, como também, entre janeiro e março de 1964, estava prestes a dar uma grande contribuição para a reversão do êxodo de talentos. Sua ideia era “levar para Brasília praticamente todo o pessoal que trabalhava CBPF”, incluindo Nussenzweig, que aceitou o convite para trabalhar na UnB e rapidamente alterou os planos para sua estada nos EUA em função disso (ABREU e colaboradores, 2008). De acordo com Freire Jr. e Clemente (2010), que investigaram a Operação Retorno - “iniciativa do CNPq patrocinada pelo governo federal sob a égide dos militares, [que] visou atrair de volta para o país lideranças científicas nacionais, então radicadas no exterior” - a UnB foi, a princípio, um exemplo de “reversão bem-sucedida do êxodo de talentos”. A julgar pelo entusiasmo com que Salmeron falava, teria sido um sucesso ainda maior se não tivesse ocorrido uma alteração dramática da conjuntura política do País.

Nussenzweig tinha recebido a proposta de prolongar sua visita ao Instituto Courant, mas achando que só teria pouco mais de um ano naquele país, decidiu que seria mais interessante conhecer outra instituição e escreveu para Robert Oppenheimer, diretor do Instituto de Estudos Avançados em Princeton. Oppenheimer rapidamente respondeu a Nussenzweig positivamente, de forma que em março de 1964 ele já estava em Princeton, Nova Jérsei.

Foi de Princeton que Nussenzweig acompanhou as notícias sobre o agravamento da crise política no Brasil, que segundo o correspondente do jornal *The Baltimore Sun*, estava “[...] enfrentado uma crise constitucional mais perigosa do que qualquer outra desde a renúncia do presidente Jânio Quadros” (MILLER, 1964a). Nas duas últimas semanas do mês de março, a situação política do Brasil estava quase que diariamente nas páginas dos jornais americanos que anunciavam os sinais que prenunciaram o golpe militar de Abril de 1964. Assim, muito provavelmente, no dia 20 de março, Nussenzweig – que acompanhava as

notícias do The Baltimore Sun (ABREU e colaboradores, 2008) – ficou sabendo da manifestação ocorrida na cidade de São Paulo, que reuniu uma multidão de aproximadamente meio milhão de pessoas que “cantavam e rezavam [...] em defesa das instituições democráticas” (MILLER, 1964b). *A Marcha da Família com Deus pela Liberdade*, como se chamou a manifestação que virou um marco na história do Brasil, foi a resposta do conservadorismo paulista ao comício do presidente João Goulart do dia 13 de Março, onde o presidente anunciou, em um discurso incisivo, o compromisso com “reformas de base” que somente seriam possíveis com a reforma constitucional. À frente da manifestação, estavam religiosos e políticos conservadores como o deputado Plínio Salgado que clamou a Deus e aos “bravos soldados, marinheiros e aviadores da nossa pátria” (SÃO PAULO..., 1964) pela defesa dos direitos constitucionais e “pela 'salvação' do Brasil das 'garras' do comunismo” (TEIXEIRA, 2007).

A resposta dos militares não tardou. Nos dias que se seguiram, certamente Nussenzweig ficou a par da mobilização do alto-comando das Forças Armadas que afirmou estar preparado para “defender o país com todos os meios ao nosso alcance das tentativas de comunização do Brasil”. (BRASIL..., 1964). Em 22 de março, o The Baltimore Sun já estampava em suas páginas o crescente medo de um possível golpe de estado, que não se sabia se viria da esquerda ou da direita (MILLER, 1964c). Finalmente, no dia primeiro de abril o Jornal já anunciava a explosão de revoltas anticomunistas lideradas por dos militares em São Paulo e Minas Gerais (POWERFUL..., 1964).

Agora era a situação política do Brasil que não era mais favorável e Nussenzweig decidiu continuar nos EUA, tendo que mudar seus planos mais uma vez (ABREU e colaboradores, 2008). Decisão extremamente afortunada, pois a partir daí o clima na UnB passou a ficar cada vez mais tenso, culminando na renúncia de 223 professores, incluindo Roberto Salmeron. Anos depois, Salmeron narrou o que aconteceu nesse período na UnB no livro *A Universidade Interrompida*, onde ele sintetiza o que aconteceu naquela universidade:

Durante os governos ditatoriais iniciados em 1964, as universidades brasileiras foram duramente atingidas, na confusão mental que se estabeleceu no país. Entre elas, foi a de Brasília a que mais sofreu, com interferência direta e com *A Universidade Interrompida* ntínua no seu funcionamento, prisões e expulsões de professores e estudantes, tendo sido invadida três vezes por tropas militares, em abril de 1964, em outubro de 1965 e em agosto de 1968. (SALMERON, 1998).

O aumento da tensão nas universidades também levou o casal de amigos de Nussenzweig, Ernst e Amélia Hamburger, a deixar o Brasil em 1965. Amélia havia sido colega

de classe de Ernst e Nussenzveig na graduação (1951-1954). Ernst e Amélia trabalharam no grupo de Oscar Sala na construção do acelerador de partículas Van der Graaff. Ao final da graduação, ainda no mesmo grupo, passam a ser professores da Universidade de São Paulo, onde permanecem até 1957, quando, casados, vão fazer pós-graduação na Universidade de Pittsburgh, Estados Unidos, de onde retornaram em 1959. Em 1965, apesar de ainda não terem sofrido nenhum tipo de constrangimento, o desenrolar dos acontecimentos que se seguiram ao golpe de abril de 1964 fez com que o casal, já com quatro filhos, decidisse ir novamente para os Estados Unidos, todos com vistos de imigrante. Ernst voltou para Universidade de Pittsburgh, onde fez o pós-doutorado. Amélia foi para a Universidade de Carnegie Mellon, dividia seu tempo entre cuidar das crianças e as medidas de suscetibilidade magnética de sais iônicos no laboratório da Carnegie Mellon. De lá, ela acompanhou atentamente os debates sobre a evasão de cérebros da América Latina. Sensibilizada pelas consequências que a emigração de cientistas, como ela e o marido, poderia ter sobre a ciência brasileira, em 1967 Amélia convence Ernst, que havia recebido convites para trabalhar em universidades americanas e europeias, a voltar para o Brasil. (HAMBURGER & HAMBURGER, 2007).

Em 1964 Nussenzveig tomou a decisão oposta. Não quis arriscar e resolveu permanecer nos Estados Unidos, rejeitando o convite para a UnB. Ele ainda tinha quase um ano de contrato no Instituto de Estudos Avançados, mas precisava se preparar para ficar nos Estados Unidos por tempo indeterminado. Nesse momento além da reputação que vinha construindo, a sorte também estava ao seu lado. Ele recebeu o convite de Emil Wolf para trabalhar na Universidade de Rochester. Relembremos que quando ele terminou seu doutorado, Guido Beck enviou sua tese para Max Born e este a entregou a Emil Wolf, para que ele lesse na viagem para os Estados Unidos. Wolf havia embarcado para os Estados Unidos em abril de 1959 para reforçar o Instituto de Ótica de Rochester, que “no campo da ótica era provavelmente o maior centro do mundo” (WOLF, 1983-4, p. 3). Rochester foi palco de debates e controvérsias importantes que estão na origem da criação da ótica quântica. Os debates ocorridos no período em que Nussenzveig estava em Rochester (1965-1975) serão discutidos no próximo capítulo da dissertação. O que queremos frisar aqui é que imerso nesse ambiente ele teve a oportunidade de ser um dos pioneiros do campo e o autor de um dos primeiros livros de introdução ao tema.

Em 1969, Nussenzveig fez mais uma tentativa de voltar ao Brasil, aceitando o convite do matemático Elon Lima para trabalhar no Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA). Lima, que havia passado parte do ano de 1968 em Rochester, convidou Nussenzveig

para ser o “A do IMPA”, que apesar de ser inicialmente pensado para abrigar também a matemática aplicada, na época só havia matemática pura. Entretanto, pouco antes de formalizar o contrato com o IMPA, Nussenzweig recebeu um telegrama de Ernst Hamburger informando sobre a aposentadoria compulsória de 68 professores universitários amparada no Ato Institucional nº 5 (AI-5). Naquelas condições, novamente, Nussenzweig teve que adiar seus planos e permanecer em Rochester até que a situação política do Brasil melhorasse (ABREU e colaboradores, 2008; ZORZETTO, 2010).

O telegrama chegou às mãos de Nussenzweig provavelmente no final de abril de 1969, pouco depois da divulgação da primeira lista de aposentadorias compulsórias, onde figuravam 44 nomes, incluindo os físicos Jayme Tiomno, José Leite Lopes e Mário Schenberg. No dia 4 de maio, *The Baltimore Sun* publicou uma matéria sobre a expulsão de “68 professores universitários, incluindo muitos de reputação internacional e o então reitor da Universidade de São Paulo, forçados a se aposentar sem nenhuma explicação” (ERLANDSON, 1969). A matéria destacava a reação de tensão e apreensão da comunidade acadêmica, devido ao caráter arbitrário da expulsão e à incerteza de quais seriam os nomes presentes da próxima lista. Segundo a matéria, as expulsões foram motivadas por vinganças pessoais de uma ala de 'lunáticos de direita' influentes no governo. Desde o dia 13 de dezembro de 1968, quando o governo de Costa e Silva aumentou seus poderes ditatoriais por meio do AI-5, aproximadamente 300 pessoas foram privadas de seus direitos políticos e profissionais por dez anos (ERLANDSON, 1969). De fato, a publicação do AI-5 é um marco do início do período mais áspero do regime militar brasileiro. Além das cassações dos direitos profissionais e políticos, o Ato Institucional nº 5, que vigorou por dez anos, também fechou o congresso por tempo indeterminado e suspendeu os direitos constitucionais de liberdade de expressão e de reunião, acabando com os últimos vestígios da ordem democrática e jogando o país no seu mais longo período ditatorial (GASPARI, 2002; TEIXEIRA, 2007).

Entre os “lunáticos de direita” influentes no governo figurava com destaque o ex-reitor da Universidade de São Paulo, Luiz Antônio da Gama e Silva que largou a reitoria da USP e assumiu o cargo de Ministro da Justiça. Gama e Silva, ainda como reitor, foi o responsável pela formação da comissão secreta que produziu a primeira lista com o nome de 44 professores (GASPARI, 2002). Mas a grande obra à qual Gama e Silva ficou devendo o título de “lunático” foi a redação do Ato Institucional nº 5. Essa percepção é expressa, também, em um telegrama do general Golbery do Couto e Silva endereçado ao embaixador americano John Tuthill sobre o AI-5, no qual Golbery chama Gama e Silva de “maluco” e expressa a crença de que as expulsões foram motivadas por vinganças pessoais. De acordo

com ele, “muita gente tinha contas pessoais a acertar” (GASPARI, 2002, p. 349).

Outro duro golpe na comunidade acadêmica veio com a publicação do Decreto-lei 477, em 26 de fevereiro de 1969. O Decreto definia infrações disciplinares praticadas por professores, alunos, funcionários ou empregados de estabelecimentos de ensino público ou particular, prevendo a demissão de professores e funcionários e a expulsão de estudantes que fossem considerados subversivos (BRASIL, 1969). Na PUC do Rio de Janeiro, por exemplo, onde a agitação política era intensa, alguns estudantes foram expulsos e proibidos de se matricular em qualquer outra instituição de ensino por um prazo mínimo de três anos. A solução encontrada pelos professores foi enviar esses estudantes para fazer pós-graduação fora do país. Segundo depoimento de Nicim Zagury (2007), então professor da instituição, o contato com Nussenzweig foi muito importante para resolver a situação de alguns alunos. Um caso ilustrativo é o do estudante Luiz Davidovich.

Nussenzweig recebeu uma carta de Erasmo Ferreira, também professor da PUC, informando que o melhor estudante de física da PUC, Luiz Davidovich, tinha sido expulso pelo decreto 477. Ferreira pedia a Nussenzweig que acolhesse Davidovich em Rochester (NUSSENZWEIG, 2005; ZORZETTO, 2010). Mesmo estando fora da época de admissão, Nussenzweig conversou com os professores da Universidade de Rochester, que estavam a par da situação política do Brasil, e conseguiu que fosse feita uma exceção para Davidovich, que acabou fazendo o mestrado e o doutorado em Rochester orientado por Nussenzweig em ótica quântica.

Os episódios das aposentadorias compulsórias e do decreto 477, trazem à tona o papel desempenhado por Nussenzweig, e pela comunidade acadêmica americana de forma mais ampla, na defesa dos pesquisadores brasileiros que foram vítimas das repressões políticas da ditadura militar. Nussenzweig assinou uma carta direcionada ao Presidente da República, Arthur Costa e Silva, “expressando os sentimentos dos mais amplos setores das universidades americanas” demonstrando profunda apreensão devido à expulsão de professores e pesquisadores das universidades brasileiras. Além dos físicos Mário Schenberg, José Leite Lopes e Jayme Tiomno, o documento citava também os cientistas sociais Florestan Fernandes, Caio Prado Junior e Fernando Henrique Cardoso, como respeitáveis acadêmicos, que haviam sido alvo de medidas totalitárias tomadas pelo governo. A carta é encerrada com um protesto contra a destruição do “bem mais valioso do Brasil, seus recursos humanos e intelectuais”. Na sequência estão as assinaturas de pesquisadores das principais universidades americanas,

incluindo praticamente todos os físicos do departamento de física da Universidade de Rochester<sup>9</sup> (ZORZETTO, 2010).

Nussenzveig também contatou físicos influentes para que intercedessem em favor dos físicos que estavam sendo perseguidos no Brasil. Segundo ele, vários cientistas renomados enviaram telegramas ao governo brasileiro protestando contra as perseguições políticas. Entre eles estavam o prêmio Nobel de física Chen Ning Yang, chinês naturalizado norte americano, então radicado no Instituto de Estudos Avançados em Princeton, e John Archibald Wheeler, físico norte americano que havia ocupado posições de liderança no Projeto Manhattan, projeto de construção da bomba atômica, e no projeto da bomba de hidrogênio.

Em 9 de junho de 1969, Yang enviou uma carta para o Chanceler do estado de Nova Iorque, Samuel B. Gould, pedindo para que ele e o governador Nelson Rockefeller intercedessem em favor dos físicos Jayme Tiomno e José Leite Lopes. Na carta, Yang fala sobre a reputação internacional de ambos os físicos e sobre o decreto que em 25 de abril de 1969 aposentou compulsoriamente, juntamente com Tiomno e Leite Lopes, 65 professores da Universidade Federal do Rio de Janeiro e da Universidade de São Paulo. Segundo o documento, “é de opinião unânime entre os profissionais do campo, que a aposentadoria forçada desses dois professores provavelmente significará o fim da pesquisa em física teórica no Brasil e o sufocamento das aspirações de milhares de jovens e brilhantes estudantes brasileiros”. Concluindo, Yang pede que em sua visita que está se aproximando, eles enfatizassem para as autoridades brasileiras a natureza trágica das consequências da aposentadoria compulsória de Leite Lopes e Tiomno<sup>10</sup>. Nelson Rockefeller veio ao Brasil em junho de 1969, mas não sabemos se a carta foi mencionada no encontro com Costa e Silva. Entretanto, mesmo que tenha sido, não teve o efeito esperado, já que tanto Tiomno como Leite Lopes só foram readquirir seus direitos políticos e profissionais com a anistia, em 1979.

Saiu Costa e Silva, entrou Emílio Médici e a máquina de repressão do governo militar continuava operando a todo vapor. Nussenzveig novamente teve que recorrer a um físico influente, dessa vez a John Archibald Wheeler, que havia sido orientador de Jayme Tiomno, para protestar contra a prisão do casal Hamburger. Nos seus primeiros anos da graduação Amélia havia participado da militância política, mas a abandonou quando percebeu

---

9 Carta ao presidente Arthur da Costa e Silva (ZORZETTO, 2010). A carta está publicada como figura no corpo da entrevista.

10 Carta ao Chanceler Samuel B. Gould (ZORZETTO, 2010). Carta publicada como figura no corpo da entrevista.

que esta atrapalhava o seu rendimento no curso. Mesmo fora da militância política, o casal Hamburger socorreu estudantes militantes que estavam sendo perseguidos pela ditadura, chegando a abrigá-los em sua própria casa. Isso não passou despercebido pelos órgãos de controle do regime militar, e acabou culminando com a prisão do casal no início de dezembro de 1970 (HAMBURGER & HAMBURGER, 2007)<sup>11</sup>. No sábado, dia 12 de dezembro de 1970, Wheeler mandou um telegrama para o presidente Médici protestando contra a prisão do casal Hamburger. Na cópia que ficou no arquivo de Wheeler está a observação, escrita à mão, de que eles haviam sido libertados. No mesmo arquivo além de documentos sobre a prisão dos Hamburger, há uma farta documentação de protestos de Wheeler e de outros cientistas contra os arbítrios do regime militar (FREIRE JR., 2009)<sup>12</sup>.

Com relação à migração de cientistas do Brasil, Nussenzveig tornou-se uma espécie de porta-voz dos cientistas que se radicaram no exterior, reivindicando melhores condições de trabalho e principalmente respeito à atividade científica. Ele apresentou o tema em uma reunião promovida pelo Ministério das Relações Exteriores, realizada em Washington, em agosto de 1967, e em uma palestra no I Congresso Latino Americano de Física, realizado no México, em meados de 1968. A palestra foi transformada em artigo, que no mesmo ano foi publicado na Revista *Paz e Terra* (NUSSENZVEIG, 1968). Em setembro de 1969, Nussenzveig publicou outro artigo, de mesmo teor, na revista americana *Science* (NUSSENZVEIG, 1969), mas que dessa vez incluía os acontecimentos ocorridos nos meses que seguiram a publicação do AI-5.

