



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Jonathan Thomas de Jesus Neto

**História e cultura de imagens de partículas elementares: condições de existência e  
circulação**

Florianópolis

2019

Jonathan Thomas de Jesus Neto

**História e cultura de imagens de partículas elementares: condições de existência e  
circulação**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em  
Educação Científica e Tecnológica da Universidade  
Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de  
doutor em Educação Científica e Tecnológica.  
Orientador: Prof. Dr. Henrique César da Silva.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Neto, Jonathan Thomas de Jesus

História e cultura de imagens de partículas elementares :  
condições de existência e circulação / Jonathan Thomas de  
Jesus Neto ; orientador, Henrique César da Silva, 2019.  
203 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências da Educação, Programa de Pós  
Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis,  
2019.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Imagens. 3.  
Enunciados. 4. Partículas elementares. 5. Cultura Material.  
I. Silva, Henrique César da. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação  
Científica e Tecnológica. III. Título.

Jonathan Thomas de Jesus Neto

**História e cultura de imagens de partículas elementares: condições de existência e circulação**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andreia Guerra de Moraes  
Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro – Cefet

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Fernanda Ostermann  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Juliano Camillo  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Educação Científica e Tecnológica.

---

Prof. Dr. Fábio Peres Gonçalves  
Subcoordenador do Programa

---

Prof. Dr. Henrique César da Silva  
Orientador

Florianópolis, 2019.

A todos(as) os(as) professores(as) que me instigaram a explorar o desconhecido e trilhar o caminho da educação científica.

## AGRADECIMENTOS

A minha caminhada até a finalização dessa tese foi marcada por contribuições de muitas pessoas. Foram muitos os desafios que surgiram para que este trabalho pudesse acontecer, por isso não há um início preciso no tempo em que eu possa escolher as pessoas que me ajudaram e agradecê-las aqui. Desde minha vida escolar, que sempre ocorreu em escola pública, até a pós-graduação, foram muitos os obstáculos confrontados, mas em nenhum deles eu estive sozinho. Esse trabalho é um trabalho de muitas mãos: eu posso ser o autor, mas fragmentos de muitas pessoas o constituíram. Essa trajetória extensa não foi marcada apenas por aprendizados. Eu, enquanto sujeito, também fui sendo constituído. Por isso devo reconhecer as principais pessoas que o fizeram, para agradecê-las.

Durante o Ensino Fundamental e Ensino Médio, diversas pessoas acreditaram que eu era capaz de seguir estudando, cursar uma graduação e uma pós-graduação. E apenas o fato de terem explicitado isso para mim, somaram forças para enfrentar os obstáculos que se sucederam. Dentre essas pessoas que me incentivaram, estão os meus professores e minhas professoras. Por isso devo toda minha gratidão a esses professores e professoras, mesmo que aqui citados genericamente. Todos(as) fizeram a diferença e me ajudaram a ser professor e pesquisador. Especialmente aos professores da Escola de Educação Básica João Colin, em Joinville, que foram meus professores, mas também foram meus colegas de trabalhos, meu muito obrigado.

Gostaria de registrar o meu agradecimento ao meu orientador, de mestrado e doutorado, professor Henrique César da Silva. Sou grato por ter tido paciência em nossas interlocuções, estudos e leituras. Além de construirmos uma relação profissional, construímos uma amizade. Foi ele quem mais me inspirou a conhecer, refletir e pesquisar sobre esse mundo complexo das imagens, discursos e Física Quântica. Esses seis anos foram cheios de debates, novas ideias, reflexões profundas sobre os referenciais teóricos e metodológicos. Pude assistir algumas versões da disciplina que o professor ministra no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica (PPGECT), o que me possibilitou estar atualizado e estudar em grupo referenciais, os quais me apropriei, ou que me instrumentalizaram para tal processo de apropriação. O professor Henrique também criou o grupo “Fluxo - Circulação e textualização da ciência e educação científica” que foi essencial para minha formação enquanto pesquisador: foram nas reuniões desse grupo que profundas reflexões foram realizadas, que inquietações puderam ser compartilhadas, onde se fortaleceram laços entre nossas pesquisas. Também lhe agradeço por me abrir um leque de possibilidades de pesquisas, sugerindo e discutindo tanto

pesquisas que já fiz, quanto pesquisas que pretendo continuar seguindo. Certamente, esse trabalho nunca poderia ser concluído sem a ajuda dessa grande pessoa.

Agradeço à Banca examinadora desta tese, professora Fernanda Ostermann, professora Andréa Guerra de Moraes e professor Juliano Camillo, por contribuírem lendo e discutindo o meu trabalho, dedicando tempo e atenção ao que produzi. Foram valiosas reflexões, discussões e sugestões. Além de ter sido uma honra saber que os estudos e pesquisas nessa tese tenham lhe interessado e instigado a refletir sobre o Ensino. Agradeço também à Banca de qualificação desta tese, professores Frederico Firmo de Souza Cruz, Claudia Regina Flores, e Guaracira Gouvêa de Sousa. Cada sugestão, contribuição, discussão e apontamento me fizeram rumar a construção dessa tese, sou muito grato pela riqueza das contribuições.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT), por oferecerem a oportunidade e espaço para o desenvolvimento dessa pesquisa. Agradeço imensamente aos professores e às professoras do PPGECT, Demetrio Delizoicov Neto, Fabio Peres Goncalves, Frederico Firmo de Souza Cruz, que contribuíram muito com as discussões e debates nas disciplinas, algo que foi de fundamental importância para o desenvolvimento desta tese. Também à professora Maria Bernardete Ramos Flores, do Programa de Pós-Graduação em História (PPGH), que também contribuiu muito com discussões e debates nas disciplinas.

Esses quatro anos de doutorado me trouxeram muitos amigos e amigas, mas em especial gostaria de agradecer à Cláudia, Jane, Maria Lúcia, Mayara, e Lucas, por terem sido parceiras e parceiros nessa trajetória, por apoiarem, motivarem e possibilitarem contribuições incontáveis, por meio das discussões em grupo. Além de propiciarem momentos de descontrações, sou muito grato por fazerem parte dessa trajetória. Agradeço também aos membros do grupo de pesquisa “Fluxo - Circulação e textualização da ciência e educação científica”, Giovanni, Fábio, Joselaine, William, outros membros, por propiciarem leituras prévias do meu trabalho, discussões e estudos.

Também agradeço aos(as) licenciandos(as) da disciplina de Metodologia de Ensino de Física da UFSC, por assistirem às minhas aulas de Estágio Docência, e suscitarem ricas discussões e indagações sobre as imagens de partículas elementares. Registro meus agradecimentos aos meus amigos de turma de doutorado, Leonardo e Rodrigo, por terem me ajudado com as atividades na disciplina de Metodologia de Ensino de Física.

Agradeço à minha família, principalmente à minha mãe que, mesmo que de forma tímida, sempre me apoiou e acreditou no meu sonho de ser pesquisador. Ver a felicidade nos

olhos dela ao me ver estudando e conquistando novos desafios, foi a principal motivação. Também agradeço ao meu pai, que não vive mais, mas que com toda certeza me ensinou o fundamental enquanto esteve presente em minha infância. Dedico a conquista do meu título de doutor a eles, com todo carinho, amor e gratidão. E também agradeço aos meus irmãos e irmãs, Thamyres, Thayna e Kauan, por acreditarem no meu potencial.

Especialmente, registro minha gratidão ao meu amigo André Felipe Meyer, parceiro de banda, de infância e de discussões incontáveis. Esse processo difícil de escrever, desde o projeto de doutorado, até a finalização dessa tese, foi amenizado pela sua ajuda. Os momentos de descontrações, foram fundamentais para que eu superasse a insegurança que se manifestou em muitas fases dessa trajetória. Agradeço também por fazerem parte dessa trajetória meus amigos e amigas Leo, Marina, Bruna, Vander, Claudio, Ednaide, Mara, Guilherme que estiveram presentes em momentos de distração concomitantemente às turbulências do doutorado.

Também agradeço à minha professora e ao meu professor da Licenciatura em Física da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Ivani Teresinha Lawall e José Fernando Fragalli, que durante minha graduação, incentivaram-me a seguir a carreira de pesquisa acadêmica, materializando possibilidades de conhecer as áreas possíveis ainda antes de me graduar. Minha sincera gratidão por essa oportunidade que me foi dada.

Manifesto a minha gratidão à professora e amiga, Sidenara Terezinha Valentim Sartori, que como colega de trabalho sempre esteve ao meu lado, ajudando-me e apoiando-me nos difíceis momentos, incentivando-me a continuar trabalhando duro e a batalhar pelos meus sonhos. Também agradeço à professora Karline Lisandra Devegili, por sua dedicação como professora e por ter me inspirado a seguir estudando Física. Suas aulas eram o momento mais esperado quando eu estava na escola, durante o Ensino Médio.

Registro também meu agradecimento ao meu companheiro, Bruno Dias Gazeto, que sempre esteve presente nessa trajetória, presenciou meus momentos mais difíceis, presenciou minhas profundas inquietações nesse longo percurso de pós-graduando. Teve paciência inigualável a todos os desafios que enfrentei, apoiando-me em vários momentos, sempre escutando meus desabafos e ajudando-me com conselhos e incentivos. Sua presença foi fundamental para que eu tivesse forças suficientes para superar todos os desafios que encarei. Os momentos de descontrações, de viagens e de confraternização com amigos que tivemos, sou grato por estar presente. Meus sinceros agradecimentos.

Enquanto doutorando, bolsista do Programa de Demanda Social (DS) da agência pública Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), devo meus

agradecimentos. Contudo, por ser uma agência pública, devo agradecer também ao povo brasileiro por propiciar financeiramente, em forma de bolsa estudo, condições para que eu realizasse essa pesquisa. Esse financiamento consistiu em condições materiais para que eu atuasse como estudante e pesquisador. Mesmo sabendo que nesse momento histórico, em que este trabalho foi escrito, tenhamos presenciado ataques à educação e à ciência brasileira, por parte de determinada frente política, confio que grande parte dos brasileiros acredita em nossos trabalhos de pesquisa e no desenvolvimento científico e sociocultural que esses trabalhos podem propiciar.

Agradeço, por fim, e não menos importante, à Presidente Dilma Vana Rousseff e ao Presidente Luiz Inácio Lula da Silva por terem criado oportunidades às quais me possibilitaram seguir essa carreira de pesquisador. Ter estudado em escola pública no Ensino Fundamental e no Ensino Médio, ter feito minha graduação em Universidade Estadual e minha pós-graduação em Universidade Federal, só foi possível devido as políticas desenvolvidas por esses governos. Tais oportunidades não vieram apenas por meio de programas de governos, por meio de incentivos financeiros que o governo criou ou priorizou, mas também pela ideia de fortalecer o Ensino Básico e Ensino Superior, a qual se concretizou de muitas maneiras nesses governos. Por isso, acredito que seja necessário esse agradecimento. Eu, e todos que acreditam na educação, deixamos nosso muito obrigado.



Adaptação de Xavier Cortada (2013).

## RESUMO

Neste trabalho, foram analisadas as imagens de física de partículas, tomando-as, entre outros aspectos, como enunciados, produtos de práticas discursivas e não discursivas. O objetivo foi investigar como as partículas elementares se constituíram por meio de suas imagens desde o início do século XIX. Para isso, utilizaram-se as abordagens de Foucault e Courtine, compreendendo-as como parte de um dispositivo, considerando um conjunto de instituições, regras, práticas, ditos (vistos) e não-ditos (não-vistos). Abordagens que possibilitaram identificar regularidades inscritas na história, condições de existência de enunciados imagéticos e outros elementos que operam num espaço de memória das imagens. Buscaram-se em fontes históricas os elementos das práticas que envolveram a produção de imagens de partículas. Foram elencadas as condições de existência dessas imagens, percebendo-se que é necessário considerar muitos elementos do campo científico, mas também muitos elementos não científicos, de outros campos de saberes. Técnicas específicas, para produzir imagens de partículas, persistiram e coexistiram com os modos de observá-las, existiu uma cultura material que envolveu essas imagens e que podemos investigar. Em suma, para a emergência das imagens de partícula existiram regras anônimas e histórias que apareceram no período vitoriano, na observação da natureza, na história natural, na prática de fotografar, nos experimentos da câmara de nuvens, na emulsão fotográfica, nas práticas das microscopistas, na matematização estatística, nas equações, nos diagramas, nos gráficos, na criação de imagens computadorizadas geradas por dados experimentais. Por um lado, buscou-se fazer uma análise dos enunciados imagéticos de partículas elementares, investigando-se discursos que passaram por práticas de controles rígidas do campo científico da física. Por outro lado, investigaram-se as formulações discursivas que circulam no presente, examinando a intericonicidade das imagens, identificando as redes de memórias e conexões entre as imagens externas e internas, no campo da Física de Partículas e na sociedade. Foi identificada a predominância da memória clássica nas imagens em que rastros, trajetórias, feixes, linhas, círculos, esferas de partículas, aparecem constantemente, trazendo muito mais os aspectos corpusculares das partículas do que os ondulatórios imanentes do comportamento quântico. Outras formas de circulação exibem nuvens, membranas que estabelecem outra rede de memória, dessa vez em relações com o comportamento ondulatório das partículas. Analisam-se ainda os efeitos dos textos e legendas nos modos de observar essas imagens e a dispersão que as imagens podem apresentar na relação com outras memórias. Finalizou-se esse trabalho apontando perspectivas gerais para possíveis situações de ensino sobre física de partículas, em que sejam consideradas as relações de intericonicidade das imagens, evidenciando a opacidade das imagens. Para tanto, foi proposto que fossem criadas narrativas em situações de ensino nas quais se exibam as relações das formulações imagéticas com outras formulações.

**Palavras-chave:** Imagens. Enunciados. Partículas elementares. Cultura Material.

## ABSTRACT

In this work, the images of particle physics were analyzed, taking them, among other aspects, as statements, products of discursive and non-discursive practices. The objective was to investigate how elementary particles were constituted through their images since the early nineteenth century. For this, the Foucault and Courtine approaches were used, understanding them as part of a device, considering a set of institutions, rules, practices, said (seen) and unsaid (unseen). Approaches that allowed identifying regularities inscribed in history, conditions of existence of imagetic statements and other elements that operate in a memory space of images. Historical sources were searched for the elements of the practices that involved the production of particle images. The conditions of existence of these images were listed, realizing that it is necessary to consider many elements of the scientific field, but also many non-scientific elements, from other fields of knowledge. Specific techniques to produce particle images persisted and coexisted with the ways of observing them. There was a material culture that involved these images and which we can investigate. In short, for the emergence of particle images there were anonymous rules and stories that appeared in the Victorian period, observing nature, natural history, photographing, cloud chamber experiments, photographic emulsion, microscopist practices. , statistical mathematization, equations, diagrams, graphs, and the creation of computer images generated by experimental data. On the one hand, we sought to make an analysis of the imaginary statements of elementary particles, investigating discourses that underwent strict control practices in the scientific field of physics. On the other hand, we investigated the discursive formulations that circulate in the present, examining the intericonicity of images, identifying the networks of memories and connections between external and internal images, in the field of particle physics and in society. The predominance of classical memory has been identified in the images in which tracks, trajectories, beams, lines, circles, particle spheres constantly appear, bringing much more the corpuscular aspects of particles than the immanent undulators of quantum behavior. Other forms of circulation exhibit clouds, membranes that establish another memory network, this time in relation to the wave behavior of particles. We also analyze the effects of texts and subtitles on the ways of observing these images and the dispersion that images may present in relation to other memories. This work ended by pointing out general perspectives for possible teaching situations on particle physics, in which the intericonicity relations of the images are considered, showing the opacity of the images. To this end, it was proposed that narratives be created in teaching situations in which the relations of the imagetic formulations with other formulations are displayed.

**Keywords:** Particle images. Statements. Elementary particles. Material culture.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Eventos candidatos dos bósons de Higgs noticiado pelo CERN em 2012. .....	24
Figura 2.1 – Amostra de uma fotografia capturada pela câmara de nuvens. ....	34
Figura 2.2 - Amostra de uma fotografia capturada pela câmara de nuvens. ....	35
Figura 2.3 – Fotografias de gotas e respingos capturadas por meio de técnica de alta velocidade de Worthington.....	43
Figura 2.4 – Fotografia estereoscópica de uma fonte de raios $\alpha$ de uma fonte radioativa. .....	45
Figura 2.5 – Fotografia de raios $\alpha$ em um campo magnético indo da esquerda para direita. ....	45
Figura 2.6 – Imagem dos anéis de difração produzido por um filme de ouro.....	49
Figura 2.7 – Interferência do elétron após incidir um a um no anteparo depois de ter passado por duplas fendas. ....	50
Figura 2.8 – Partículas se desviando por conta de barreira de potencial quântica. ....	59
Figura 2.9 – Emulsões com traços chamado de “estrelas” nucleares.....	59
Figura 2.10 – Amostra de imagem capturada pela câmara de Bolhas. ....	61
Figura 2.11 - Câmara de Flâmula (Streamer chambre). ....	62
Figura 2.12 - Câmara de tubo de flash de neon (Neon-flash-tube chambre). ....	62
Figura 2.13 - Câmara de Faisca (Spark chambre). ....	63
Figura 2.14 – Amostra de uma emulsão nuclear. ....	64
Figura 2.15 – Emulsão nuclear com 8 rastros. ....	67
Figura 2.16 – Microscopistas do Instituto Max Planck.....	71
Figura 2.17 – A imagem do experimento seguida do desenho. ....	76
Figura 2.18 – Méson pi produzido pelo Berkeley Bevatron na câmara de bolhas.....	77
Figura 2.19 – A imagem do experimento seguida do desenho. ....	78
Figura 2.20 – A imagem do experimento seguida do desenho. ....	79
Figura 2.21 – Fotografia da câmara de bolha e seus traços de partículas. ....	80
Figura 2.22 – Mosaico de fotografia da câmara de bolha e os vários decaimentos. ..	80
Figura 2.23 – Decaimento do méson pi positivo em uma câmara de nuvens. ....	81
Figura 2.24 – Mosaico de imagens em que “estrelas” de partículas surgiram.....	82
Figura 2.25 – Partículas no evento com um Mosaico sobre o público.....	85

Figura 2.26 – Ato de desenhar as partículas.....	86
Figura 2.27 – Partículas na capa da revista. ....	87
Figura 2.28 – Página de Publicidade da Revista <i>Scientific American</i> .....	89
Figura 2.29 – Representação em esferas das partículas. ....	90
Figura 2.30 – Representação em esferas das partículas em um raio cósmico.....	91
Figura 2.31 – Primeira contribuição para o espalhamento Bhabha representado por diagramas de Feynman. ....	93
Figura 2.32 – Segunda contribuição para espalhamento Bhabha representado por diagramas de Feynman. ....	93
Figura 2.33 – Esquema da leitura dos elementos no diagrama de Feynman.....	95
Figura 2.34 – Esquema da leitura dos elementos no diagrama de Feynman.....	96
Figura 2.35 – Diagramas dos aces de Zweig.....	99
Figura 2.36 – Esquema dos aces de Zweig com elementos matemáticos. ....	99
Figura 2.37 – Amostra de imagem divulgada pelo CERN.....	102
Figura 2.38 – Gráfico da detecção do evento candidato de Higgs.....	103
Figura 3.1 – Fotografia ganhadora do concurso EPSRC.....	122
Figura 3.2 – Recorte de imagens sobre trajetória de projéteis e sua legenda.....	124
Figura 3.3 - Recorte de uma imagem sobre uma massa carregada na presença de um campo magnético.....	125
Figura 3.4 - Recorte de uma imagem sobre o equipamento usado por J. J Thomson e sua legenda. ....	126
Figura 3.5 – Partícula $\alpha$ desviando ao encontrar átomos segundo o modelo de Rutherford.....	127
Figura 3.6 - Recorte de uma imagem mostrando a trajetória de uma formiga.....	128
Figura 3.7 - Decaimento do próton em outras partículas. ....	130
Figura 3.8 - Átomo de hidrogênio e as partículas elementares. ....	130
Figura 3.9 - Partículas elementares e o decaimento do bóson de Higgs. ....	131
Figura 3.10 – Amostra de um quadro da abertura de um documentário sobre partículas elementares. ....	132
Figura 3.11 – Capa da revista CERN COURIER de 2015 exibindo as esferas e rastros. ....	133
Figura 3.12 – Representação de um hádrons com seus <i>quarks</i> . ....	134
Figura 3.13 – Amostra de um quadro de um vídeo em que mostra a representação de hádrons e seus <i>quarks</i> . ....	135

Figura 3.14 – Capa da revista CERN COURIER exibindo os <i>quarks</i> em formas de esferas gelatinosas. ....	136
Figura 3.15 – Capa da Revista CERN COURIER exibindo os <i>quarks</i> do próton em forma de nuvens. ....	137
Figura 3.16 - Amostra de um quadro de um vídeo que traz a representação do bóson de Higgs. ....	138
Figura 3.17 – Cena do filme Anjos e demônios em que aparece a antimatéria. ....	139
Figura 3.18 – Eletrosfera de um átomo de hidrogênio. ....	140
Figura 3.19 - Bóson de Higgs surgindo de uma colisão de prótons. ....	141
Figura 3.20 – Capa da revista do CERN Courier de 2015. ....	142
Figura 3.21 – Capa da revista CERN COURIER de 2018. ....	143
Figura 3.22 – Imagens de emulsão fotográfica usadas na revista Scientific American. ....	147
Figura 3.23 – Amostras de emulsão nuclear. ....	148
Figura 3.24 – Fotografia produzida por simulação computacional. ....	149
Figura 3.25 – Fotografia produzida por uma câmara de Wilson. ....	150
Figura 3.26 – Amostra de imagens de câmara de bolhas extraída de um livro didático. ....	150
Figura 3.27 – Imagem extraída de uma notícia da <i>internet</i> . ....	151
Figura 3.28 – Recorte de uma publicação no Facebook da página do CERN no dia 6 de abril de 2018. ....	155
Figura 3.29 – Recorte de uma publicação no Facebook da página do CERN no dia 9 de abril de 2018. ....	156
Figura 3.30 - Recorte de uma publicação no Facebook da página do CERN no dia 4 de junho de 2015. ....	157
Figura 3.31 – Recorte de uma publicação no Facebook da página do CERN no dia 4 de junho de 2015. ....	158
Figura 3.32 – Recorte de uma das publicações de um <i>blog</i> . ....	159
Figura 3.33 – Recorte de uma das publicações de um <i>blog</i> . ....	161
Figura 3.34 – Partículas representadas por esferas com braços e rostos. ....	162
Figura 3.35 – Elétron representado como um monstrinho. ....	163
Figura 3.36 – <i>Quark top</i> representado como um monstrinho. ....	164
Figura 3.37 – Rastros deixados na areia por pneu de bicicleta e pegadas humanas. ....	166

Figura 3.38 – Imagem de areia mostrando marcas deixadas por rastros de pneus...	166
Figura 3.39 - Icnofósseis na superfície do varvito. ....	167
Figura 3.40 – Rastro deixado por inseto em areia. ....	167
Figura 3.41 – Rastros deixados no céu por fogos de artifícios.....	168
Figura 3.42 – Rastros deixados por meteoros entrando na atmosfera.....	168
Figura 3.43 – ConTrails: Marcas deixas por um avião no céu.....	169
Figura 3.44 – Obra de arte representando as partículas elementares. ....	170
Figura 3.45 – Obra de arte representando as partículas elementares. ....	171
Figura 3.46 – Camiseta com rastro de partículas coloridas, semelhantes às imagens de detecções.....	172
Figura 4.1 – Capa de um livro manual da área de Física de Partículas.....	176
Figura 4.2 - Capa de um livro manual da área de Física de Partículas .....	176
Figura 4.3 - Capa de um livro manual da área de Física de Partículas .....	177

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Partículas conhecidas até 1951.....	72
Tabela 2 - Linhas internas dos diagramas de Feynman e suas expressões matemáticas. .....	94
Tabela 3 – Linhas externas dos diagramas de Feynman e suas expressões matemáticas. .....	94
Tabela 4 – Linhas dos diagramas de Feynman e suas expressões matemáticas para a QCD.....	97

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AD Análise de Discurso

CERN Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

EPSRC Engineering and Physical Sciences Research Council

HEP Física de Alta Energia

QCD Cromodinâmica Quântica

QED Eletrodinâmica Quântica

UDESC Universidade do Estado de Santa Catarina

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>AS PEGADAS NA AREIA E A LUPA NA MÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>AS PRÁTICAS DE PRODUZIR IMAGENS DE PARTÍCULAS: UMA ARQUEOLOGIA DAS IMAGENS .....</b>	<b>31</b>
2.1	A CÂMARA DE NUVENS.....	33
2.1.1	Uma prática experimental e mais de um resultado .....	36
2.1.2	A luz e a matéria em debate: a emergência da física quântica .....	46
2.2	A EMULSÃO NUCLEAR.....	60
2.2.1	O ato de observar como prática institucionalizada.....	64
2.2.2	Lattes e as pesquisas no Brasil .....	73
2.3	AS REVISTAS CERN-COURIER E SCIENTIFIC AMERICAN.....	74
2.4	OS DIAGRAMAS DE FEYNMAN E OS ACES DE ZWEIG .....	91
2.5	OS DETECTORES ESTATÍSTICOS .....	101
2.6	AS CONDIÇÕES DE EXISTÊNCIA DAS IMAGEM DE PARTÍCULAS ELEMENTARES .....	104
<b>3</b>	<b>UMA SOCIEDADE DE OBSERVADORES: CIRCULAÇÃO DAS IMAGENS.....</b>	<b>118</b>
3.1	A MEMÓRIA CLÁSSICA NOS MANUAIS DA FÍSICA .....	123
3.2	QUE PARTÍCULA É ESSA BOLINHA? QUE PARTÍCULA É ESSE RASTRO? .....	129
3.3	O PAPEL DO TEXTO E DA LEGENDA NA LEITURA DAS IMAGENS .....	144
3.4	OS ESPAÇOS MODERNOS DE CIRCULAÇÃO: A IMAGEM QUE NÃO SE CALA 153	
3.5	O VISTO E O IMAGINADO: O RESSURGIMENTO DO NÃO CIENTÍFICO .....	165

<b>4</b>	<b>A OPACIDADE DAS IMAGENS DE PARTÍCULAS ELEMENTARES: PERSPECTIVAS E DESAFIOS NO ÂMBITO ESCOLAR.....</b>	<b>174</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>187</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>192</b>

## 1 AS PEGADAS NA AREIA E A LUPA NA MÃO

(...) talvez tenha pensado justamente que uma vez que os cegos não poderiam ver as imagens, também as imagens deveriam deixar de ver os cegos, As imagens não veem, Engano teu, as imagens veem com os olhos que as veem, só agora a cegueira é para todos, Tu continuas a ver, Cada vez irei vendo menos, mesmo que não perca a vista tornar-me-ei mais e mais cega cada dia porque não terei quem me veja, Se foi o padre quem tapou os olhos das imagens, É só uma ideia minha, E a única hipótese que tem um verdadeiro sentido, é a única que pode dar alguma grandeza a esta nossa miséria (SARAMAGO, 1995, p. 302)

Foi foleando um livro de astronomia<sup>1</sup>, durante minha graduação<sup>2</sup>, que percebi como a imagem podia entrar no imaginário e tocar nossa sensibilidade. Era provocante ler que o universo um dia teria sido formado apenas por partículas elementares, no momento em que estaria se formando, a pouquíssimos instante após o *Big Bang*. As imagens<sup>3</sup> desse instante também me intrigavam por muitos motivos. Era possível ver matéria, bolinhas, muitas cores para cada item na imagem, muitos nomes diferentes como “*quark*”, “*bóson X*”, “*antiquark*”, “*sopa de partículas*”, “*superforças*”, “*neutrinos*”. Não era apenas um instante após o *Big Bang*, o começo do universo, era como olhar para a sua primeira composição, olhar para aquilo que o universo realmente era feito. Ao mesmo tempo, eu pensava o quão extraordinário era uma imagem apresentar arte e juntamente saberes sobre o universo. Foi essa imagem que teria me tocado, incentivando-me, pela primeira vez, a entender as partículas<sup>4</sup>.