Em todas essas comunicações Nussenzveig chama atenção para as consequências desastrosas que a evasão de cérebros poderia ter sobre a pequena comunidade acadêmica latino-americana e aponta os motivos para a migração. Entre os motivos estão a falta do sistema de dedicação exclusiva, a “estrutura arcaica” das universidades e do sistema universitário e o “desrespeito pelo trabalho científico”. Para exemplificar esse último ponto ele cita a situação que o CBPF atravessou no início da década de 1960 e o caso da Universidade de Brasília. No artigo da revista *Science*, Nussenzveig cita ainda as aposentadorias compulsórias, em um relato fortemente baseado na matéria do *The Baltimore Sun* que apresentamos acima. São apresentadas também possíveis soluções para o problema:

---

11 A entrevista conduzida por Olival Freire Jr. e Antônio A. P. Videira revela o quão traumática foi a experiência da prisão para o casal, que 37 anos depois ainda teve dificuldade em falar sobre ela.

12 Os protestos no meio acadêmico dos Estados Unidos foram registrados no livro de James N. Green (2009), *Apesar de vocês*, entretanto, o autor não discute os casos da comunidade de físicos aqui apresentados.



criar pequenos institutos de boa qualidade associados às universidades existentes; criação de fundos permanentes, cujo crescimento esteja relacionado ao crescimento do país; criação do regime de dedicação exclusiva com salários adequados; promoção do contato com o exterior por meio de acordos de cooperação com universidades estrangeiras e da política de bolsas; e principalmente, o respeito pela autonomia das universidades e institutos de pesquisas, como parte do respeito pelo trabalho científico.

Com a situação política do país mais amena, Nussenzweig volta para o Brasil em 1975. José Goldenberg, então diretor do instituto de Física da USP, o convidou para fazer um concurso para professor titular da USP. Ele aceitou o convite com a condição de que fosse criado um departamento de física teórica no Instituto de física, recentemente criado como resultado da reforma universitária (ABREU e colaboradores, 2008). Nessa época o governo já havia começado a dar os primeiros sinais de democratização. Em agosto do ano anterior, o presidente Ernesto Geisel havia anunciado o início de uma “lenta, gradativa e segura distensão” que poria fim ao mais longo período ditatorial da história do Brasil (GASPARI, 2003).

Estava chegando ao fim o regime militar que para a ciência brasileira foi marcado por uma ambiguidade que gerou uma memória igualmente ambígua entre os cientistas. O mesmo governo que perseguiu e aposentou compulsoriamente muitos cientistas, foi também o que tomou medidas importantes para o desenvolvimento da ciência e tecnologia como a modernização do sistema universitário, criação de novas instituições e a estruturação do sistema de pós-graduação (FREIRE JR., 2009). Em 1975, as políticas de apoio à ciência e tecnologia haviam adquirido credibilidade entre os cientistas. Como argumentam Freire Jr. e Clemente (2010), se, por um lado, o governo dos militares espalhou terror e apreensão na comunidade acadêmica, por outro, eles mantiveram uma política de ciência e tecnologia que aos poucos foi implantando todas as medidas propostas por Nussenzweig.

Goldemberg aceitou a condição de Nussenzweig e o Departamento de Física Teórica foi criado, mas com o nome de Departamento de Física Matemática. O título *Física Teórica* na USP estava fortemente associado ao nome do professor Mário Schenberg, que ainda estava afastado pela aposentadoria compulsória, de forma que muitos professores do instituto não aceitaram que fosse criado um departamento de física teórica sem a sua presença. Fora a querela com relação ao nome, a oposição à criação do departamento veio também por conta da lista de físicos que Nussenzweig queria que fizessem parte da equipe. Os que foram contrários argumentavam que um departamento da forma como ele queria causaria um desequilíbrio interno no Instituto de Física (ABREU e colaboradores, 2008).

A volta de Nussenzveig mexeu com o Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Entre alguns professores ele havia conquistado a reputação de “melhor [físico] do Brasil” (BASEIA, 2011), entre os jovens estudantes, simpatizantes das ideias de esquerda, ganhou a desconfiança merecida por aqueles que vinham daquele grande país do norte, símbolo maior do capitalismo. Em sua primeira reunião de departamento, quando foi apresentado por José Goldenberg, ele teve que enfrentar além dos professores que temiam o desequilíbrio no instituto, a representante dos estudantes que imediatamente anunciou a intenção dos estudantes de apresentarem uma “moção de desconfiança” contra ele (ABREU e colaboradores, 2008).

Quando voltou à USP, Nussenzveig encontrou uma estrutura muito diferente da que deixara para trás há quase duas décadas. A reforma universitária havia abolido o sistema de cátedras e reestruturado o ensino superior. O instituto de física passou a assumir a responsabilidade por todas as disciplinas de física da universidade. O Departamento de Física, que formava uma dúzia de estudantes por ano, havia se transformado em Instituto de Física e era então responsável por todas as disciplinas de física da universidade. Tinha de dar conta da formação de milhares de alunos de engenharia e de muitas outras áreas. Foi criado um ensino de massa. O que obrigou muitos professores a se dedicarem quase que integralmente ao ensino, deixando a pesquisa em segundo plano (ABREU e colaboradores, 2008).

Nussenzveig começou sua atividade de ensino com os cursos de pós-graduação e orientando estudantes. Entre estes, o primeiro foi o físico Basílio Baseia que resolveu fazer o doutorado em ótica quântica influenciado pelo livro de introdução à ótica quântica de Nussenzveig (BASEIA, 2011). Pouco tempo depois Nussenzveig foi nomeado diretor do Instituto de Física. Ele logo percebeu que a necessidade maior do Instituto estava na graduação (ABREU e colaboradores, 2008). É nesse momento que ele começa a escrever a coleção de livros Curso de Física Básica que hoje faz parte do programa dos cursos de física das principais universidades do país e recebeu o Prêmio Jabuti de literatura na categoria ciências exatas, tecnologia e informática.

Em 1981, Nussenzveig assumiu a presidência da Sociedade Brasileira de Física (SBF) para o período de (1981-1983). Nesse cargo ele deu início às primeiras negociações que culminaram no acordo para a criação da Zona Desmilitarizada Nuclear Brasil – Argentina. Em conversa com o presidente da Asociación Física Argentina, Nussenzveig propôs a publicação de um manifesto pelas duas instituições condenando a participação de físicos brasileiros ou argentinos em programas militares de armamentos e programas atômicos

(ABREU e colaboradores, 2008).

O primeiro grande reconhecimento de sua carreira veio em 1986, com o Prêmio Max Born da American Optical Society, por sua contribuição para teoria do arco-íris e do efeito aureola. Utilizando técnicas matemáticas sofisticadas, Nussenzveig conseguiu obter uma explicação quantitativa capaz de prever uma ampla gama de fenômenos envolvidos no arco-íris (NUSSENZVEIG, 1977). Na sequência, veio uma série de outros prêmios e títulos, como as eleições para Fellow da American Optical Society (1987) e da American Physical Society (1993) e a Grã-Cruz da ordem Nacional do Mérito Científico (1994). Quando voltou ao Brasil, Nussenzveig já havia construído prestígio e autoridade científica suficientes para impor a condição de só fazer o concurso para a Universidade de São Paulo se fosse criado um departamento de física teórica, e ter sua condição satisfeita. Sem dúvida, parte desse prestígio se deve ao fato de Nussenzveig ter passado mais de uma década em centros de pesquisa importantes, como a universidade de Rochester, onde encontrou condições quase que ideais para o desenvolvimento de seu trabalho científico. Por uma ironia da história, o “exílio” por conta da conturbada situação política do Brasil, acabou contribuindo indiretamente para o sucesso acadêmico de Nussenzveig.

### 3 CONTINUIDADE E DESCONTINUIDADE NA ÓTICA DO SÉCULO XX

No capítulo anterior fizemos uma breve apresentação de Moysés Nussenzveig que deixou de fora os aspectos científicos de sua carreira. Nesse capítulo nos voltaremos para o campo da ótica entre as décadas de 1950 e 1970. Começamos focando na década de 1950 com dois principais propósitos: O primeiro é entender qual era o status da teoria eletromagnética de Maxwell, também conhecida como eletrodinâmica clássica, na década de 1950. O segundo é entender como o trabalho de doutoramento de Nussenzveig, que utiliza a eletrodinâmica clássica, se localiza diante do campo como um todo. De certa forma, os dois propósitos se complementam, uma vez que o problema de difração, tema da tese, é um exemplo no qual eletrodinâmica clássica ainda estava sendo aplicada com sucesso. A primeira seção, “A Continuidade da Primeira Metade do Século”, é dedicada ao nosso primeiro propósito, compreender o status da teoria eletromagnética na década de 1950. Argumentaremos que para a ótica esse período é caracterizado por uma continuidade com a descrição de mundo fornecida pela eletrodinâmica clássica, em contraponto com revoluções que ocorreram em outras áreas da física no mesmo período e que resultaram na criação da física moderna. Na seção seguinte, “Teoria da Difração”, nos voltando para o segundo propósito, apresentamos este ramo da ótica como um exemplo de tópico da ótica clássica que, veremos, na época estava em franca ascensão, reforçando a ideia de continuidade defendida na seção anterior.

Em contrapartida, o final da década 1950 e o início da década seguinte foi para a ótica um momento de descontinuidade, cenário temporal do que a historiadora Joan Bromberg chamou de revolução do meio do século XX em ótica. Tal descontinuidade se refletiu na criação de novos campos de pesquisa, como a ótica quântica e a ótica não-linear, com agendas de problemas e eventos próprios, e físicos que se identificavam como praticantes desses campos. Na seção “Medindo estrelas, Despertando Controvérsias”, discutiremos esse período focando na repercussão do experimento realizado pelos físicos britânicos Robert Hanbury Brown e Richard Twiss em 1955. As tentativas de explicar esse experimento e os debates que se seguiram revelam a força que o eletromagnetismo clássico tinha ainda nas décadas de 1950 e 1960. Nas duas últimas seções do capítulo focaremos em dois debates envolvendo físicos importantes para a ótica do século XX e que são parte do processo de criação da ótica quântica. O primeiro, envolvendo Roy Glauber e seus seguidores, que defendiam a necessidade de quantização da luz, e os físicos de Rochester Emil Wolf e Leonard Mandel, para quem a quantização do campo não era necessária para o estudo da ótica. O segundo debate envolve o mesmo Glauber contra o físico da Universidade de Harvard Edwin

Thompson Jaynes. Mais enfático do que os físicos de Rochester, Jaynes era hostil à própria eletrodinâmica quântica, teoria que está na base da quantização do campo. Esses dois debates são representativos da falta de consenso que havia em torno da necessidade, ou até mesmo plausibilidade da ótica quântica. Compreender esse cenário de dissensão é fundamental para compreensão da importância que o livro de introdução à ótica quântica de Moysés Nussenzveig teve para a formação da comunidade de ótica quântica em meio a esse debate.

### 3.1 A CONTINUIDADE DA PRIMEIRA METADE DO SÉCULO

É muito comum na literatura sobre a ótica no século XX, e até mesmo da ótica quântica, que se inicie a narrativa ainda no século XIX com a alusão aos trabalhos de Thomas Young e August Fresnel que estabeleceram o caráter ondulatório da luz. O mecanismo físico por trás desse modelo ondulatório permaneceu desconhecido até que o físico James Clerk Maxwell, na segunda metade do século XIX, unificou as leis da eletricidade e do magnetismo, criando a eletrodinâmica clássica. A teoria de Maxwell mostrou que as perturbações eletromagnéticas se propagavam com velocidade aproximadamente igual à da luz, que já havia sido medida com boa precisão. Tal semelhança foi encarada como uma evidência de que a luz consistia de campos elétricos e magnéticos oscilantes e dessa forma deveria ser regida pelas equações básicas do eletromagnetismo, conhecidas como equações de Maxwell (GLAUBER, 2005; PAUL, 2004). A ótica e o eletromagnetismo estavam unificados. Por quase meio século a teoria eletromagnética de Maxwell se mostrava cada vez mais frutífera, conquistando cada vez mais prestígio entre os físicos. Seguiu-se então um período em que não houve nenhuma alteração fundamental no entendimento sobre a natureza da luz até que, em 1900, o físico alemão Max Planck formulou sua hipótese de que os sistemas elétricos oscilantes não transmitem energia para o campo eletromagnético de maneira contínua, mas em pacotes que tinham um limite mínimo de energia, os chamados quanta de energia (BROWN & PIKE, 1995). O trabalho de Planck de 1900, encarado como o trabalho que deu origem à revolução na física que culminou com a criação da mecânica quântica, é também visto por Brown e Pike (1995) em um artigo sobre a história da ótica no século XX como o marco de uma revolução também em ótica. Para os autores, esse artigo de Planck marcou “o final de uma era (óptica clássica) e o início de outra (óptica quântica)”.

Entretanto, acoplar a ótica à revolução que ocorreu em outros campos da física no início do século XX, como proposto por Brown e Pike (1995), colocando o século XX como o século da ótica quântica, distorce o quadro do que foi a ótica ao longo do século, ao menos na

sua primeira metade. O olhar atento ao próprio trabalho de Brown e Pike (1995), no qual os autores se propõem a apresentar em ordem cronológica as principais realizações da ótica ao longo do século, percebe que os autores apresentam uma série de desenvolvimentos importantes em ótica, intercalados por outros da eletrodinâmica quântica, teoria voltada para a interação da radiação com a matéria, na qual trabalhavam físicos mais identificados com física de partículas ou física nuclear, como reconheceu o físico Roy Glauber (2005) em sua aula da cerimônia de recepção do prêmio Nobel. Para Glauber, o grande sucesso da teoria de Maxwell gerou nos físicos que trabalhavam em ótica uma espécie de condescendência, uma satisfação acrítica para com essa teoria, que perdurou até a década de 1960. Glauber é ainda mais enfático, em um dos trabalhos seminiais da ótica quântica, pelos quais ele ganharia o Prêmio Nobel de 2005:

Como todos sabemos, o sucesso da teoria clássica no trato com os experimentos de ótica tem sido tão grandioso que não temos a menor hesitação em apresentar a ótica como um curso secundarista. A teoria quântica [...] tem tido sobre a ótica apenas uma fração da influência que a ótica, historicamente, teve sobre a teoria quântica. A explicação, sem dúvida, está no fato de que os experimentos óticos até aqui têm prestado muito pouca atenção à fótons individuais. Até onde as investigações em ótica são confinadas à medição da luz à intensidades ordinárias, não é surpreendente que a teoria clássica tenha oferecido *insights* simples e essencialmente corretos. (GLAUBER, 1963a, p. 2529).

Sob esse ponto de vista, a “condescendência” remete ao próprio Niels Bohr, um dos pais fundadores da teoria quântica, e à sua formulação do Princípio da Correspondência. Esse princípio, que está implícito na fala de Glauber, dá a transição entre o domínio de validade da teoria quântica e da teoria clássica. Quando passamos do mundo microscópico para o macroscópico, exprime o Princípio da Correspondência, as previsões da teoria quântica devem coincidir com as da teoria clássica. Os físicos geralmente referem-se à transição para o mundo macroscópico como limites de grandes números quânticos<sup>13</sup> ou limite de altas energias. O Princípio da Correspondência permitiu que se conciliasse a física quântica com a física clássica no domínio que esta última era bem estabelecida, e ainda, voltando para o nosso tema, que os físicos que trabalhavam em ótica pudessem ficar completamente indiferentes à teoria quântica desde que não estivessem trabalhando em problemas em que a interação da radiação com a matéria desempenha um papel importante. Sobre esse ponto,

---

<sup>13</sup> Os números quânticos estão associados à energia dos elétrons nos átomos. Quanto maior o número quântico, maior a energia do elétron.

Bohr confessaria a Charles Galton Darwin sua inclinação para a teoria clássica da radiação:

Com relação à teoria ondulatória da luz, me sinto inclinado à *visão frequentemente proposta* de que os campos no espaço livre (ou melhor, em um campo gravitacional) são governados pelas leis da *eletrodinâmica clássica* e que todas as dificuldades são concentradas na *interação da radiação com a matéria* - Carta de Bohr a C. G. Darwin, 1919 (apud STACHEL, 2010) (grifos nossos).

Vemos que para Bohr, em 1919, os “campos no espaço livre”, como é o caso da radiação eletromagnética, principal objeto de estudo da ótica, deveriam ser regidos pela eletrodinâmica clássica. O problema surge quando estamos tratando da interação da radiação com a matéria. Nesse regime, a teoria quântica, que ainda estava se desenvolvendo, deve ser levada em conta. Entretanto, até que ponto esse último domínio encontrava-se dentro da jurisdição da ótica na primeira metade do século XX? Em que medida os físicos que trabalhavam em ótica compartilhavam da crença de Niels Bohr? Para esclarecer estas questões nos voltaremos para dois livros-textos publicados na década de 1950. Um é o *Principle of Optics*, escrito por Max Born em coautoria com Emil Wolf, em 1959, e que foi baseado no livro *Optik* de Max Born, publicado em alemão em 1933. O outro é o livro *Optics* de Arnold Sommerfeld, publicado em Alemão em 1949 e traduzido para o inglês em 1954. Ambos os livros, escritos por físicos proeminentes, foram pensados como um retrato do que era a ótica na sua época.

O *Principles of Optics* de Max Born e Emil Wolf, que atualmente está em sua sétima edição, foi inicialmente pensado como uma tradução do *Optik* de Max Born (1933), mas logo os autores perceberam que, frente à evolução da disciplina, essa não seria a melhor opção:

Uma revisão preliminar da literatura mostrou que numerosas pesquisas tinham sido realizadas em quase todos os ramos da ótica desde então, de modo que o livro não mais oferecia um quadro balanceado e abrangente do campo. Consequentemente, sentimos que uma tradução dificilmente seria apropriada. Ao invés disso, um livro substancialmente novo foi preparado [...]. Planejando este livro, logo ficou claro que se apenas os desenvolvimentos mais importante que aconteceram desde a publicação do *Optik* fossem incorporados o livro se tornaria impraticavelmente grande. (BORN & WOLF, 1959, p. vi).

Desta forma, a solução que eles encontraram foi deixar de fora tópicos como ótica dos meios em movimentos, óticas dos raios x e  $\gamma$ , teoria do espectro, efeitos da luz sobre o olho humano e toda a conexão da ótica com a física atômica e molecular, alegando que esses

temas são tratados mais apropriadamente em conexão com outras disciplinas tais como Relatividade, Mecânica Quântica e Física Atômica e Nuclear. “O livro restringiu-se então aos fenômenos que podem ser tratados em termos da teoria fenomenológica de Maxwell, isso inclui todas as situações nas quais a estrutura atômica não desempenha um papel decisivo.” (BORN & WOLF, 1959, p vii)

Diante disso, vale a pena lembrarmos que mesmo com essa restrição, o propósito do livro era fornecer um quadro “balanceado e abrangente do campo”. Para Born e Wolf o livro de fato representava “um quadro razoavelmente completo do atual estado do conhecimento.” Além disso, “o fato de que o livro ficou muito maior do que o *Optik* dá uma boa indicação da extensão das pesquisas que estavam sendo feitas em ótica clássica recentemente.” (BORN & WOLF, 1959, p vi).

Exatamente dez anos antes, em 1949, saía a primeira edição do livro *Optics* de Arnold Sommerfeld, traduzida para o inglês cinco anos depois. Nesse livro, Sommerfeld vai um pouco além do livro de Born e Wolf e discute além da ótica dos meios em movimento, o efeito Cherenkov, embora reconheça que isso o leva “além dos limites da concepção convencional de ótica.” (SOMMERFELD, 1954, p vi). Mais à frente, em uma discussão sobre a natureza da luz branca, Sommerfeld deixa claro para o leitor sua simpatia pela concepção corpuscular da luz e pelo princípio da complementaridade - o mesmo não acontece no livro de Born e Wolf - enfatizando que apesar de o livro ser restrito à teoria ondulatória, ela não era todo o campo da ótica:

Finalmente, é mostrado para o leitor que nossa apresentação, que é essencialmente baseada no conceito de onda clássica, forma apenas uma parte de todo o campo de ótica; em particular, ela não engloba os processos primários na retina, porque estes são fotoelétricos e dessa forma sua discussão deve ser baseada na teoria dos fótons, não na teoria ondulatória. (SOMMERFELD, 1954, p. vi-vii).

Embora Sommerfeld faça questão de enfatizar que a ótica não era só a teoria ondulatória, fica claro nos dois livros que o eletromagnetismo de Maxwell, ou seja, a teoria ondulatória clássica era a teoria que melhor representava o campo da ótica. O fato de Sommerfeld, um entusiasta da teoria quântica, expressar sua simpatia pela concepção corpuscular e usar a teoria ondulatória na sua apresentação da ótica é uma evidência que reforça ainda mais essa conclusão. Para a ótica, a primeira metade do século XX foi mais um período de continuidade com a teoria eletromagnética clássica do que com um período de revolução iniciado em 1900.



Por outro lado, é também evidente nas ponderações presentes nos dois livros, que quando se vai para ramos da ótica em conexão com outras disciplinas como física de partículas e física nuclear, o caráter corpuscular da luz não podia ser evitado. Nesse território a eletrodinâmica quântica reinava, mas não com total soberania. Ao longo do século, vários físicos desafiaram o conceito de fótons propondo explicações para fenômenos como o efeito fotoelétrico e o efeito Compton, muitas vezes vistos como evidências do caráter corpuscular da luz, com base na teoria eletromagnética clássica.<sup>14</sup> Em grande parte, esses físicos eram motivados pelo poder explanatório da eletrodinâmica clássica, que ainda hoje é utilizada com sucesso em praticamente todos os ramos da ótica, como a teoria da difração que discutiremos a seguir.

### 3.2 A TEORIA DA DIFRAÇÃO

Considerado um efeito tipicamente ondulatória, a difração é o desvio na direção de propagação da onda devido à passagem por uma abertura ou ao espalhamento por um obstáculo. Quanto maior o comprimento de onda em relação à fenda ou ao objeto difrator, mais intenso é o efeito de difração. Para objetos de dimensões macroscópicas, por exemplo, o efeito de difração com a luz visível é tão pequeno que chega a ser imperceptível. Isso permitiu a explicação desse efeito a partir de aproximações baseadas na ótica geométrica, ou seja, aproximações que tratam a luz como um raio se propagando em linha reta. É discutindo essa aproximação que Nussenzveig começa sua tese de doutorado:

A teoria clássica da difração é baseada na aproximação de Kirchhoff, de acordo com a qual a distribuição real de luz no objeto difrator, pode ser substituída pela distribuição da ótica geométrica. Essa pode ser considerada uma boa aproximação sempre que o comprimento de onda for muito pequeno quando comparado com todas as dimensões lineares do objeto, como é o caso da ótica (NUSSENZVEIG, 1957, p. 1).

---

<sup>14</sup> Em um resumo enviado para a Terceira Conferência Internacional em História da Teoria Quântica, Indianara Lima e Silva lista os seguintes físicos que ao longo do século XX desafiaram o conceito de fótons: Guido Beck (1903-1988), em seu trabalho *Zur Theorie des Photoeffekts*, publicado em 1927; Erwin Schrödinger (1887-1961), em *Über den Comptoneffect*, publicado em 1927; Gregor Wentzel (1898-1978), em *Zur Theorie des Photoelektrischen Effekts*, também publicado em 1927; John Newton Dodd (1922-2005), em *The Compton Effect – a Classical Treatment*, publicado em 1983; Janez Strnad (1934-...) em *The Compton Effect – Schrodinger's Treatment*, publicado em 1986; Willis Eugene Lamb (1913-2008), em *Marlan Orvil Scully (1939-...)*, em *The Photoelectric Effect Without Photons*, de 1969; e, novamente, por Lamb, em seu artigo *Anti-photon*, publicado em 1995.

A aproximação de Kirchhoff permitiu à teoria clássica da difração grande sucesso na explicação das franjas de difração para a luz visível. No entanto, quando o comprimento de onda é grande quando comparado com o obstáculo, a teoria clássica da difração não dá conta dos resultados experimentais. Nesse caso, é preciso levar em conta a característica ondulatória da luz que é deixada de fora na ótica geométrica (NUSSENZVEIG, 1957).

A teoria da difração era um tema que vinha recebendo crescente atenção no início da década de 1950. Em um artigo de revisão publicado por Jacob Bouwkamp em 1954, o autor registrou que entre 1940 e 1954 mais de 500 artigos que tentavam encontrar a solução de problemas de difração com base nas equações de Maxwell (BOUWKAMP, 1954, apud BORN & WOLF, 1959). Esse tipo de solução havia sido primeiro proposto por Sommerfeld em 1896 em um artigo no qual ele batizou essa abordagem de “solução rigorosa do problema de difração”. Para Sommerfeld, uma solução é rigorosa “apenas se satisfaz as equações de Maxwell dentro e fora do objeto difrator e satisfaz as devidas condições de contorno na superfície do objeto” (SOMMERFELD, 1954, p. 247).

A solução proposta por Sommerfeld é um problema de valores de contorno de grande dificuldade matemática. Para se ter um ideia, durante muito tempo ela só pôde ser obtida para problemas de geometrias simples, como o caso de uma esfera. De acordo com Nussenzveig (1957), até aquela data pouquíssimas soluções rigorosas tinham sido encontradas e todas as tentativas de obtê-la em problemas mais realistas tinham falhado. Entretanto, novos métodos matemáticos deram ânimo aos físicos que trabalhavam com esses problemas. Entre eles, Schwinger e seu grupo tinha aplicado com sucesso o método de Wiener-Hopf. Desenvolvido pelos matemáticos Nobert Wiener e Eberhard Hopf em 1931 para a solução de equações integrais, esse método foi extensivamente utilizado na solução de problemas de física teórica (DIMITRIEV, 1987). Entretanto, o que nos chama atenção aqui não é o método, mas o envolvimento de Schwinger e seu grupo com a teoria da difração. Entre os jovens e notáveis físicos americanos de sua época, Schwinger entrou para a história da física como um dos homens que construíram a eletrodinâmica quântica (SCHWEBER, 1994). Os esforços de Schwinger em ótica clássica, assim como toda a história dessa disciplina na primeira metade do século, foram ofuscados pelo desenvolvimento da teoria quântica e da eletrodinâmica quântica, disciplina que nas décadas seguintes passou a ser, para citar Feynman, “a joia da física” (FEYNMAN, 1988).

Apesar dos mais de quinhentos trabalhos contados no artigo de revisão de Bouwkamp, para Nussenzveig (1957), “a maior parte das soluções rigorosas foi obtida por métodos matemáticos relativamente complicados que tendiam a obscurecer o significado

físico dos resultados.” Dessa forma, ele argumenta:

Parece desejável encontrar um método mais simples para lidar com um típico problema e que permitiria iluminar as seguintes questões: a) as razões para o sucesso da aproximação de Kirchhoff. b) Os erros e os limites de validade dessa aproximação. c) A possibilidade de que a aproximação de Kirchhoff seja o primeiro passo para uma solução precisa por um método de aproximações sucessivas. d) Encontrar a imagem física dos fenômenos que ocorrem nas regiões de pequenos e de grandes comprimentos de onda, permitindo a compreensão da conexão entre elas. (NUSSENZVEIG, 1957, p 4).

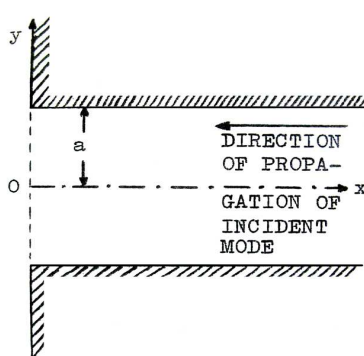


Figura 1: Dupla cunha. (NUSSENZVEIG, 1957, p.7).

Essas foram as questões investigadas por Nussenzveig em sua tese de doutorado a partir da solução de um “típico problema de difração: o problema da 'dupla cunha'” (double wedge). A dupla cunha (figura 1) pode ser considerada um guia de ondas constituído por um par de placas perfeitamente condutoras, semi-infinitas e paralelas. Obtendo a solução rigorosa para esse problema, Nussenzveig analisou o seu comportamento para a fenda estreita (grandes comprimentos de onda) e para a fenda larga (pequenos comprimentos de onda), discutindo também a influência das bordas na solução. Os resultados obtidos por Nussenzveig são bem descritos por Guido Beck em carta ao casal José e Maria Laura Leite Lopes:

A coisa mais importante que encontrei em São Paulo se chama H. M. Nussenzveig. O fiz calcular um problema de difração, depois de haver simplificado o problema da antena que quis resolver em Paris. O Nussenzveig dentro de 15 meses de trabalho resolveu o problema rigorosamente. Dá tudo que ficou depois do trabalho do Sommerfeld de 1897. Dá a transição entre a fenda larga e a fenda estreita, a conexão entre correntes estacionárias, permite controlar as formulas de Kirchhoff e ver onde falham e como falham, dá pela primeira vez a influência das bordas para um problema de ótica e abriu as portas para a solução rigorosa do problema da antena. Já tem 80 páginas de manuscrito, faltam mais 40 páginas. (Beck, G., 26 de fevereiro de 1957).

Nussenzveig com sua aptidão para a matemática, já demonstrada antes mesmo da graduação, sob orientação de Guido Beck que simplificou o problema, conseguiu obter em pouco mais de um ano uma solução de reconhecida complexidade matemática. No *Principle of Optics*, Max Born e Emil Wolf reconheceram a complexidade do problema: “problemas de difração estão entre os mais difíceis encontrados em ótica. Soluções que de alguma forma podem ser consideradas como rigorosas são realmente raras em teoria da difração” (BORN & WOLF, 1959, p vi). Quando essa passagem foi escrita, Max Born não conhecia o trabalho de Nussenzveig, ele só ficou tomou conhecimento da tese de Nussenzveig depois de ter escrito o capítulo sobre a teoria rigorosa da difração, mas em correspondência com Guido Beck ele teceu grandes elogios a ela, lamentando que não tivesse chegado a tempo de ser citada no *Principles of Optics*:

Eu lhe agradeço enormemente pelo envio da dissertação extraordinária do senhor Nussenzveig. É uma obra fantástica e detalhada [...]. É uma pena que ela chegue tão tarde e não possa ser discutida no meu novo livro sobre óptica ou mesmo citada.[...] É realmente uma pena que não se possa falar mais sobre a sua escola nesse compêndio, uma vez que nós já terminamos a correção das provas. Talvez seja possível inserir uma página ao final sobre a literatura recente. (Max Born, 15 de agosto de 1958).

O desenvolvimento da teoria da difração na primeira metade do século XX, juntamente com análise das abordagens dos livros Born e Wolf (1959) e Sommerfeld (1954), sugerem que a eletrodinâmica clássica ainda era a principal ferramenta para os físicos que trabalhavam em ótica na década de 1950. Entretanto, nessa mesma década a disciplina passou por uma reconfiguração que resultou em novos métodos e abordagens que tem como um dos principais pontos de partida um experimento de interferometria realizado em por Robert Hanbury Brown e Richard Twiss.

### 3.3 MEDINDO ESTRELAS, DESPERTANDO CONTROVÉRSIAS: O EXPERIMENTO DE HANBURY BROWN E TWISS (1955)

Entre o trabalho de Sommerfeld em 1896 e a tese de doutorado de Nussenzveig em 1957 o mundo havia se transformado, e com ele se transformou também a comunidade de físicos. Invenções como o rádio, o automóvel e o avião fizeram o mundo parecer menor. Na década de 1950 “havia uma série de conferências para todos os tipos de profissões e atividades: cientistas, meteorologista, engenheiros, estatísticos, matemáticos, missionários,

ativistas pela paz (BLAINEY, 2005). Essas inovações e suas consequências certamente alteraram a dinâmica da comunidade de físicos, mas o que potencializou o desenvolvimento e o impacto dessas invenções foi também o que trouxe as alterações mais dramáticas para a comunidade dos físicos: as duas Grandes Guerras Mundiais. Na primeira, a química foi a ciência que mais contribuiu para os esforços de guerra, na segunda foi a vez da física. Essa relação entre ciência e guerra alterou significativamente o curso das guerras e mais ainda o curso dessas ciências (RON, 2000).

Para a física, a Segunda Guerra Mundial foi em muitas maneiras um divisor de águas. Ela alterou radicalmente a relação entre ciência, governos, militarismo e indústrias (KRAGH, 1999, p. 295). Para a ótica em particular, o projeto do radar levou a uma série de desenvolvimentos que estimulou o campo e levou a alterações dramáticas na sua configuração. O que discutiremos a seguir é em grande parte fruto desses desenvolvimentos, entre os quais estão fotodetectores de alta sensibilidade, o *laser*, e a nova relação que se estabeleceu entre físicos e engenheiros (RON, 2000; KRAGH, 1999). Todos eles, tomando emprestada a metáfora de Helge Kragh, “foram filhos da ciência e tecnologia dos tempos de guerra” (KRAGH, 1999, p. 386).

O cenário pós Segunda Guerra Mundial foi palco de grandes transformações na física não só pelo status que ela adquiriu durante a guerra, mas também pelas aplicações das tecnologias que foram desenvolvidas ou aprimoradas, e que passaram a ser aplicadas em diversos campos da física. Além disso, a física passou a receber pesado financiamento de instituições militares que visavam o desenvolvimento de novos dispositivos com aplicações bélicas, que haviam provado sua importância durante a guerra. A presença dessas verbas militares, na física norte-americana em especial, levou historiadores como Paul Forman à chamada tese da distorção, segundo a qual essa aliança entre físicos e militares distorceu o próprio conteúdo da física feita no pós-guerra, desviando o foco da física básica para a física aplicada. Joan Bromberg (2006) por sua vez, argumenta que no pós-guerra a física aplicada e a física básica andavam de mãos dadas, de modo que era impossível divorciar o processo de criação de dispositivos tecnológicos das questões de física básica.

O experimento desenvolvido por Robert Hanbury Brown e Richard Twiss em meados da década de 50 e sua repercussão na comunidade de físicos é um caso ilustrativo de todos esses pontos. Desenvolvido com tecnologia gerada a partir dos esforços militares, esse experimento levantou questões fundamentais que revolucionaram a ótica - um dos campos que mais receberam financiamentos militares - nas décadas de 1950 e 1960, gerando uma “tempestade de controvérsias” (BROMBERG, 2010). Naturalmente, uma análise profunda de

desse processo foge do escopo desse trabalho, mas o utilizaremos aqui como um guia para a compreensão dos debates que estão na base da criação da ótica quântica e que ocorreram nos Estados Unidos no período que Nussenzveig redigiu o livro *Introduction to Quantum Optics*.

Robert Hanbury Brown e Richard Twiss, o primeiro, engenheiro elétrico com doutorado em rádio engenharia, o segundo, graduado em matemática com doutorado sobre a teoria dos magnetrons, trabalharam juntos no desenvolvimento do radar durante a segunda guerra mundial. A dupla é também um bom exemplo de como o ambiente da física americana durante a guerra propiciou a interação profícua entre profissionais com formações diversas. Ao fim da guerra, os dois continuaram a parceria que entre 1949 e 1954 resultou no desenvolvimento de um interferômetro de intensidade que permitia medir o diâmetro de estrelas que emitiam radiação eletromagnética na faixa de rádio frequência.

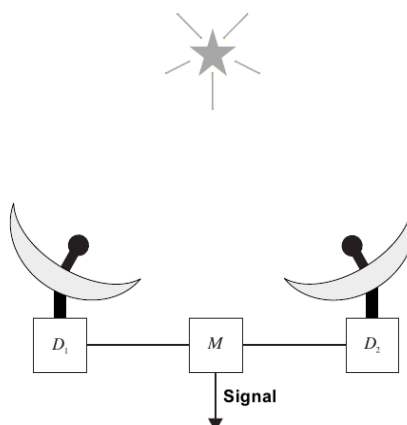


Figura 2: esquema do interferômetro de intensidade de Hanbury Brown e Twiss (Glauber, 2005).