Mais tarde, em 2011, eu cruzaria com um livro didático do Ensino Médio<sup>5</sup>, fazendo-me observar uma tabela com as partículas que já tinham sido detectadas. Ao observar essa tabela que eu perceberia a inimaginável quantidade de partículas. Havia muitas letras do alfabeto grego, cada uma simbolizando uma partícula diferente e também havia algumas partículas bem

---

<sup>1</sup> Durante a minha graduação eu participei de um projeto de extensão universitária chamado “Astronomia como base da educação para a ciência: Organização das palestras para os alunos do Ensino Médio e observações astronômicas para a comunidade”, coordenado pelo Prof. Dr. José Fernando Fragalli. Nesse projeto visitávamos escolas de Joinville ministrando palestras de astronomia e fazendo observações astronômicas. O livro que utilizava como base para essas palestras era de Ridpath (2007).

<sup>2</sup> Minha graduação foi em Licenciatura em Física na Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), iniciei em 2009 e conclui em 2012.

<sup>3</sup> Cf. RIDPATH, 2007, p. 48-49.

<sup>4</sup> Não existiam disciplinas obrigatórias da graduação em Licenciatura em Física, da UDESC, que tratasse sobre o tema de partículas elementares, Física de Partículas. Ainda hoje, diversas universidades não trazem disciplinas obrigatórias sobre esse tema.

<sup>5</sup> Cf. PIETROCOLA, M. et al., 2010, p. 489.

conhecidas por mim como o elétron, próton e nêutron que recebiam letras do alfabeto romano. Ao longo da leitura, sem perceber, fui direcionando meu olhar para outras imagens. Eu já estaria associando aquelas letras, vistas naquela tabela, com as letras que apareciam nas imagens. Eram imagens de fotografias da câmaras de nuvens, imagens que eram marcadas com as letras que surgiram páginas antes, na tabela. Para cada traço mais forte naquelas fotografias, havia uma letra ao lado, indicando uma partícula. Aquele foi o ano em que finalmente me aprofundei no tema. Finalizei a leitura desse livro didático e outros materiais que encontrei.

Ao participar de pesquisas durante a graduação, eu me depararia novamente com temáticas vinculadas à Física de Partículas, dessa vez ao transcrever áudios de professores relatando desafios para desenvolver um projeto para lecionar Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio<sup>6</sup>. Instigado pelos desafios relatados, desenvolvi uma sequência de aulas específicas sobre partículas elementares, utilizando aquele livro didático de Pietrocola et al. (2010), que já havia conhecido, produzindo uma atividade envolvendo figuras geométricas para representar partículas<sup>7</sup>. Essa mesma sequência de aulas foi aperfeiçoada e apresentada em minha dissertação de mestrado (NETO, 2015)<sup>8</sup>.

Durante o mestrado, meu olhar sobre as imagens foi mediado por perspectivas teóricas e metodológicas atentas à sua natureza discursiva, pois, nesse período, realizei estudos sobre a vertente teórica da Análise de Discurso, que acabaram por contribuir com diversas análises<sup>9</sup> relacionadas às pesquisas em desenvolvimento naquele momento. Desde então, incessantemente, busco entender as relações entre as imagens, as memórias, os saberes da física e as práticas de ensino de partículas elementares. Já não via as partículas da mesma forma: havia percebido regularidades discursivas na circulação das imagens de partículas (NETO, 2015;

---

<sup>6</sup> O projeto de pesquisa que participei se chamava “Fases de desenvolvimento profissional de professores do Ensino Médio em situações de inovações” coordenado pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ivani Teresinha Lawall. As falas transcritas eram de professores que participavam de um projeto que foi desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP).

<sup>7</sup> Essa sequência de aulas foi produzida no contexto de uma disciplina eletiva chamada “Produção de material Didático”, depois foi desenvolvida com alunos de escolas públicas na disciplina de Estágio Curricular. Essa atividade foi analisada anos mais tarde por Neto e Silva (2015).

<sup>8</sup> Nesta dissertação, buscou-se entender as relações entre as imagens, as memórias, os saberes da física e o ensino de partículas elementares, sob a perspectiva das interações discursivas presentes em debates e respostas de questionários de licenciandos(as) de Física. Foi criado uma sequência de aulas que não foi objeto direto de investigação dessa dissertação, mas que teve o objetivo de fomentar a discussão entre os envolvidos na pesquisa sobre possíveis aulas desse tema. Essa dissertação foi defendida em 2015, no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, sob orientação do Prof. Dr. Henrique César da Silva.

<sup>9</sup> Utilizou-se da Análise de Discurso na vertente iniciada na França por Michel Pêcheux, e desenvolvida no Brasil, principalmente por Eni Orlandi. A disciplina de “Circulação e textualização de conhecimentos científicos”, ministrada pelo Prof. Dr. Henrique César da Silva no Programa de Pós-graduação em Educação Científica, foi de suma importância para entender algumas passagens da Análise de Discurso.

NETO; SILVA, 2017a, 2017b). Identificamos, por exemplo, que as imagens de partículas circulavam como esferas, bolinhas, nuvens, pontos, traços, trajetórias, diagramas, gráficos, equações matemáticas, diagramas; circulavam em textos, imagens, infográficos, animações, pinturas, poesia, teatro, histórias em quadrinhos, áudios-visuais; circulavam por meio dos artigos, manuais, jornais, *sites*, *blogs*, divulgações científicas. Nesta tese, pretendemos aprofundar e preencher as lacunas dessas iniciais observações sobre a circulação de imagens de partículas, retomando todas essas formas materiais e práticas discursivas (e não discursivas), observando dispersões e formalizações, examinando profundamente essa circulação, a partir de um recorte temporal do século XIX até os dias atuais.

Em anos seguintes, em 2012 e 2013, presenciamos a imprensa eufórica, ao produzir diversas publicações sobre a detecção do “Bóson de Higgs”<sup>10</sup> pela Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN)<sup>11</sup>. Nessas notícias, o Bóson de Higgs era popularmente chamado de “Partícula de Deus”. Nessa época, os vários veículos de comunicação demonstrariam a relevância de se conhecer as partículas elementares, criando-se assim um dos auges de circulação sobre esse tema. Foram vários os resultados experimentais, discutidos na época, que legitimaram estudos anteriores da área e que criaram um cenário de expectativas e debates, em esferas acadêmicas e sociais, sobre até onde a humanidade poderia compreender a composição e estrutura da matéria. Diversas informações circularam e ainda circulam na mídia via televisão, rádio, *internet*, jornais e revistas, dando indícios de que a sociedade está cada vez mais em contato com temas que envolvem Física de Partículas. Um exemplo dessa ampla discussão nos veículos de comunicação no Brasil é a reportagem do jornal Folha de São Paulo que noticiou que o “Bóson de Higgs é eleito a descoberta do ano pela ‘Science’” (GARCIA, 2012).

Foi emocionante poder presenciar o entusiasmo dos pesquisadores do CERN ao comemorarem em 2012 a detecção do Bóson de Higgs. Chamou-me atenção o destaque que foi dada as imagens nos noticiários (conforme a Figura 1.1), sobressaindo-se, em minha análise, aos textos a que estavam associados. A imagem aparecia após o título da notícia (O'LUANAIGH, 2012, tradução nossa), ocupando o mesmo espaço na sua largura e a legenda da imagem anunciava o que supostamente estaria a mostrar: “Um evento candidato na busca

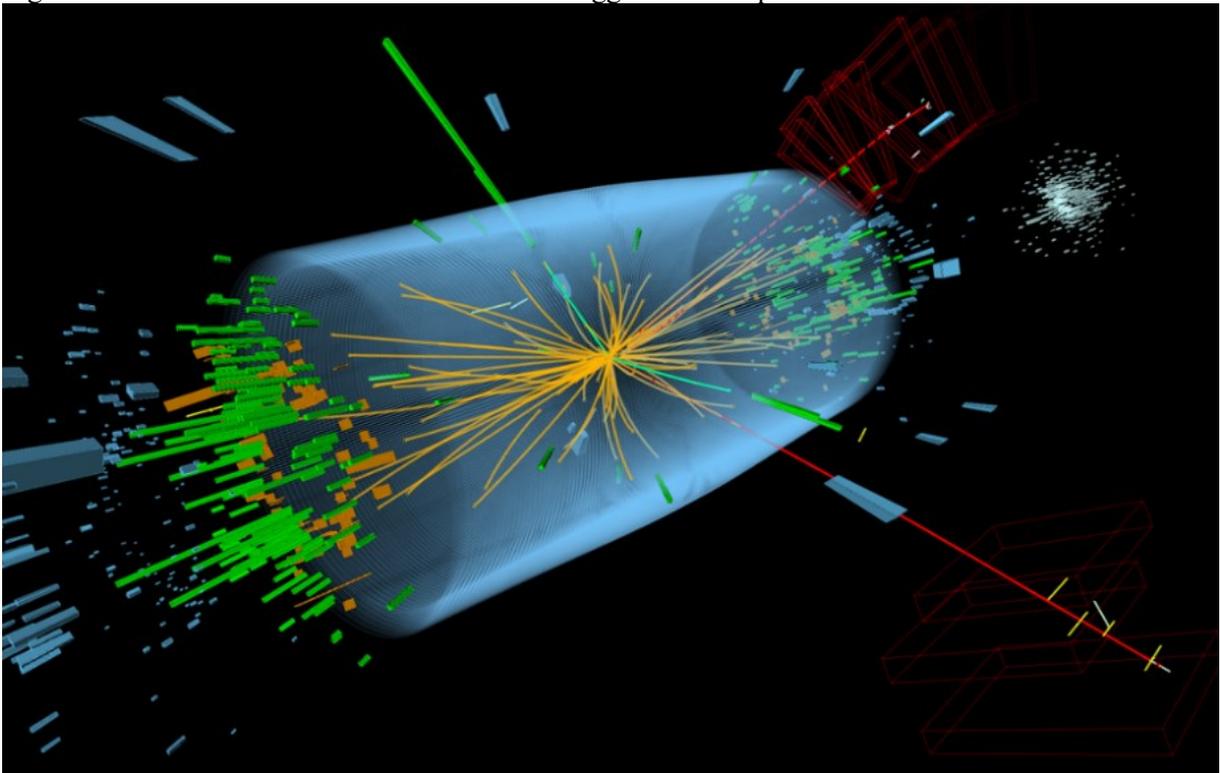
---

<sup>10</sup> O Bóson de Higgs foi proposto teoricamente em 1964 por Peter Higgs.

<sup>11</sup> Sigla antiga para “Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire”. Conhecido como um dos maiores laboratório de física de partículas do mundo.

pelo bóson de Higgs, mostrando dois elétrons e dois múons”<sup>12</sup>. A ênfase na imagem só me surpreendia, pois, em minha primeira impressão, os dados experimentais tinham maior relevância para determinar o bóson de Higgs, de modo que um gráfico no lugar da imagem deveria ser mais pertinente para o experimento. Afinal, como a imagem, produzida graficamente por um computador, poderia ter o mesmo peso científico que o gráfico do experimento?

Figura 1.1 – Eventos candidatos dos bósons de Higgs noticiado pelo CERN em 2012.



Fonte: O'Luanaigh (2012).

Dentro dessas notícias, e também de outras, imagens como essa (Figura 1.1) circularam, criando uma rede de memórias, tornando visível regularidades e dispersões entre as imagens, fazendo, de diferentes formas, que aquelas imagens fossem de partículas e não de outra coisa. Ao mesmo tempo, era perceptível que as imagens de partículas enfrentavam problemas para que fosse representada as entidades físicas envolvidas, já que, ao desenharmos as partículas, estamos representando objetos invisíveis, com propriedades quânticas, objetos que não possuem as mesmas propriedades que os objetos materiais macroscópicos possuem. Esses objetos invisíveis exibem relações de massa, forma e localidade extremamente diferentes

<sup>12</sup> “A candidate event in the search for the Higgs boson, showing two electrons and two muons” (O'LUANAIGH, 2012).

dos objetos compreendidos na Física Clássica. Dentro desse campo científico, anos após anos, imagens foram produzidas por instrumentos experimentais, redesenhadas por cientistas e divulgadas nos diferentes meios. Ao analisarmos esses contextos de produção de imagens das partículas elementares, entendemos que as imagens não servem apenas para representar objetos. Compreendemos que “(...) as imagens, assim como as histórias, nos informam. (...) As imagens que formam nosso mundo são símbolos, sinais, mensagens e alegorias” (MANGUEL, 2001, p. 21). Elas nos possibilitam realizar leituras que, certamente, mobilizam memórias de imagens que foram vistas em outros lugares, ou imaginadas anteriormente (COURTINE, 2013).

Antes das imagens de partículas serem propriamente “de” partículas, e não de outra coisa<sup>13</sup>, produziam-se imagens ainda não compreendidas que apresentavam um conjunto de práticas, memórias e regularidades. Por isso, podemos voltar até a segunda metade do século XIX para investigar a respeito de saberes e práticas que se relacionaram com a produção de imagens, em específico, a produção de imagens *de* partículas. Para que, em seguida, possamos retomar as reflexões sobre circulação das imagens de modo mais amplo, nos dias atuais, já considerando os espaços modernos e contemporâneos de circulação, como a *internet* e as *redes sociais*.

É preciso reafirmar que na Física de Partículas, as entidades envolvidas não são do universo visível – as partículas elementares<sup>14</sup>, fisicamente, não se comportam como as entidades visíveis. Mas, quando propomos representar por imagens as partículas elementares, quais aspectos visíveis dialogam com esse universo invisível, inacessível em termos da Física Clássica? No ambiente escolar se usam imagens para reproduzir os fenômenos da física, são evocadas situações e objetos cotidianos conhecidos, experienciados pelos estudantes, utilizando-se representações matemáticas e imagéticas. Mas na prática de ensino do tema de Física de Partículas elementares no Ensino Médio, não se costuma usar representação

---

<sup>13</sup> Como veremos a seguir, nas análises, nem sempre as “imagens de partículas” foram “de partículas”, eram imagens “de íons”, “de raios”, “de nuvens”, de outros objetos.

<sup>14</sup> O termo “partículas elementares”, ou “partícula fundamental”, é utilizado para designar aquela partícula que pode compor outras partículas. Embora hoje, possamos dizer, por meio do modelo padrão, que partículas elementares são 6 léptons (no qual o elétron é uma das partículas), 6 quarks, 4 bósons mediadores e o Bóson de Higgs, nem sempre se compreendia que as partículas elementares eram essas. Houve momentos por exemplo que o nêutron e próton eram partículas elementares. Por isso, os experimentos que foram desenvolvidos para detectar partículas, em sua maioria, dizia observar partículas, mas nem sempre eram partículas elementares.

matemática devido à sua complexidade, utiliza-se representação imagética, mesmo se tratando de objetos invisíveis.

Em minha dissertação (NETO, 2015), já havia identificado que em artigos científicos dessa área – Física de Partículas, ou Altas Energias (HEP) – não circulavam imagens de partículas elementares, havendo maior circulação de textos e elementos matemáticos. Os artigos escolhidos para essa análise foram artigos produzidos pelas pesquisas do CERN nas últimas duas décadas, publicados em revistas científicas. Tais artigos merecem, nessa tese, uma análise mais aprofundada, abrangendo um período mais amplo. Ainda, como resultado de minha dissertação (NETO, 2015), foi possível analisar os discursos e posições discursivas de estudantes da licenciatura em Física<sup>15</sup> sobre as imagens de partículas elementares. Sinteticamente, os discursos identificados foram os seguintes: a imagem é uma metodologia; a imagem apresenta diferentes relações, podendo ser, representar e/ou ilustrar a realidade; o uso de imagem tem potencial de se relacionar com discursos do campo científico e discursos externos a esse campo.

Nesse cenário, é importante voltar em diferentes períodos históricos e tentar estabelecer as condições de existência<sup>16</sup> das imagens de partículas elementares interligadas às condições de existência dos saberes vinculados. Para isso, é preciso considerar que a materialidade da imagem opera discursivamente, recorrendo-se, para essa compressão, principalmente, às abordagens teóricas e metodológicas de Foucault (2014), Courtine (2013) e Silva (2002). Assim, dialogamos com o campo da análise de discurso (AD), de origem francesa, em que se define o discurso como sendo um efeito de sentido inscrito por meio da materialidade da linguagem na história, em que os sujeitos e sentidos se constituem simultaneamente. Com essa abordagem histórica e social, podemos problematizar, enquanto uma das três questões de pesquisa: **qual o conjunto de práticas discursivas e não-discursivas que atuam como condições de existência de imagens, enquanto enunciados de partículas elementares?**

---

<sup>15</sup> Para observar esses discursos foram criadas situações de ensinos que discutissem a possibilidade e os limites do tema “partículas elementares” ser inserido ao Ensino Médio. Foram criados quatro momentos de investigação: no primeiro, os licenciandos(as) participaram de uma apresentação sobre “Imagens no Ensino de Ciências”, respondendo a um questionário ao final dessa apresentação; no segundo momento, os(as) licenciandos(as) participaram das aulas de uma Unidade de Ensino sobre partículas elementares; no terceiro momento, os(as) licenciandos(as) discutiram o artigo A Física dos quarks e a epistemologia, que haviam lido previamente a aula; e no quarto momento, os(as) licenciandos(as) discutiram sobre a Unidade de Ensino da qual participaram anteriormente.

<sup>16</sup> Se considerarmos que as imagens podem compor enunciados, enunciados imagéticos, podemos elencar as condições de existência desses enunciados. Em suma, entendemos que as condições de existência (FOUCAULT, 2014) são condições para que exista a função enunciativa, para que existam enunciados. Essas condições têm relações com as práticas discursivas e não discursivas, pois essas práticas são regras anônimas e histórias que definem “as condições de exercício da função enunciativa” (FOUCAULT, 2014, p. 144).

Ademais, o que temos presenciado é que após as imagens serem produzidas, elas circulam e podem passar por diversos processos de transformações, significações e produções de outras novas imagens. Esse funcionamento de circulação e textualização (SILVA, 2014) é um fenômeno sociocultural-histórico que não pode ser controlado pelos cientistas e seus laboratórios. Cabe entender como funciona essa circulação e textualização, observando as imagens conservadas e as novas imagens que circulam, dando opacidade as imagens<sup>17</sup> (SILVA; NETO, 2018), buscando nas novas imagens os indícios de que outras imagens estão ali depositadas (COURTINE, 2013). Problematizamos assim, uma segunda questão de pesquisa: **quais as redes de memórias que as imagens de partículas elementares evocam e se filiam? Quais as relações dessas imagens de partículas elementares com outras imagens e formulações?**

Em se tratando da grande área de Ensino de Física no Brasil, área em que essa tese foi produzida, consideramos importante investigar essa temática, pois, nesse momento histórico, os estudos sobre partículas elementares vêm cada vez mais ganhando visibilidade e espaço na mídia e no âmbito escolar. Essa visibilidade acontece porque esse tema aborda o que existe de mais novo na ciência, conhecimentos que estão sendo desenvolvidos atualmente. Como destaca Pinheiro (2011, p.12), “[...] o tema partículas elementares e Interações Fundamentais propicia ao estudante o contato com a Física que está sendo construída atualmente”. Além disso, esse tema ganha relevância, pois tem grande potencialidade para que haja compreensão social, para além do campo científico, do processo de produção (textualização) e circulação e do conhecimento científico (SILVA, 2014), em que “(...) vários episódios históricos (...) mostram o quanto físicos teóricos e experimentais uniram esforços na busca de uma compreensão maior da natureza da matéria” (OSTERMANN, 1999, p. 434).

De maneira geral, podemos dizer que o tema “partículas elementares” está imerso em problemas discursivos quando no contexto do Ensino Médio. Percebemos que a matemática utilizada para a formulação dos conceitos vinculados ao tema não é abordada devido à sua complexidade, e a materialidade em forma de imagens é fortemente criticada por apresentar

---

<sup>17</sup> Dar opacidade a imagens é o mesmo que dar visibilidade aos efeitos que produzem a sensação de “evidência de um único sentido para um objeto simbólico” (SILVA; NETO, 2018, p. 128); é desconstruir o efeito de “transparência”, de “univocidade e inequivocidade” entre “imagem e mundo”.

certos problemas epistemológicos<sup>18</sup>. Criou-se, portanto, uma situação hostil para que o docente aborde esse tema no Ensino Médio. Mas ao mesmo tempo sabemos que esse tema e as imagens relacionadas, inevitavelmente, circulam no âmbito escolar; por isso, participam também das práticas de ensino sobre o tema. Em virtude disso, é mais favorável que a compreensão de futuros professores se estenda para além de entender que as imagens são uma metodologia, ou que a imagem pode representar e/ou ilustrar a realidade (NETO, 2015). É necessário que as memórias, efeitos e práticas que envolvem a imagem sejam compreendidos. Nesse sentido, faz-se importante que esses aspectos sejam discutidos nessa tese, levando-nos a uma terceira questão de pesquisa: **de que forma a abordagem vinculada à busca por conhecer as condições de existência de imagens de partículas elementares, e as redes de memórias das imagens de partículas elementares, poderia contribuir com situações de ensino sobre a física de partículas no Ensino Médio e Ensino Superior?**

Para responder essas três questões, foi necessário discutirmos um pano de fundo mais amplo sobre as imagens de partículas elementares, passando por outras questões como: quais foram as imagens que circularam? Em que lugares discursivos elas circularam? Quais as relações que essas imagens possuem com outras imagens? Quais imagens constituem memórias das visualidades que sobreviveram no tempo atual? Quais seriam as similaridades das imagens atuais com relação às que circulavam em décadas passadas? Quais as possíveis implicações da circulação dessas imagens no âmbito escolar? Como essas imagens podem transformar a prática do ensino de partículas elementares?

Desse modo, sinteticamente, esta tese teve por objetivo, primeiramente, **investigar as práticas discursivas, condições de existência e circulação das imagens enquanto *imagens de partículas elementares*** e, secundamente, **propor a perspectiva da opacidade das imagens como um possível eixo articulador de práticas em situações de ensino do tema**. Rumamos a esses objetivos, estruturando esse trabalho na introdução (esse capítulo), três capítulos teóricos (capítulo 2, 3 e 4) e considerações finais (capítulo 5). Os três capítulos teóricos transitarão por três reflexões diferentes dessa temática, mas que estão interligadas entre si.

No capítulo 2, intitulado “AS PRÁTICAS DE PRODUZIR IMAGENS DE PARTÍCULAS: UMA ARQUEOLOGIA DAS IMAGENS”, identificamos e analisamos as

---

<sup>18</sup> Como, por exemplo, a representação das partículas em uma forma definida, em forma de esfera, com possibilidade de colisão, contrariando a Física Quântica que não atribui forma aos objetos quânticos e nem colisões, noções geométricas não são tomadas como reais, partículas quânticas interagem ao invés de simplesmente colidirem (podem uma atravessar a outra). As principais críticas dessas representações são abordadas em Moreira (2011).

condições de existência que constituíram as imagens de partículas elementares. Buscamos nos trabalhos de Galison (1997) – sobre a história da ciência da microfísica, física de partículas – elementos históricos dos experimentos da câmara de nuvens, trazendo aspectos gerais da história do começo do século XIX, sobre experimentos envolvidos na produção de imagens da física de partículas. Reuniram-se as informações coletadas por esse autor que contribuem para distinguir as condições de existência das imagens *de* partículas elementares. Também utilizamos alguns dos artigos originais produzidos pelo campo científico da física de partículas, a fim de compreendermos as práticas discursivas e não discursivas. Baseamos o nosso trabalho na obra “A arqueologia do Saber” de Foucault (2014). Por isso, buscamos fazer uma análise dos enunciados imagéticos de partículas elementares, investigando discursos que passaram por práticas de controles rígidas do campo científico da física. Nesse percurso, encontramos algumas regras anônimas, históricas, determinadas no tempo e no espaço, que definiram as condições de existência dos enunciados das imagens enquanto imagens *de* partículas elementares.

Já no capítulo 3, chamado de “UMA SOCIEDADE DE OBSERVADORES: CIRCULAÇÃO DAS IMAGENS”, buscamos compreender como ocorreram as transformações e circulações dessa materialidade imagética de partículas elementares para conhecermos, por meio da intericonicidade, as ramificações da memória sobre essas imagens. Fazemos isso apontando as diversas imagens encontradas na circulação mais ampla do tema, identificando conexões entre as imagens externa e internas (COURTINE, 2013), tomando a historicidade dessas imagens e contrapondo com a circulação de outras formulações imagéticas. Ou seja, em suma, buscamos verificar a dispersão social mais ampla das imagens, em circuitos com menores práticas de controles, examinando a intericonicidade das imagens (COURTINE, 2013), a interdiscursividade dos discursos (FOUCAULT, 2014), investigando as redes de memória das imagens, explorando o espaço da memória discursiva. Consolidamos as reflexões do capítulo no sentido de demonstrar que o campo da física de partículas apresenta um campo de regularidades e memórias constituídas de forma histórica, social e cultural.

Por fim, o capítulo 4, com o título “A OPACIDADE DAS IMAGENS DE PARTÍCULAS ELEMENTARES: PERSPECTIVAS E DESAFIOS NO ÂMBITO ESCOLAR”, finaliza esta tese, propondo que a opacidade (SILVA; NETO, 2018) das imagens de partículas elementares seja trabalhada no âmbito escolar. É delineada uma abordagem em

que se faz as imagens aparecerem não como meras ilustrações, não como detentoras de um único sentido, não como objetos simbólicos que apresentam correspondências únicas com a realidade, correspondências únicas com o que significam, mas sim como formas simbólicas historicamente elaboradas, como objetos construídos que participam da construção dos campos de saberes, que fazem parte da produção cultural, social e institucional dos saberes científicos. Propomos essa abordagem refletindo sobre desdobramentos possíveis para futuras situações de ensino de física de partículas.

A partir dessa perspectiva, faz-se interessante que iniciemos essa investigação das imagens de partículas elementares, discorrendo com um cotejo, comparando, imaginando que as imagens de partículas são como pegadas que foram deixadas ao caminhar em uma praia. Imaginando que este trabalho se compõe em um esforço de observar essas pegadas, buscando se consolidar como uma (entre várias) possível lupa em uma mão, que se aproxima o suficiente das pegadas para obter um foco e ampliação desejado, investigando, assim, com cautela, levando em conta cada grão de areia que foi afundado na praia, ou que ficou saliente. Observando de vários ângulos, e tomando nota das várias camadas proeminentes das pegadas. Por fim, narrando, refletindo, analisando como essas pegadas foram deixadas, como são retratadas, como circulam, como se relacionam com outros discursos em nossa sociedade, como podemos ver *pegadas de alguma coisa* onde só há afundamentos na areia.

## 2 AS PRÁTICAS DE PRODUZIR IMAGENS DE PARTÍCULAS: UMA ARQUEOLOGIA DAS IMAGENS

Não se trataria de mostrar que a pintura é uma certa maneira de significar ou de "dizer", que teria a particularidade de dispensar palavras. Seria preciso mostrar que, em pelo menos uma de suas dimensões, ela é uma prática discursiva que toma corpo em técnicas e em efeitos.  
(FOUCAULT, 2014, p. 234)

As imagens de partículas elementares que conhecemos hoje nem sempre foram correlacionadas diretamente com o objeto do mundo que hoje vemos ali representados. Houve, por exemplo, um período em que as principais imagens de partículas elementares eram consideradas fotografias de fenômenos físicos de radiação, ou fenômenos meteorológicos em que nuvens simulavam a atmosfera. As práticas que produziram e constituíram as imagens de partículas, enquanto objeto do mundo, ocorreram simultaneamente ao desenvolvimento dos saberes<sup>1</sup> sobre o objeto que enunciam. Este processo levou décadas envolvendo práticas de produção de imagens de partículas elementares e, concomitantemente, outras diversas práticas sociais do final do século XIX. Por isso, embasamo-nos no trabalho “A arqueologia do saber” de Foucault (2014), almejando dialogar com suas concepções e proposições metodológicas, a fim de identificar e analisar as condições de existência<sup>2</sup> que constituíram enunciados imagéticos de partículas elementares, identificando que processos conduziram as imagens a serem imagens *de* partículas elementares, e não imagens de outra coisa, criando uma possível arqueologia<sup>3</sup> dessas imagens.

---

<sup>1</sup> Saber não no sentido comum da palavra, sinônimo de “conhecimento”. Aqui significamos o saber a partir dos ensaios e reflexões de Foucault (2014). Para Foucault (2014) o saber seria um domínio onde os objetos podem ou não adquirir o status de científico; saber é aquilo que se pode falar em uma prática discursiva específica em um domínio específico; é o lugar onde os sujeitos podem tomar posição de fala e falar sobre os objetos; o saber também está contido em “ficções, reflexões, narrativas, regulamentos institucionais, decisões políticas” (p. 221).

<sup>2</sup> Podemos entender que as condições de existência são condições para que exista a função enunciativa, para que existam enunciados. Nesse caso, condições de existência para a formação de seus enunciados imagéticos. Como já mencionamos no capítulo anterior, essas condições têm relações com as práticas discursivas e não discursivas, pois essas práticas são regras anônimas e histórias que definem “as condições de exercício da função enunciativa” (FOUCAULT, 2014, p. 144).

<sup>3</sup> A arqueologia, para Foucault (2014, p. 220), “percorre o eixo prática discursiva-saber-ciência”, encontrando um pondo de equilíbrio para analisar o saber, em que não descreve disciplinas, mas “podem servir de isca para a descrição das positivities; mas não lhe fixam os limites: não lhe impõem recortes definitivos; não se encontram inalteradas no fim da análise; não se pode estabelecer relação biunívoca entre as disciplinas instituídas e as formações discursivas” (p. 215). Na arqueologia se interrogam as condições de existência de discursos, sejam

Nesse capítulo, pretendemos dar visibilidade às imagens enquanto enunciados de partículas elementares, estabelecendo as condições de existência das imagens interligadas às condições de existência dos saberes vinculados. Para isso, foi preciso considerar que a materialidade da imagem pode operar em uma dimensão discursiva. Para tanto, recorreremos, principalmente, às abordagens de Foucault (2014) e Courtine (2013). A partir dessas abordagens, podemos considerar que as imagens e suas materialidades compõem sistemas para enunciados possíveis. As imagens podem mudar materialmente, formando os mesmo enunciados, ou formando enunciados diferentes, tendo em vista sua condição relacional. Logo, quando analisamos os discursos e as regras de formações dos enunciados, podemos dizer que estamos também analisando as condições de existência, as práticas discursivas e não discursivas (FOUCAULT, 2014), das formulações das imagens. O objeto chamado de partícula, ou partícula elementar, é concebido por diferentes práticas discursivas e não discursivas que pretendemos identificar nessa análise.

A definição de enunciado, por Foucault (2014), difere-se de discurso. Para Foucault (2014): um conjunto de enunciados forma o discurso; o enunciado é uma função de existência que faz com que exista, no tempo e espaço determinado, conteúdos concretos; o enunciado não deve ser confundido com uma frase, proposição ou ato de fala; um referencial, enquanto correlato (como conjunto de domínios de objetos), é o que dá a condição de possibilidade de um enunciado existir; o sujeito do enunciado não é o sujeito que disse alguma frase, não é o autor, o enunciado é uma função vazia em que sujeitos podem tomar posição; existe um conjunto de domínio associados ao enunciado para que o enunciado exista, o que significa que o enunciado nunca está isolado, sempre há um conjunto de enunciados, integrando um jogo enunciativo; o enunciado sempre possui uma existência material, existe um regime de materialidade que se repete e que caracteriza o enunciado, e que é da ordem da instituição. Compreender as imagens enquanto enunciados, leva em consideração esses elementos enunciativos. Para que as imagens pertençam ao discurso da física, tal como normatizado, ela, enquanto imagem de partícula elementar, precisa ser significada e produzida por um conjunto de interações que incluem os instrumentos, os procedimentos, o arranjo experimental que

---

esses discursos científicos ou que se pretendem científicos. Busca-se compreender “o saber em uma direção diferente e descrevê-lo em outro feixe de relações” (p. 246).

constitui a própria imagem. Analisaremos essas imagens enquanto enunciados, com mais profundidade, na seção 2.6.

Para identificarmos essas práticas, somamos a esses referenciais teórico-metodológicos, o trabalho de Galison (1997; 1999) – sobre a história da ciência da microfísica, física de partículas –, buscando elementos históricos sobre os experimentos envolvidos na produção de imagens de física de partículas. Esse autor aborda esses elementos históricos considerando que tudo aquilo que o homem cria e que faça parte da sua vida, faz parte da cultura material<sup>4</sup> (BISPO; DAVID, 2011). Nessa perspectiva, essa cultura envolve, desde os conjuntos de objetos que formam o ambiente concreto de determinada sociedade, até os modos de se relacionar com esses objetos. Esses conjuntos de objetos materiais permeiam a história da ciência e compõem o que Galison (1999) chama de cultura material. No caso da física de partículas, o autor entende que a cultura material da física foi alterada drasticamente com o material da câmara de nuvens, pois o visual passou a ter relevância. Em suma, esse autor contribui profundamente para alcançarmos os objetivos desse trabalho, tendo-se em vista que o mesmo analisou fontes primárias relacionadas aos experimentos que produziram imagens como câmara de nuvens, câmara de bolhas, emulsão nuclear, entre outros.

## 2.1 A CÂMARA DE NUVENS

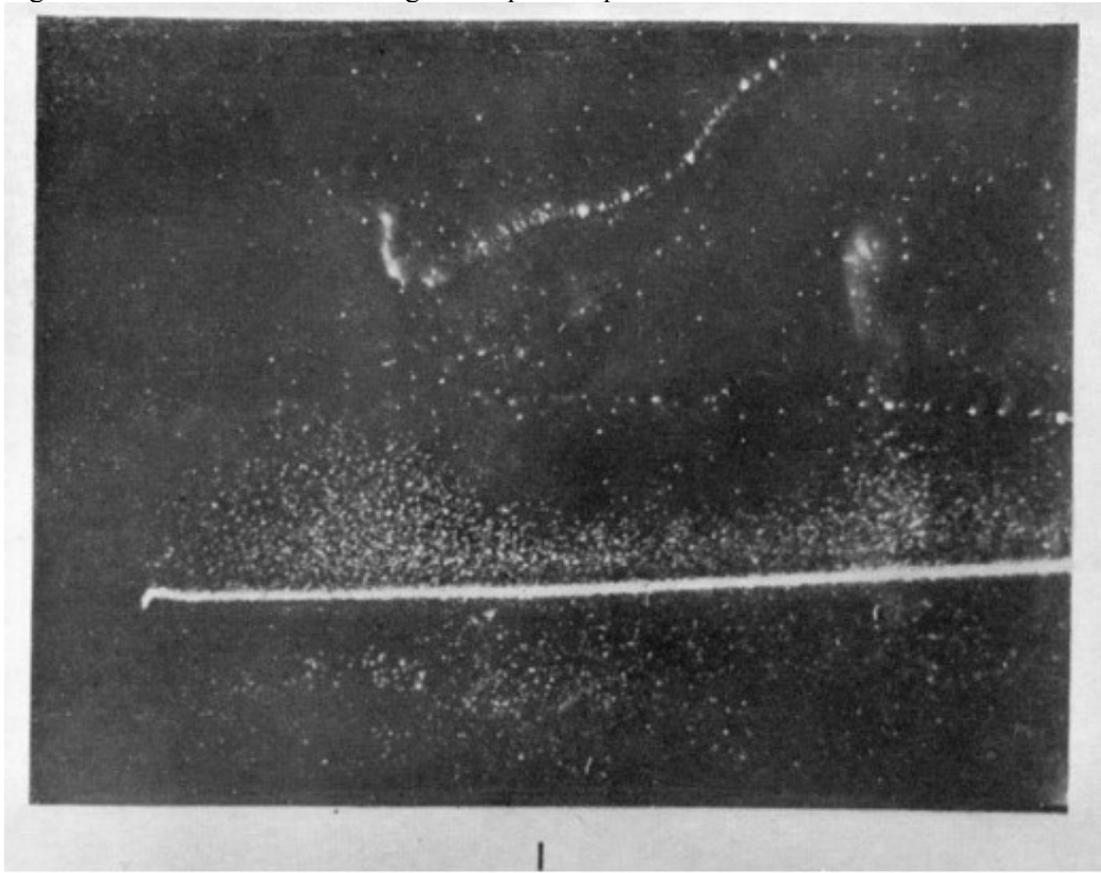
Para falarmos sobre as imagens de partículas elementares, propomos iniciar nossa análise retomando ao cenário do desenvolvimento dos experimentos relacionados à câmara de nuvens. Analisamos esse cenário, pois as primeiras imagens surgiram nos estudos de Charles Thomson Rees Wilson, a partir do desenvolvimento do instrumento experimental conhecido como “câmara de nuvens”, “câmara de nevoeiro” ou “câmara de Wilson”. No entanto, a imagem de partículas elementares não surgiu do instrumento que Wilson criou, e em seguida o mesmo foi reconhecido como sendo o “descobridor” das partículas. Levou-se um tempo para que fossem relacionadas as fotografias produzidas pelo instrumento experimental e as partículas elementares.

---

<sup>4</sup> Na abordagem de Galison (1997; 1999) material tem o sentido de objeto, instrumento. Essas palavras, “material” e “materialidade”, distinguem-se dos sentidos nas abordagens discursivas de Foucault (2014).

O instrumento<sup>5</sup> criado por Wilson, assumiu diversas configurações ao longo da história, sendo utilizado para diferentes experimentos. Dependendo do que se buscava investigar, a câmara de nuvens era modificada. A versão da câmara de Wilson que ficou mais conhecida (GALISON, 1999), é um recipiente com uma mistura de gás em uma pressão de saturação de vapor. Essa mistura poderia ser, por exemplo, vapor de ar-água ou álcool-argônio. Se uma partícula carregada atravessa esse gás, ele se condensa e deixa uma trilha de ionização. A formação dessa trilha ocorre devido à diminuição de temperatura resultante da mistura e da supersaturação, fazendo com que o vapor se condense, formando gotículas ao longo da trilha (GRUPEN; SHWARTZ, 2008). Essa trilha é iluminada e fotografada, resultando em imagens como se pode observar na Figura 2.1 e Figura 2.2. Embora seu instrumento experimental tenha sido notado muito mais pelos físicos, grande parte dos seus trabalhos se iniciaram com estudos sobre meteorologia, com ênfase no comportamento da poeira, ar, névoas, nuvens, chuva, trovão, raios e efeitos ópticos (GALISON, 1997).

Figura 2.1 – Amostra de uma fotografia capturada pela câmara de nuvens.

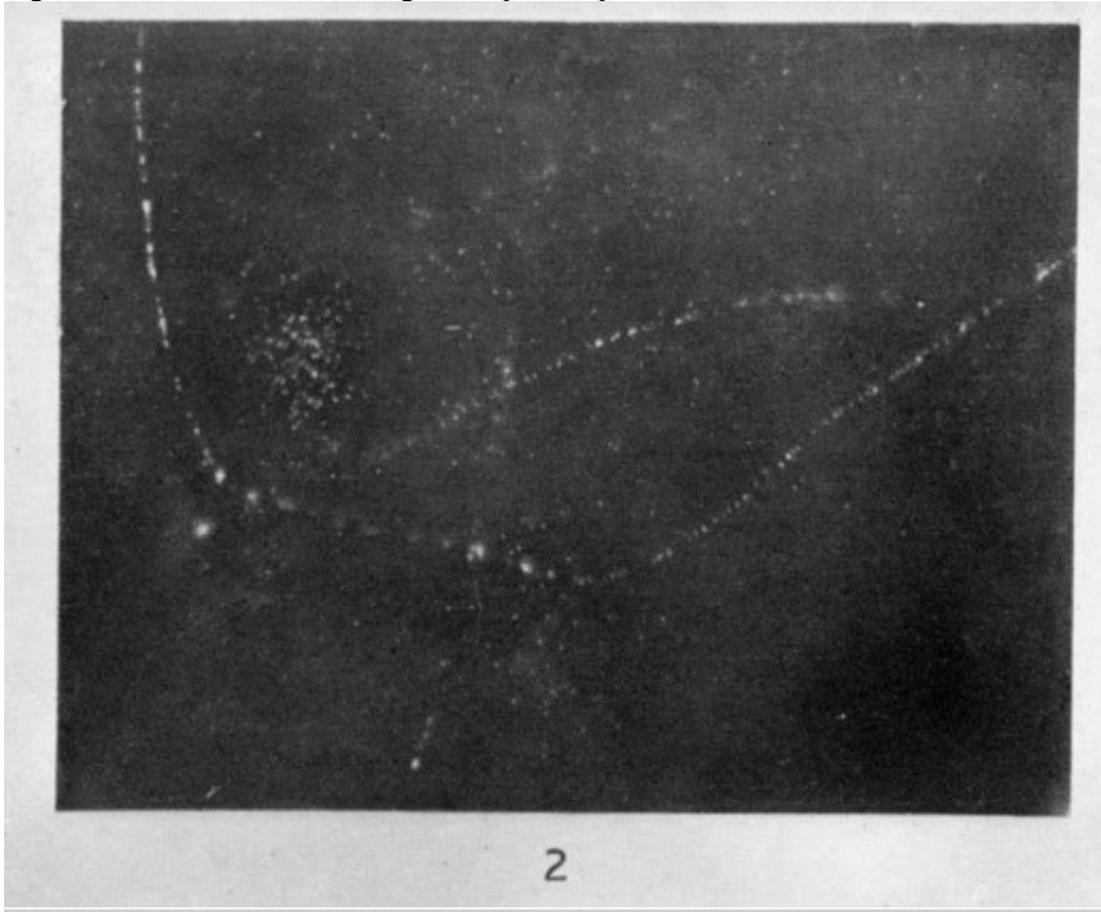


Fonte: Wilson (1912, plate 7).

---

<sup>5</sup> Chamamos de instrumento todo o aparato experimental envolvido.

Figura 2.2 - Amostra de uma fotografia capturada pela câmara de nuvens.



Fonte: Wilson (1912, plate 7).

Visualmente, as fotografias que são obtidas por esse instrumento possuem coloração escura, acinzentada, com marcas de coloração clara. Essas marcas são traços, pontos, conjuntos de pontos e manchas na cor branca. Houve inúmeros processos históricos para que esses instrumentos chegassem a essa configuração, e produzissem tais fotografias, as quais enunciavam imagens de partículas.

O observador humano produziu modos de ver e os alterou com as fotografias, no início do século XIX. A concepção de observador também se transformou, devido a “variedade de práticas sociais e domínios de saber” (CRARY, 2012, p.17). Antes das fotografias, eram muitos os aparelhos ópticos que funcionavam como “pontos de interseção nos quais os discursos filosóficos, científicos e estéticos imbricam-se a técnicas mecânicas, exigências institucionais e forças socioeconômicas”. Esses aparelhos compunham os elementos comuns massivamente da cultura visual do século XIX. Mas como frisado por Crary (2012, p. 22):

A fotografia é um elemento de um novo e homogêneo terreno de consumo e circulação, no qual se aloja o observador. Para entender o ‘efeito fotografia’ no século XIX, é preciso vê-lo como componente crucial de uma nova economia cultural de valor e troca, não como parte de uma história contínua da representação visual.

### 2.1.1 Uma prática experimental e mais de um resultado

Para entendermos a produção específica das imagens de partículas elementares, precisamos conhecer o cenário em que esse conjunto de práticas discursivas e não-discursivas surgiu. O criador da câmara de nuvens, Wilson, viveu entre 1869 e 1959. Ele cursou Ciência Natural na Universidade de Cambridge, em 1892 (GALISON, 1997). A família de Wilson mantinha contato com a arte da época, sua mãe costumava pintar e seus irmãos praticavam fotografia. Segundo Galison (1997), Wilson viveu em um período conhecido como Vitoriano<sup>6</sup>, no século XIX:

Para a imaginação vitoriana, as extremidades e raridades da natureza mantinham um fascínio sem fim. Os exploradores se aventuraram até os confins do império, para os desertos, selvas e geleiras. Pintores e poetas tentaram capturar o poder das tempestades e a grande escala de florestas, falésias e cachoeiras. E tanto artistas como cientistas reconheceram uma tensão entre a imagem racional, imagem legal da natureza proferida pelos filósofos naturais e o aspecto irreduzível, muitas vezes espiritual da natureza, apresentado por seus contemporâneos nas artes. (GALISON, 1997, p. 75, tradução nossa).

Wilson e seu irmão George recriavam o mundo natural por meio de fotografias. Em férias escolares, eles exploravam o campo escocês tirando fotografias. A prática de fotografar era conhecida por Wilson e por muitos outros amadores da fotografia da natureza na Grã-Bretanha (GALISON, 1997).

Nesse período vitoriano, foram realizadas classificações das nuvens por Luke Howard utilizando apenas de características visíveis. Ele utilizou as nomenclaturas “cirrus”, “cumulus” e “stratus”. Essas classificações possuíam afinidades com a História Natural, a qual gerou interesse em Goethe, em 1815, ensinando-o e ensinando a escola de pintores de Dresden a observar as nuvens de outras maneiras. Conforme Galison (1997, p. 77, tradução nossa), Luke Howard “lançou um fascínio estético, popular e científico com as nuvens nos tempos vitorianos”. Estudos de nuvens em pinturas, poesias e fotografias eram fomentados pelas

---

<sup>6</sup> O período Vitoriano é compreendido entre 1837 e 1901, durante o reinado da Rainha Vitória no Reino Unido.

pesquisas meteorológicas dessa época. Segundo Galison (1997, p. 76, tradução nossa) “nuvens se tornaram uma figura central no pensamento romântico”.

Essa abordagem da História Natural, não considerada abstrata e nem reducionista do mundo físico, foi posteriormente chamada de ciências “morfológicas”. De fato, Howard não se sentia confortável com a matemática, fazendo-o se distanciar dessa “abstração” e “generalização” que tantos outros trabalhos buscavam realizar no século XIX (GALISON, 1997).

Mais tarde, os cientistas morfológicos direcionaram suas energias para a criação da natureza em laboratórios, com o objetivo de estudar os processos físicos existentes, tentando imitar a natureza em um tamanho reduzido. Essa prática foi chamada por Galison (1997, p. 80, tradução nossa) de “tradição mimética”. Segundo ele: “quando as ciências morfológicas entram no laboratório, a mimese se torna sua forma característica de representação”. A abordagem morfológica era bem conhecida por John Aitken, estudante de engenharia na Universidade de Glasgow, nascido em Falkirk na Escócia, em 1839. Ele projetou experimentos miméticos para tentar demonstrar modelos de vórtices de ciclones e circulação das águas oceânicas. Seu experimento imitava a natureza sem precisar de modelos matemáticos, distanciando-se de princípios da experimentação analítica (GALISON, 1997).

Wilson desenvolveu instrumentos experimentais também com a motivação de imitar a natureza. Ele relatou em um diário de bordo que ao ter observado uma Corona Lunar, em uma de suas visitas ao Observatório Bem Nevis em 1884, no topo de uma montanha, iniciou trabalhos para explicar esses fenômenos ópticos. Em outro momento, Wilson relatou que em sua viagem para esta mesma colina, teria observado mudanças abruptas do clima com neblina, relâmpago e trovão. Esses fenômenos óticos e elétricos relacionados com eventos meteorológicos perpassaram vários trabalhos de Wilson durante sua vida e as anotações desse caderno expõem um ânimo pelas nuvens desde a década de 1890 (GALISON, 1997).

Como Wilson esteve interessado por trabalhos sobre nuvens, durante sua carreira profissional, ele revisou a literatura e buscou conhecer trabalhos publicados sobre o assunto. Por isso, ele se aproximou dos trabalhos de Aitken, citando-o em seu primeiro artigo, embora houvesse trabalhos de outros pesquisadores, como Jean Paul Coulier e Robert Von Helmholtz. Wilson não somente leu os trabalhos de Aitken como o conheceu de perto ao realizar visitas ao Observatório Bem Nevis – local onde Aitken trabalhava e estava localizado o equipamento de

contagem de poeira em nuvens. As imagens produzidas e observadas pelo equipamento de Aitken eram “*de um ar com partículas de poeira*”, em que se buscava estudar os efeitos da poeira na condensação do ar. As semelhanças entre o equipamento de Aitken e equipamento de Wilson são várias, mas existia uma grande diferença: enquanto Aitken buscava contar partículas de poeira suspensas no ar comum do ambiente, Wilson usou um filtro com algodão para diminuir a quantidade de partículas de poeira e obter uma nuvem de ar artificial (GALISON, 1997). Segundo Galison (1997), a utilização por Wilson desse filtro com algodão para obter ar artificial rompia com as abordagens dos trabalhos miméticos, pois se o experimento reproduzisse a natureza, deveria ser utilizado ar comum para simular a neblina ou nuvem da natureza<sup>7</sup>.

Wilson, como pesquisador no Laboratório de Cavendish (a partir de 1895), conheceu J. J. Thomson e, segundo Galison (1997), foi por meio da aprendizagem do “estilo Cavendish” que ele teria mudado a sua prática mimética para uma prática instrumental analítica – estilo comum do campo da física, em que existe a prática de produção de dados e análise, metodicamente. Perpassava nesse laboratório a suposição de que a carga elétrica tinha origens discretas, ou seja, as cargas elétricas seriam íons<sup>8</sup>. No Laboratório de Cavendish, o trabalho de Wilson era um dentre outros que investigava sobre a eletrificação de gases – a dedicação do laboratório a esse tema se iniciou por Thomson em 1886, e culminou em vários trabalhos publicados que forneceram modelos quantitativos sobre condensação iônica. Nesse laboratório, as imagens produzidas e observadas pelas câmaras de nuvens eram tomadas como sendo “*de íons*”, sendo cargas elétricas capazes de eletrificar o gás e deixar o rastro.

Em 1895, Wilson utilizou a câmara de nuvens diariamente. Primeiro ele fazia expansões para condensar o ar e remover o pó (método mais eficiente para purificar o ar na câmara do que usar o filtro de algodão); e posteriormente utilizava o ar purificado que restou na câmara. De acordo com Galison (1997), Wilson se preocupava com questões meteorológicas em seus trabalhos como, por exemplo, preocupações sobre a óptica e os estudos das coronas lunares ou os tamanhos das gotas nas nuvens. Por isso, é possível afirmar, no final do século

---

<sup>7</sup> Galison (1997, p. 96-97, tradução nossa) concluiu que o “movimento aparentemente simples de Wilson do filtro [...] esconde uma mudança profunda tanto na cultura material quanto na estrutura conceitual. A fonte dessa mudança nas tradições foi o programa científico do Laboratório Cavendish.”

<sup>8</sup> Íons são partículas com carga elétricas discretas, sejam átomos ou partículas elementares. Nesse período, qualquer partícula seria entendida por íon desde que tivesse carga. Hoje, utilizamos desse termo para designar átomos que perderam ou ganharam elétrons, classificando-os em ânions e cátions, sendo ânion os átomos que recebem elétrons e cátions os que perdem elétrons. Foi no Laboratório de Cavendish que a ideia de carga discreta foi vigorosamente defendida pelos seus membros.

XIX, ele também observava – nas imagens da câmara –, nuvens semelhantes à natureza, nuvens que poderiam produzir os efeitos ópticos iguais a natureza; as imagens eram “*de nuvens semelhantes a natureza*”.

Mais tarde, em 1896, a recepção de notícias sobre os raios X que Wihelm Conrad Röntgen divulgou, direcionou o laboratório de Cavendish a novos experimentos que utilizassem raios X. Ernest Rutherford, nesse mesmo ano, havia chegado ao laboratório; ele e Thomson investigaram a passagem dos raios X nos gases. Wilson também utilizou o comportamento dos raios X na câmara de nuvens, sugerindo que os raios produziam íons no gás. Nessa época, Wilson determinou que a passagem desses raios aumentava a condensação das nuvens. (GALISON, 1997). Nesse momento, as imagens da câmara eram vistas como sendo imagens “*de íons produzidos por incidência de raios X*”.

Os trabalhos de Wilson, em 1898, estudaram temas relacionados com as taxas de expansão que o gás confinado na câmara de nuvens sofria com os efeitos dos raios X e raios de urânio de Becquerel. Ele supôs que existiriam dois conjuntos de íons que alterariam a condensação, e mais tarde se baseou na sugestão de Thomson sobre íons positivos e negativos. E “entre 7 a 23 de janeiro de 1899, Wilson realizou os experimentos que confirmaram o palpite de Thomson sobre as diferentes proporções de expansão para os íons negativos e positivos” (GALISON, 1997, p. 102, tradução nossa). Nessa ocasião, Wilson teria usado a câmara de nuvens com um fio de latão no centro.

A legitimidade que a prática do laboratório de Cavendish exercia, possibilitou ao experimento de Wilson uma repercussão frutuosa:

Está claro que o trabalho de C. T. R. Wilson foi assimilado no coração da pesquisa de Cavendish. Por um lado, muitos de seus experimentos foram interpretáveis apenas em termos de física de íons, e Thomson foi rápido em sugerir explicações iônicas dos fenômenos das câmaras de nuvens. Por outro lado, Thomson e outros físicos de Cavendish usaram a câmara de Wilson para reforçar uma importante premissa da física iônica, a existência de uma carga elementar. (GALISON, 1997, p. 104, tradução nossa)

O valor da carga elementar foi proposto por J. J. Thomson. Esse valor teria sido proposto como sendo a carga de uma partícula: o elétron. Em 1897, Thomson alegou que “os raios catódicos eram fluxos de partículas elementares” (GALISON, 1997, p. 103, tradução

nossa). A palavra utilizada por Thomson foi “partícula-eletrificada”<sup>9</sup> (THOMSON, 1897, p. 294, tradução nossa), e nesse período, embora ele não utilizasse a palavra “elementar”, Thomson sugere que essa partícula negativa poderia ser um “estado ainda mais sutil de subdivisão”<sup>10</sup> (THOMSON, 1897, p. 302, tradução nossa) dos átomos ou moléculas:

(...) Como os raios catódicos carregam uma carga de eletricidade negativa, são desviados por uma força eletrostática como se fossem eletrificados negativamente e são influenciados por uma força magnética exatamente da maneira em que essa força atuaria em um corpo eletrificado negativamente em movimento ao longo do caminho desses raios. Não vejo como fugir da conclusão de que são cargas negativas de eletricidade: por partículas de matéria. A questão seguinte surge, o que são essas partículas? Eles são átomos ou moléculas, ou matéria em um estado ainda mais fino de subdivisão? Para lançar alguma luz sobre este ponto, fiz uma série de medições da relação entre a massa dessas partículas e a carga transportada por ela.

É importante ressaltar que a possibilidade de o átomo ser subdivisível, e a provável detecção do elétron, tornaram permissível que fosse considerado que o átomo tivesse outras divisões elementares, como os *nucleons* (que eram prótons e nêutrons), e posteriormente, o próton e nêutron. Mesmo que hoje saibamos, por meio do modelo padrão<sup>11</sup> das partículas elementares, que nêutron e próton não são partículas elementares, eles eram subdivisão do átomo, e por isso eram reconhecidos naquele cenário como sendo partículas elementares. Quando foi proposta uma estrutura elétrica para o átomo, Rutherford (1923, p. 213, tradução nossa) afirmou:

(...) existe a evidência mais forte de que os átomos da matéria são constituídos por essas duas unidades elétricas, a saber, o elétron e o núcleo ou próton do hidrogênio, como costuma ser chamado quando faz parte da estrutura de qualquer átomo. É provável que essas duas sejam as unidades fundamentais e indivisíveis que constroem nosso universo, mas podemos reservar em nossa mente a possibilidade de que mais investigações possam algum dia mostrar que essas unidades são complexas e divisíveis em entidades ainda mais fundamentais.<sup>12</sup>

---

<sup>9</sup> “electrified-particle” (THOMSON, 1897, p. 294).

<sup>10</sup> “still finer state of subdivision” (THOMSON, 1897, p. 302).

<sup>11</sup> O modelo padrão de partículas descreve, categoriza, classifica, as partículas elementares e as forças fundamentais. As partículas são classificadas em: Léptons, Quarks e Partículas mediadoras (Bósons de Gauge). Esse modelo foi desenvolvido na década de 1970, após os quarks terem sido propostos por Murray Gell-Mann e George Zweig em 1964; várias partículas terem sido detectadas pela comunidade de físicos experimentais da Física de Alta Energia (HEP); e as forças eletromagnéticas e eletrofracas se estabilizarem por meio das teorias de Gauge (PICKERING, 1984).