Nesse esquema simplificado – suficiente para nosso objetivo – podemos compreender mecanismo de funcionamento do interferômetro de intensidade desenvolvido por Hanbury Brown e Twiss. A radiação emitida pela estrela era captada pelas antenas, gerando correntes elétricas que flutuam de acordo com a flutuação da intensidade da radiação captada. Essas correntes eram recebidas pelos detectores D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> e enviadas ao dispositivo M, onde eram correlacionadas. Apenas a correlação entre essas flutuações de intensidade era medida (BROWN & TWISS, 1956). A variação da correlação entre os sinais, medida como função da separação entre as antenas, permitia então o cálculo do diâmetro angular das estrelas. Com um interferômetro desse tipo Hanbury Brown e Twiss calcularam o diâmetro de muitas fontes de rádio frequência, sem despertar nenhuma reação inesperada (GLAUBER, 2005).

Na base do princípio de funcionamento desse interferômetro estava a teoria

eletromagnética clássica. Segundo essa teoria, se a radiação emitida pela estrela é coerente, i.e., mantém as relações de fase para diferentes pontos do espaço-tempo, a intensidade da onda eletromagnética varia muito pouco para pontos dentro de uma região chamada área de coerência. Para fontes de radiação como as estrelas, essa intensidade flutua de forma aleatória, mas o importante é que esses pontos dentro da área de coerência apresentam a mesma flutuação. Dessa forma, se espera que quando uma das antenas registra uma flutuação, a outra também registre flutuação semelhante. Essas correlações entre flutuações nos sinais captados é que eram medidas e multiplicadas no correlacionador, gerando um padrão de interferência entre os sinais captados que, sabendo-se a distância entre as antenas, permite calcular o diâmetro angular da fonte emissora (PAUL, 2004).

Até onde os autores utilizaram esse modelo para medidas de radiação na faixa de radio frequência tudo foi encarado de forma muito natural. O problema surgiu quando eles se perguntaram se poderiam realizar o mesmo tipo de experimento substituindo as ondas de rádio por luz visível e então medir o diâmetro angular de estrelas visíveis (BROMBERG, 2010).

Em 1955 eles começaram o projeto de adaptar o interferômetro de intensidade para a medida de estrelas visíveis. O primeiro passo foi então provar em laboratório que o princípio do experimento era válido também para a luz visível a intensidade muito baixas, semelhante à luz que seria recebida de uma estrela. Para montagem do novo aparato bastava “substituir as antenas por espelhos e os detectores de radio frequência por células fotoelétricas” (BROWN & TWISS, 1956). Mostrar que o princípio do interferômetro era válido era mostrar que a luz coerente deveria produzir flutuações correlacionadas nos sinais e que, da mesma forma que no aparato desenhado para rádio frequência, essas flutuações também apresentariam correlações que variam com a distância entre os fotodetectores. No entanto, uma vez que os fotodetectores funcionavam com base no efeito fotoelétrico, era natural invocar o conceito de fóton para explicar o processo de detecção. Sendo assim, Hanbury Brown e Twiss tinham agora que se preocupar com esse conceito. Era “essencial para a operação de tal sistema que o tempo de chegada dos fótons aos dois fotodetectores fosse correlacionado, quando a luz incidente sobre os dois espelhos fosse coerente”. Até onde se sabia “esse efeito fundamental ainda não foi observado com a luz, e de fato sua real existência tem sido questionada” (BROWN & TWISS, 1956).

No que concerne à descrição clássica da luz, se os feixes captados nos fotodetectores fossem coerentes deveria haver correlação entre os sinais. No que concerne à descrição quântica, se tivermos em mente o conceito de fótons como um pacote de energia

indivisível, aparentemente não deveria haver correlação. Nesse caso, para que houvesse correlações, os fótons tinham que chegar aos pares aos fotodetectores e os físicos que Hanbury Brown e Twiss consultaram não gostavam nem um pouco da ideia (BROWN & TWISS, 1999 apud LIMA, 2010).

Em um artigo na revista *Nature* em 1956, Hanbury Brown e Twiss concluem que:

[O] experimento mostra sem dúvida nenhuma que os fótons em dois feixes de luz são correlacionados e que essa correlação é preservada no processo de emissão fotoelétrica. Além disso, os resultados quantitativos estão em bom argumento com aqueles preditos pelo eletromagnetismo clássico e o *princípio da correspondência* (BROWN & TWISS, 1956).

Nesse trecho vemos que os autores apelam para o princípio da correspondência para a explicação das correlações entre os fótons. Segundo essa visão, para um número de fótons muito grande, esses fótons que a princípio deveriam ser descritos pela teoria quântica, poderiam sem problema nenhum ser descritos pela teoria clássica. Hanbury Brown e Twiss usaram esse princípio para justificar a concordância dos seus dados com as previsões da teoria clássica. Porém, com o avanço na tecnologia de detecção que ocorreu durante e depois da Segunda Guerra, os fotodetectores haviam chegado a uma precisão tal que sua sensibilidade era limitada apenas pela flutuação no número de fótons que os atingiam (BROMBERG, 2010). Tornou-se possível um experimento onde apenas poucos fótons seriam detectados nos fotodetectores e para essa situação o princípio da correspondência já não oferecia a segurança que Hanbury Brown e Twiss expressaram em sua conclusão.

No que concerne os fotodetectores, era unânime que deveriam ser explicados pela teoria quântica, mas e quanto ao feixe de luz? Podemos considerá-lo clássico mesmo no limite em que apenas poucos fótons estão no aparelho? Como podemos ver pela carta dos físicos Eric Brannen e Harry I. S. Ferguson, questões como essa vieram à tona na recepção inicial do experimento de Hanbury Brown e Twiss:

Nossa interpretação do efeito que eles estão advogando não foi essa [‘sobreposição de fótons’], mas ao invés disso, que eles esperavam um efeito similar para a divisão de amplitude de uma onda clássica, metade da amplitude indo para um fotomultiplicador e a outra metade indo para o outro. Nós pensamos que eles esperavam essa correlação mesmo a baixas intensidades, no limite em que um único fóton por vez estivesse no sistema [...]. Esse é o efeito que pediria uma revisão de alguns conceitos da teoria quântica. - Correspondência de Eric Brannen e Harry Ferguson para E. M. Purcell em 29 de Novembro de 1956, p. 1 (SILVA, 2010).



O experimento de Hanbury Brown e Twiss levou os físicos a questionamentos sobre os limites entre o mundo clássico e quântico. Anos depois, Hanbury Brown lembraria em sua autobiografia que o trabalho deles “colocou o gato entre os pombos” (BROWN & TWISS, 1991 apud SILVA, 2010, p. 1). Greenstein e Zajonc (2004) também destacam o feito do experimento sobre a comunidade dos físicos:

O resultado do experimento de Hanbury Brown e Twiss foi estonteante, não apenas falhou em demonstrar a existência de fótons e a indivisibilidade da luz fraca, mas mostrou que a luz parecia viajar através do espaço agrupada: pode-se dividir o grupo ao meio, mas as duas metades chegam simultaneamente aos fotodetectores. O resultado estatelou a comunidade de físicos e gerou uma disciplina inteiramente nova, o estudo explícito da natureza quântica da luz (GREENSTEIN & ZAJONC, 2004).

De fato, a repercussão desse experimento abalou a comunidade de ótica, levantando questões e controvérsias, que forçaram os físicos a explicitarem suas concepções sobre a natureza da luz (SILVA, 2010; BROMBERG, 2010). Entretanto só recentemente os historiadores da física têm se voltado para tais controvérsias que em seu conjunto podem ser vistas, como propõe Bromberg (2010), como uma revolução em ótica ocorrida em meados do século XX. No intuito de mapear essa revolução Bromberg (2010) sugere uma periodização que a divide em cinco estágios:

O primeiro envolve a proposta [...] do experimento de Hanbury Brown e Twiss, a prova de que o princípio do experimento era válido para a luz visível e as primeiras contendas com cientistas que criticaram o experimento, ou as ideias de ambos [os autores]. [...] O segundo seria o primeiro grupo de teorias que tentaram explicar os resultados experimentais. Esse seria de 1956 a 1960. O terceiro é o aparecimento de lasers funcionais e as investigações sobre a aplicação do laser na interferometria de intensidade. Estou datando esse estágio de aproximadamente 1960 até aproximadamente 1963. O quarto é a teoria de Glauber e a controvérsia com Emil Wolf. E o último, começando em 1965, é a delimitação da jurisdição da teoria clássica *vs.* teoria quântica de campos. (BROMBERG, 2010, p. 4).

Nessa periodização, o trecho da carta dos físicos Eric Brannen e Harry I. S. Ferguson ao prêmio Nobel E. M. Purcell se encaixa no primeiro estágio. As primeiras reações ao experimento de Hanbury Brown e Twiss têm sido investigadas por Indianara Silva que discutiu as críticas feitas por Brannen e Ferguson a Brown e Twiss e o debate que também envolveu outros físicos. “Enquanto que Brannen e Ferguson tinham o suporte do renomado físico húngaro Lajos Jánossy com relação à impossibilidade de correlação de fótons, Brown e Twiss tinham o suporte de físico americano Edward Mills Purcell da Universidade de

Harvard, que tinha recebido o Prêmio Nobel em 1952” (SILVA, 2010).

Desse debate surgiu também a primeira explicação satisfatória do efeito que recebeu o nome de *efeito Hanbury Borwn e Twiss*, que veio de Edward Purcell ainda em 1956. Purcell usou um modelo semiclássico, baseado na teoria clássica da coerência, junto com a fórmula do tempo de relaxação para o ruído de radio frequência que havia sido desenvolvida durante a guerra (GLAUBER, 2005). Como Purcell, a maior parte dos físicos que tentaram explicar o efeito Hanbury Brown e Twiss utilizou modelos semiclássicos, embora muitos acreditassem que uma explicação completa deveria ser necessariamente quântica (BROMBERG, 2010).

Na base desses modelos do efeito observado por Hanbury Brown e Twiss estava o conceito de coerência, isso fica claro na exigência feita pelos próprios autores. No entanto, embora alguns fenômenos de coerência, como a interferência, fossem conhecidos de todos os físicos, segundo Wolf e Mandel (1965):

Não há um consenso geral sobre o significado preciso para o termo coerência ou sobre o domínio englobado pela teoria da coerência [...]. Em um sentido amplo, a teoria da coerência ótica se preocupa com a descrição estatística das flutuações, e coerência ótica pode ser vista como manifestações das correlações entre elas.

Na época do experimento de Hanbury Brown e Twiss, a teoria clássica da coerência, então conhecida apenas como teoria da coerência, já vinha sendo desenvolvida há algum tempo. Pouco antes da realização do experimento a teoria da coerência de segunda ordem, i.e., coerência para grandezas que dependem quadraticamente do campo elétrico, como era o caso da intensidade, tinham acabado de ser formuladas. O principal resultado dessas teorias foi estabelecer a relação entre as variáveis do campo em dois pontos do espaço-tempo e a formulação das leis dinâmicas que essas correlações obedeciam (WOLF & MANDEL, 1965). Essas eram as correlações para a intensidade da radiação captada nos fotodetectores que eram medidas no interferômetro de Hanbury Brown e Twiss. Logo, até onde era utilizada luz térmica, as teorias de coerência de segunda ordem conseguiram explicar satisfatoriamente as correlações observadas no experimento.

Entretanto, se o debate já havia começado quente com a utilização de luz térmica, as novas fontes de luz desenvolvidas na década de 1960, viriam a esquentá-lo ainda mais. O *laser* com todas as suas aplicações tecnológicas civis e militares foi de extrema importância para a ótica, não só por ser um poderoso instrumento científico, mas também porque reavivou o campo e trouxe consigo uma enxurrada de financiamentos (KRAGH, 1999; BROMBERG,

2010). Além de aquecer o campo como um todo, o *laser* estimulou ainda mais os debates relativos ao experimento de Hanbury Brown e Twiss.

O alto grau de coerência, uma das principais características da radiação dos *lasers*, foi o principal responsável pelo impacto desse instrumento nos debates sobre o experimento de Hanbury Brown e Twiss. O grau de coerência define o quão bem os feixes captados nas antenas do interferômetro de Hanbury Brown e Twiss interferem entre si, ou seja, quanto maior o grau de coerência, mais claro é o padrão de interferência. Quando empregado naquele experimento, o *laser* apresentava correlações que iam além das correlações de segunda ordem previstas pelas teorias de coerência existentes. Dessa forma, tornou-se clara a necessidade de uma abordagem mais geral, que permitisse uma descrição completa das propriedades dos campos (WOLF & MANDEL, 1965; GLAUBER, 1963).

### 3.4 A CONTROVÉRSIA GLAUBER VS. WOLF, MANDEL E SUDARSHAN

Não demorou muito para que os físicos formassem teorias para explicar os novos fenômenos que vieram à tona com o surgimento do *laser*. Em 1963 já haviam aparecido as primeiras. Emil Wolf, na Universidade de Rochester, e Leonard Mandel, na Universidade de Londres, que já vinham há algum tempo trabalhando com teoria da coerência, desenvolveram uma abordagem baseada na antiga teoria da coerência e em conceitos da teoria dos processos estocásticos que “empregava uma descrição quase que inteiramente clássica do campo”, (WOLF & MANDEL, 1965, p. 232). Em paralelo, Roy Glauber, na Universidade de Harvard, desenvolveu uma teoria da coerência que diferia das outras por ser sistematicamente quantum mecânica (GLAUBER, 1963). Esses foram também os primeiros passos para uma querela pela jurisdição dessas teorias que, na periodização de Bromberg, é o quarto estágio da revolução de meio do século em ótica. De um lado, Glauber e seus seguidores, do outro, Wolf e seu grupo na Universidade de Rochester, ao qual Mandel se juntou em 1964.

As farpas da controvérsia apareceram mesmo nas publicações. Em fevereiro de 1963, em um *Physical Review Letters*, Glauber afirma que algumas previsões feitas por Mandel e Wolf eram “enganosas e foram tiradas de um modelo inapropriado do feixe de maser” (GLAUBER, 1963b). Na edição seguinte da revista veio a resposta de Mandel e Wolf, na qual os autores rebatiam a afirmativa de Glauber, seguida por um trabalho de Goerge Sudarshan, outro físico da Universidade de Rochester, no qual ele mostrava a equivalência entre a teoria quântica da coerência e a sua contrapartida clássica. Pelo teorema da equivalência, como ficou conhecido, as funções de correlação quantum mecânica são

expressas na mesma forma que as clássicas se certa distribuição generalizada no espaço de fase for empregada para a descrição estatística das propriedades do campo (SUDARSHAN, 1963). Dois anos depois, dois partidários da teoria quântica da coerência criticaram o trabalho de Sudarshan dizendo que seu “teorema da equivalência era matematicamente sem sentido e não tinha conteúdo físico” (BROMBERG, 2010, p. 13).

O debate evoluiu para a discussão do domínio de validade das teorias. Glauber enfatizava a generalidade de sua teoria quântica da coerência que explicaria resultados que as teorias semiclássicas não davam conta:

Experimentos tais como aqueles de correlações quânticas sugerem [...] a crescente importância dos estudos de estatística de fótons. Tais estudos estão largamente fora do domínio da teoria clássica. Observar que a teoria quântica é fundamentalmente necessária para o tratamento desses problemas não é dizer que as teorias semiclássicas levam sempre a resultados incorretos. Pelo contrário, respostas corretas para certas classes de estatística de fótons podem ser encontradas através da adaptação de métodos clássicos. Existem, entretanto, virtudes distintas em reconhecer onde tais métodos são bem sucedidos e onde não o são. [...] Alguns dos nossos argumentos podem ser facilmente parafraseados em termos clássicos. Muitos deles parecem ser novos no contexto da teoria clássica. (GLAUBER, 1963a, p. 2559).

As respostas corretas a que Glauber se referia eram a explicação de Purcell para o experimento de Hanbury Brown (GLAUBER, 1963a, nota 3). Esse foi também um dos pontos de partida que Wolf e Mandel tomaram para desenvolver a nova teoria da coerência que dava conta dos efeitos que Glauber argumentavam serem novos no contexto da teoria clássica. Para mostrar isso, Emil Wolf, Leonard Mandel e Goerge Sudarshan, todos já envolvidos diretamente na controvérsia, reuniram-se para uma publicação em conjunto. Em 1986 Wolf lembraria em uma entrevista a motivação dessa publicação:

Nós começamos tentando ver se realmente se precisaria quantizar o campo eletromagnético como Glauber afirmou ou se poderia usar argumento semiclássico. [...] Então, o contexto desse trabalho era ver se Glauber estava realmente certo [...] em insistir em aplicar eletrodinâmica quântica nisso. A resposta foi não, você não precisava disso. E essa era realmente a resposta (WOLF, 1983-4, p. 54-55).

Uma discussão substancial se desenvolveu em torno da definição dos domínios das abordagens semiclássica e quântica. Em 1966, Mandel e Wolf publicam um novo artigo “por conta dos mal-entendidos envolvendo o uso de métodos semiclássicos no tratamento de problemas de coerência ótica” (MANDEL & WOLF, 1966). Nesse trabalho eles se prestam a

desfazer um mal-entendido derivado do princípio da correspondência. Segundo eles, era “comum (mas errada) a crença de que métodos semiclássicos sempre falham quando a intensidade da luz é suficientemente baixa, e que existem características estatísticas de medições fotoelétricas que não podem ser descritas por um tratamento semiclássico”. Para mostrar que esse raciocínio era inválido os autores discutem o domínio de validade das teorias semiclássicas para a estatística de fótons para um *laser* 'ideal', problema que havia sido bem descrito pela teoria quântica da coerência, e mostram que mesmo a baixa intensidade, os resultados obtidos com métodos semiclássicos são idênticos aos obtidos com método quântico.