<sup>12</sup> “[...] there is the strongest evidence that the atoms of matter are built up of these two electrical units, viz., the electron and the hydrogen nucleus or proton, as it is usually called when it forms part of the structure of any atom. It is probable that these two are the fundamental and indivisible units which build up our universe, but we may reserve in our mind the possibility that further inquiry may some day show that these units are complex, and divisible into even more fundamental entities” (RUTHERFORD, 1923, p. 213).

Wilson, mais tarde, em 1899, passou a trabalhar com Thomson na determinação do valor da carga dessas partículas. Utilizando raios X e campos magnéticos na câmara, Wilson pode determinar que os raios eram íons carregados. Mas ele retomou a preocupação com os fenômenos de nuvens quando observou que a luz ultravioleta condensava as nuvens; quando tentou identificar se os íons positivos e negativos condensariam tanto o ar filtrado, quanto o ar submetido a luz ultravioleta. Novamente, Wilson buscou colocar a câmara de nuvens na função de representar a natureza, fenômenos atmosféricos. Em um período curto, ele se dedicou a modificar o instrumentos experimental para uma “câmara de chuva”, em que criava uma chuva contínua para tentar identificar íons presentes no ar. Posteriormente, em 1901, considerou que a câmara de nuvens seria um experimento para detectar ionização (GALISON, 1997).

Após esse período, a preocupação de Wilson seria identificar os íons percebidos na câmara de nuvens na atmosfera. Em 1903, ele demonstrou que seria aceitável que existissem fontes extraterrestre para cargas negativas na superfície da Terra – não era uma referência aos raios cósmicos, descobertos três décadas mais tarde, mas uma referência aos íons que ele havia identificado na câmara de nuvens, em seu experimento que imitava a natureza<sup>13</sup>; teve a hipótese de que existia “ar radioativo [...] radioatividade trazida à terra pela chuva e pela neve” (GALISON, 1997, p. 107, tradução nossa). Ele estava preocupado com problemas sobre a meteorologia, eletricidade atmosférica, chuva, granizo, neblina, propriedades de íons e óptica atmosférica (GALISON, 1997). Onde Wilson via íons atmosféricos, Thomson via partículas que podiam ser subatômicas, os modos de observar são distintos.

Contudo, Wilson ainda não havia fotografado a câmara. Por isso, podemos considerar que as imagens produzidas até 1908 foram todas desenhadas a partir do ato de ver; descritas a partir de textos, escritos, falas; imaginadas pelos sujeitos discursivos<sup>14</sup> que conheceram as práticas com a câmara de nuvens. Com a vinda das fotografias de alta velocidade, desenvolvidas por A. M. Worthington, que capturavam gotas e respingos (Figura 2.3), a câmara de Wilson foi adaptada recebendo iluminação e equipamentos similares ao de Worthington. A posição da

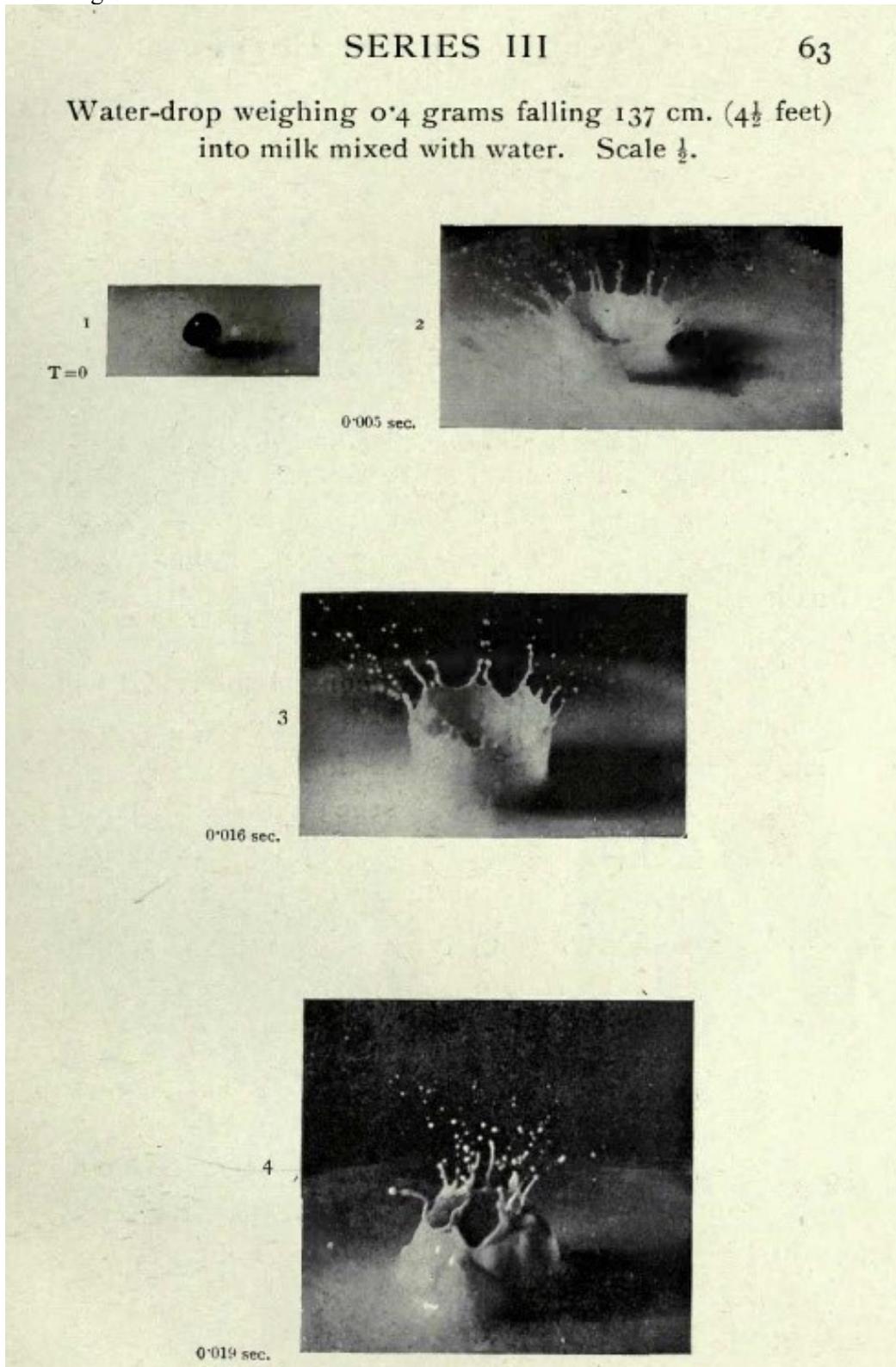
---

<sup>13</sup> Victor Franz Hess relatou ter detectado a radiação extraterrestre em seus eletroscópios em balões atmosféricos em 1910 (BASSALO, 2014).

<sup>14</sup> Aqui, sujeitos discursivos não devem ser entendidos como sujeitos que realizaram um ato de fala. Discursivamente, baseando-nos em Foucault (2014), sujeitos devem ser entendido enquanto uma posição discursiva, uma posição que se constitui junto com os discursos. Uma posição em que discursos podem assumir. Nesse caso, estamos falando da posição discursiva de quem estaria no campo do saber da câmara de nuvens da época.

câmera fotográfica na câmara de Wilson possibilitaria que fosse capturada a formação das gotas de condensação uma a uma, permitindo contar com precisão. Wilson aplicou uma técnica ao vidro do bulbo, onde ficavam os gases, em 1910, revestindo com uma fina camada de gelatina para que o vidro não fosse embaçado e pudesse ser fotografado seu interior. As pesquisas sobre íons no Laboratório de Cavendish adotaram a técnica de imediato, utilizando um instrumento experimental semelhante (GALISON, 1997).

Figura 2.3 – Fotografias de gotas e respingos capturadas por meio de técnica de alta velocidade de Worthington.



Fonte: Worthington (1908).

Foi em 1911 que Wilson publicou o primeiro artigo chamado “Em um método de tornar visíveis os caminhos de partículas ionizantes: através de um gás”<sup>15</sup> (WILSON, 1911, p. 285, tradução nossa), em que aparecem as fotografias de raios  $\alpha$ <sup>16</sup>. Segundo Galison (1997), essas imagens reacenderam novamente as discussões sobre as interpretações da teoria quântica. Em 1907, essa discussão já havia chegado em Cavendish, pois Thomson havia sugerido que os raios X fossem “pulsos”, “feixes de energia”. Mas William Henry Bragg sugeriu que os raios X fossem “fluxos de partículas neutras”, enquanto Charles G. Barkla sugeriu que os raios X estariam dispersos, podendo polarizar os raios (GALISON, 1997)<sup>17</sup>.

A comercialização da câmara de Wilson ocorreu em 1913, permitindo que outros laboratórios conhecessem as práticas experimentais. Mais tarde, o sucessor de Thomson, Ernest Rutherford, transformaria as pesquisas de Cavendish em pesquisas sobre a matéria subatômica, tornando a câmara de nuvens indispensável. Mas Wilson se distanciaria do laboratório de Cavendish para estudar os fenômenos climáticos. Segundo Galison (1997, p. 120, tradução nossa) ele teria movido:

(...) seu aparato experimental para o Laboratório de Física Solar, geograficamente separado de Cavendish. Lá ele encontrou a solidão de que precisava para iniciar o estudo detalhado das tempestades que culminariam em seu trabalho final aos 90 anos de idade - o primeiro artigo a dar uma explicação dinâmica das tempestades.

Com a distribuição comercial dos instrumentos da câmara de nuvens, muitas fotografias foram produzidas e analisadas, possibilitando a catalogação dessas imagens e a montagem de um atlas – uma espécie de manual da câmara de nuvens. As figuras a seguir (Figura 2.4 e Figura 2.5) mostram imagens publicadas nesse atlas. Em 1940, essa primeira edição foi produzida com diversas imagens de raios  $\beta$  em campos magnéticos, do pósitron, do fotoelétron de raios X<sup>18</sup> e de raios  $\gamma$ <sup>19</sup>. Mais tarde, em 1954, uma segunda edição foi produzida, dessa vez com fotos tiradas de aceleradores. Essas imagens se tornaram a base para procurar

---

<sup>15</sup> “On a Method of making Visible the Paths of Ionising Particles: through a Gas” (WILSON, 1911, p. 285).

<sup>16</sup> Chamava-se de raios  $\alpha$  os feixes que vinham de fontes radioativas. Mais tarde esses raios foram chamados de partícula  $\alpha$  e, posteriormente, identificou-se que essa partícula era proveniente de decaimentos e era composta por núcleos do átomo de hélio.

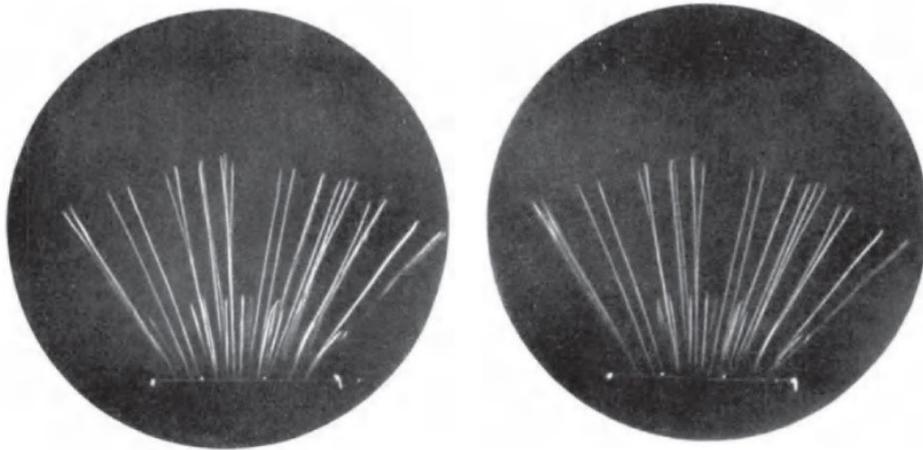
<sup>17</sup> Galison (1997) ressalta que nem Bragg e Barkla tinham conhecimento da hipótese de Einstein sobre os “feixes quânticos” de 1905.

<sup>18</sup> Raio X é uma radiação eletromagnética. Suas propriedades se assemelham a luz, porém o comprimento de onda é menor que o da luz, e a frequência é maior que as frequências da luz: entre 0,01 a 19 nm (nanômetros). Que, em 1896, foi anunciado por Rontgen. Logo que foi anunciado, o laboratório de Cavendish iniciou diversas frentes de estudos.

<sup>19</sup> O raio  $\gamma$  (lê-se “raio gama”), é um tipo de radiação eletromagnética, semelhante à luz, mas de alta frequência e menores comprimentos de onda.

qualquer partícula, inclusive partículas capturadas por outros instrumentos experimentais (GALISON, 1997). As imagens consideradas “típicas” de partículas capturadas nas câmaras de nuvens, orientariam o olhar para observar todas as posteriores imagens. Esse atlas também produziu diversos saberes sobre a prática de fotografar, controlar a expansão, iluminar adequadamente, controlar o campo magnético, controlar a temperatura e analisar as imagens (GALISON, 1997).

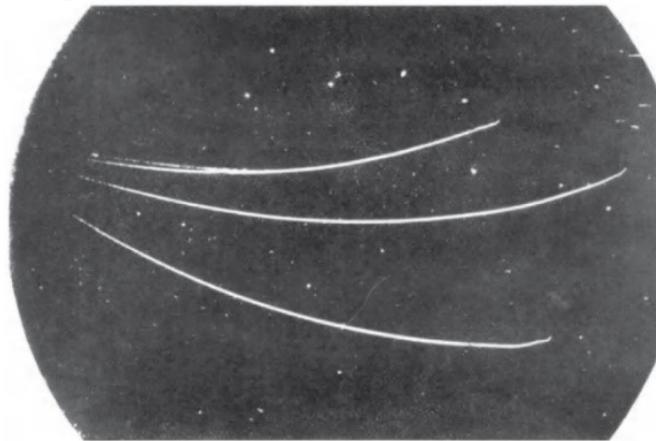
Figura 2.4 – Fotografia estereoscópica de uma fonte de raios  $\alpha$  de uma fonte radioativa.



**Bild 1.  $\alpha$ -Strahlen von einer natürlich radioaktiven Quelle.**  
Stereoskopisches Bild.

Fonte: Gentner, Maier-Leibnitz e Bothe (1940, p.43).

Figura 2.5 – Fotografia de raios  $\alpha$  em um campo magnético indo da esquerda para direita.



**Bild 4.  $\alpha$ -Strahlen im Magnetfeld.**  
Polonium- $\alpha$ -Strahlen in Luft (etwa 540 mm Hg). Magnetfeld: 43000 Gauß, Vergrößerung etwa 2,5.  
Die Bahnen laufen von links nach rechts.

Fonte: Gentner, Maier-Leibnitz e Bothe (1940, p.47).

Como prática comum da época, início do século XIX, as imagens eram analisadas por grupos de pesquisas distantes de onde as imagens eram capturadas, por meio de troca de imagens entre os grupos. Analisar as imagens era um processo de “interpretação” constante, o próprio atlas foi guiado por textos interpretativos. Muitas vezes, a interpretação das imagens dialogava com o que os físicos teóricos estavam estudando e desenvolvendo. Mas outras vezes, as interpretações eram guiadas apenas com base em outras imagens já capturadas (GALISON, 1997).

As imagens produzidas e observadas pela câmara de nuvens podiam ser imagens “*de*” muitos objetos, não se viam apenas partículas. Essa característica demonstra a versatilidade que o experimento trouxe nas circunstâncias das pesquisas na época. Ter um gás confinado dentro de um bulbo de vidro envolveu práticas múltiplas, práticas para se observar múltiplos objetos: conseqüentemente, possibilitou estudar mais de um objeto. Assim, a imagem se relacionava com enunciados distintos, com um certo número de possibilidades de enunciados. As imagens produzidas diziam algo sobre o objeto, mas o objeto ainda não estava definido. Os significados dessas imagens estavam em construção, não existia um consenso, os discursos sobre o que a imagem “era” e o que ela poderia “ser” ainda não estavam estabilizados.

### **2.1.2 A luz e a matéria em debate: a emergência da física quântica**

São relatados, na história da ciência, muitos debates sobre a composição da matéria e a existência real do átomo, simultaneamente, desenvolveram-se práticas experimentais utilizando câmara de nuvens. Foi no final do século XIX e início do século XX que esses debates se acentuaram com novas argumentações que levaram em consideração a visibilidade da câmara de nuvens. Nesse mesmo período, eram desenvolvidos saberes sobre como os gases funcionavam mecanicamente: utilizando conceitos como força e energia, buscava-se entender processos físicos em que não se podiam observar diretamente as entidades do gás, por meio da visão. Este campo de produção de saberes da teoria cinética dos gases e do movimento browniano se ligaram mais tarde ao experimento da câmara de nuvens. Mas o experimento da câmara de nuvens se diferenciava por não mostrar apenas parâmetros cinéticos dos gases, como pressão e temperatura, ou propriedades moleculares. Ele se relacionava com a visibilidade do mundo sensível, a visão humana. Como afirmado por Galison (1999), a câmara de nuvens, ou câmara de Wilson, era considerada o “exemplo máximo da boa prova”. Suas características eram notáveis, conforme afirmado por Galison (1997, p. 66, tradução nossa): “Para Bridgman,

quanto a Andrade, a importância da câmara de Wilson reside na sua capacidade de exibir processos individuais, diretamente, e não através de uma cadeia de inferência longa”.

O experimento da câmara de nuvens foi utilizado para preencher uma lacuna entre a realidade dos objetos invisíveis e os saberes nesse período? Segundo Galison (1997, p. 67, tradução nossa), ainda que esse experimento tenha tido sua notoriedade para o debate sobre o realismo das partículas, “[...] a similaridade das trilhas da nuvem com trajetória de partículas subjacentes [...]” contribuía para “[...] a visão comum de que átomos e moléculas eram ‘ficções úteis’ para não serem consideradas totalmente reais”.

No início do século XIX, Thomas Young propôs o experimento da fenda dupla<sup>20</sup>, discutindo o comportamento ondulatório da luz, após ter se interessado por estudos sobre a voz e a visão humana e ter feito analogias entre o som e a luz (MOURA; BOSS, 2015). Com o trabalho teórico de James Clerk Maxwell sobre o eletromagnetismo em 1865 e com o trabalho experimental de Heinrich Rudolf Hertz sobre a propagação eletromagnética em 1879, a luz passou a ser significada como uma onda eletromagnética que se propaga no éter (MOREIRA, 2014). Mais tarde, os estudos sobre a radiação do corpo negro<sup>21</sup> teriam proposto o problema da energia irradiada da matéria, fazendo Max Karl Ernst Planck propor em 1900 que essa energia deveria ser discreta, ou seja, quantizada em valores específicos. Em 1905, Albert Einstein utilizou desses estudos para propor que a luz teria comportamento corpuscular, pressupondo a existência de pacotes de energia<sup>22</sup>. No mesmo ano Einstein publicou sobre o movimento browniano, movimento de partículas discretas confinadas em um espaço finito, movendo-se independentemente umas das outras<sup>23</sup>, entendimentos que não teriam sido aceitos de imediato por outros pesquisadores (PAIS, 1995). A quantização da matéria foi essencial para explicar

---

<sup>20</sup> Nesse experimento, resumidamente, a luz passa por duas fendas e difrata produzindo padrões de interferência em um anteparo. Esses padrões são regiões claras e escuras que correspondem aos locais onde as ondas luminosas interferiram entre si construtivamente e destrutivamente.

<sup>21</sup> Corpo negro é um objeto hipotético que absorve radiação e emite radiação ao ser aquecido, emitindo um espectro que independe do material ou da forma do corpo, dependendo apenas da temperatura. É hipotético pois nenhum material é idealizadamente igual a um corpo negro, nenhum consegue ter absorção e emissão perfeitas.

<sup>22</sup> No artigo “Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e da transformação da luz”, Einstein não usa a palavra “pacote de energia”. Esse termo surge apenas mais tarde: ele usou o termo “quanta de energia”. O termo “fóton” também não aparece; essa palavra surge apenas mais tarde. Einstein usou a palavra “quantum de luz”. Foi em um título de um artigo de Gilbert Newton Lewis, de 1926, que o termo “fóton” surge pela primeira vez (PAIS, 1995). Ele propôs essa quantização no contexto de estudos da termodinâmica estatística.

<sup>23</sup> Essa abordagem, da tese e dos primeiros artigos de Einstein sobre o movimento browniano, significava que as partículas confinadas eram moléculas com raios específicos e que possuíam formas de esferas rígidas dissolvidas em líquidos (PAIS, 1995).

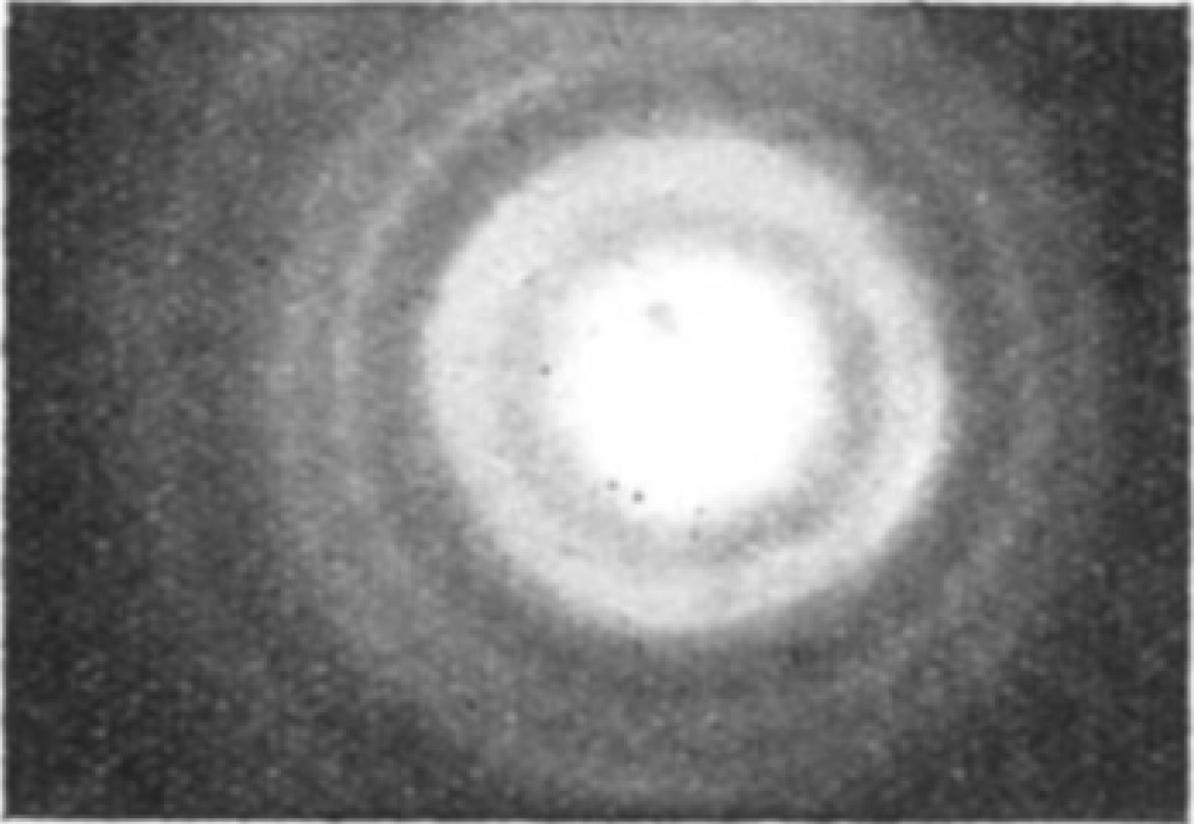
emissão discreta de radiação do corpo negro, e a quantização da luz foi essencial para explicar o efeito fotoelétrico (MOREIRA, 2005). Em 1916, Einstein propôs que a luz tivesse caráter dualístico, já que em determinados fenômenos, a luz se apresentava como onda, caráter observado com a difração e interferência, e em outros como corpúsculo, observado no espalhamento da luz pela matéria com o efeito Compton-Debye (BASSALO, 2014).

De fato, os fenômenos de difração da luz eram conhecidos desde o século XVII. A teoria ondulatória da luz era defendida por Christiaan Huygens, por exemplo. Louis de Broglie, em 1924, propôs um experimento para matéria similar ao proposto por Young para a Luz, experimento da dupla fenda. Essa hipótese, de que a matéria teria características ondulatórias, teria sido formulada na sua tese (DE BROGLIE, 1924). Pouco tempo depois, em 1928, George Paget Thomson da Universidade de Aberdeen, e Clinton Joseph Davisson da *Bell Labs*, confirmaram independentemente a hipótese, observando os fenômenos ondulatórios com o elétron<sup>24</sup>. Um rastro bem definido do elétron na câmara de Wilson facilmente poderia ser explicado e caracterizado matematicamente por meio das leis da Mecânica Clássica; mas o fenômeno ondulatório do elétron não poderia ser explicado por meio da Mecânica Clássica, pois não eram rastros que foram produzidos por esses experimentos, e sim padrões de interferência (Figura 2.6).

---

<sup>24</sup> Thomson divulgou por meio de seu trabalho intitulado “As ondas de um elétron” (THOMSON, 1928, p. 279, tradução nossa), e Davisson em seu trabalho chamado “São ondas de elétrons?” (DAVISSON, 1928, p. 597, tradução nossa). O método utilizado por cada um foi diferente. Thomson utilizou um filme de um metal como rede de difração; já Davisson, junto com Lester Halbert Germer, também do *Bell Labor*, acidentalmente observaram a difração do elétron quando estudavam a reflexão de elétrons em Ni (Níquel) – os átomos de Ni agiram como centros de difração, como uma rede cristalina.

Figura 2.6 – Imagem dos anéis de difração produzido por um filme de ouro.



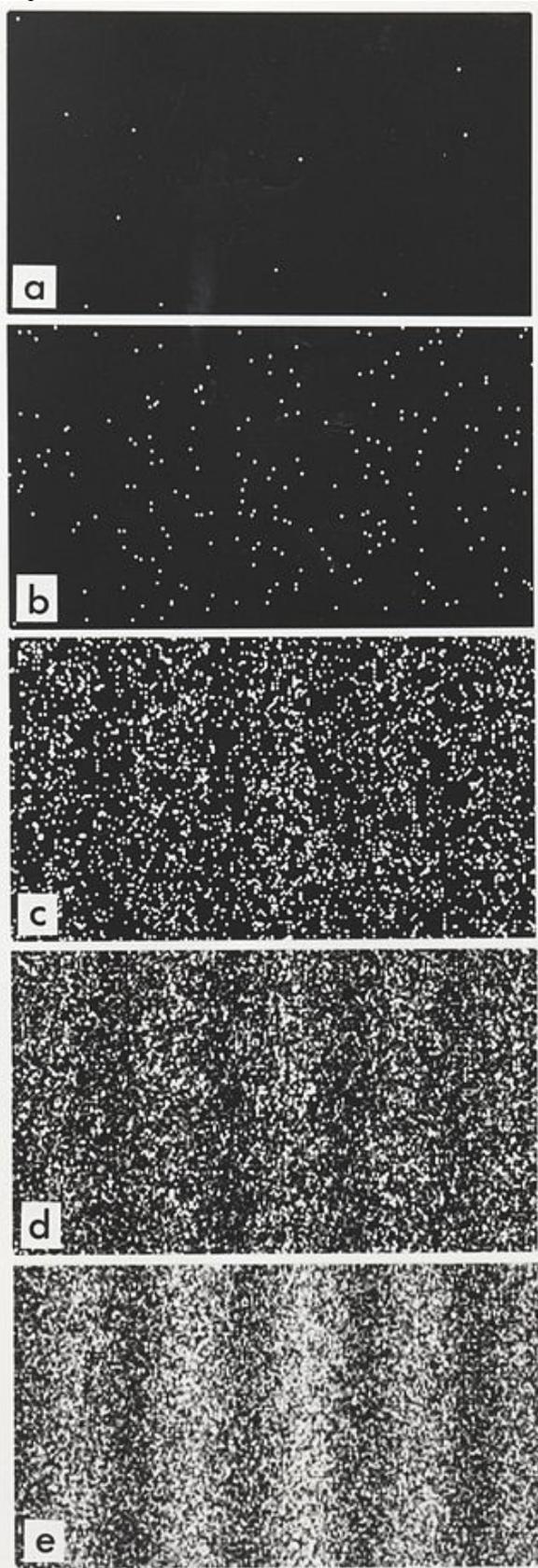
Fonte: Thomson (1928, p. 279).