Em 1966 Wolf e Mandel já haviam reconhecido que havia limites para os modelos semiclássicos. Nesse mesmo artigo onde enfatizam que as teorias semiclássicas dão conta de explicar a estatística de fótons mesmo a baixas intensidades, os autores reconhecem que essas teorias não dão conta de explicar alguns estados do campo, citando como exemplo os estados de Fock – estados onde o campo possui um número bem definido de fótons. Entretanto, os autores enfatizam que mesmo com essa restrição os métodos semiclássicos ainda são de “grande generalidade” e que na maioria dos casos, “os mesmos resultados são obtidos mais simples e diretamente por tratamentos semiclássicos” (MANDEL & WOLF, 1966, p. 149). Mais de 15 anos depois, Wolf continuaria a enfatizar que “existem muito poucos experimentos que você precisa da teoria quântica da coerência. [...] praticamente todos os problemas em ótica podem ser tratados pela teoria clássica ou semiclássica.” (WOLF 1983-4, p. 53)

Quando Nussenzveig chegou à Universidade de Rochester a convite de Emil Wolf, em 1965<sup>15</sup>, essa controvérsia já havia se amenizado e os limites das teorias semiclássicas já estavam aparentes, mas Wolf e Mandel ainda continuavam a defender os métodos semiclássicos como sendo preferíveis em seu domínio de validade. O argumento deles seguia basicamente em torno do tipo de teoria que os físicos devem favorecer, além de enfatizar a simplicidade, eles defendiam que as teorias semiclássicas traziam muito mais claramente a essência dos fenômenos. Por outro lado, Glauber repetidamente enfatizava a generalidade de sua abordagem, que cobre casos inacessíveis às abordagens que tratam o campo

---

<sup>15</sup> Embora Nussenzveig estivesse em Rochester durante essas controvérsias, não tivemos acesso a fontes que apontem seu envolvimento nesses debates. Pesquisas ulteriores nos arquivos da Universidade de Rochester podem iluminar esse aspecto.

classicamente.

O debate entre Glauber e o grupo de Rochester girou em torno da necessidade da quantização, mas a alegação de Glauber de que a radiação eletromagnética deveria ser explicada com base na eletrodinâmica quântica partia do princípio que essa teoria era uma teoria satisfatória. Entretanto, como veremos na seção seguinte, na década de 1960, certo número de físicos estavam incertos a respeito da eletrodinâmica quântica e alguns deles eram até mesmo hostis” (BROMBERG, 2006).

### 3.5 A ELETRODINÂMICA QUÂNTICA EM QUESTÃO

Em 1966, um ano depois de Nussenzveig chegar a Rochester, uma palestra apresentada na segunda *Rochester Conference on Coherence and Quantum Optics* intitulada “Is QED Necessary?” chamou a atenção dos participantes. A palestra apresentada pelo professor da Universidade de Washington Edwin T. Jaynes “despertou tanta controvérsia que culminou em uma aposta entre Jaynes e o físico da Universidade de Michigan Peter A. Franken: Jaynes poderia fazer um cálculo quantitativo do Lamb shift dentro de dez anos [sem a EDQ]?” O Lamb-shift é uma pequena diferença entre dois níveis de energia do átomo de hidrogênio que a princípio deveriam ter a mesma energia, mas a interação do elétron com o vácuo causa essa pequena diferença, que foi medida pela primeira vez por Willian Lamb e Robert Rutherford. O próprio Lamb foi quem guardou o dinheiro (U\$50,00 de cada) e decidiu o caso (BROMBERG, 2006, p. 244). Dez anos depois Nussenzveig relembriaria essa polêmica aposta em um seminário na Universidade de São Paulo (BASEIA, 2011). A aposta estimulou a pesquisa e converteu as conferências de Rochester no grande palco de trabalhos relativos à Teoria Neoclássica (BROMBERG, 2006, p. 244).

Desenvolvida a partir do final da década de 1920, a EDQ foi a primeira teoria a descrever a interação entre matéria e radiação a partir do formalismo da teoria quântica e levando em conta efeitos relativísticos. Essa teoria inicialmente obteve grande sucesso na descrição de fenômenos que envolviam a interação entre partículas carregadas e radiação. Entretanto, com seu desenvolvimento, tentativas de cálculos mais refinadas levaram a resultados infinitos, aparentemente sem significado físico. Só no final da década de 1940 que os físicos aprenderam a extrair significado físico desses infinitos utilizando um artifício matemático chamado de *renormalização*. No entanto, muitos físicos não ficaram satisfeitos com essa solução. Para Paul Dirac (1922-1984), um dos pais da EDQ, a renormalização era “não mais do que um truque mágico inventado para disfarçar problemas fundamentais”. Até o

final de sua vida Dirac manteve a mesma opinião (BAPTISTA, 1988).

Na década de 1960, entre os oponentes mais ardentes à EDQ estava Edward Jaynes.

Segundo ele:

Apesar de todo o trabalho de duas gerações de teóricos [...] a presente eletrodinâmica quântica contém muitas dificuldades lógicas e matemáticas. Em quase todos os cálculos encontram-se integrais divergentes e ambíguas [...]. Conseqüentemente, muito embora tenhamos aprendido a manipular as divergências da eletrodinâmica quântica com destreza suficiente para extrair resultados finitos significativos, uma teoria corretamente formulada não deve requerer artifícios adicionais *ad hoc* a fim de obter predições físicas (CRISP & JAYNES, 1969, p. 1253-1254).

Entretanto, Jaynes foi além da crítica à EDQ. Ele tomou para si o desafio de construir uma teoria semiclássica rival que conseguisse prever todos os fenômenos usualmente considerados previsíveis apenas pela EDQ. O primeiro trabalho sobre o tema foi com seu estudante Frederick W. Commings, publicado em 1963. A teoria apresentada por Jaynes e Commings nesse trabalho, como as demais teorias semiclássicas, tratava o campo classicamente e o átomo quanticamente, entretanto, ela vai além das teorias semiclássicas usuais pela inclusão do efeito das moléculas sobre o campo. Segundo os autores, esse formalismo, que eles batizaram de 'Teoria Neoclássica' (NCT), “dá conta dos efeitos que todos os livros-textos descrevem como requerendo a quantização do campo para sua explicação” (JAYNES & COMMINGS, 1963 apud BROMBERG, 2006, p. 244). Jaynes foi capaz de derivar da NCT a fórmula correta para o tempo de vida da emissão espontânea, que é o inverso do coeficiente A de Einstein. Esse resultado só havia sido obtido por Dirac com a quantização do campo eletromagnético em 1927 e desde então era visto como intrinsecamente quanto eletrodinâmico (EBERLY, 2005, p. 12). O próximo passo de Jaynes foi em direção à vencer a aposta feita em 1966 com o cálculo do Lamb-Shift. Esse trabalho veio em 1970 como resultado da tese de outro estudante de Jaynes, Michel D. Crisp (EBERLY, 2005, p. 12).

Os detalhes quantitativos do resultado previsto pela NCT eram ligeiramente diferentes que preditos pela EDQ, mas isso era precisamente o que Jaynes queria. Jaynes esperava que os últimos avanços técnicos da ótica permitissem realizar testes que optassem entre EDQ e NCT e que esses resultados, é claro, mostrassem que a EDQ era uma teoria insatisfatória (BROMBERG, 2006). O físico da Universidade de Rochester Joseph H. Eberly (2005) destaca o papel central de Jaynes nos experimentos que desafiaram os fundamentos da teoria quântica. Para Eberly,

[...] nos primeiros 15 anos após o desenvolvimento do laser Edwin Thompson Jaynes foi a figura central em um desafio à teoria quântica que

promoveu o destaque dramático [...] no emergente campo da ótica quântica. [...] Jaynes foi o primeiro a sugerir testes de uma teoria física fundamental baseados no laser ótico, e ajudou a fazer de tais testes um dos temas mais produtivos em ótica quântica (EBERLY, 2005, p.12).

Fazer um experimento que permitisse optar entre EDQ e NCT com base na emissão espontânea, no entanto, não era tarefa fácil. A primeira proposta de experimento viável só veio em 1975 com base no fenômeno de batimentos quânticos, mas nessa época o interesse na NCT já havia caído, outro tipo de experimento falara contra ela, o experimento de desigualdade de Bell. Jaynes entendeu claramente as implicações dos resultados obtidos por Clauser e Freedman quando apresentados na conferência de Rochester de 1972. Em suas próprias palavras: “se o trabalho experimental for confirmado por outros, então meu trabalho cairá em ruínas” (EBERLY, 2005).

Clauser e Freedman utilizaram uma cascata de fótons produzida por átomos de cálcio para testar a desigualdade de Bell. Cada átomo emitia um par de fótons correlacionados que chegavam simultaneamente aos fotodetectores. Para ter certeza de que os dois fótons detectados vieram do mesmo átomo, utiliza-se um contador de coincidência, um dispositivo que registra apenas os fótons que chegaram aos fotodetectores simultaneamente. Essa mesma fonte foi depois usada por Clauser em 1974 para detecção do primeiro efeito que não poderia ser explicado classicamente, a anticorrelação de fótons (GREENSTEIN & ZAJONC, 1997; APSECT, 2011). Esse experimento foi depois repetido de forma mais elegante pelo grupo de Alan Aspect em 1986, na França, que confirmou os resultados de Clauser. Três anos depois do experimento de Clauser; Kimble, Dagenais e Mandel (1977) registraram um novo efeito que não poderia ser explicado por teorias semiclássicas, o antiagrupamento de fótons.

Embora os experimentos tenham falado contra a NCT, para Eberly, isso não diminuiu o papel de Jaynes e de sua NCT para a ótica:

[Jaynes] expressou um ponto de vista incompatível com elementos da EDQ padrão, bem como inimigos como Dirac fez, mas Jaynes foi capaz de dar dois passos adiante. Ele apontou com sucesso oportunidades para realização de testes experimentais baseados em métodos que utilizavam o poder e a coerência do laser ótico e foi o único capaz de proceder [...] positivamente, pois ele estava no comando de uma alternativa completamente desenvolvida, a proposta da teoria Neoclássica da radiação (EBERLY, 2005, p. 13).

De 1965 até os experimentos começarem a falar contra a NCT, Nussenzveig esteve na Universidade de Rochester e muito provavelmente acompanhou todo esse debate que se desenvolveu em grande parte nas conferências de Rochester, o que é confirmado pelo



comentário dele sobre a aposta entre Jaynes e Franken. No entanto, mesmo antes do aparecimento dos primeiros efeitos que não podem ser explicados por teorias semiclássicas, a ótica quântica já vinha ganhando cada vez mais adeptos entre os físicos. No capítulo seguinte discutiremos como os livros-textos e de escolas de verão contribuíram para a ascensão dessa disciplina focando no livro *Introduction to Quantum Optics* de Moysés Nussenzveig.

## 4 CONSOLIDANDO A ÓTICA QUÂNTICA ATRAVÉS DE LIVROS-TEXTOS E ESCOLAS DE VERÃO

Apesar das controvérsias e dos debates apresentados no capítulo anterior, a ótica quântica difundiu-se rapidamente entre os físicos. Uma evidência disso foi a mudança no nome da conferência de Rochester, que chamava-se *Conference on Coherence* e em 1966 passou a se chamar *Conference on Coherence and Quantum Optics* devido à ascensão desse novo campo. Ou seja, independentemente da existência de questionamentos sobre a necessidade de quantização do campo eletromagnético ou sobre a consistência da eletrodinâmica quântica, a ótica quântica ganhava cada vez mais adeptos.

Olhar para as estratégias utilizadas na defesa e divulgação desse novo campo pode nos ajudar a compreender melhor essa rápida ascensão. Terminologia foi uma das estratégias empregadas por Glauber para promover a ótica quântica. Glauber foi quem sugeriu o título “ótica quântica” para a escola de verão sobre *lasers* planejada por Cecile Dewitt-Morette em 1964 na universidade de Grenoble em *Les Houches*, França. Um “nome que pegou e que traz a ótica firmemente para o domínio da teoria quântica de campos”, argumenta Bromberg (2010). Entretanto, no caso dessa escola de verão, terminologia não foi a única estratégia de promoção da teoria. A própria escola foi um meio importante. Além disso, as notas de aulas e seminários da escola deram origem ao primeiro livro-texto de ótica quântica (DEWITT-MORETTE e colaboradores, 1964).

A Escola de Verão de Le Houches foi a primeira de uma série de escolas de verão dedicadas à ótica quântica que aconteceram na década de 1960. Para a física como um todo, esses cursos de curta duração, que ocorriam geralmente durante as férias, vinham se tornando cada vez mais frequentes. Eles eram ministrados por expoentes de um determinado campo e visavam um treinamento intensivo de estudantes de pós-graduação e jovens físicos. Uma pesquisa sobre os primeiros livros de ótica quântica revela ainda outro ponto notável associado às escolas de verão: todos os cinco primeiros livros-textos de ótica quântica foram publicados com base em notas de aulas desse tipo de curso. A tabela 1 mostra os primeiros livros de ótica quântica e quais os cursos que lhes deram origem. Tais eventos e seus livros subsequentes sugerem que essa nova forma de treinamento e produção de livros pode ter desempenhado um papel central na divulgação da ótica quântica familiarizando os jovens físicos e estudantes de pós-graduação em um período em que físicos mais experientes ainda resistiam à nova teoria.

LIVROS	CURSOS
Dewitt-Morette, C., Blandi, A. & Cohen-Tannoudji, C., 1965. <i>Quantum optics and electronics</i> , New York: Gordon and Breach Science Publishers.	Escola de Física de Les Houches, verão de 1964.
Nussenzveig, H.M., 1968. <i>Introdução à Ótica Quântica</i> , Rio de Janeiro: PUC.	Curso na PUC, Brasil, janeiro de 1968.
Klauder, J.R.; Sudarshan, EG, 1968. <i>Fundamentals of Quantum Optics</i> , New York: W. A. Benjamin.	Curso na Universidade de Berna, Suíça, Outono de 1963.
GLAUBER, R.J., 1969. <i>Quantum Optics</i> , NEW YORK: Societa Italiana Di Fisica.	Escola Internacional de Física Enrico Fermi, Itália, 31 de Julho a 19 de agosto de 1967
Nussenzveig, H., 1973. <i>Introduction to Quantum Optics</i> , London; New York: Gordon and Breach Science Publishers.	Escola Latino-Americana de Física, Universidade Nacional de La Plata, Argentina, agosto de 1970.

Quadro 1: Primeiros livros de ótica quântica e os cursos que os originaram.

Nesse capítulo, discutiremos o papel de livros-textos e de escolas de verão na consolidação da ótica quântica focando nos livros de introdução à ótica quântica de Moysés Nussenzveig. Como vemos na tabela, Nussenzveig é autor de dois dos cinco primeiros livros-textos de ótica quântica. O primeiro livro é baseado em notas de aula do curso de verão ministrado na PUC em janeiro de 1968, o segundo nas notas da Escola Latino-Americana de Física (ELAF) realizada na Argentina em 1970. Ambos “os cursos foram direcionados para físicos teóricos e estudantes de pós-graduação como introdução a um novo assunto com o qual nenhuma familiaridade prévia foi assumida” (NUSSENZVEIG, 1973). Aquelas foram as primeiras aulas de ótica quântica na América Latina. O livro de 1968 foi publicado pela editora da PUC em colaboração com o instituto de pesquisas da Marinha, o Departamento de Física da USP e o Instituto de Física da UFRJ. O livro de 1973 foi publicado pela editora científica *Gordon e Breach Science Publishers*, uma editora com tradição em publicação de livros e periódicos científicos, como parte da coleção *Documents on Modern Physics*, dedicada à publicação de livros sobre tópicos contemporâneos de física, na qual foram publicados títulos de físicos como Julian Schwinger, Robert Oppenheimer e José Leite Lopes, para ficar em nomes já citados anteriormente.

Começaremos discutindo os livros, como eles apresentam o campo de pesquisa e a opinião de Nussenzveig com relação às abordagens semiclássicas e abordagens quantizadas. Na seção seguinte discutiremos a recepção e repercussão do livro através de resenhas publicadas nas revistas *Nature* e *Physics Today* e do número de bibliotecas que atualmente possuem seus exemplares. Na penúltima seção nos voltaremos para os cursos que deram origem a esse livro. Veremos como os eventos atrelados a esses cursos foram importantes para a formação da comunidade latino-americana de física, o que reforça o impacto dos cursos. Em defesa desse ponto, discutiremos os desdobramentos do curso ministrado em 1968 na PUC. Encerramos o capítulo discutindo as contribuições de Nussenzveig para o desenvolvimento da

comunidade da ótica no Brasil através da formação dos estudantes Luiz Davidovich e Basílio Baseia. A narrativa desse capítulo traz à tona o papel dos livros-textos e das escolas de verão na consolidação de novas disciplinas científicas na segunda metade do século XX. Mais do que divulgar as novas teorias, essas iniciativas eram formas de familiarizar e alistar as novas gerações de cientistas que foram ou estavam sendo formados em áreas mais tradicionais.

#### 4.1 DEFININDO DISCIPLINAS: OS LIVROS DE INTRODUÇÃO À ÓTICA QUÂNTICA

O objetivo principal dos livros de Nussenzveig era apresentar um novo campo de pesquisa como o qual nenhuma familiaridade prévia foi assumida. Dessa forma, eles começam definindo o campo de pesquisa e suas ferramentas básicas. O livro de 1968 começa enunciando os principais desenvolvimentos da ótica na década de 1960 e suas consequências. Para ele, o *laser* e os avanços na técnica de detecção, que já foram discutidos no capítulo anterior, “permitiram acesso a um campo inteiramente fora do alcance da ótica tradicional. Mediram-se propriedades extremamente finas do campo eletromagnético e detectaram-se efeitos novos.” Em seguida ele define o novo campo de pesquisa: “dá-se a denominação de 'Ótica Quântica' ao estudo de correlações espaço-temporais do campo eletromagnético. Pode-se dizer que é resultado da combinação da eletrodinâmica quântica e mecânica estatística quântica” (NUSSENZVEIG, 1968, p. 1). Apesar de afirmar a “eletrodinâmica quântica” e a “mecânica estatística quântica” como ferramentas básicas, a definição do campo apresentada é bastante ampla e envolve tanto a teoria quântica da coerência, desenvolvida por Glauber, quanto a teoria clássica da coerência, desenvolvida por Wolf e Mandel. Ambas as teorias são apresentadas e aplicadas ao longo do livro.

No livro de 1973 essa introdução mantém o mesmo conteúdo, mas é ligeiramente reformulada. Dessa vez o papel da abordagem semiclássica aparece mais claramente: “As ferramentas básicas para lidar com esses problemas são a eletrodinâmica quântica (aproximações semiclássicas são frequentemente úteis) e mecânica estatística. O campo como um todo é geralmente referido como *ótica quântica*” (NUSSENZVEIG, 1973, p. 1) (grifo do autor). Sob esse ponto de vista, o rótulo “ótica quântica” representava todo o campo voltado para o estudo dos novos fenômeno e das “propriedades extremamente finas” do campo eletromagnético que vieram à tona com a aplicação do *laser* a experimentos como o de Hanbury Brown e Twiss, incluindo as abordagens semiclássicas. A passagem deixa claro a superioridade das abordagens quantizadas, mas não descarta as aproximações semiclássicas.

O livro não faz nenhuma referência explícita a debates ou controvérsias, mas a partir de seu conteúdo e estrutura podemos balizar a opinião de Nussenzveig com relação aos debates sobre os domínios das teorias quântica e semiclássica da coerência. A forma como o livro é organizado e apresenta o conteúdo revela uma estratégia de ênfase na importância da nova teoria quântica da coerência, mas ao mesmo tempo mostra que a teoria clássica da coerência é uma ferramenta heurística valiosa para o campo rotulado por “ótica quântica”, de forma que o real significado desse rótulo vai além do que a sua interpretação literal sugere. Os cursos foram divididos em duas partes: a primeira apresenta as teorias da coerência, estados coerentes e suas aplicações e a segunda apresenta a teoria do *laser*. No curso de 1968, a primeira parte foi apresentada na PUC do Rio de Janeiro, enquanto que a segunda foi apresentada na Universidade de São Paulo. Ambas foram apresentadas no curso da ELAF. Enquanto o livro publicado em 1968 apresenta estritamente as notas de aula e foi publicado ainda em janeiro daquele ano, o livro de 1973 passou por um amplo processo de edição. Nesse último, além do conteúdo do livro anterior, que teve sua apresentação reformulada, Nussenzveig incluiu um novo capítulo, um apêndice com desenvolvimentos mais recentes do campo e adicionou novas seções a capítulos anteriores. Seções com resultados inéditos foram incluídas nos capítulos sobre a teoria quântica da coerência e suas aplicações. Nelas Nussenzveig discute as propriedades dos estados coerentes, mostrando que “embora a definição de estados coerentes pareça estar ligada ao fato de que os detectores comuns operam por absorção, eles possuem um significado mais fundamental: eles contêm toda a informação estatística sobre o campo” (NUSSENZVEIG, 1973, seções 2.3 e 4.4).

Depois de apresentar as teorias clássica e quântica da coerência, Nussenzveig discute o teorema da equivalência entre essas duas teorias formulado por Sudarshan. Para Nussenzveig, “o teorema da equivalência deve geralmente ser entendido em um sentido puramente formal e deve-se estar ciente de suas limitações” (NUSSENZVEIG, 1973, p. 66). Primeiramente, o conteúdo físico da teoria quântica é vastamente diferente da teoria clássica. Entretanto, “o teorema ótico da equivalência, empregado com cuidado, fornece *insights* valiosos sobre a conexão entre as descrições clássica e quântica e nos permite fazer uso dos resultados clássicos, via princípio da correspondência, a fim de estendê-los ao domínio quântico” (NUSSENZVEIG, 1973, p. 68). Dessa forma, a teoria clássica da coerência é apresentada como mais do que uma introdução à teoria quântica da coerência, ela é encarada como uma ferramenta heurística importante, que pode ser convenientemente utilizada em seu domínio de validade. Isso fica claro na segunda parte do livro, onde Nussenzveig, após apresentar os princípios de funcionamento do *laser*, dedica um capítulo à teoria semiclássica

do *laser*. O capítulo começa com uma breve justificativa para a utilização da teoria semiclássica:

Devido à alta intensidade que pode ser concentrada em poucos modos, o número médio de fótons por modo no campo de um laser é extremamente alto. Dessa forma, para muitos propósitos, é bem adequado tratar o problema pela teoria semiclássica da radiação, na qual os átomos são tratados pela mecânica quântica, mas o campo eletromagnético é tratado em termos clássicos, i.e., não quantizado. (NUSSENZVEIG, 1973, p. 99).

Na passagem acima Nussenzveig baseia-se no princípio da correspondência para justificar a utilização da teoria semiclássica. Assim, a segunda parte do livro foi composta de três capítulos. O primeiro é dedicado à teoria semiclássica do *laser*, o segundo à teoria quântica do *laser* e o último, que foi adicionado posteriormente, trata de “fenômeno coletivos”, como a superradiância, de um ponto de vista semiclássico. Esses fenômenos envolvem a absorção e emissão de radiação por conjuntos de átomos que se comportam coerentemente, como se fossem um único sistema quântico. No caso da superradiância, “essa coerência entre os átomos significa que a taxa de radiação de um sistema de  $N$  átomos torna-se proporcional a  $N^2$ , ao invés de  $N$ , como ocorreria para uma emissão incoerente” (NUSSENZVEIG, 1973, p. 171). Levando em conta que a superradiância é tratada por uma abordagem semiclássica, nessa segunda parte do livro a teoria clássica da coerência é mais utilizada do que a sua contrapartida quântica.

Entretanto, se por um lado Nussenzveig valoriza a utilização da teoria semiclássica no seu domínio de validade, por outro ele começa o capítulo sobre a teoria quântica do *laser* explicitando claramente os limites daquela teoria:

O principal limite da teoria semiclássica é que ela não inclui o efeito de emissão espontânea. Como consequência disso, os seguintes efeitos não podem ser adequadamente tratados com base em na teoria semiclássica:

- 1) Largura espectral intrínseca [...];
- 2) Acumulo transiente a partir do vácuo [...];
- 3) Estatística de fótons [...]. (NUSSENZVEIG, 1973, p. 137)

Enunciando essas limitações para teorias semiclássicas, Nussenzveig estava claramente se posicionando em relação aos debates apresentados no capítulo anterior. Como vimos, havia explicação semiclássica tanto para o efeito de emissão espontânea como para a estatística de fótons. O efeito de emissão espontânea havia sido predito por Edwin Jaynes com base na teoria Neoclássica. Relembremos que a solução encontrada por Jaynes diferia da previsão da eletrodinâmica quântica pela evolução temporal, mas até a época em que o livro

foi publicado nenhum experimento tinha sido capaz de favorecer a opção entre as duas predições. A estatística de fótons teve sua explicação semiclássica apresentada por Emil Wolf e Leonard Mandel em 1966, no artigo *Photon Statistics and Classical Fields*, onde os autores mostram que a abordagem semiclássica descreve as características estatísticas das detecções fotoelétricas para o modelo de um *laser* “ideal”, argumentando que ela leva aos mesmos resultados que a abordagem quântica de forma mais simples e direta (MANDEL & WOLF, 1966).

A opinião de Nussenzveig com relação aos limites de teorias semiclássicas não concorda completamente com nenhum dos lados apresentados nos debates do capítulo anterior. Ao contrário de Glauber, que defendia que o *laser* deveria necessariamente ser explicado pela teoria quântica da coerência que ele foi um dos principais desenvolvedores, Nussenzveig defende a utilização de abordagens semiclássicas dentro de seus domínios de validade quando for conveniente. Entre as opiniões apresentadas a mais próxima da de Nussenzveig seria a sustentada por Mandel e Wolf, ambos trabalhavam no mesmo grupo que ele. No entanto, a opinião de Nussenzveig sobre os limites das teorias semiclássicas divergia da opinião de sustentada por Mandel e Wolf no artigo de 1966. Possivelmente Nussenzveig não se satisfiz com o tratamento desenvolvido por Mandel e Wolf para a estatística de fótons, o que o fez optar pelo tratamento quantizado, o que mostra uma independência intelectual de Nussenzveig em relação a seus colegas de Rochester, incluindo Emil Wolf, quem o havia convidado para aquela universidade.

#### 4.2 A RECEPÇÃO E REPERCUSSÃO DO LIVRO

O livro *Introduction to Quantum Optics* recebeu duas resenhas positivas em revistas científicas de prestígio. A primeira foi publicada na revista *Physics Today* pelo físico norte americano Marlan O. Scully da Universidade do Arizona, Estados Unidos, em agosto de 1975. A segunda foi publicada na revista *Nature* pelo físico britânico Geoff H. C. New do Imperial College London, em setembro de 1975. Criada em 1948 para os afiliados do *American Institute of Physics*, a *Physics Today* é uma revista de ampla circulação na comunidade internacional de físicos, sendo fornecida a sócios de diversas sociedades de física ao redor do mundo, com a proposta de fornecer aos leitores um balanço atualizado dos

diversos ramos da física<sup>16</sup>. Criada em 1869, Por sua vez, a revista *Nature* é uma revista de caráter interdisciplinar que está entre as mais prestigiadas e de maior impacto na comunidade científica, o que confere grande visibilidade a seus artigos e autores. As resenhas publicadas nessas revistas são por si só um forte indício de que o livro merecia a atenção da comunidade de físicos.

Além disso, ambos os autores eram físicos teóricos reconhecidos por seus trabalhos em ótica quântica e física de *lasers* e apresentaram opiniões positivas sobre o livro. Quando os primeiros *lasers* foram postos em funcionamento, Marlan Scully, nos Estados Unidos, e Geoff New, na Inglaterra, estavam concluindo suas graduações e acabaram sendo atraídos para problemas relacionados a esse novo dispositivo. Scully fez seu doutorado sob a orientação do prêmio nobel Willian Lamb, que lhe deu um problema voltado para a formulação de uma teoria quântica do *laser*. Quando publicou a resenha, dez anos depois de concluído seu doutorado, além do cargo de *full professor* da Universidade do Arizona, Scully era também membro do *Optical Sciences Center* e teórico do *Air Force Laser Laboratory* (BROMBERG, 2006). Geoff New, por sua vez, havia feito seu doutorado no, então, novo campo de ótica não linear. Quando publicou sua resenha, New era professor do *Imperial College London* e membro do *Laser Optics Group*, do qual ele se tornou o chefe em 1980.

Marlan Scully começa sua resenha com uma breve contextualização da ótica na época em que o livro foi escrito. Nessa introdução, ele compartilha da opinião de Nussenzveig quanto à utilização de teorias semiclássicas e aos limites dessas teorias. Depois de falar sobre novos fenômenos resultantes do *laser*, Scully declara que:

[...] a maior parte desses fenômenos são descritos mais apropriadamente pelas equações clássicas de Maxwell. Entretanto, em muitos dos problemas baseados no laser, a natureza quântica do campo eletromagnético é aparente. [...] Por exemplo, o **entendimento fundamental** da largura espectral e da estatística de fótons da radiação do laser requer a teoria quântica da radiação. (SCULLY, 1975, p. 73) (grifo nosso).

Notemos, porém, que Scully é mais cauteloso ao enunciar os limites da teoria clássica. Scully declara que o “*entendimento fundamental*” desses fenômenos requer a teoria quântica da radiação, o que deixa margens à interpretação de que embora esses fenômenos possam ser explicados por abordagem semiclássica, sua essência é compreendida apenas com a teoria quântica da radiação. De fato, enquanto Scully escrevia a resenha, ele estava

---

<sup>16</sup> Disponível em: <<http://www.physicstoday.org>>. Acesso em: 20 out. 2011.



diretamente envolvido na disputa entre a teoria neoclássica e a eletrodinâmica quântica. Desde 1972, Scully vinha tentando elaborar um experimento que permitisse optar entre essas duas teorias. Foi justamente em 1975 que ele publicou a primeira proposta de um experimento viável para testar a EDQ contra a teoria neoclássica (BROMBERG, 2006).

Geoff New, por sua vez, vai diretamente à apresentação do livro. Segundo ele, “em *Introduction to Quantum Optics*, os fundamentos do assunto são tratados de forma relativamente padrão.” Além disso, “o livro não é de maneira alguma único em sua cobertura, com exceção da, talvez, bem vinda inclusão de super-radiância” (NEW, 1975). Entretanto, tanto New quanto Scully destacam características positivas do livro.

Simplicidade é uma característica que é destacada por ambas as resenhas. Para Marlan Scully:

Em sua apresentação, Nussenzveig visou consistentemente o máximo de física para o mínimo de matemática. Naturalmente, o maquinário completo da teoria quântica da radiação é necessário em grande parte do livro, mas mesmo nos casos mais técnicos ele apresentou o material de forma clara, concisa e pedagogicamente atraente (SCULLY, 1975, p. 73-74).

Para Geoff New, “uma feliz consequência é que o nível da apresentação não é tão alto a ponto de os experimentalistas ficarem imediatamente intimidados. Nisso, possivelmente, está o mérito particular do livro” (NEW, 1975, p. 74).

Os autores concluem as resenhas com fortes recomendações. Segundo Scully, o “livro é de interesse ao aluno iniciante e deve ter apelo para o pesquisador que deseje revisar certos aspectos da ótica quântica. Esse livro oportuno promete ter importância ao longo dos próximos anos e merece totalmente a recepção calorosa que eu acredito que lhe será concedida”. Para New, o livro “representa uma adição bem vinda à literatura sobre ótica quântica” e “pode ser calorosamente recomendado”.

A recepção e repercussão do livro podem ser também avaliadas pelo número de bibliotecas que atualmente o possuem. Uma estimativa razoável desse número pode ser obtida utilizando a WorldCat<sup>17</sup>, ferramenta de busca em que integra catálogos de bibliotecas espalhadas ao redor do mundo. O resultado da busca para o Livro *Introduction to Quantum Optics* está sistematizado na tabela 2, que apresenta o número de bibliotecas por país, limitando-se aos números mais expressivos, mas mantendo o Brasil que nos servirá como um parâmetro de avaliação do alcance da WorldCat.

---

17 117169425. Disponível em: <<http://www.worldcat.org>>.

EUA	179
Canadá	19
Reino Unido	11
Austrália	11
Alemanha	10
França	8
Brasil	2
Outros	62
<b>Total</b>	<b>302</b>

Quadro 2: número de bibliotecas que possuem o livro em diferentes países.

Fonte: WorldCat, agosto de 2011.

De acordo com os resultados da pesquisa, 302 bibliotecas possuem o livro em todo o mundo. Apesar dessa ferramenta possuir limitações, ela fornece uma primeira aproximação dos países onde o livro foi mais utilizado e onde a ótica quântica ganhou mais espaço. O grande destaque é para os Estados Unidos, país onde o livro foi publicado e que, entre os países listados, seguramente possuía a maior comunidade de físicos. As quase 180 bibliotecas que possuem o livro naquele país é uma mostra de que o livro foi muito bem aceito e que foi um livro importante naquele contexto. A maior parte dessas bibliotecas encontra-se em países de língua inglesa e que possuíam uma comunidade de física desenvolvida, seguidos da Alemanha e da França. Uma ausência notável nessa relação é a da União Soviética, que também ocupava posição de vanguarda na física internacional, mas que é perfeitamente compreensível devido à familiaridade linguística e ao contexto da guerra fria. O número total de bibliotecas também sugere que o livro teve boa repercussão. Para efeito de comparação, a repercussão do livro de Nussenzveig é comparável à repercussão do livro editado por Cecile Dewitt-Morette e colaboradores, que pode ser encontrado em 319 bibliotecas. Apesar disso, o livro ficou limitado a uma única edição e na sequência perdeu espaço para livros que foram atualizados e reeditados, como o *The Quantum Theory of Light* de Rodney Loudon que já está em sua terceira edição.

Os números apresentados nos fornecem uma boa estimativa da repercussão do livro para os países desenvolvidos. Entretanto, temos que ter em conta as limitações desses dados, principalmente, para países da América Latina. Isso pode ser visto tomando o Brasil como referência. Os registros da WorldCat acusam que no Brasil o livro pode ser encontrado em apenas duas bibliotecas, mas uma busca individual em catálogos das principais universidade

brasileiras revela que o livro pode ser encontrado em ao menos dez bibliotecas.<sup>18</sup> Dessa forma, o impacto do livro nos países latinoamericanos é bastante subestimado por esses dados. Para compreendermos melhor o impacto do livro na América do Sul, vamos agora olhá-lo sob outra perspectiva, através do processo que lhe deu origem, nesse caso, os cursos que aconteceram no Brasil e na Argentina.

#### 4.3 O I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FÍSICA TEÓRICA E O CURSO DE INTRODUÇÃO À ÓTICA QUÂNTICA

No final da década de 1960 o departamento de física da PUC do Rio de Janeiro passou a figurar entres os melhores departamentos de física do país. Com o CBPF ainda sob o efeito da crise que afastou boa parte de seus melhores pesquisadores, a PUC passou a ser o principal centro da física carioca. Além de melhores salários e condições de trabalho, a PUC também oferecia a seus professores mais liberdade do que o CBPF, que estava sob a presidência do Almirante Otacílio Cunha. Diante desse cenário, alguns físicos do CBPF acabaram migrando para a PUC. Entre eles estavam Nicim Zagury e Erasmo Madureira Ferreira que foram contratados pelo departamento de física da PUC em 1967. Pouco depois juntaram-se a eles os físicos Antônio Luciano Videira, Sérgio Machado Resende, Samuel McDowell e Jorge André Swieca (ZAGURY, 2007). Todos eles eram físicos em início de carreira que tinham acabado de retornar da pós-graduação no exterior. Com essa equipe jovem e promissora, a PUC passou a disputar também a preferência dos estudantes de física que saíam de outras regiões do país para fazer pós-graduação, tornando-se também um centro importante na formação da jovem comunidade brasileira de físicos. Nessa direção, Erasmo Madureira Ferreira tomou uma iniciativa que nos anos seguintes daria ainda mais destaque à PUC: a criação do Simpósio Brasileiros de Física Teórica (SBFT).