Já em experimentos de 1989, utilizando-se dupla fenda, em que o elétron é controlado para que uma certa quantidade siga por cada segundo, os padrões de interferência são visíveis no anteparo após um grande número de elétrons atingi-lo<sup>25</sup> (Figura 2.7). Nessa imagem, as características corpuscular e ondulatória do elétron surgem simultaneamente.

---

<sup>25</sup> Na Figura 2.7 a imagem exibe 10 elétrons na parte (a), 100 na (b), 3000 na (c), 20000 na (d) e 70000 na (e), capturado em um intervalo de tempo de 20 min (TONOMURA et al., 1989).

Figura 2.7 – Interferência do elétron após incidir um a um no anteparo depois de ter passado por duplas fendas.



Fonte: Tonomura et al. (1989, p. 120).

Ainda sobre a quantização, foi em 1924 que surgiram trabalhos utilizando métodos estatísticos, como os trabalhos de Satyendra Nath Bose, em que as partículas poderiam apresentar dois estados de polarização, e obedeceriam a regras estatísticas. Mais tarde, Einstein realizou contribuições, tornando a estatística de Bose-Einstein a mais usual para situações em que a radiação era considerada como um gás de fótons (PAIS, 1995). Conforme Pais (1995, p. 513) “vários físicos seguiram com interesse o trabalho de Einstein sobre estatística quântica”, fazendo inclusive com que Einstein fosse convidado por Lorentz para falar sobre o assunto no Congresso de Solvay de 1927.

Mas a quantização tomaria outro caminho com Erwin Schrödinger em 1926, quando ele solucionou as equações de onda, ou equação de Schrödinger, trazendo a função de onda  $\psi$ . Essa solução, a função de onda, envolvia variáveis complexas, variáveis que até então não tinham relação com grandezas físicas. Ao aplicar a equação de onda para o átomo de hidrogênio, por exemplo, era possível calcular os níveis de energia<sup>26</sup>, mas não era possível determinar a velocidade ou outras grandezas que envolviam o elétron dentro do átomo (BASSALO, 2014).

Antes de Schrödinger ter proposto a equação de onda, envolveu-se com trabalhos sobre dispersão elétrica anômala e o rádio-A (hoje designado radônio), em 1913; interferência dos raios-X, dinâmica dos sistemas pontuais elasticamente acoplados, propriedades da fraca radiação  $\beta$  decorrente da incidência da radiação  $\gamma$ , em 1914; dinâmica dos fluídos, em 1915, envolvendo a tensão superficial e o movimento browniano, em que explicou estaticamente as gotas de óleo de Robert Andrews Millikan utilizando o movimento browniano; meteorologia, em 1917 quando ministrou um curso de meteorologia para oficiais-artilheiros no sul de Viena; acústica na atmosfera e calores atômicos e moleculares, ainda em 1917 (ano em que surgem as primeiras ideias de quantização que haviam sido propostas por Planck); teoria da relatividade geral, em 1918, publicando trabalhos sobre sistema de coordenadas “quase cartesiano”, utilizando o modelo de Schwarzschild, determinando que todos os componentes da energia eram nulos; ordem e acaso na Mecânica Estatística, ainda em 1918; desintegração radioativa e teoria quanto-eletrônica dos metais, em 1919, em que traz a discussão sobre a coerência em pacotes de energia quântica abertos; teoria das cores, em 1920 até 1925; modelo do átomo

---

<sup>26</sup> Para o caso da equação de autovalor independente do tempo.

orbital chamado *Tauchbahnen*, em que explicava a penetração à blindagem coulombiano pelos elétrons externos nos elétrons internos, e o paradoxo de Gibbs, em 1921; efeito doppler na emissão de radiação, aplicação do espaço-tempo ao átomo quântico, teoria da perturbação dependente do tempo ao átomo bohriano, em 1922; flutuações estatísticas entre luz e ondas sonoras e flutuações em situações envolvendo entropia, em 1924; calores específicos dos sólidos e gases, em 1926 (BASSALO, 2014). A quantidade e a diversidade de trabalhos que Schrödinger esteve envolvido demonstra a efervescência dos saberes da física nesse período histórico. Para o desenvolvimento das equações de ondas, Schrödinger admitiu que “os trabalhos de Boltzmann em Mecânica Estatística” tiveram um papel importante no seu pensamento científico (BASSALO, 2014, p. 59). De fato, alguns dos trabalhos que mencionamos envolveram ideias centrais da estatística.

Foi nesse cenário em que surgiam os saberes institucionalizados sobre a teoria quântica, em que se acrescentou novos entendimentos sobre o comportamento da matéria, que se incendiaram novamente os debates sobre determinismo e realismo das partículas. O congresso de Solvay de 1927 foi marcado por debates sobre o determinismo das partículas. É possível identificar, nas discussões desse congresso, que as imagens da câmara de nuvens passavam por um processo constante de significação. Como vimos anteriormente, nesse período do início do século XX, os significados dessas imagens da câmara de nuvens estavam em construção. Existia um desconforto nos debates, pois, ao mesmo tempo em que se falava em características quânticas para essas partículas, deixava-se o determinismo de lado:

SR. LORENTZ – [...] Queremos nos fazer uma representação dos fenômenos, formar uma imagem deles em nosso espírito. Até aqui, sempre quisemos formar essas imagens por meio das noções ordinárias de tempo e espaço. Estas noções talvez sejam inatas; em todo caso, elas se desenvolveram através de nossa experiência pessoal, de nossas observações cotidianas. Para mim, essas noções são nítidas e reconheço que não posso fazer uma idéia da física sem essas noções. A imagem que quero formar dos fenômenos deve ser absolutamente nítida e definida, e parece-me que só podemos formar uma semelhante imagem dentro desse sistema de espaço e de tempo. (PESSOA JR., 2001, p. 139).<sup>27</sup>

Houve, nesse congresso, a constante tentativa de produzir “imagens mentais”<sup>28</sup> sobre os fenômenos que envolveram partículas, como ocorreu com o elétron. Houve preocupação em

---

<sup>27</sup> Esse livro traduz as falas do Congresso de Solvay de 1927. O congresso foi traduzido por Osvaldo Pessoa Jr. na obra chamada “Discussion Générale des Idées Nouvelles Émises”. Esse congresso foi o quinto, e foi realizado em Bruxelas com a presença de importantes figuras científicas da época.

<sup>28</sup> Chamamos de imagens mentais, pois embora sejam enunciações verbais, é possível construir a imagem de partículas na imaginação, por meio de signos imaginados.

construir imagens mentais sobre o objeto, da mesma forma que construímos quando imaginamos outros objetos, como por exemplo um caderno, lápis ou caneta. As imagens se formam na imaginação e a partir delas é possível criar formulações, textos verbais, etc. Porém, produzir imagens, mesmo que mentais, sobre como se comporta a matéria, é um processo complexo que perpassa diversas epistemes<sup>29</sup>, pois, conforme é possível observar na fala desses cientistas, ainda se utilizavam formulações clássicas para designar os fenômenos, misturando e reunindo formulações novas da Física Quântica.

As interpretações da Física Quântica, como a da complementariedade, compreendiam que a matéria tivesse comportamento ondulatório e corpuscular. Se a matéria possui dois comportamentos, como construir formulações sobre ela contemplando esses dois comportamentos? Se formos mobilizar apenas a característica de um comportamento, qual considerar para se produzir imagens de partículas?

O surgimento da teoria quântica inseriu discussões profundas sobre o tempo e o espaço. Gerando discursos que se engajam com a episteme da Física Clássica e da Física Quântica. Existia um cenário em que o elétron – que é hoje concebido como uma partícula elementar – não era significado como sendo uma partícula com comportamento quântico. Falava-se em corpúsculo, ou ponto determinado do espaço. Na fala de Lorentz, encontramos formulações de resistência para construir um “elétron quântico”; trazendo formulações que atribuem ao elétron a característica de seguir uma linha, uma trajetória. Embora, a fala de Lorentz também expresse que o elétron pode se fundir em uma nuvem, desde que esteja em situações em que ele interaja e se transforme, ou que existam sistemas de ondas descritas por funções  $\psi$ , ou que essas funções descrevam espaços de muitas dimensões.

No congresso de Solvay<sup>30</sup>, a insegurança de se chegar a um entendimento imaginativo das partículas se materializa quando Lorentz afirmou: “Estou pronto para admitir outras teorias, sob a condição de que se possa traduzi-las por imagens claras e nítidas.” (PESSOA JR., 2001, p, 140). Mas seria possível traduzir essas condições da partícula em “imagens claras e nítidas”?

---

<sup>29</sup> Para Foucault (2014, p. 231) *epistémê*, ou episteme, é “o conjunto das relações que podem unir, em uma dada época, as práticas discursivas que dão lugar à figuras epistemológicas, à ciência, eventualmente à sistemas formalizados”. Com a ressalva de que a descrição de episteme não seria “reconstituir o sistema de postulados a que obedecem todos os conhecimentos de uma época, mas sim percorrer um campo indefinido de relações”.

<sup>30</sup> Ainda hoje problemas relacionados a causalidade e determinismo são discutidos no campo da filosofia e da física quântica. Parece-me consensual que esse ainda seja um problema em aberto.

É bastante evidente que “a nova mecânica ondulatória operará com esta equação [diferencial] e determinará a função  $\psi$  antes e depois do choque” (PESSOA JR., 2001, p, 140), como afirmado por Lorentz; mas podemos imaginar choque entre partículas quânticas?

A fala de Lorentz produziu discursivamente imagens de partículas que não deixam de lado as características inerentes à Física Clássica. Pois, em sua fala, são referenciados instrumentos experimentais que produziram as imagens em sintonia com as características da Física Clássica; é mencionado o instrumento da câmara de nuvens, que produziu imagens de trajetórias de partículas. Haja vista que, na Física Clássica, existem saberes sobre como as trajetórias de objetos macroscópicos se comportam. Apesar desse trecho da fala de Lorentz<sup>31</sup> se restringir à questão determinista, é possível identificar, em outras falas desse congresso, a recorrência de discussões sobre o determinismo e o indeterminismo. Essa repetição, possibilita, mais uma vez, que sejam produzidos enunciados sobre a matéria, conseqüentemente sobre as partículas.

A fala de Born nesse congresso tange o determinismo e o indeterminismo, para formar a imagem da matéria e das partículas, presentes no experimento da Câmara de Wilson:

SR. BORN. – Sr. Einstein considerou o seguinte problema. Uma preparação radioativa emite em todas as direções partículas  $\alpha$ ; faz-se com que estas fiquem visíveis através do método da nuvem de Wilson. Ora, se se associar a cada processo de emissão uma onda esférica, como se pode compreender que o rastro de cada partícula  $\alpha$  se mostra como uma linha (mais ou menos) reta? Em outros termos: como o caráter corpuscular do fenômeno pode ser conciliado aqui com a representação por ondas? (PESSOA JR., 2001, p, 141).

Quando é formulado que uma partícula  $\alpha$ <sup>32</sup> se mostra “como uma linha”, produz-se uma tensão de sentidos com outras formulações que consideram essa partícula sendo onda esférica. Essas tensões são reforçadas por meio das imagens experimentais de rastros que são produzidas pela câmara de nuvens. Por um lado, o experimento cria uma tensão sobre o realismo, sobre o objeto físico das partículas, levando em conta simultaneamente as características quânticas e não quânticas. Por outro lado, o experimento cria uma tensão sobre as imagens de partículas e os processos que a geraram.

Galison (1997) destaca como a câmara de nuvens era vista por pesquisadores da época:

Para Bridgman, o operacionalista americano, a câmara de Wilson era apenas o procedimento necessário para dar sentido a enunciados sobre o mundo subvisível do átomo - mais, fornece uma instância do que queremos dizer com o termo "existir", ponto final. Para Toulmin e Born, a câmara de nuvens era o verdadeiro símbolo do realismo; as faixas de Wilson são a estação final do

<sup>31</sup> Trecho da página 139 a 141 de Pessoa Jr. (2001).

<sup>32</sup> Entende-se por partículas  $\alpha$  as partículas de átomos de Hélio que possuem 2 prótons e 2 nêutrons.

argumento contra uma divisão entre objetos comuns e a população do submicroscópico. [...] Para Jordan, Heisenberg, e outros, imagens de câmara de nuvens ilustraram o espaço-tempo em metade das relações de complementaridade - quanto mais se poderia obter uma partícula clássica realisticamente interpretada do que as pegadas detalhadas de uma partícula alfa atravessando as nuvens? Para Quine, as imagens da câmara de nuvens exemplificaram as evidências mais diretas de entidades teóricas que provavelmente obteríamos e, em combinação com o restante de nossa física, nossa descrição do micromundo sugeria um realismo pragmático. (GALISON, 1997, p. 72, tradução nossa)

Mas afinal, qual a relação das partículas elementares com as teorias quânticas? E qual a relação da teoria quântica com as imagens dessas partículas? Podemos responder a essas questões se forem compreendidas as formulações, representações e interpretações das imagens da câmara de nuvens publicadas em 1911. Mas, afinal, os enunciados que aparecem no período histórico em que as imagens surgiram se relacionam com as “interpretações” da teoria quântica?

Em primeiro lugar, temos de assumir por um instante que as partículas elementares são partículas quânticas, mesmo que existam discursos que a signifiquem diferente, pois, o formalismo matemático que dá embasamento para a existência das partículas pressupõe que elas se comportam quanticamente. Por exemplo, em 1927, Werner Heisenberg teria percebido que, matematicamente, as trajetórias exibidas na câmara de Wilson, observadas por intermédio de gotas que se condensaram do gás, implicavam em mais do que considerar que eram elétrons. Ele percebeu que nessa trajetória “só se registra uma sucessão discreta de lugares, imprecisamente determinados, do elétron” (BASSALO, 2014, p.84-85), concluindo que o problema estava em determinar por meio da Mecânica Quântica com precisão a posição e a velocidade do elétron ao mesmo tempo. O que, mais tarde, o teria feito concretizar o Princípio da Incerteza.

Mas, em segundo lugar, o que está em plena discussão, e que ainda é um problema em aberto, é que existem diversas interpretações para a teoria quântica. Mesmo existindo o formalismo matemático bem lapidado e aparentemente estabilizado, ainda se têm diversas interpretações. Assim, a dualidade da matéria perante a Física Quântica é interpretada de diferentes formas. Entretanto, constata-se que as interpretações são relacionalmente divididas em quatro grupos: ondulatórias; corpusculares; dualista positivistas; e dualista realistas (PESSOA JR., 1998).

Estão no grupo de interpretações corpusculares as chamadas interpretações estocásticas. Uma dessas interpretações considera que existem variáveis ocultas que dão embasamento à teoria do movimento browniano, por exemplo. Já pertencentes ao grupo de interpretações ondulatórias, estão as teorias semi-clássicas, que utilizam da visão eletromagnética de Schrödinger, da interpretação da hidrodinâmica de Madelung, e da interpretação probabilista inicial de Max Born (PESSOA, JR., 1998).

No grupo das interpretações dualista positivistas, a interpretação da complementariedade é a mais aceita entre os físicos. Ela foi desenvolvida por Niels Bohr entre 1927 e 1935, e é conhecida pela interpretação de Copenhague. Essa interpretação considera que “um experimento pode ser representado ou num quadro corpuscular, ou num quadro ondulatório, conforme a situação” (PESSOA JR., 1998, p. 154). Resumidamente, se for possível inferir as trajetórias, a representação será corpuscular; se apresentar um padrão de interferência, a representação é ondulatória. Nega-se a possibilidade de se observar trajetória e padrões de interferência ao mesmo tempo. Pessoa Jr. (1998, p. 154) analisa o porquê de não ser “possível abarcar um objeto quântico em um quadro mais geral e único”, respondendo que:

(...) segundo Bohr, estamos limitados à linguagem da Física Clássica, a linguagem que usamos para comunicar aos outros como é um arranjo experimental e quais são os resultados das medições, a linguagem que descreve o mundo macroscópico. Precisamos de aparelhos descritíveis em linguagem clássica para ter acesso ao mundo quântico. (p. 154).

Outras interpretações, como a Teorias de Variáveis Ocultas, encaixariam-se no grupo das interpretações dualista realista. Essa é orientada pela visão de David Bohm em que se entende que existem parâmetros da Teoria Quântica que não são diretamente observáveis (PESSOA JR., 1998).

E, sem podermos classificar nesses grupos (ondulatória, corpuscular, dualista realista e dualista positivista), estão as interpretações chamadas de ortodoxas, que apresentam pequenas fronteiras entre as outras interpretações. Conforme Pessoa Jr. (1998):

(...) Em geral elas têm um compromisso com o dualismo, mas as fronteiras com as interpretações corpusculares, de um lado, e ondulatórias de outro, são um tanto quanto difusas. A maioria apresenta também uma postura positivista, mas novamente a fronteira com o dualismo realista é suave. (p. 159).

São elas: Interpretação da Complementaridade; Interpretação Ondulatória Positivista; Interpretação Subjetivista; Interpretação Macrorrealista da Complementaridade; Interpretação “Eclética”; Leituras Realistas da Complementaridade; Instrumentalismo radical; Interpretação Estroboscópica; Interpretação da Matriz-S; e Interpretação da Soma sobre Histórias. Ainda

existem as interpretações estatísticas, ou dos coletivos estatísticos, que rejeitam a noção de dualidade onda-partícula, e de colapso de pacote de onda. Também existem as interpretações de potencialidade (PESSOA JR., 1998).

De fato, se assumirmos que as partículas elementares possuem propriedades quânticas, teremos de nos orientar sobre uma dessas interpretações. Na prática, toda formulação com que nos deparamos em análises demonstram relação com uma ou outra interpretação, assim como podem demonstrar relação com as noções clássicas, como as que Bachelard (2006) chamou de *coisismo* e *choquismo*. Porém, devido à materialidade das imagens, essa relação não é direta, sendo necessário que sejam consideradas outras formulações discursivas, como o texto e outras imagens, que se relacionem e que façam parte da memória e da história das imagens de partículas.

A noção do *coisismo* está relacionada ao efeito do uso da palavra “corpúsculo”, pois se considerarmos que as partículas são quânticas, o corpúsculo não seria um pequeno corpo; o corpúsculo não teria dimensões absolutas assinaláveis; o corpúsculo não teria forma assinalável. A ordem de grandeza na física quântica determina mais uma zona de influência do que uma zona de existência. Se atribuirmos um lugar no espaço para o corpúsculo, estamos também atribuindo forma a ele. Esse sentido, que está materializado na palavra e imagem de corpúsculo, é produzido de tal forma que o próprio físico, ou mesmo químico, não reflete sobre esses aspectos intrínsecos ao que Bachelard (2006) chama de “postulado implícito” do “corpúsculo”. Noções geométricas e noções materialistas são encontradas no sentido dado ao corpúsculo, quando se pensa “corpúsculo” como sendo uma “coisa”. Na Física Quântica, noções geométricas não são tomadas como reais: em suma, a coisa (partícula - elétron, prótons...) não é coisa, é descrita matematicamente por uma função de onda que não se relaciona diretamente a uma noção geométrica. E a noção material, na Física de Partículas, não está associada ao conceito de massa. A massa da partícula é definida pela interação das propriedades das partículas com o campo de Higgs. Descuidadamente, associa-se o conceito de massa da mesma forma que fazemos na Física Clássica.

Já a noção de *choquismo* está relacionada com a noção de que as partículas se comportariam como bolas de bilhar, analogamente ao que é estudado em colisões elásticas na física. Porém, as partículas quânticas não se chocam como bolas de bilhar. Essa noção permite que as partículas sejam pensadas como objetos esféricos – como no nosso cotidiano, em que

possuem forma e ocupam lugar no espaço, funcionando sobre as leis da Física Clássica. Porém, sabe-se que as partículas quânticas não se chocam; elas podem atravessar uma a outra; elas interagem entre si. Por isso, para descrever precisamente os fenômenos quânticos seria necessário usar equações como a de Schrodinger, que rege como o estado quântico de um sistema físico muda com o tempo.

Mas nem sempre as interpretações das teorias quânticas, ou mesmo questões epistêmicas apontadas pelas noções discutidas por Bachelard, eram preocupações para os físicos experimentais. Os físicos experimentais se preocupavam com as práticas de produção e análise de imagens e quase deixavam de lado a relação dessas imagens com as “teorias”. Conforme analisado por Galison (1997, p. 132, tradução nossa):

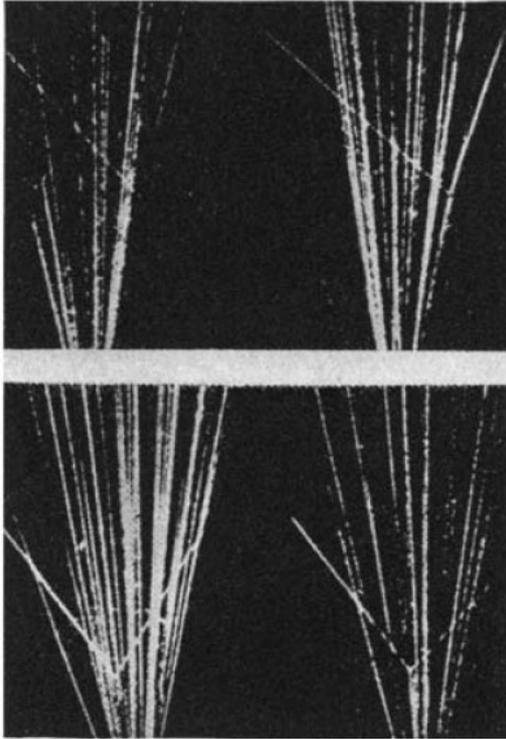
Quanta teoria está incluída na “interpretação”? Um pouco, acontece. O ponto principal de analisar uma figura (...) é deduzir as propriedades de uma trilha que não pode ser vista - a fonte (...) que pode ser observada. Física relativista figura nos cálculos de ionização que são frequentemente usados; A mecânica relativista está na base das leis de conservação. “Interpretação” também envolve um conhecimento significativo de possíveis efeitos de distorção (gradientes de temperatura no gás, contaminação, expansão irregular do gás, problemas ópticos e os efeitos das propriedades de espalhamento de diferentes gases). Em contrapartida, não há nada no atlas de Rochester e Wilson, ou em nenhum dos outros atlas de câmara de nuvens publicados entre as décadas de 1930 e 1950, que dá atenção significativa à teoria no nível da equação de Dirac, as teorias de troca de méson de Yukawa, Heisenberg e outros, ou para o desenvolvimento pós-guerra da QED [Eletrodinâmica Quântica]. Essas eram as “complexidades sutis”, as “teorias profundas”, que introduziam “incertezas” que Blackett evitaria.

Apesar dos físicos tentarem evitar certas questões, podemos identificar exemplo em que isso não acontece, e as imagens se relacionam com os saberes, como exemplo, na Figura 2.8, publicada por Harrington (1936, p. 80-81, tradução nossa), em um artigo intitulado “Porque o átomo fica junto?”<sup>33</sup>. Nesse trabalho, foi afirmado que as imagens exibiam partículas  $\alpha$  se desviando de suas trajetórias por encontrarem campos elétricos de núcleos de átomos, e barreira de potencial. Exibindo uma relação do experimento, da imagem, com saberes da quântica já desenvolvidos na época. A partir da imagem (Figura 2.9) encontrada em Yagoda (1956) – do artigo intitulado “As trilhas de partículas nucleares” – é investigado como as partículas  $\alpha$  de um átomo de Tório decaem em série. As imagens seriam uma reação nuclear em que o primeiro átomo de tório emitiu uma partícula  $\alpha$ , e o isótopo emitiu outra partícula  $\alpha$ .

---

<sup>33</sup> “Why Does the Atom Stick Together?” (HARRINGTON, 1936, p. 80).

Figura 2.8 – Partículas se desviando por conta de barreira de potencial quântica.



Fonte: Harrington (1936, p. 82).

Figura 2.9 – Emulsões com traços chamado de “estrelas” nucleares.



ALPHA STARS emerged from thorium atoms in this emulsion. The stars at left and right represent the serial decay of single thor-

ium atoms. First the thorium atom emitted an alpha particle, then the daughter isotope emitted another alpha particle, and so on.

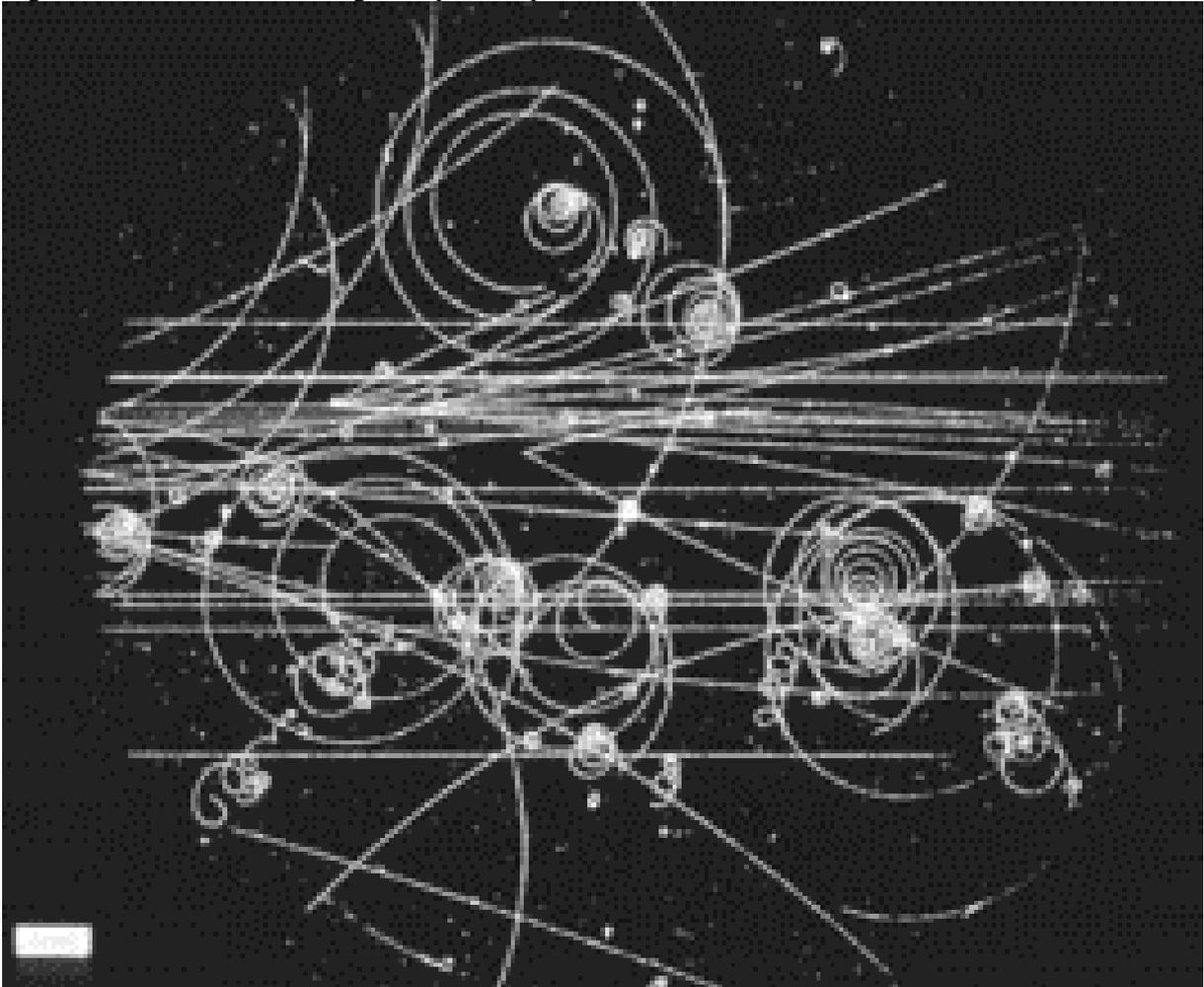
Fonte: Yagoda (1956, p. 43).

## 2.2 A EMULSÃO NUCLEAR

Certamente o atlas de Gentner, Maier-Leibnitz e Bothe (1940, p.47) – produzido na década de 1940 sobre a câmara de nuvens e as imagens capturadas – contribuiu para o desenvolvimento dos experimentos seguintes. Um desses experimentos foi a emulsão nuclear. Mais tarde, outros experimentos de detecção também surgiram, como a câmara de bolhas, a câmara de flâmula, câmara de faísca, entre outros. Em uma dimensão discursiva, é possível compreender que as formulações das imagens posteriores (como imagens de emulsões nucleares) também foram condicionadas pelo que foi formulado por esse atlas.

Mas antes de discutirmos sobre especificidades da emulsão nuclear, exemplificaremos alguns instrumentos experimentais que, de modo similar, foram idealizados por meio do atlas da câmara de nuvens supracitado, como, por exemplo, a câmara de bolhas. Essa câmara também utilizou de fotografias para capturar os traços das partículas que passavam através dela. Funcionava com substâncias em estado líquido como  $H_2$ ,  $D_2$ , Ne,  $C_3H_8$ , Freon – essas eram superaquecidas dentro da câmara com pressão próxima do ponto de ebulição. Quando uma partícula carregada entrava na câmara, várias bolhas surgiam, formando traços que eram iluminados e fotografados (GRUPEN; SHWARTZ, 2008). A Figura 2.10 exemplifica uma das fotos produzidas por esse experimento.

Figura 2.10 – Amostra de imagem capturada pela câmara de Bolhas.

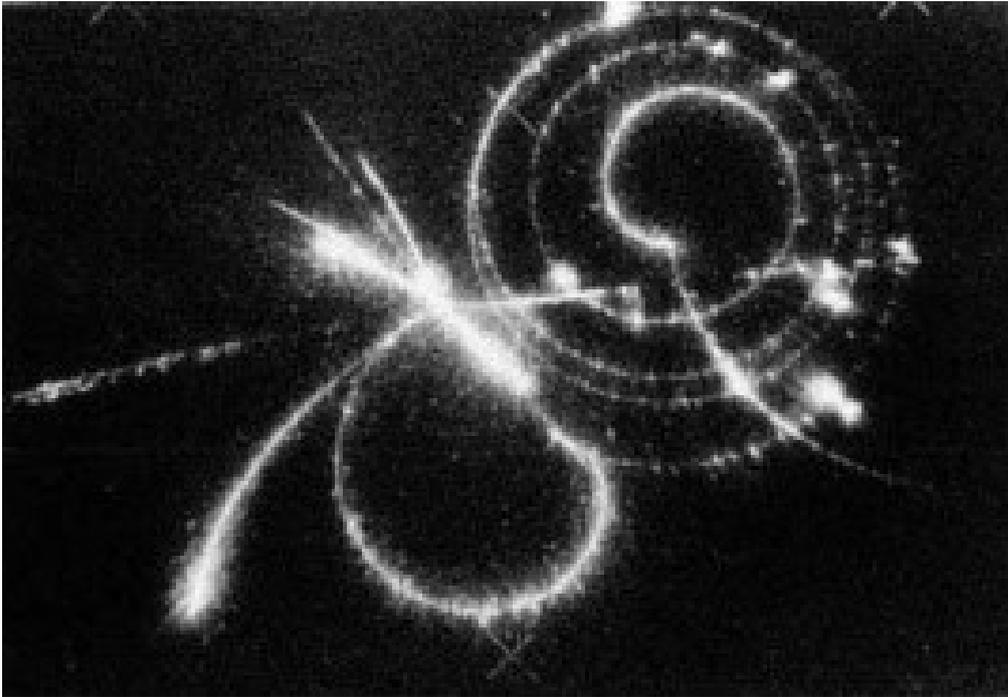


Fonte: Grupen e Shwartz (2008, p. 164).

As características nessa fotografia são parecidas com as da câmara de nuvens. Porém os traços brancos são mais nítidos, com uma quantidade menor de manchas claras. Esses traços exibem trajetórias circulares porque a câmara é exposta a campos magnéticos intensos. A quantidade de traços que são capturados pode ser consideravelmente maior do que na câmara de nuvens, permitindo que, na câmara de bolhas, sejam feitos registros e reconstruções de eventos de alta complexidade, com alta resolução espacial (GRUPEN; SHWARTZ, 2008).

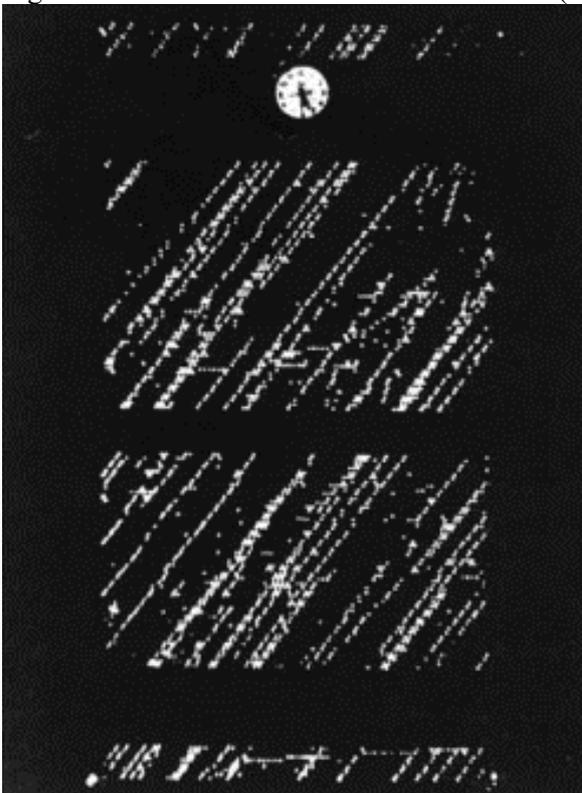
Existiram, ainda, outros vários tipos de instrumentos experimentais que não trataremos aqui, como a câmara de flâmula, câmara de tubo de flash de neon e câmara de fâisca que produzem as imagens exibidas a seguir, na Figura 2.11, Figura 2.12 e Figura 2.13, respectivamente.

Figura 2.11 - Câmara de Flâmula (Streamer chambre).



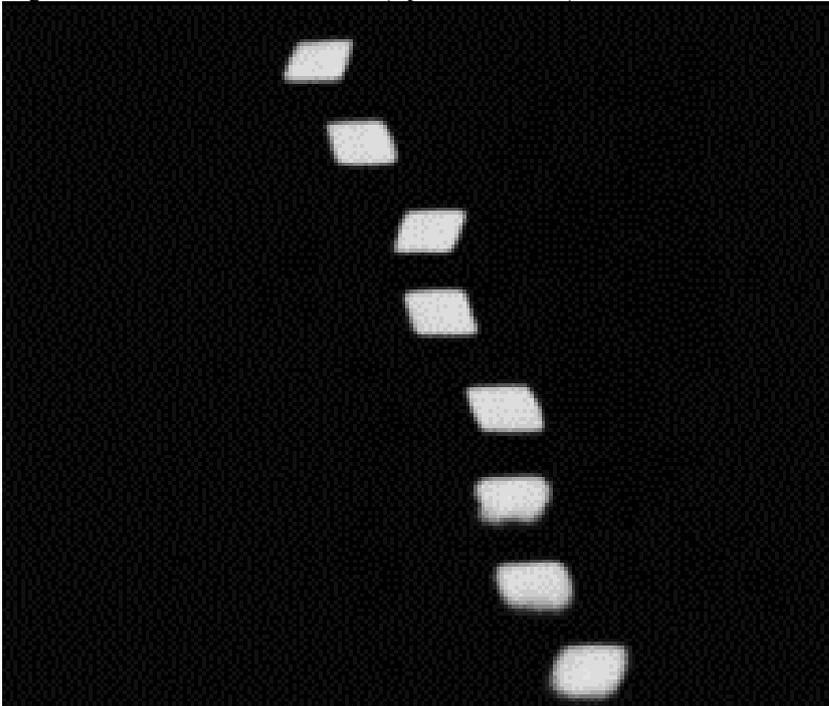
Fonte: Grupen e Shwartz (2008, p. 168).

Figura 2.12 - Câmara de tubo de flash de neon (Neon-flash-tube chambre).



Fonte: Grupen e Shwartz (2008, p. 170).

Figura 2.13 - Câmara de Faisca (Spark chambre).



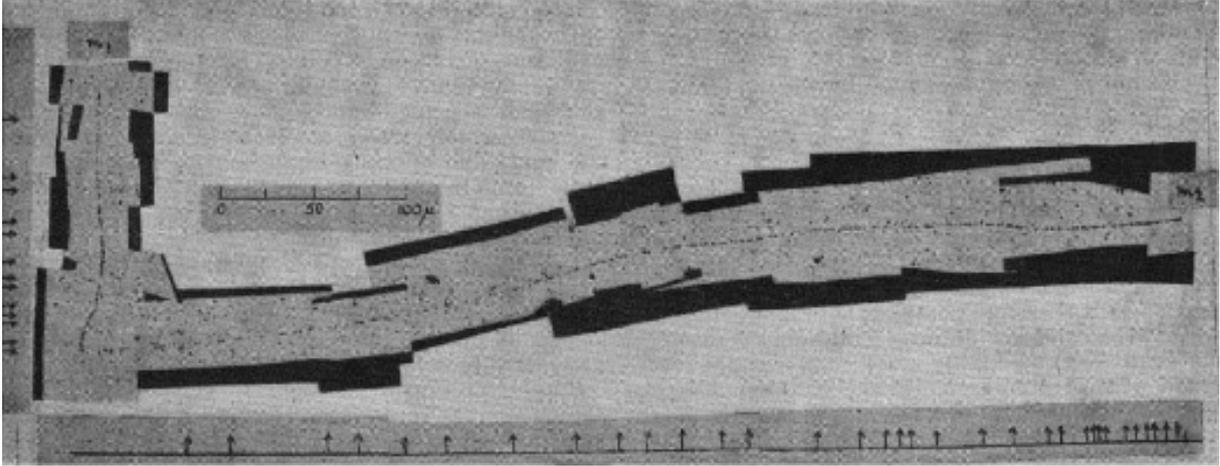
Fonte: Grupen e Shwartz (2008, p. 171).

Voltando à emulsão nuclear, podemos dizer que as imagens que sucederam a câmara de nuvens, na década de 1940, foram, principalmente, produzidas por emulsão nuclear. Essas emulsões eram como filmes fotográficos, possuíam cristais de halogeneto de prata de grão fino (AgBr e AgCl) incorporados em substrato de gelatina. Quando a emulsão é atravessada por partículas carregadas, algumas moléculas de halogeneto se transformam no metal de prata. Como os traços deixados pelas partículas eram da ordem de micrometros, era necessário utilizar microscópios para visualizar e analisar esses grãos na emulsão, fazendo uma varredura por toda a emulsão. Na década de 1940, devido ao grande número de emulsões, utilizavam-se equipes específicas apenas para fazer essa varredura e encontrar os traços de grãos. Hoje já existem câmeras CCD (Charge-Coupled Device) criadas para reconhecer e localizar automaticamente padrões nas imagens (GRUPEN; SHWARTZ, 2008).

O que se obtém dessas câmaras de emulsões nucleares são imagens com fundo de coloração clara e marcas de coloração escura. São imagens similares aos outros experimentos, da câmara de nuvens (câmara de Wilson) e câmara de bolhas; essas marcas são traços, pontos, conjuntos de pontos e manchas – porém na cor preta e com fundo claro. Em alguns artigos

científicos, as imagens das emulsões nucleares foram reveladas e dispostas uma a uma em um mosaico, como na Figura 2.14.

Figura 2.14 – Amostra de uma emulsão nuclear.



Fonte: Lattes et al. (1947, p. 695).

O que essa imagem (Figura 2.14) nos mostra é muito semelhante ao que vimos na câmara de nuvens; são traços, rastros das partículas. Em suma, o simbólico da imagem, desde 1911, desde as publicações das imagens da câmara de nuvens, não mudou. Mas a imagem passou a funcionar completamente diferente depois que surgiram outras câmaras, toda uma configuração de relações fora reorganizada. É grande parte dessas relações que procuramos explicitar nessa seção.

### 2.2.1 O ato de observar como prática institucionalizada

A prática da emulsão nuclear tem relação com vários saberes sobre a prática de fotografar. Foi na metade do século XIX que Fox-Talbot produziu os primeiros processos de criação de papéis fotográficos negativo positivo, usando nitrato de prata e cloreto de sódio, possibilitando diversas pesquisas sobre os compostos sensíveis à luz. E no final desse século, houve também pesquisas sobre como os então denominados raios X, já que não havia luz visível no ambiente, reagiam aos filmes fotográficos. O interesse nessas pesquisas era sobre quais materiais os raios X podiam atravessar até tocar o filme fotográfico, como por exemplo a pesquisa de Rutherford e S. Kinoshita em que eles determinaram que as partículas  $\alpha$  não atingiam o papel fotográfico quando se colocava uma barreira de alumínio de certa espessura (GALISON, 1997). O papel fotográfico tinha mais uma função de contagem de partículas, do que de exibir os rastros. Foi após as imagens da câmara de nuvens serem publicadas nos artigos

de 1911 e 1912, que o instrumento de Kinoshita<sup>34</sup> começou a ser usado como detector de rastros (trilhas) de partículas. Após publicações desses artigos, outros pesquisadores, como Maximilian Reinganum, também passaram a investigar esses rastros individuais (GALISON, 1997).

Mas na década de 1910, a emulsão nuclear não havia ganho destaque entre os pesquisadores, os quais preferiram utilizar contadores eletrônicos ou as telas de cintilação. Paralelamente, esse período seria marcado por discussões sobre modelos atômicos. Rutherford e sua equipe de pesquisadores sustentariam que o átomo seria dotado de partículas com cargas positivas em seu núcleo e partículas com cargas negativas orbitando o núcleo, modelo mais conhecido por modelo planetário do átomo (GALISON, 1997).

Em 1925, Marieta Blau passou a trabalhar com a emulsão nuclear, detectando partículas que se fragmentavam dos átomos de alumínio, após os átomos serem bombardeados por partículas  $\alpha$ . Antes, em 1919, Blau desenvolveu sua tese sobre raios  $\gamma$ . Ela era judia, nascida em Viena, indo para Berlim em 1921, onde trabalhou em empresas que desenvolviam tubos de raios X, trabalhando com radiologia, entre a medicina e a física, conhecendo diversos filmes de raios X e processos fotográficos envolvendo raios X (GALISON, 1997).

No “Institut für Radiumforschung”<sup>35</sup>, as mulheres tinham abertura para trabalharem entre a fronteira da física e da química: física nuclear, radioquímica e radiofísica. Stefan Meyer, chefe do instituto, teria sido o responsável por trazer Blau e Berta Karlik. Segundo Galison (1997, p. 150, tradução nossa):

Blau foi co-autora de artigos – ou supervisionou dissertações – de pelo menos cinco outras mulheres apenas nos anos de 1930-37: Elizabeth Rona, E. Kara-Michailowa, Hertha Wambacher, Stefanie Zila e Elvira Steppan.

Os resultados dos trabalhos com emulsões fotográficas sobre emissão de nêutrons de Blau e Wambacher (1937) demonstrariam registros de rastros de partículas que seriam comparáveis aos da câmara de nuvens. O plano do filme fotográfico teria sido colocado em posição perpendicular ao raio emitido pela fonte, fazendo com que o raio deslizasse ao longo da superfície da emulsão. Os trabalhos dessas autoras seriam uma nova forma quantitativa e qualitativa de pesquisar essas emissões de nêutrons (GALISON, 1997).

---

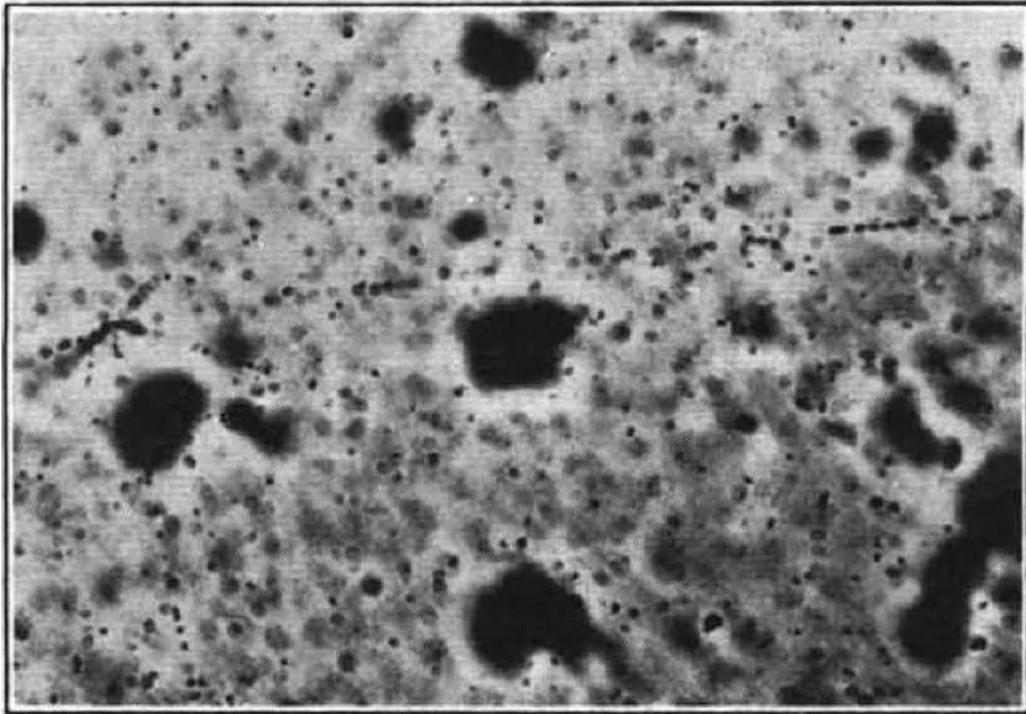
<sup>34</sup> O trabalho de Kinoshita (1915) foi publicado em 1915 com o título “The Tracks of the  $\alpha$  Particles in Sensitive Photographic Films”, em tradução livre “As trilhas das partículas em filmes fotográficos sensíveis”.

<sup>35</sup> O “Instituto de Pesquisa em Rádio” é um instituto de pesquisa austríaco associado à Academia Austríaca de Ciências, em Viena.

A experiência de Blau sobre fotografia faria ela perceber, em 1933, que a escolha da chapa fotográfica era importante, pois caso fosse escolhido um filme muito sensível, o observador ficaria com vários “efeitos ‘parasitários’”, podendo tornar alguns eventos indistinguíveis no microscópio. Wambacher ajudou Blau a tornar o filme mais sensível, deixando marcas dos prótons quando passavam pelas chapas. A responsabilidade pela criação e alteração dos filmes fotográficos era da empresa Ilford Ltd, reconhecida na produção de emulsões fotográficas e filmes fotográficos. Ela alterou diversas vezes as placas de emulsões, engrossando e afinando as emulsões na tentativa de melhorar a captura das trilhas de partículas (GALISON, 1997, p. 151, tradução nossa). Isso teria gerado desconfiança na legitimidade da fotografia, já que os pesquisadores não eram os responsáveis pelas produções dessas emulsões. Nessa época, os detectores perderam fidelidade ao se perceber que estavam observando pontos luminosos mesmo quando as fontes de partículas estavam desligadas. Assim, Hans Petersson e Blau que já estavam habituados a trabalhar com filmes Ilford, e passaram a buscar detectores mais confiáveis (GALISON, 1997).

Blau e Wambacher publicaram, em 1937, um artigo onde exibiriam várias imagens de partículas  $\alpha$  e prótons, sugerindo que eram raios cósmicos devido a energia ser maior que a de decaimentos radioativos conhecidos. A Figura 2.15, a seguir, demonstra a imagem obtida por elas nesse artigo. A emulsão exibe oito rastros, mas devido a limitação do microscópio, só algumas faixas aparecem na imagem. Em março de 1938, devido ao início da segunda guerra mundial, as pesquisas foram interrompidas, fazendo as pesquisadoras se movimentarem de lugar em lugar. Blau, por exemplo, fugiu para vários lugares, passando pela Cidade do México em novembro de 1938, mudando-se em maio de 1944 para Nova York (GALISON, 1997).

Figura 2.15 – Emulsão nuclear com 8 rastros.



Fonte: Blau; Wambacher (1937, p. 585).

Na mesma década em que Blau fugia devido a segunda guerra mundial, despontaram os trabalhos de Cecil Frank Powell na Grã-Bretanha, em 1939, o qual trabalharia com experimentos de emulsão nuclear para investigar fenômenos envolvendo a transmutação de urânio, fissão nuclear. Powell foi estudante de Wilson e trabalhava no mesmo grupo, conhecendo a câmara de nuvens e os primeiros trabalhos envolvendo a condensação de gases. Por vários anos tentou fazer uma câmara totalmente de vidro que pudesse suportar as pressões dos gases. Em 1928, Powell pesquisou sobre os efeitos da temperatura na supersaturação, mobilidade dos íons e as interações de íons utilizando a câmara de nuvens. Apenas em 1938 ele passou a utilizar a câmara de nuvens para explorar reações nucleares (GALISON, 1997).

Ao conhecer os métodos fotográficos, Powell percebeu que fotografar os vários eventos na câmara de nuvens iria render muitas fotos, dificultando a análise de tantas imagens. Além de perceber que as fotografias não exibiam precisamente o plano onde ocorriam os eventos, pois as fotos exibiam as três dimensões no plano da fotografia de duas dimensões, perdendo a profundidade. Já na emulsão fotográfica, o plano era bem definido, assim como a orientação espacial da trilha deixada pela partícula. Com o movimento da década de 1930 –

em que vários pesquisadores passaram a utilizar a emulsão fotográfica – Powell passou também a trabalhar com as emulsões e os microscópios. Powell teria conhecido a prática de emulsão por meio dos trabalhos de H. J. Taylor e Maurice Goldhaber (GALISON, 1997).

Com o grande número de imagens sendo produzidas pelas investigações de Powell, em 1939 ele comprou quatro microscópios binoculares de alta qualidade e implantou a análise por setores da emulsão, criando grupos scanners. Como a emulsão era espessa, cada pedaço de uma mesma emulsão era analisado por um grupo de scanners diferente. Assim, em 1940, o grupo de Powell investigou deutério produzidos pelo gerador de Cambridge. Segundo Galison (1997, p. 175, tradução nossa), nessa investigação ele teria usado “4 centímetros quadrados de placa de meio-tom de 100 micrometros de espessura de [emulsão fotográfica] Ilford, ele obteve 1.700 faixas em 2 horas de exposição e 60 horas de varredura”. Embora a placa tivesse 100 micrometros de espessura, Powell pediu à empresa que fabricava as emulsões, Ilford, para aumentar a espessura, assim as trilhas de partículas não deixariam a emulsão até elas pararem (GALISON, 1997).

Nesse mesmo ano de 1940, Powell iniciou pesquisas com James Chadwick<sup>36</sup> sobre a dispersão de nêutron – partícula que havia recém sido proposta por Chadwick. Mesmo durante a segunda guerra mundial, os trabalhos continuaram. Em maio de 1945, as chapas fotográficas fabricadas pela empresa Ilford tinham confiança suficiente para contribuírem com a pesquisa sobre a propagação de energia de nêutrons. Segundo Galison (1997, p. 182, tradução nossa), não é possível afirmar que a emulsão fotográfica tenha desempenhado um “papel central” no desenvolvimento da bomba atômica<sup>37</sup>. Por isso, após as bombas de Hiroshima e Nagasaki, as pesquisas continuaram normalmente. Porém, Galison (1997, p. 186-187, tradução nossa) menciona que:

Sem examinar seu papel [da emulsão nuclear] no projeto da bomba atômica, é impossível entender os recursos subitamente disponíveis aos físicos britânicos de emulsão logo após a guerra. Hiroshima garantiu que as emulsões – e as práticas de laboratório que as acompanhavam – não seriam esquecidas no novo ambiente de cíclotrons e poder atômico. Mesmo antes de as hostilidades cessarem, Powell havia criado rotinas no procedimento para fotografar partículas no cíclotron (...). De fato, em janeiro de 1945, ele já

---

<sup>36</sup> James Chadwick era pesquisador no Laboratório de Crambridge, trabalhava junto com Rutherford. Ele teve ampla participação na introdução da noção do nêutron enquanto elemento subatômico em 1932. Mais tarde, foi colaborador no projeto Manhattan, no Estados Unidos (GALISON, 1997).

<sup>37</sup> No projeto da bomba atômica esteve presente um relatório chamado “Um Relatório Preliminar de uma Investigação da Dispersão de Nêutrons de Alta Energia em Óxido de Urânio e em Chumbo” (GALISON, p. 178, tradução nossa), relatório produzido por Alan Nunn May e Powell, sem data, mas provavelmente de 1941.

estava pressionando Ilford a desenvolver novas emulsões, um pedido que eles adiaram (pelo menos publicamente) até o fim da guerra.

Após o fim da guerra, foram emprestados polônio para a empresa Ilford. Assim, os técnicos podiam investigar as diferenças entre as interações dos prótons e partículas  $\alpha$  com as emulsões. Powell solicitou a Ilford que fossem criadas emulsões com grãos menores e, em 1946, Ilford entregou emulsões com 4 tamanho de grãos e com 3 níveis de sensibilidade. A Kodak, em 1948, também produziu emulsões, prometendo emulsões mais sensíveis, que possibilitariam exibir rastros de partículas carregadas como o elétron (GALISON, 1997). Por um lado, tínhamos os físicos, preocupados com eventos nucleares produzidos pelas imagens das emulsões, e por outro lado tínhamos os químicos da Ilford e da Kodak, preocupados com a composição química das emulsões fotográficas. Pierre Demers, físico-químico canadense, teria sido um dos poucos que se dedicou à criação da emulsão fotográfica fora das grandes corporações fotográficas e cinematográficas. Os processos de criação das emulsões por Demers era profundamente artesanal, desde a gelatina até a manipulação do brometo de prata, mas suas emulsões nunca foram utilizadas pelos grandes laboratórios do Estados Unidos e Europa, porque os grãos das emulsões fotográficas da Ilford e Kodak eram maiores, exigindo microscópios menos potentes (GALISON, 1997).

A melhora dos filmes Ilford e Kodak permitiram que fosse criado um atlas da emulsão nuclear, um manual semelhante ao que foi criado para a câmara de nuvens. Em 1947, esse atlas foi publicado por Powell, G. P. S. Occhialini, D. L. Livesey e L. V. Chilton, intitulado “Uma nova emulsão fotográfica para a detecção de partículas de cargas rápidas”<sup>38</sup> (POWELL et al., 1972, p.102, tradução nossa). O atlas argumentava que além de ser simples a produção de imagens, “qualquer laboratório escolar” poderia utilizar dos métodos relatados no atlas. Acreditava-se que o atlas serviria “tanto aos físicos como aos não-físicos” (GALISON, 1997, p. 196, tradução nossa). Também existiu uma espécie de atlas para os microscópios que eram utilizados para observar as trilhas deixadas nas emulsões, como o manual de Hodges (1960).

Powell percebeu que uma das principais dificuldades relacionadas a emulsão nuclear era extrair as informações, analisar as imagens, ler as fotografias, pois a quantidade de material para análise era imensa. Por isso, criou uma equipe de observadoras que envolveram mulheres

---

<sup>38</sup> “A New Photographic Emulsion for the Detection of Fast Charged Particles” (POWELL et al., 1972, p. 102). A primeira publicação é de 1946.

que não tinham formação na área da física. A tarefa das mulheres observadoras, comumente chamadas de “scanners”, era “encontrar topologias especificadas de eventos, registrar a posição na emulsão e depois passar o filme para um físico ou estudante de física, que faria as medições e rotularia o processo” (GALISON, 1997, p. 198, tradução nossa).