Organizado pela primeira vez em 1968, o SBFT rapidamente ganhou relevância na formação dos físicos brasileiros. O evento que foi inicialmente pensado como uma “conferência de cinco dias para reunir as pessoas que queriam falar sobre problemas de física teórica”, mas foi bem divulgado e foi muito maior do que se esperava (FERREIRA, 2007). Segundo relatório da Comissão Internacional de Energia Atômica, em suas duas primeiras

---

<sup>18</sup> Entre as instituições brasileiras que possuem o livro estão: CBPF, Universidade Estadual de São Paulo, Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade de Brasília, Unicamp e USP.

edições o simpósio recebeu entre 100-150 participantes (BYER, 1969)<sup>19</sup>. Para Erasmo Ferreira ficou claro desde o início “que [o evento] era politicamente importante”. O que era para ser uma simples conferência passou a ser, na visão retrospectiva de Ferreira, “um impulso oportuno na nossa formação, para a nossa institucionalização também, para a nossa definição de valores, de metas, da evolução científica” (FERREIRA, 2007).

Na primeira edição do Simpósio, segundo Ferreira, as coisas aconteceram de improviso, mas seu sucesso garantiu que as edições seguintes fossem mais bem planejadas. A duração do evento aumentou e foram oferecidos cursos de curta duração. Os textos dos cursos e seminários foram sistematicamente publicados nos registros dos simpósios que eram dividido em vários fascículos. A ideia era formar uma escola nacional que complementasse a formação dos estudantes de pós-graduação brasileiros, permitindo que eles interagissem com os grandes nomes da física nacional e com alguns da física internacional (FERREIRA, 2007).

A PUC sediou as quatro primeiras edições do evento, que aconteceram em 1968, 1969, 1970 e 1972. Segundo o relatório da quarta edição do simpósio, “como as edições anteriores, o IV Simpósio Brasileiro de Física Teórica contou com a participação e colaboração da maioria dos físicos teóricos em atividade no país, e de físicos estrangeiros especialmente convidados.[...] O programa de cursos da conferência cobriu os principais campos de pesquisa em física no momento” (FERREIRA e colaboradores, 1972).

Nussenzweig foi um participante ativo do SBFT. Apesar de morar nos Estados Unidos ele veio por várias vezes ao Brasil para participar dos Simpósios. Por ocasião do primeiro simpósio, ele foi convidado para passar um mês na PUC, onde ele deu seu primeiro curso de introdução à ótica quântica. As notas de aula desse curso deram origem ao primeiro livro de ótica quântica em língua portuguesa (NUSSENZVEIG, 1968). O curso não era parte do simpósio, mas aconteceu concomitantemente e, possivelmente, compartilhou de seu clima, público e estrutura. É possível também que a experiência do curso tenha estimulado os organizadores do segundo Simpósio a incluir na programação os cursos de curta duração, mas a consequência mais notável do curso foi um trabalho feito por dois jovens professores da PUC, Sérgio Machado Resende e Nicim Zagury (NUSSENZVEIG, 1995, p. 88).

---

<sup>19</sup> Relatório sobre a pesquisa em física nuclear que estava sendo feita em países latinoamericanos. Descreve as atividades dos principais institutos e laboratórios, incluindo as que não são relativas à energia nuclear. O relatório apresenta também um anexo com descrição das principais escolas e conferências realizadas na América Latina.

#### 4.4 ALUNOS E INFLUÊNCIAS

Enquanto Nicim Zagury obteve seu doutorado em física de partículas pela Universidade da Califórnia em 1965, Sérgio Resende obteve o dele em propriedades magnéticas dos materiais pelo Instituto Massachusetts de Tecnologia em 1967. Ambos tiveram suas carreiras influenciadas pelo curso de introdução à ótica quântica. No ano seguinte eles publicaram dois artigos onde aplicavam a teoria quântica da coerência, que havia sido apresentada por Nussenzveig, para descrever os estados de mágnons (REZENDE & ZAGURY, 1969; ZAGURY & REZENDE, 1969). Mágnons são os quanta das ondas de spin. Em um material ferromagnético os spins de elétrons vizinhos estão em constante interação, de forma que o arranjo dos spins em uma rede cristalina resulta em um efeito coletivo que segue um padrão ondulatório, que por isso é chamado ondas de spins. Apesar de serem de naturezas distintas, pode-se dizer, por analogia, que o mágnon é para a onda de spin o que o fóton é para a onda eletromagnética. Dessa forma, Zagury e Resende utilizaram uma ferramenta desenvolvida para descrever a correlação entre fótons para descrever a correlação entre mágnons.

As entrevistas de Nicim Zagury e Sérgio Resende sugerem que esse trabalho surgiu a partir do curso de introdução à ótica quântica. Quando questionado sobre as motivações para a realização desses trabalhos Zagury lembrou:

Na PUC tinham uns colóquios e tudo mais, então a gente sabia um pouco o que estava acontecendo em outras áreas [...] Quando o Sérgio chega eu começo a me interessar pelo que ele estava fazendo, eu vejo que ele estava fazendo o que ele fazia usando técnica semiclássica, e digo: 'bom, eu acho que a gente pode ver isso aqui do ponto de vista da teoria quântica'. E proponho discutir essa parte. E a gente faz alguns trabalhos. (ZAGURY, 2007, p. 11).

Os colóquios aos quais Nicim está se referindo são o Simpósio Brasileiro de Física Teórica e o curso que Nussenzveig havia ministrado em 1968. Sérgio Resende diz ter sido profundamente influenciado pelo curso de 1968. Ele mesmo foi quem revisou as notas de aulas em que teve seu primeiro contato com a teoria quântica da coerência, que ele passou a aplicar em sua área (REZENDE, 2011).

Analisando o currículo desses dois físicos, vemos que esses trabalhos foram os primeiros passos para uma diversificação na carreira de ambos. Rezende passou a aplicar a teoria quântica da coerência no estudo das propriedades magnéticas dos materiais, trabalhando também na interface entre a ótica e o magnetismo. Além disso, Resende também

treinou estudantes para utilizar as novas ferramentas que ele havia adquirido no curso, como foi o caso do atual professor da Universidade Federal da Bahia Sérgio Guerreiro que fez seu mestrado na PUC sob orientação de Rezende sobre a teoria quântica da interação entre magnons e fônons, onde eles utilizaram a teoria quântica da coerência na descrição dessas entidades (GUERREIRO & REZENDE, 1971).

Para Zagury aquele foi o início de sua conversão para a ótica quântica. Ele continuou trabalhando em física de partículas, como ainda hoje o faz, mas foi na ótica quântica que Zagury ganhou renome internacional. Zagury foi um dos pesquisadores-chaves em um acordo de cooperação científica entre o CNPq e o órgão francês CNRS (Centro Nacional da Pesquisa Científica) em física atômica, *lasers* e ótica quântica.

Os cursos dados por Nussenzveig contribuíram para que Zagury e Rezende alterassem o curso de suas carreiras, relacionando-as com a ótica quântica, pouco depois do doutorado. Porém, Nussenzveig contribuiu para a ótica quântica também através da formação doutoral de físicos. Dentre os seus estudantes de doutorado destacamos Luiz Davidovich e Basílio Baseia por estarem entre os primeiros a receber o título de doutor sob a sua orientação. Ambos fizeram seus doutorados e desenvolveram carreiras frutíferas em ótica quântica.

Luiz Davidovich fez seu mestrado e doutorado sob a orientação de Nussenzveig ainda na Universidade de Rochester. Como dissemos no capítulo 1, ele havia sido expulso da PUC do Rio de Janeiro em 1969 pelo decreto 477. Esse decreto, entre outras coisas, determinava a expulsão de estudantes considerados subversivos de qualquer instituição brasileira de ensino, suspendendo seu direito de matrícula por três anos. Não restava outra opção senão ir estudar no exterior. Davidovich, o Agente 477, como ficou conhecido em Rochester, no final das contas acabou tendo sua carreira influenciada por esse decreto. Ele deixou o mestrado em física na PUC e foi admitido na Universidade de Rochester – sem seleção e fora da época de admissão. Tudo que ele precisou foi uma boa carta de recomendação escrita por Erasmo Ferreira e da colaboração de Nussenzveig, que convenceu a coordenação da universidade a aceitá-lo (NUSSENZVEIG, 2005).

Atualmente, Davidovich destaca-se entre os principais teóricos em ótica quântica e é um dos físicos brasileiros de maior projeção internacional. Ao longo de sua carreira tem acumulado reconhecimentos como as eleições para membro da Academia Brasileira de Ciências (1996), da National Academy of Science, USA, (2006) e da American Optical Society (2009). Juntamente com Zagury, ele foi um dos pesquisadores centrais para o acordo CNPq-CNRS. No prefácio do livro *Exploring the Quantum*, Serge Haroche e Jean Michel Raimond se referem à colaboração resultante do Convênio CNPq/CNRS nos seguintes

termos: “Agradecemos especialmente a Luiz Davidovich e Nicim Zagury, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, cujas ideias e contribuições teóricas foram preciosas nos projetos de novos experimentos” (HAROCHE & RAIMOND, 2006). Os trabalhos de Davidovich desempenharam um papel fundamental nos experimentos sobre fundamentos da mecânica quântica realizados pelo grupo de Haroche. Esse grupo foi responsável pela primeira realização experimental do “gato de Schrodinger”, uma das mais famosas experiências de pensamento da física, que buscava detectar o desaparecimento de superposições de estados quânticos (DAVIDOVICH, 1999). Devido a esse trabalho Davidovich recebeu o prêmio da Academia de Ciências do Mundo em Desenvolvimento, que é concedido a cientistas de países em desenvolvimento que fizeram contribuições de destaque para a ciência.

Basílio Baseia foi o primeiro estudante de doutorado de Nussenzveig no Brasil e teve a escolha de seu problema de tese diretamente influenciada pelo livro *Introduction to Quantum Optics*. Depois de ter feito mestrado na Universidade Federal da Paraíba, onde ele era professor, Baseia seguiu para o doutorado na USP. Chegando lá à procura de orientador, Henrique Fleming recomendou que ele procurasse Nussenzveig, que chegara dos Estados Unidos no ano anterior. Em entrevista Baseia relembra como surgiu o problema da tese:

Falando depois com Nussenzveig, ele mencionou 3 problemas eventuais em que eu poderia trabalhar com ele: um deles sobre “arco-íris, aureola, etc..” coisas de um grande trabalho de fôlego que ele tinha feito; outro sobre “Regras de Soma e Aplicações”, e um 3º. : “Uma Teoria sobre Dissipação no Laser”, assunto que me cativou, em razão do livro que ele publicara em 73, nos USA, sobre Teoria do Laser e afins, com o Título: “*Introduction to Quantum Optics*”. **Ele me emprestou o seu livro, que me maravilhou na época.** (BASEIA, 2011) (grifo nosso).

A simplicidade do livro, característica que foi destacada por Scully e New em suas resenhas, foi também uma das características do livro que atraiu Baseia. Seu doutorado foi sobre a teoria das perdas da radiação no *laser*, onde ele utilizou tanto a abordagem semiclassical quanto a quântica. Baseia continuou sua carreira em ótica quântica e utilizou o livro de Nussenzveig na formação de quase todos os seus orientandos (BASEIA, 2011). Atualmente Baseia é professor da Universidade Federal de Goiás e está entre os principais físicos trabalhando em ótica quântica no país, com mais de 150 artigos publicados, que receberam ao todo 970 citações.

#### 4.5 A ESCOLA LATINOAMERICANA DE FÍSICA

La Plata, julho de 1970. Físicos de vários países da América Latina se reuniram na Universidade Nacional de La Plata para a retomada da Escola Latino-Americana de Física. No ano anterior a ELAF tivera seu circuito de uma década interrompido pela máquina de repressão do governo militar brasileiro. José Leite Lopes, um dos fundadores da escola, e o principal organizador da edição que aconteceria no Rio de Janeiro, havia sido aposentado compulsoriamente poucos meses antes de sua realização. Porém, no ano seguinte a ELAF foi retomada pelos outros dois fundadores, o argentino Juan Jose Giambiagi e o mexicano Marcos Moshinsky. Entre os temas escolhidos para a edição de 1970 estava ótica quântica. O convidado para apresentá-lo foi Moysés Nussenzveig. O curso que ele tinha apresentado no Brasil em 1968 foi então reapresentado para uma audiência mais ampla, para a qual a escola era um momento importante para o aprendizado em primeira mão de temas que estavam em evidência na física (LOPES, 1998).

A ELAF foi fundada com o objetivo de promover a interação entre físicos latinoamericanos e físicos estrangeiros através de cursos intensivos como as escolas de verão. A proposta dos idealizadores é bem enunciada no programa da primeira edição da escola que aconteceu no México em 1959:

Há tempos os físicos latino-americanos têm sentido a necessidade de aumentar o contato com físicos de outras partes do mundo. Uma maneira de aumentar esse contato é realizando periodicamente cursos sobre os temas da atualidade em física. Parece interessante, portanto, criar uma Escola Latino-Americana de Física cujo propósito seja promover esses cursos em diferentes partes da América Latina durante seis semanas, geralmente nos meses de julho e agosto. (A escola não se chamará escola de verão, já que a palavra verão não é invariante com respeito a reflexões no plano equatorial). A Escola Latino-Americana de Física terá início em 1959 na Universidade do México (ELAF, 1959 apud LOPES, 1998).

Inicialmente a escola se alternaria entre Cidade do México, Rio de Janeiro e Buenos Aires (as cidades dos fundadores), mas com o crescimento da comunidade de físicos em outros países o circuito foi ampliado. Em 1966 a escola foi realizada em Caracas, na Universidade Central da Venezuela, sob a coordenação de Manoel Bemporad. Em 1967 foi a vez de Santiago do Chile onde a escola foi coordenada por Igor Saavedra.

Entre 1959 e 1968 a ELAF reuniu todos os anos físicos e estudantes de pós-graduação que tinham a oportunidade de aprender em primeira mão os desenvolvimentos recentes de campos da física que estavam em evidência. Segundo o relatório da Comissão



Internacional de Energia Atômica, a ELAF era uma escola de alto nível que corria todos os anos com a participação de aproximadamente 150 participantes da América Latina, Estados Unidos e Europa (BYER, 1969). Entre os físicos que deram cursos na ELAF estão Eugene Wigner (1959), Chen Ning Yang (1960) e Richard Feynman (1963) (LOPES, 1998). A ELAF tornou-se uma referência para jovens pesquisadores e estudantes da América Latina, que tinham a oportunidade de definir suas agendas de pesquisa a partir da interação direta com físicos proeminentes que trabalhavam em tópicos que estavam em destaque na agenda de física internacional.

## 5 CONCLUSÕES

Tendo trabalhado em grandes centros de física teórica no Brasil, Estados Unidos e Europa, Nussenzveig desenvolveu uma reputação dificilmente alcançada por físicos brasileiros. Primeiro como bolsista de pós-doutorado, depois como professor e pesquisador, Nussenzveig circulou por instituições renomadas e interagiu com alguns dos principais físicos teóricos de seu tempo, principalmente os que trabalhavam em ótica. Basta lembrarmos que Rochester era um dos principais centros de ótica do mundo. Nesse ambiente, Nussenzveig acompanhou os principais debates e desenvolvimentos que levaram à criação da ótica quântica, o que lhe permitiu se tornar um dos pioneiros na formação desse campo.

Mesmo fazendo doutorado no Brasil, em uma época em que a pós-graduação brasileira ainda não havia se institucionalizado, Nussenzveig desenvolveu um trabalho original onde obteve resultados importantes, como é atestado pela sua publicação na *Philosophical Transactions of The Royal Society*. Nussenzveig fez sua graduação e doutorado em uma época em que a comunidade científica brasileira começada a se estabelecer, com a criação de instituições como a CAPES e o CNPq, que além de custear a publicação de sua tese de doutorado, lhe permitiram a realização de um estágio pós-doutoral em alguns países europeus. O próprio CBPF, onde Nussenzveig começou sua carreira, foi largamente financiado por essas instituições.

Os tempos de crise que o Brasil passou na década de 1960, com a depressão financeira e, logo depois, com a ditadura militar, tiveram uma consequência ambígua sobre a carreira de Nussenzveig e sobre a comunidade brasileira de física de forma mais geral. Se por um lado ele se viu forçado a sair do país, deixando para trás o trabalho no CBPF, família e amigos, por outro, ele encontrou nos Estados Unidos condições de trabalho muito superiores às que ele tinha aqui no Brasil, o que certamente contribuiu para seu sucesso profissional. Estar nos Estados Unidos naquela época lhe permitiu mobilizar esforços de físicos politicamente influentes em favor dos que estavam sendo perseguidos aqui no Brasil e conseguir vagas em universidades norte americanas para os estudantes que foram expulsos das universidades brasileiras pelo decreto 477. Estudantes, como Luiz Davidovich, que no final das contas, ironicamente, acabaram sendo “beneficiados” pela expulsão.

Estando protegido da máquina de repressão da ditadura, Nussenzveig criticou abertamente o governo e o sistema universitário brasileiro nos artigos publicados nas revistas *Science e Paz e Terra*. Mais do que criticar, ele sugeriu medidas e políticas públicas para a

reversão do êxodo de talentos, que aos poucos, seja por conta desses artigos ou não, foram sendo adotadas pelo governo e foram essenciais para o expressivo crescimento que a comunidade científica brasileira vivenciou nos anos 1970.

Enquanto acompanhava a situação política do Brasil, Nussenzveig presenciou nos Estados Unidos uma rápida transformação na comunidade de ótica que se seguiu à invenção do *laser*. Essa fonte de luz, com seu elevado grau de coerência, quando aplicada ao estudo das correlações da radiação eletromagnética, mostrou que as teorias de coerência existentes não eram mais capazes de explicar tais correlações, ao que físicos responderam de maneiras distintas. Enquanto Emil Wolf e Leonard Mandel reformularam a teoria clássica da coerência, Roy Glauber decidiu construir sua contrapartida quântica. A princípio, ambas as teorias davam conta dos mesmos fenômenos e chegou-se a pensar que eram equivalentes. Houve, dessa forma, um período de debates em torno das semelhanças e diferenças entre essas duas abordagens e da delimitação dos seus domínios de jurisdição. Nessa contenda, foram empregadas estratégias relacionadas a valores cognitivos, como por exemplo, o tipo de teorias que os físicos deve favorecer, mas também foram empregadas estratégias socioprofissionais como terminologia e recrutamento de jovens através de escolas de verão. Como vimos, o rótulo “ótica quântica” foi utilizado pela primeira vez como o título de uma escola de verão sobre *lasers*. O nome, que traz o campo claramente para o domínio da eletrodinâmica quântica, caiu nas graças dos físicos, principalmente dos teóricos, que certamente se sentiam mais confortável em dizer que trabalhavam em “ótica quântica”, do que em dizer que faziam “física de *lasers*”, um tema que custou a ser aceito pelos periódicos de física básica.