Na Europa e América se acreditava que as mulheres eram mais adequadas para trabalhos considerados “meticulosos”, “tediosos” ou “exigentes”. Concebendo a participação de mulheres em várias pesquisas da área da física, conforme afirmado por Galison (1997, p. 199, tradução nossa):

As mulheres são empregadas por astrônomos, como contadoras de estrelas, ou pelo laboratório de Stefan Meyer em Viena, como contadoras de flashes na tela do cintilador. Durante a Segunda Guerra Mundial, as mulheres serviram como “computadores”, trabalhando em calculadoras mecânicas.

Mais tarde, a equipe de Powell, formada por 20 scanners e liderada por Isobel Powell, esposa de Powell, descobriria o Píon em uma de suas emulsões. A prática de usar mulheres para essas funções foi amplamente difundida. Na década de 1950 muitos laboratórios adotaram essa prática (Figura 2.16), fazendo com que autoridades de saúde investigassem as condições em que essas mulheres trabalhavam no laboratório de Powell. Quando essa prática iniciou, as mulheres que descobriam algum evento na emulsão fotográfica recebiam os devidos créditos nas fotografias. Mas com o tempo, elas foram deixando de receber os créditos, até que, no início da década de 1950, dificilmente se encontrava alguma fotografia com os nomes das mulheres que observaram os eventos (GALISON, 1997). No início, os mosaicos de imagens de emulsões nucleares traziam o nome da “observadora”; mais tarde, os mosaicos traziam apenas o nome dos físicos responsáveis pelas pesquisas.

Figura 2.16 – Microscopistas do Instituto Max Planck.



Fonte: Vieira e Videira (2011).

Surgiram justificativas epistemológicas para que as mulheres não recebessem os devidos créditos, ou não tivessem o conhecimento sobre o que estavam buscando nas imagens. Epistemologicamente, Walter Barkas acreditava que poderia existir um “viés de varredura” que poderia atrapalhar na busca por eventos nas emulsões; por isso, as mulheres teriam que conhecer o mínimo possível, para não interferir nas observações. Conforme pesquisa de Galison (1997), as scanners levavam a culpa se o experimento estivesse errado, mesmo sabendo que, antes de qualquer publicação, o evento observado era novamente analisado, medido e interpretado pelo físico.

Com as scanners trabalhando nos laboratórios, surgiram vários eventos nas emulsões fotográficas que se desdobraram nas introduções dos estudos de novas partículas, como a partícula pión. Em 1947, Donald Perkins publicou resultados na revista *Nature* usando as emulsões nucleares. Ele teria exposto as emulsões em um avião a mais de 9000 m de altitude, captando partículas originárias dos raios cósmicos. De forma independente, Occhialini e Powell

também publicaram, na mesma revista e no mesmo ano, utilizando imagens de emulsões. Ambos os trabalhos identificavam uma partícula diferente das já observadas; seria uma partícula mais energética que o elétron, e menos energética que o próton<sup>39</sup>. A publicação desses dois trabalhos por dois laboratórios diferentes e de forma independente, trouxe confiabilidade para esse método de observação das emulsões. Mas foi em trabalhos meses mais tarde que foi possível dizer que essas partículas eram os píons. Os trabalhos de César Lattes, Occhialini e Powell na *Nature*, teceram considerações de que as partículas observadas eram dois corpos: um múon que decaía de um pión<sup>40</sup> (GALISON, 1997). Conforme a Tabela 1, em 1951, já se conheciam ao menos 19 partículas.

Tabela 1 – Partículas conhecidas até 1951.

PARTICLE	SYMBOL	CHARGE	MASS	SPIN	STATISTICS	DECAY SCHEME	LIFETIME (SECONDS)
NEUTRINO	$\nu$	0	0	1/2	FERMI-DIRAC	STABLE	
ELECTRON	$e$	-	1	1/2	FERMI-DIRAC	STABLE	
POSITRON	$p$	+	1	1/2	FERMI-DIRAC	STABLE	
POSITIVE MU MESON	$\mu^+$	+	210	1/2	FERMI-DIRAC	$\mu^+ \rightarrow p + 2 \nu$	$2.1 \times 10^{-6}$
NEGATIVE MU MESON	$\mu^-$	-	210	1/2	FERMI-DIRAC	$\mu^- \rightarrow e + 2 \nu$	$2.1 \times 10^{-6}$
KAPPA MESON	$K$	+	1200 ?	1/2 ?	FERMI-DIRAC ?	$K \rightarrow \mu^+ + (?) 2 \nu$	$10^{-10} ?$
PROTON	$P$	+	1836	1/2	FERMI-DIRAC	STABLE	
ANTIPROTON ?	$\bar{P}$	-	1836	1/2	FERMI-DIRAC	STABLE	
NEUTRON	$N$	0	1838.5	1/2	FERMI-DIRAC	$N \rightarrow P + e + \nu$	750
ANTINEUTRON ?	$\bar{N}$	0	1838.5	1/2	FERMI-DIRAC	$\bar{N} \rightarrow \bar{P} + p + \nu$	750
POSITIVE V-PARTICLE	$V^+$	+	2600 ?	?	FERMI-DIRAC ?	$V^+ \rightarrow N + \pi^+ + (?) \pi^0$	$10^{-10} ?$
NEGATIVE V-PARTICLE	$V^-$	-	2600 ?	?	FERMI-DIRAC ?	$V^- \rightarrow N + \pi^- + (?) \pi^0$	$10^{-10} ?$
NEUTRAL V-PARTICLE	$V^0$	0	2600 ?	?	FERMI-DIRAC ?	$V^0 \rightarrow N + \pi^+ + \pi^- ?$ $V^0 \rightarrow P + \pi^- + (?) \pi^0$	$3 \times 10^{-10}$
PHOTON	$\gamma$	0	0	1	BOSE-EINSTEIN	STABLE	
GRAVITON	$G$	0	0	2	BOSE-EINSTEIN	STABLE	
POSITIVE PI MESON	$\pi^+$	+	276	0	BOSE-EINSTEIN	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$	$2.6 \times 10^{-8}$
NEGATIVE PI MESON	$\pi^-$	-	276	0	BOSE-EINSTEIN	$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu$	$2.6 \times 10^{-8}$
NEUTRAL PI MESON	$\pi^0$	0	265	0	BOSE-EINSTEIN	$\pi^0 \rightarrow 2 \gamma$	$10^{-14}$
TAU MESON	$\tau$	+ or -	966	0 ?	BOSE-EINSTEIN	$\tau \rightarrow 3 \pi$	$10^{-9} ?$

Fonte: Marshak (1952, p. 26-27).

<sup>39</sup> Os dois trabalhos utilizaram a contagem do espaçamento dos grãos nos rastros para determinar a energia da partícula. Partícula que foi chamada de méson, porque se acreditava que a partícula tinha massa intermediária, entre o elétron e o próton. Na década de 1940 já se conhecia a massa do próton, a massa da partícula era medida por meio desse método de contagem de grãos (GALISON, 1997).

<sup>40</sup> O método da contagem de grãos permitia estimar que as massas das novas partículas eram menores que a massa do próton, mas não permitia estimar que as partículas tinham massas diferentes entre si, pois a diferença de massa entre as partículas ficava dentro do erro estatístico. O múon e o pión foram inicialmente chamadas de méson múon e méson pi (GALISON, 1997).

### 2.2.2 Lattes e as pesquisas no Brasil

As pesquisas no Brasil que utilizaram as emulsões fotográficas iniciaram na década de 1940. Por meio da Colaboração Brasil-Japão, as emulsões foram utilizadas para estudar os raios cósmicos por longos anos. O uso dessa técnica no Brasil perdurou até o início do século XXI, apesar de que, a partir da década de 1960, os principais centros de pesquisa pelo mundo pararam de utilizar as emulsões (VIEIRA; VIDEIRA, 2011). Segundo Vieira e Videira (2011, p. 9), a prática utilizando emulsão fotográfica perdurou por muitos anos uma vez que ela foi responsável pela institucionalização das pesquisas de ciência no Brasil, isso porque:

- i) tínhamos um físico brasileiro com bons conhecimentos da técnica – no caso, Lattes – e que havia obtido resultados com repercussão internacional;
- ii) o método fotográfico aplicado à física era apropriado à realidade no Brasil, país em que havia se instalado, há pouco, a pesquisa em física de forma sistemática nas universidades e em centros de pesquisa; ou seja, além de relativamente simples, era barato.

O estudo com raios cósmicos iniciou na década de 1930 com Chadwick e outros pesquisadores do laboratório de Cavendish da Universidade de Cambridge (GALISON, 1997). No Brasil, o físico ítalo-ucraniano Gleb Wataghin trabalhou com contadores para estudar os raios cósmicos na recém fundada Universidade de São Paulo (USP). Apenas mais tarde, em 1949, quando Lattes voltou do Estados Unidos, que se passou a utilizar emulsões nucleares para estudar os raios cósmicos no Brasil. Nessa época, após a segunda Guerra Mundial, o governo brasileiro, por meio da USP, comprou um betatron e um van de Graaff para pesquisas de física nuclear (VIEIRA; VIDEIRA, 2011). Conforme relatam Vieira e Videira (2011, p. 9):

A ciência no pós-guerra sofreu um processo de reestruturação financeira e social que se convencionou chamar Big Science. No Brasil, exceção para a Colaboração Brasil-Japão, a física até a segunda metade da década de 1990, quando entrou em funcionamento o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, em Campinas (SP), foi feita geralmente em pequeno grupos, seguindo o que foi – como ainda o é – comum em muitos países periféricos.

Lattes trabalhou com Powell e Occhialini na Universidade de Bristol, na Inglaterra. Ele dominava a prática que envolvia a emulsão nuclear, o estudo dos raios cósmicos e o estudo das partículas produzidas pelo acelerador do laboratório de Berkeley, da Universidade da Califórnia no Estados Unidos. Inclusive foi Lattes, em 1947, quem reviu os procedimentos que eram realizados no laboratório de Berkeley (GALISON, 1997). Enquanto membro da equipe de Powell, Lattes participou ativamente das pesquisas no monte Chacaltaya, na Bolívia, levando

as emulsões fotográficas a 5500 metros de altitude, para facilitar a coleta de raios cósmicos<sup>41</sup> (VIEIRA; VIDEIRA, 2011).

Foi no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) que as físicas Elisa Frota-Pessoa e Neusa Amato, utilizando as emulsões trazidas por Lattes, estudaram formas de decaimento do pión. A técnica das scanners mulheres que foi utilizada no laboratório de Powell, foi também utilizada na CBPF. Por um lado, essa técnica era atrativa para a atual situação de institucionalização da ciência no Brasil, pois era uma técnica barata em que mulheres eram contratadas a baixos salários (VIEIRA; VIDEIRA, 2011). Por outro lado, essa prática pode ser vista como uma prática segregadora e patriarcal, marcada pela diferenciação das mulheres na ciência, estabelecendo papéis sociais com responsabilidades comuns, porém com remunerações inferiores<sup>42</sup>.

### 2.3 AS REVISTAS CERN-COURIER E SCIENTIFIC AMERICAN

Fizemos um recorte temporal de um período em que ocorreu o desenvolvimento da Física de Partículas, entre as décadas de 1950 e 1980, e analisamos as práticas discursivas que envolvem as imagens que circularam nos principais periódicos. Escolhemos esse período, pois nesse período o campo de saber da física de altas energias começou a ganhar forma. Como analisamos anteriormente, foi nesse período que saberes referentes ao átomo, radioatividade, relatividade e quântica sofreram diversas transformações. Esse período, pós-guerra, também foi marcado por incentivos às pesquisas científicas. Embora muitos saberes tenham se transformado, as imagens que foram produzidas na época não se apagaram, continuaram a circular em revistas.

Existem duas importantes revistas que circularam nesse período e que trouxeram imagens de partículas: as revistas *Scientific American* e *CERN Courier*<sup>43</sup>. Essas duas revistas são totalmente diferentes entre si. A revista *Scientific American* é uma revista privada criada por Rufus Porter, em 1845, no âmbito da Revolução Industrial. Essa revista foi marcada por publicações de novas invenções que puderam ser divulgadas e explicadas pelos próprios

---

<sup>41</sup> A equipe de Powell também levou as emulsões nucleares em voos de avião e no Pic du Midi na França.

<sup>42</sup> O trabalho de Linhares (2015) analisa um texto de entrevista da física Elisa Frota-Pessoa e expõe as dificuldades que as mulheres passaram e passam na ciência.

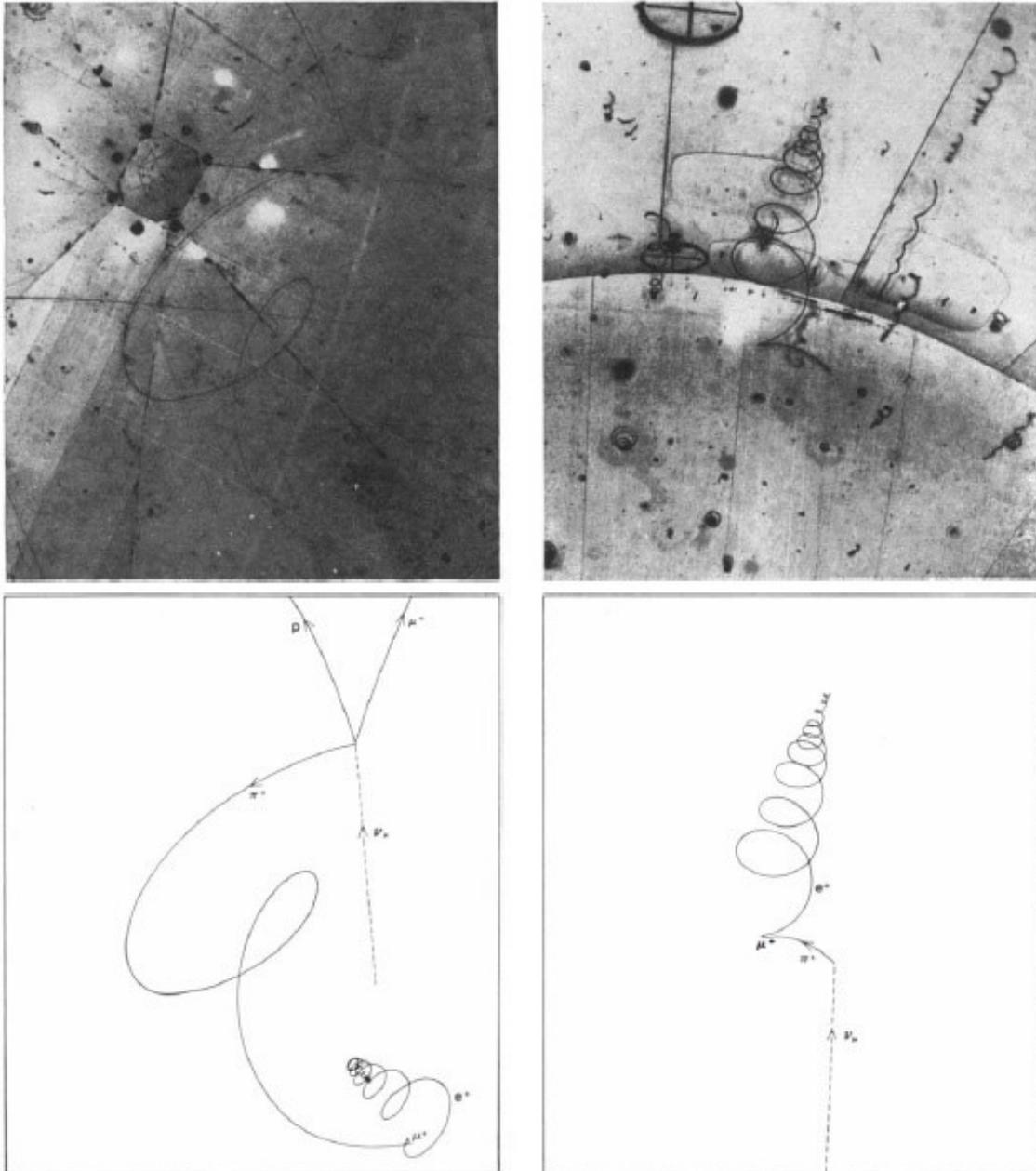
<sup>43</sup> Diversos outros periódicos científicos também trouxeram imagens, como por exemplo a revista *Nature*. Porém, buscamos realizar esse recorte devido a grande circulação da *Scientific American* e devido a *CERN Courier* ser uma revista especializada na área da Física de Altas Energias.

inventores. Em pouco tempo, a revista passou a ter a participação de muitos cientistas e possibilitou que diversas áreas da ciência pudessem divulgar seus saberes e teorias. Atualmente, a revista publica em 14 idiomas e distribui para mais de 30 países; seu nome é amplamente reconhecido pela comunidade científica. Já a revista *CERN Courier* foi criada em 1959 por membros da organização do CERN (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear), por isso ela se consagrou como sendo uma importante revista da área da Física de Altas Energias.

Em 1911, os raios cósmicos foram detectados por Victor Franz Hess na Áustria. O estudo das propriedades dos raios cósmicos levou ao conhecimento de duas outras partículas na década de 1930, o pósitron e o múon. Em 1930, começaram a surgir importantes aceleradores, como o da Universidade de Cambridge, na Inglaterra (CARUSO; OGURI; SANTORO, 2012). As imagens, passaram a circular nos meios formais da comunidade científica mais significativamente a partir da década de 1950. Essas imagens estão nos trabalhos publicados em revistas acadêmicas e revistas de divulgação científica.

Embora as imagens sejam produzidas por meio de experimentos, identificamos nas revistas publicações de desenhos criados pelos autores. As imagens experimentais eram expostas em forma de mosaico, em que, de um lado, fica a imagem experimental, e de outro, a imagem desenhada pelo cientista. A Figura 2.17, extraída da *Scientific American* de 1974, exemplifica essa prática, em que as duas imagens (na parte superior da página) foram desenhadas abaixo. Nesses desenhos, muito dos fragmentos são deixados de fora, desenhando apenas o que é de interesse. As imagens da revista *CERN Courier* (Figura 2.18 e Figura 2.20) e *Scientific American* (Figura 2.19), também apresentam a imagem obtida por meio do experimento, e o desenho abaixo (ou ao lado) dessa.

Figura 2.17 – A imagem do experimento seguida do desenho.



**EVIDENCE FOR NEUTRAL CURRENTS**, the existence of which would support theories showing a connection between electromagnetic interactions and weak interactions, was recently obtained in an experiment conducted at the Argonne National Laboratory with a neutrino beam from the zero-gradient synchrotron and with a 12-foot bubble chamber filled with liquid hydrogen. The bubble-chamber photograph at left and the map below it show an example of a familiar kind of charged-current process ( $\nu_{\mu} + p \rightarrow \mu^{-} + p + \pi^{+}$ ) in which a unit of electric charge is exchanged between leptons ( $\nu_{\mu}, \mu^{-}$ ) and other particles. The photograph at the right and the map below it show an example of a neutral-current process ( $\nu_{\mu} + p \rightarrow \nu_{\mu} + n + \pi^{+}$ ) distinguished by the absence of outgoing negative muon ( $\mu^{-}$ ) or proton ( $p$ ) tracks. In such photo-

graphs tracks are left only by charged particles, so that the incoming neutrino ( $\nu_{\mu}$ ) and the outgoing neutrino and neutron ( $n$ ) in the neutral-current process are invisible. Moreover, the bubble chamber is subjected to an intense magnetic field, which causes charged particles to follow curved tracks, clockwise for negative charge and counterclockwise for positive charge. In both of these photographs the positive pion ( $\pi^{+}$ ) is seen to decay into a positive muon ( $\mu^{+}$ ), which then decays into a positive electron ( $e^{+}$ ), visible as a tightly wound spiral. This experiment is more recent than similar ones that have been conducted at European Organization for Nuclear Research (CERN) and at National Accelerator Laboratory. It provides the first evidence for the specific neutral-current reactions  $\nu_{\mu} + p \rightarrow \nu_{\mu} + n + \pi^{+}$  and  $\nu_{\mu} + p \rightarrow \nu_{\mu} + p + \pi^{0}$ .

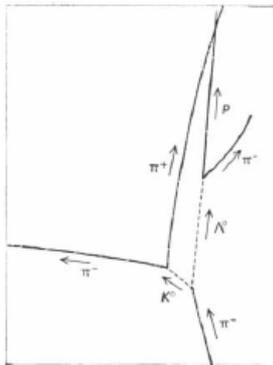
Fonte: Weinberg (1974, p. 51).

Figura 2.18 – Méson pi produzido pelo Berkeley Bevatron na câmara de bolhas.

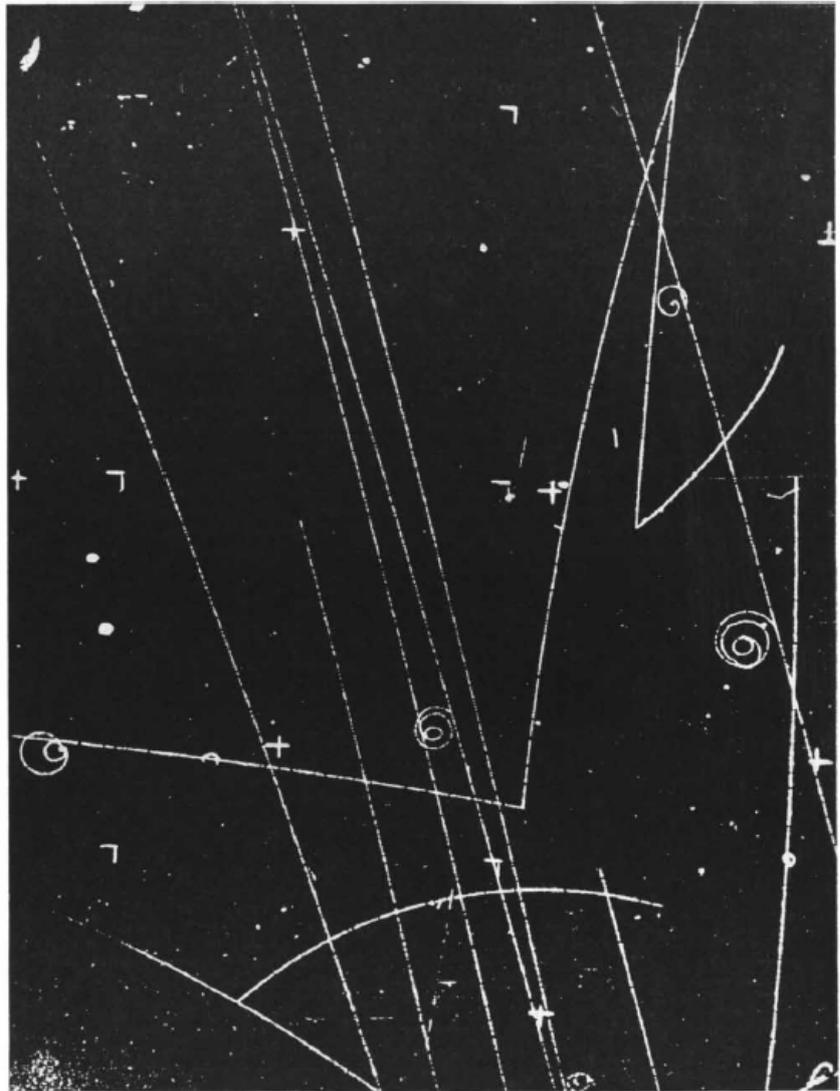
**CTIONS**

urth force of nature.  
sm and the “strong”  
the atomic nucleus

energies of the particles, their momenta and so on. One over-all determinant of rate is the amount of energy available in the reaction. But another and more fundamental determinant that turns up in the equations we invent to describe particle transformations is the intrinsic strength of the reaction. To be sure, these equations are exceedingly complicated, and they can be solved only when we make approximations of dubious validity. What is more, the whole point of our awe at the richness of particle physics is that we are sure our theories are incomplete and inadequate. Nonetheless the characterization of interactions in terms of intrinsic strength is meaningful enough and has uncovered



DECAY of two fundamental particles by a weak-interaction process is illustrated in the bubble-chamber photograph at right, made by Luis W. Alvarez and his colleagues at the

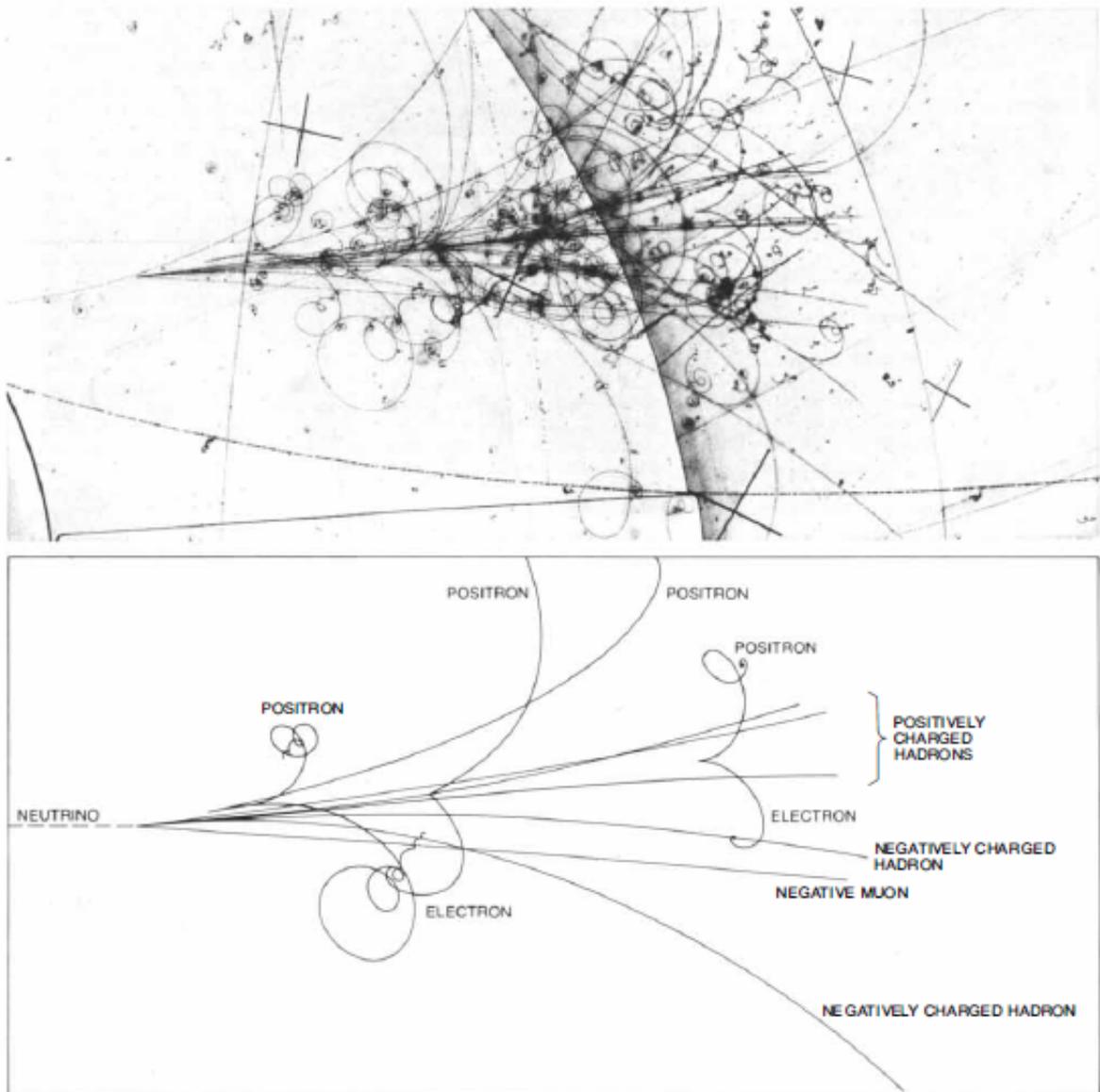


University of California. The events in the photograph are traced in the drawing at left. A high-energy negative pi meson ( $\pi^-$ ), produced by the Berkeley Bevatron, enters the chamber at lower right. It strikes a proton in the liquid hydrogen of the bubble chamber,

giving rise to a neutral K meson ( $K^0$ ) and a lambda particle ( $\Lambda^0$ ). Being uncharged, these two particles leave no track. The neutral K meson decays into a negative pi meson and a positive pi meson; the lambda particle, into a proton ( $p$ ) and a negative pi meson.