A estratégia de apresentação do conteúdo e a descrição da ótica quântica presente nos livros de Nussenzveig revelam que esse campo é muito mais amplo do que o nome sugere. A julgar, também, pelos exemplos presentes no livro, o termo ótica quântica era usado para designar um campo voltado para a descrição estatística de fenômenos tipicamente associados com a radiação do *laser*, independentemente do tratamento que é dado ao campo eletromagnético. Levando em conta que o livro apresenta o conteúdo de forma padrão, como declarou um dos resenhistas, essa visão devia ser compartilhada por outros autores. Ou seja, mesmo os físicos que continuaram utilizando heurísticamente os tratamentos semiclássicos passaram a se identificar como praticantes da ótica quântica.

Os livros e os cursos de introdução à ótica quântica de Nussenzveig foram formas eficazes de difusão desse novo campo. Como vimos, o livro teve boa repercussão, principalmente em países de língua inglesa. Para os países da América Latina, nossos dados não foram suficientes para avaliar a repercussão do livro. No entanto, para essa região, os

cursos de introdução à ótica quântica tiveram uma repercussão importante, como mostram os trabalhos e as trajetórias de Nicim Zagury e Sérgio Rezende. Esses foram os casos que conseguimos documentar, mas é perfeitamente possível que outros físicos também tenham sido influenciados pelos cursos. Ademais, a formação de Luiz Davidovich e Basílio Baseia foi também uma contribuição significativa para a formação da comunidade de ótica no Brasil.

Discutindo a literatura histórica sobre análise de controvérsias, Dominique Pestre (1996) argumenta que os consensos concernem raramente ao conjunto de especialistas que estiveram implicados num dado debate. Parafraseando Max Planck ao comentar o debate quântico, poder-se-ia dizer que um novo sistema não convence nunca por ele mesmo, mas que uma geração morre e a outra a substitui, para quem as novas regras são familiares. É exatamente isso que dá a impressão de que o consenso se espalha como uma nuvem de poeira. No caso da ótica quântica, Moysés Nussenzveig, por meio de seus livros, cursos e estudantes, deu uma grande contribuição para familiarizar as novas gerações com esse novo campo.

## REFERÊNCIAS

ABREU, A. A. de; VELHO, G.; DAVIDOVICH, L. Herch Moysés Nussenzveig. **Ciência e Cultura**, v. 60, n. espec., p. 74-88, 2008.

ANDRADE, A. **Físicos, mésons e política**: a dinâmica da ciência na sociedade. São Paulo: Hucitec; Museu de Astronomia e Ciências Afins, 1999.

BAPTISTA, A. M. Nota introdutória sobre o autor: Feynman e a educação dos Homens. In: FEYNMAN, R. **QED**: a estranha teoria da luz e da matéria. Lisboa: Gradiva, 1988.

BECK, G. Entrevista conduzida por John Heilbron. 22. Apr. 1967.

BORN, M.; WOLF, E. **Principles of optics**: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light. 7<sup>th</sup>. ed. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press, 2002.

BOUWKAMP, C. J. [Carta] 4 de Jun. de 1958, Eindhoven [para] Beck, G., Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. [Carta] 2 de Jul. de 1958, Eindhoven [para] Beck, G., Rio de Janeiro.

BRAZIL Navy Heads Warn of Reds' Gain In Mutiny Leniency. **The New York Times**, 28 Mar. 1964.

BRASIL, Decreto-lei 477, de 26 de fevereiro de 1969. Define infrações disciplinares praticadas por professores, alunos, funcionários ou empregados de estabelecimentos de ensino público ou particulares, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.acervoditadura.rs.gov.br>>.

BROMBERG, J. L. Device physics vis-a-vis fundamental physics in Cold War America: the case of quantum optics. **ISIS**, v. 97, n. 2, p. 237-1753, 2006.

BROMBERG, J. L. **Modeling the Hanbury Brown - Twiss Effect**. The Mid-Twentieth Century Revolution in Optics, 2010. Disponível em: <[http://quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/news/workshops/hq3/hq3\\_talks/22\\_bromberg.pdf](http://quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/news/workshops/hq3/hq3_talks/22_bromberg.pdf)>.

BROWN, R. G. W.; PIKE, E. R. A history of optical and optoelectronic physics in the twentieth century. **Twentieth century physics**, Bristol: Institute of Physics Publ., 1995.

BROWN, R. Hanbury; TWISS, R. Q. Correlation between photons in two coherent beams of light. **Nature**, v. 177, n. 4497, p. 27-29, 1956.

BYER, T. A. **Travel Report of a Mission on Nuclear Data to Mexico, Chile, Argentina and Brazil from 23 June - 1 August 1969**. INDC. Viena: International Atomic Energy Agency - International Nuclear Data Committee. Disponível em: <<http://www-nds.iaea.org/reports-new/indc-reports/indc-nds/indc-nds-0013.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2010.

CRISP M. D.; JAYNES, E. T. Radiative Effects in Semiclassical Theory. **Phys. Rev.**, v. 179, n. 5, p.1253–1261, 25 Mar. 1969.

CRUZ, N. D. R. A imigração judaica no Brasil e o antissemitismo no discurso das elites. **Política & Sociedade: Revista de Sociologia Política**, v. 8, n. 15, p. 225-250, 2009.

DAMY, M. [Entrevista] Marcelo Damy: revolução no ensino da Física. **Estudos Avançados**, v. 8, n. 22, 1994. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141994000300007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141994000300007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 17 fev. 2011.

DAVIDOVICH, L. **O prazer de fazer ciência**. 1999. Disponível em:

<<http://www.revistapesquisa.fapesp.br>>. Acesso em: 3 jul. 2011.

DECOL, R. D. Judeus no Brasil: explorando os dados censitários. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 16, n. 46, 2001. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-69092001000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-69092001000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>.

DEWITT-MORETTE, C. BLANDI, A.; COHEN-TANNOUDJI, C. **Quantum optics and electronics**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1965.

DIMITRIEV, V. I. Wiener–Hopf method. In: HAZEWINKEL, M. **Encyclopedia of mathematics**. Dordrecht: D. Reidel, 1987. Disponível em:

<<http://www.eom.springer.de/W/w097910.htm>>.

ERLANDSON, Roberta. 68 University Professors Ousted Quietly By Brazil. **The Baltimore Sun**, maio 4, ProQuest Historical Newspapers The Baltimore Sun (1837-1985), 1969.

FERREIRA, E. et al. (Eds.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FÍSICA TEÓRICA, 4., 1972, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica, 1972.

FERREIRA, E. M. Entrevista conduzida por Olival Freire Jr. e Antônio Augusto Passos Videira. 2007.

FEYNMAN, R. **QED: a estranha teoria da luz e da matéria**. Lisboa: Gradiva, 1988.

FREIRE JR., O. A relação dos físicos brasileiros com os regimes políticos entre 1949 e 1985. In: TROPER, Amós; VIDEIRA, Antonio A. P.; VIEIRA, Cassio Leite. (Org.). **Os 60 anos do CBPF e a gênese do CNPq**. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2010.

FREIRE JR., O.; CLEMENTE, J. E. O CNPq, a operação retorno e a batalha das torredoiras: os limites das políticas de C&T no Regime Militar. In: DIAS, A. L. M.; COELHO NETO, E. T.; LEITE, M. M. da S. B. (Eds.); **História, Cultura e Poder**. Feira de Santana: UEFS; Salvador: Edufba, 2010.

GARCÍA-BELMAR, A.; BERTOMEU-SÁNCHEZ, J. R.; BENSUAUDE-VINCENT, B. The Power of Didactic Writings: French Chemistry Textbooks of the Nineteenth Century. In: KAISER, D. (Ed.). **Pedagogy and the practice of science: historical and contemporary perspectives**. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

GASPARI, E. **A ditadura derrotada**. São Paulo: Companhia das Letras, 2003.

\_\_\_\_\_. **A ditadura envergonhada**. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

GLAUBER, R. J. One Hundred Years of Light Quanta., 8. Dec. 2005. Nobel Lecture, Harvard University.

\_\_\_\_\_. Photon correlations. **Physical Review Letters**, v. 10, n. 3, p. 84-86, 1963b.

\_\_\_\_\_. The quantum theory of optical coherence. **Physical Review**, v. 130, n. 6, p. 2529-2539, 1963a.

\_\_\_\_\_. **Quantum optics**. New York: Societa Italiana di Fisica; International School of Physics Enrico Fermi, 1969.

GOMIDE, Elza Furtado; LOPES, Maria Laura Leite. Memórias vivas. In: ENCONTRO LUSO-BRASILEIRO DE HISTÓRIA DA MATEMÁTICA, 2., SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA MATEMÁTICA, 2., 1997, Águas de São Pedro. **Anais...** Rio Claro: Unesp, 1997, p. 95-106.

GREEN, J. **Apesar de vocês**: oposição à ditadura brasileira nos Estados Unidos, 1964-1985. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.

GUERREIRO, S.; REZENDE, S. Quantum Theory of the Magnon-Phonon Interaction in a Time-Dependent Magnetic Field. **Revista Brasileira de Física**, v. 1, n. 2, p. 207-232, 1971.

HAMBURGER, A.; HAMBURGER, E. Entrevista realizada por Olival Freire a Antônio Augusto Passos Videira. 2007.

HAROCHE, S.; RAIMOND, J-M. **Exploring the quantum**: atoms, cavities and photons. Oxford, NY: Oxford University Press; 2006.

KAISER, D. **Pedagogy and the practice of science**: historical and contemporary perspectives. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

KIMBLE, H.; DAGENAIS, M.; MANDEL, L. Photon Antibunching in Resonance Fluorescence. **Physical Review Letters**, v. 39, n. 11, p. 691-695, 1977.

KRAGH, H. **Quantum generations**: a history of physics in the twentieth century. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1999.

LATTES, C. Entrevista com Cesar Lattes. 1987. Disponível em:  
<<http://www.cle.unicamp.br/arquivoshistoricos/ecesarlattes.pdf>>

LOUDON, Rodney. **The quantum theory of light**. 3<sup>rd</sup>. ed. Oxford, NY: Oxford University Press, 2000.

LESSER, J. **O Brasil e a questão judaica**: imigração, diplomacia e preconceito. Rio de Janeiro: Imago, 1995.

LOPES, J. Leite. **As origens da escola latino americana de física**. CBPF-CS-006/98. 1998. Disponível em: <<http://www.cbpfindex.cbpf.br>>.

MANDEL, L.; WOLF, E. Photon Statistics and Classical Fields. **Physical Review**, v. 149, n. 4, p. 1033-1037, 1966.

MAX BORN AWARD. Desenvolvido pela Optical Society of America. Apresenta a descrição do prêmio. Disponível em:

<[http://www.osa.org/awards\\_and\\_grants/awards/award\\_description/maxborn/default.aspx](http://www.osa.org/awards_and_grants/awards/award_description/maxborn/default.aspx)>

Acesso em: 1º maio 2011.

MILITARY region in Brazil rebels against Goulart. General Proclaims City 80 Miles North of Rio to Be 'Revolutionary Capital' REGIME SENDING TROOPS Loyal Force Dispatched to Insurgent Town - Union Strikes 2 Railroads Military Region in Brazil Rebels, Scoring Goulart on "Subversion". Special to The New York Times, p. 1, 1. Apr. 1964, New York.

MILLER, N. Brazil coup fears rise. **The Sun (1837-1985)** - Baltimore, MD, 22. Mar. 1964c.

\_\_\_\_\_. Brazil Crisis Seen Worse; Goulart Pushes Ultimatum. **The Sun (1837-1985)** - Baltimore, MD, 19. Mar. 1964.

\_\_\_\_\_. Brazil Navy Officers Blame Leftists In Sailors' Strike. **The Sun (1837-1985)** - Baltimore, MD, 29. Mar. 1964b.

MORI, K. Folha Online - Cotidiano - USP trouxe uma revolução no ensino - 30/09/2003.

Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u83031.shtml>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

NEW, G. H. C. Book Review: quantum optics. **Nature**, v. 257, n. 5521, p. 74-74, set 1975.

NUSSENZVEIG, H. M. Solution of a Diffraction Problem I. The Wide Double Wedge. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 252, n. 1003, p. 1-30, 1959a.

\_\_\_\_\_. Solution of a Diffraction Problem II. The Narrow Double Wedge. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 252, n. 1003, p. 31-51, 1959b.

\_\_\_\_\_. Êxodo de cientistas: as suas causas e possíveis soluções. **Paz e Terra**, 8, p. 109-124, 1968.

\_\_\_\_\_. **Introdução à Ótica Quântica**. Rio de Janeiro: Dept. de Física da PUC, Instituto de Pesquisas da Marinha, Dept. de Física da USP, Instituto de Física da UFRJ, 1968.

\_\_\_\_\_. Migration of Scientists from Latin America. **Science**, v. 165, n. 3900, p. 1328-1332, 1969.

\_\_\_\_\_. **Introduction to quantum optics**. London; New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1973.

\_\_\_\_\_. The theory of the rainbow. **Scientific American**, v. 236, n 4, p. 116-127, 1977.



\_\_\_\_\_. Beck and theoretical physics in Brazil. **Guido Beck Symposium**, v. 67, n. 1, p. 95-99, 1995.

\_\_\_\_\_. Algumas reminiscências pessoais sobre a óptica no Brasil. In: DOMINGUES, H. M. B. (Org.). **MAST Colloquia - Memória da Física**, Rio de Janeiro: MAST, v. 2, p. 83-100, 2005.

PARK, B. S. In the “Context of Pedagogy”: Teaching Strategy and Theory Change in Quantum Chemistry. In: KAISER, D. (Ed.). **Pedagogy and the practice of science: historical and contemporary perspectives**. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

PAUL, H. **Introduction to quantum optics: from light quanta to quantum teleportation**. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press, 2004.

POGROM. Encyclopædia Britannica Online. Encyclopædia Britannica, 2011. Web. 15 Jun. 2011. Disponível em: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/466210/pogrom>>.

POWERFUL Sao Paulo State Joins Uprising “To Free The Nation”. Rebel Broadcast Announces General’s Plan To March On Rio: Goulart Orders Troops To Put Down Dissidents. **The Sun (1837-1985)**, Baltimore, MD, 1. Apr. 1964.

REZENDE, S.; ZAGURY, N. Coherent magnon states. **Physics Letters A**, v. 29, n. 1, p. 47-48, mar 1969.

REZENDE, S. Entrevista conduzida por Olival Freire. 2011

RON, J. Sánchez. **El siglo de la ciencia**. [Madrid]: Taurus, 2000.

SALMERON, R. A física como “diversão” - Instituto Ciência Hoje, agosto de 2002. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/banco-de-imagens/lg/protected/pass/ch185/perfil.pdf/view?searchterm=Salmeron>>. Acesso em: 7 mar. 2011.

\_\_\_\_\_. **A universidade interrompida: Brasília 1964-1965**. Brasília, DF: UnB, 1998.

SÃO PAULO PAROU ONTEM PARA DEFENDER O REGIME. **Folha de São Paulo**, 20. Mar. 1964. Disponível em: <[http://almanaque.folha.uol.com.br/brasil\\_20mar1964.htm](http://almanaque.folha.uol.com.br/brasil_20mar1964.htm)>.

SCHENBERG, M. Entrevista com Mário Schenberg (1914-1990). 1984. Disponível em: <<http://www.canalciencia.ibict.br/notaveis/txt.php?id=71>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

SCHWEBER, S., **QED and the Men Who Made It**. [s.l.]: Princeton University Press, 1994.

SCULLY, M. O. Book Review: Introduction to Quantum Optics. **Physics Today**, v. 28, n. 8, p. 73, 1975.

SILVA, I. L. **The controversy on photons and the Hanbury Brown & Twiss experiment**. 2010. Disponível em: <[http://www.quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/news/workshops/hq3/hq3\\_talks/hq3\\_talks/23\\_silva.pdf](http://www.quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/news/workshops/hq3/hq3_talks/hq3_talks/23_silva.pdf)>.

SOMMERFELD, A. **Optics**. New York, NY: Academic Press, 1954.

STACHEL, J. Bohr: Complementarity and Correspondence. 2010. Berlin. Disponível em: <[http://quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/news/workshops/hq3/hq3\\_talks/hq3\\_talks/13\\_stachel.pdf](http://quantum-history.mpiwg-berlin.mpg.de/news/workshops/hq3/hq3_talks/hq3_talks/13_stachel.pdf)>.

TEIXEIRA, Serge Bernistein et al. **História do Século XX (1945-1973): o mundo entre a guerra e a paz**. Trans.: Fernando Santos. 3 vols. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2007. Vol. 2.

VIDEIRA, A. A. P. Um vienense nos trópicos: a vida e a obra de Guido Beck entre 1943 e 1988. **Encontro de História da Ciência**. p.146-181, 2001.

WATANABE, S. Entrevista. **Ciência e Cultura**, v. 62, p. 30-32, 2010.

WOLF, E. Oral history interview with Emil Wolf. 1983-4.

WOLF, E.; MANDEL, L. Coherence Properties of Optical Fields.

ZAGURY, N.; REZENDE, S. On the excitation of coherent magnon states. **Physics Letters A**, v. 29, n. 10, p. 616-617, ago. 1969.

ZAGURY, N. Entrevista conduzida por Olival Freire Jr. e Antônio Augusto Passos Videira. 24. nov. 2007.

ZORZETTO, R. **Herch Moysés Nussenzveig**: além do arco-íris. Jul. 2010. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=4172&bd=1&pg=1&lg=>>>.