Fonte: Treiman (1959, p. 72-73).

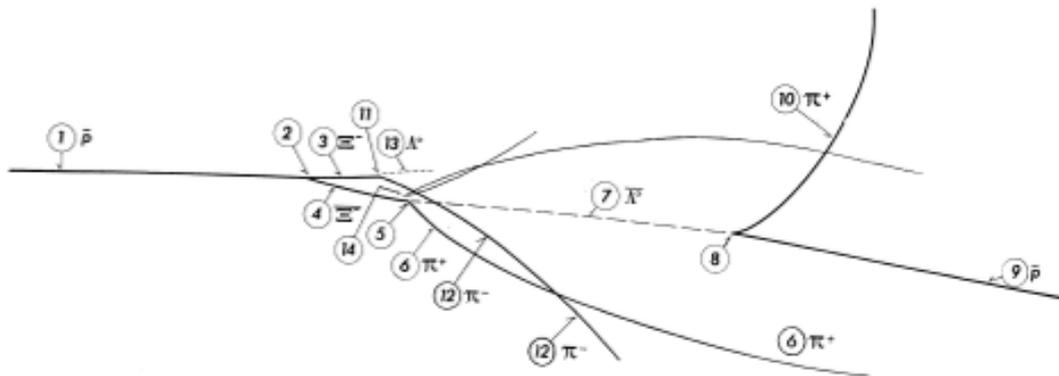
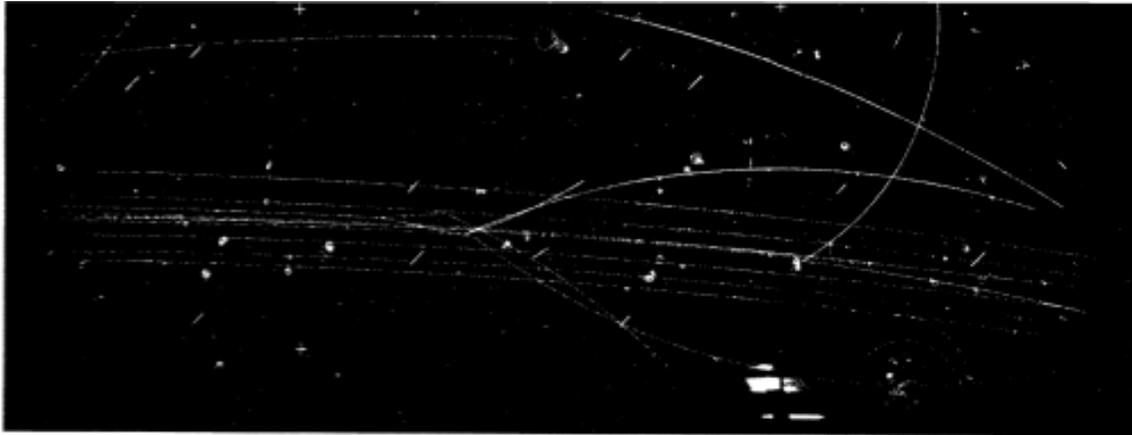
Figura 2.19 – A imagem do experimento seguida do desenho.



**JET OF PARTICLES** emerges from a proton struck by a high-energy neutrino. The event is recorded in trails of bubbles, which form in superheated hydrogen along the path of a charged particle. The neutrino, which leaves no track because it has no charge, is transformed by the collision into a negatively charged muon, which can be observed. At the same time a stream of particles moves off in another direction. They are hadrons, a class of particles (such as the proton and the pion) that are thought to be made up of the more fundamental entities called quarks. From the curvature of the tracks in the magnetic field that permeates the bubble chamber it can be deduced that three of the hadrons carry a positive charge and two have a negative charge. In addition at least one neutral pion is emitted; it cannot be seen, but the

products of its decay are pairs of electrons and antielectrons, or positrons, which leave distinctive spiral tracks. In the frame of reference in which the neutrino and the target proton collide with equal but opposite momentum, the scattered muon and the jet of hadrons would appear to emerge almost back to back. Such wide-angle scattering signals a violent process. The event can be explained by the hypothesis that the neutrino collides with a hard constituent of the proton, such as a quark; the quark is ejected, but as it escapes several other quarks and antiquarks materialize, creating the jet of hadrons. The photograph was made with the Big European Bubble Chamber at the European Organization for Nuclear Research (CERN) near Geneva. Some of the particle tracks are identified in the map below.

Figura 2.20 – A imagem do experimento seguida do desenho.



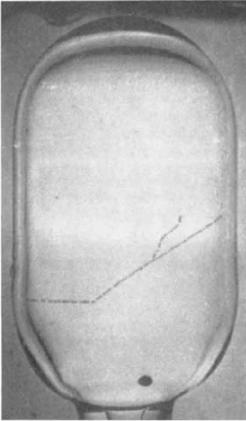
Antiprotons, produced by means of CERN's 28 GeV proton-synchrotron accelerator and associated apparatus, arrive with momenta of 3 GeV/c and pass at high speed through the liquid hydrogen of the 81-cm bubble chamber. One of these antiprotons (1) is seen to travel 20 cm in the chamber, and then collide at (2) with a hydrogen nucleus (a proton), resulting in mutual annihilation. The mass of the proton and the mass and kinetic energy of the antiproton give birth to two heavy particles, xi-hyperons: a negative xi (3) and its antiparticle (4), which is a positively charged antixi. It is the latter particle which makes this photo so exceptional, because this is its first appearance, although it was predicted theoretically some years ago. Like all hyperons, the antixi quickly disintegrates: at (5), after about  $10^{-12}$  second (one ten-thousandth of a millionth of a second), it gives rise to a "cascade" of other particles.

First it gives a positive pion (6) and an antilambda zero (7). This latter is a neutral particle which forms no track in the liquid hydrogen; it is thus shown by a dotted line on the diagram. It disintegrates in its turn, at (8), producing an antiproton (9) and another positive pion (10). The other product of the initial collision at (2), the negative xi (3), itself disintegrates at (11) into a negative pion and a lambda zero, another neutral particle leaving no track [dotted line (13)]. The fate of this lambda zero is unknown. Possibly it escapes from the chamber and disintegrates outside. There is also the possibility that it disintegrates inside the chamber, but produces two neutral particles with no tracks: a neutron and a neutral pion. The event indicated at (14) is due to the annihilation of another incident antiproton, and has nothing to do with the main reaction of interest.

Fonte: CERN Courier (1962, p. 5).

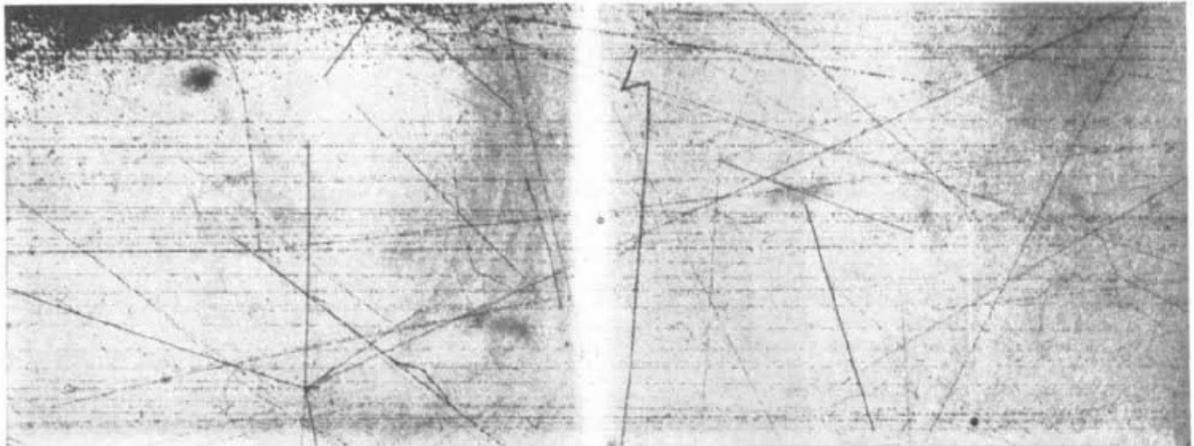
Mas também existiram publicações em que o desenho não aparece. Por exemplo, a Figura 2.21, Figura 2.22 e Figura 2.23.

Figura 2.21 – Fotografia da câmara de bolha e seus traços de partículas.



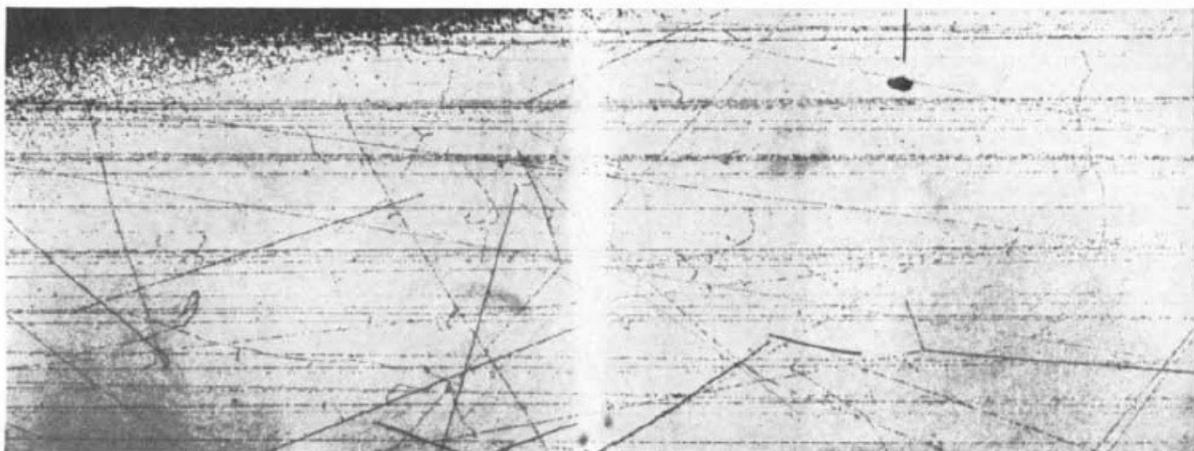
Fonte: Adaptado de Glaser (1955, p. 51).

Figura 2.22 – Mosaico de fotografia da câmara de bolha e os vários decaimentos.



**BUBBLE-CHAMBER PICTURE** shows the two-billion-electron-volt proton beam of the Cosmotron at the Brookhaven Laboratory.

The protons enter the chamber from the left. At lower left a carbon nucleus has been disrupted. Zigzag track in the center is a mystery.

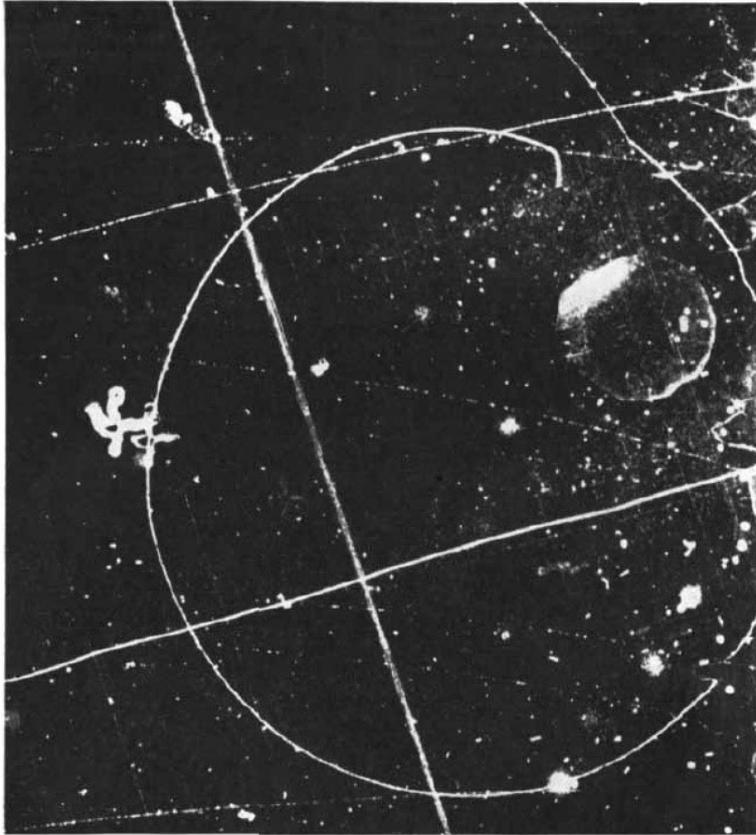


**RARELY SEEN EVENT**, the decay of a pi meson into a mu meson and then into an electron, was caught in this photograph. Pi me-

son enters just above center of left edge, moving down to right. Mu meson leaves a short track and electron goes off upward to left.

Fonte: Glaser (1955, p. 51).

Figura 2.23 – Decaimento do méson pi positivo em uma câmara de nuvens.



**POSITIVE PI MESON** decays in a cloud-chamber photograph made by Wilson Powell of the University of California. The track of the meson enters the photograph from the top toward the right. The first slight kink in the track of the particle indicates that it has decayed into a positive *mu* meson.

Fonte: Marshak (1952, p. 26-27).

Entretanto, como podemos observar na Figura 2.24, extraída do artigo de Blau e Wambacher (1937), a prática do mosaico de imagem/desenho já era utilizada. Nesse exemplo, a imagem exibe a “estrela” de partículas que as autoras haviam detectado na emulsão fotográfica. Abaixo da imagem da emulsão existe um desenho das trilhas da “estrela” que foram detectadas, as autoras chamaram de “um esboço da mesma ‘estrela’”<sup>44</sup> (p. 585, tradução nossa).

<sup>44</sup> “a sketch of the same ‘star’” (BLAU; WAMBACHER, 1937, p. 585).

Figura 2.24 – Mosaico de imagens em que “estrelas” de partículas surgiram.

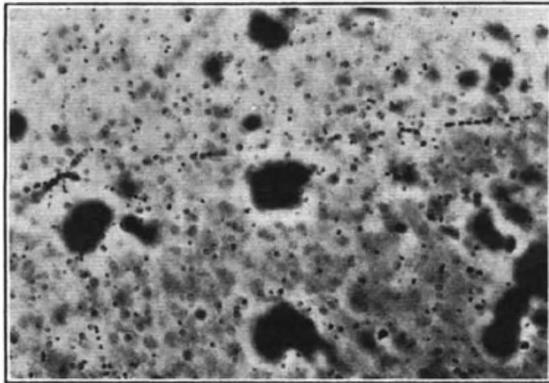


FIG. 1.

observed a single case of a disintegration with three heavy particles in a Wilson cloud chamber. The phenomenon which Wilkins believes was a shower of protons is perhaps a similar process, but he did not observe a centre<sup>2</sup>.

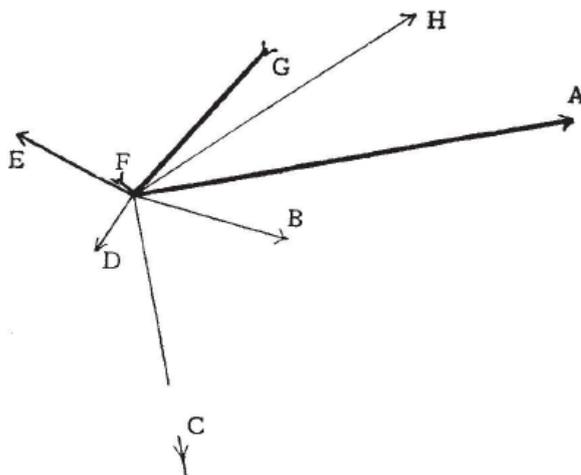


FIG. 2.

THICK LINES INDICATE A COMPARATIVELY LARGE NUMBER OF GRAINS PER UNIT OF LENGTH OF THE TRACK. AN INTERRUPTED LINE MEANS THAT THE TRACK IS TOO LONG TO BE REPRODUCED ON THE SAME SCALE. THE ARROWS INDICATE THE DIRECTION FROM THE SURFACE OF THE EMULSION TO THE GLASS.

Fonte: Blau; Wambacher (1937, p. 585).

Todas as imagens (Figura 2.17, Figura 2.18, Figura 2.19, Figura 2.20, Figura 2.21, Figura 2.22, Figura 2.23, Figura 2.24) são acompanhadas de legendas<sup>45</sup>. As legendas remontam o que foi observado pelo cientista, em um tom explicativo do fenômeno que foi detectado. O leitor da imagem – o sujeito que observa a imagem na publicação – fica dependente da

<sup>45</sup> A Figura 2.21 também é acompanhada de legenda, mas a imagem exibia duas fotografias da câmara de bolhas, por isso recortamos a imagem superior, excluindo a legenda que estava abaixo da imagem inferior.

imagem/legenda<sup>46</sup> para que ela seja interpretada. Algumas flechas são incrementadas para dar sentido aos movimentos das partículas e, ao lado dessas flechas, encontram-se letras gregas, comumente utilizadas para nomear as partículas, indicando qual trajeto foi realizado por determinada partícula. Nas legendas, além do texto ser explicativo, utilizam-se as letras gregas distribuídas em formato de equações<sup>47</sup> para explicar as transformações que essas câmaras de bolhas detectam. Também é possível identificar que existem formulações textuais sobre o movimento das partículas nas legenda dessas imagens (Figura 2.18, Figura 2.19, Figura 2.20). Grande parte das legendas das imagens, criam formulações sobre o movimento das partículas, indicando de onde a partícula veio e para onde ela vai, se ela fez curva ou seguiu reto, se houve decaimento ou não.

A leitura dessas imagens não é trivial. As imagens não são transparentes – elas são inscritas numa história, possuem práticas discursivas específicas (algumas dessas práticas já discutimos nas seções anteriores) e se relacionam com memórias discursivas. Nesse aspecto, buscamos nos fundamentar na abordagem discursiva da imagem de Courtine (2013, p. 43), por meio da qual o pesquisador derivou a noção de intericonicidade, para explicar a relação das imagens com as memórias. A noção de intericonicidade pressupõe que não existe discurso que seja interpretado sem referência a uma certa memória, uma memória visual; existe um “sempre-já” do discurso, um “sempre-já” da imagem. Assim, a intericonicidade está relacionada à consideração de que existem conexões entre imagens exteriores aos sujeitos, em uma rede de formulações; além disso, também se consideram as imagens internas, em que se supõe um conjunto de memórias estocadas em um indivíduo.

Por isso, certamente, dependendo da posição dos sujeitos que interpretam essas imagens, poderão surgir diversas formas de significação, a partir de diferentes memórias: poderiam qualquer uma dessas imagens serem apenas rabiscos; poderia ser a descrição fiel das partículas em que um neutrino se transformou nesse “jato de partículas”; poderiam todas as partículas estarem separadas e ocupando o mesmo espaço onde foi chamado de neutrino e depois elas se separariam gerando o “jato de partículas”; o neutrino geraria as demais partículas; o neutrino seria todas as partículas desse “jato de partículas”; poderia a imagem debaixo ser exatamente a mesma que a de cima, eliminando apenas os borrões com um corretivo (ou

---

<sup>46</sup> Essa relação, da imagem com a legenda, será explorada no capítulo seguinte.

<sup>47</sup> Lembra as equações de reações químicas. Mas são reações de decaimentos.

borracha). Mas, conforme a legenda da imagem<sup>48</sup>, Figura 2.19, o próton foi atingido por um neutrino de alta energia, o que gerou esse “jato de partículas”.

Além das imagens estarem em revistas, entre os textos dos artigos, podemos supor que elas estiveram emolduradas, possivelmente na sala de um cientista (físico) ou no corredor do seu departamento de pesquisa. Ainda não temos fotos que comprovem isso, mas a revista *CERN Courier* de 1960 nos trouxe algo curioso: uma fotografia (Figura 2.25) mostrando um quadro (mosaico) de uma câmara de bolha que foi redesenhada 14000 vezes maior para estar acima do palco de uma cerimônia de inauguração do PS (*Proton Syncontron*) pelo CERN (*Nuclear Emulsion Group* - Grupo de Emulsão Nuclear do CERN). A Figura 2.26 mostra alguém retocando o mosaico criado para a cerimônia. Especialmente, essa revista relata exatamente o processo que foi tomado para criar esse mosaico. Esse processo, considerado científico, fez os cientistas organizarem placas fotográficas que ficaram expostas às partículas, produzidas por *Proton Syncontron*, que interagiram com núcleo de bromo ou de prata. Relatou-se que a imagem original tinha apenas 200-300  $\mu\text{m}$  (micrometro). A ampliação para o mosaico foi de aproximadamente 3,5m x 3,7m (metros). Curiosamente, o título desse artigo contido na revista questiona esse processo: “O maior alargamento?”<sup>49</sup> (CERN COURIER, 1960, p. 6-7, tradução nossa).

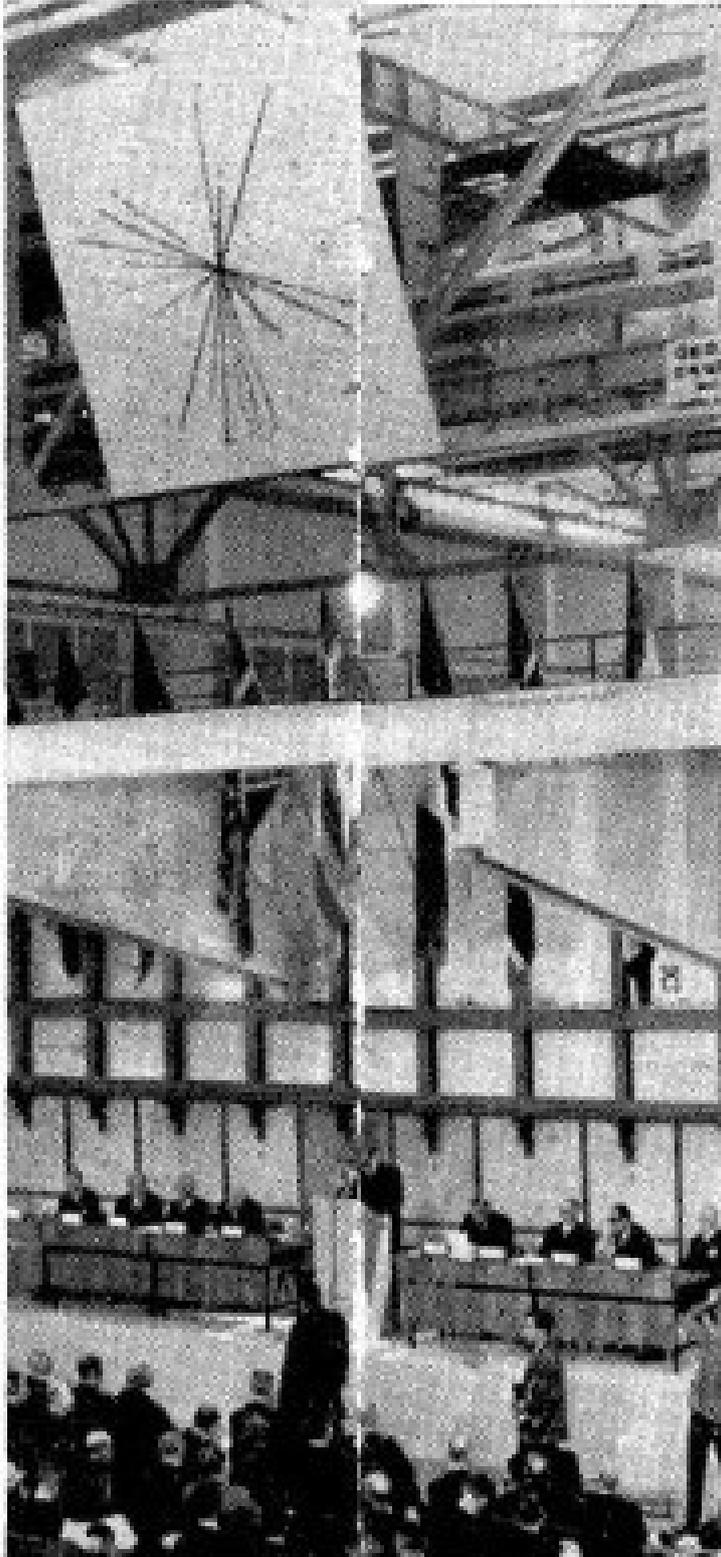
Sem entrar em mais detalhes sobre essa cerimônia descrita em duas páginas dessa revista (Figura 2.25), o que fazia essa imagem pendurada sobre a cabeça do público? Seria o melhor ícone para representar aquilo que os cientistas pesquisavam?

---

<sup>48</sup> Preliminarmente, podemos afirmar que a legenda tem papel central na leitura das imagens. Discutiremos mais sobre essa relação da legenda com imagem no capítulo seguinte, seção 3.3.

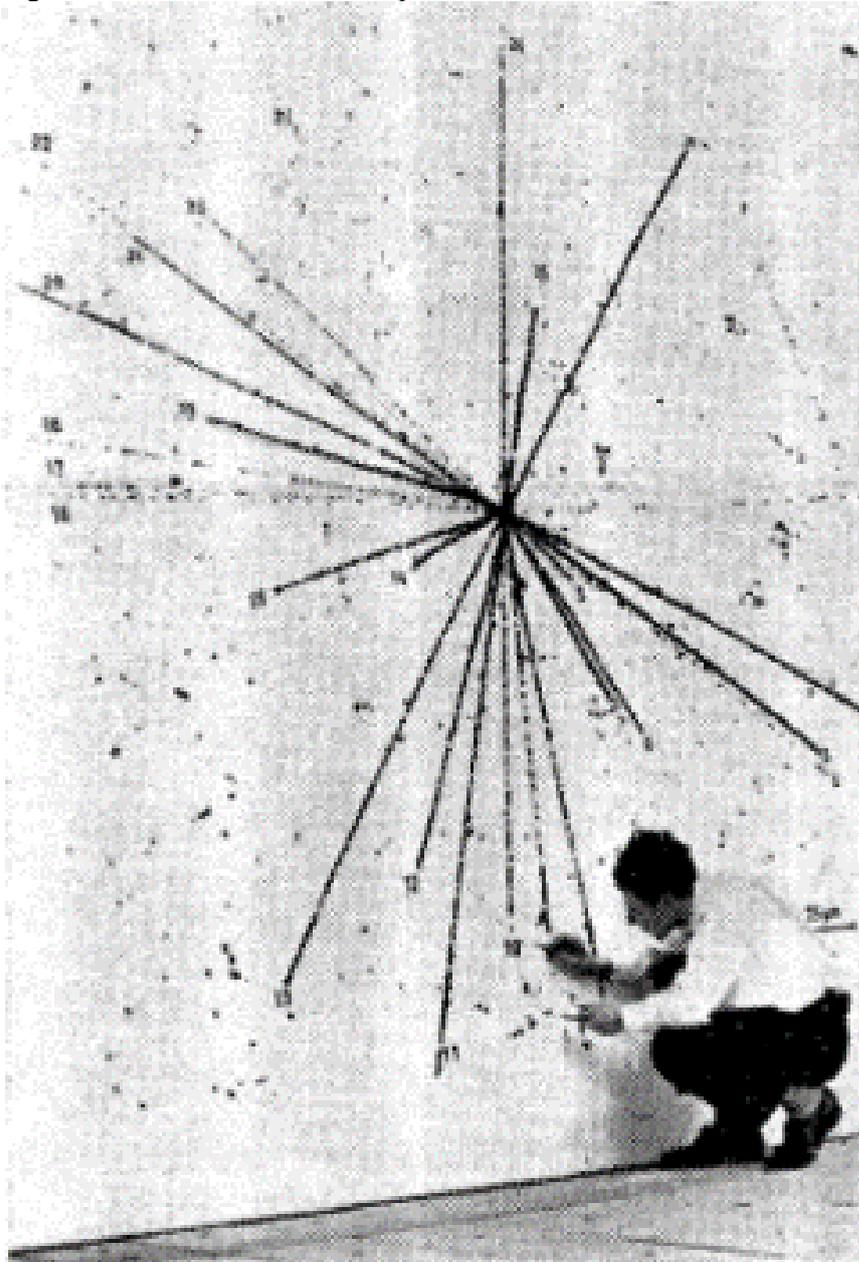
<sup>49</sup> “The biggest enlargement?” (CERN, 1960, p. 6-7).

Figura 2.25 – Partículas no evento com um Mosaico sobre o público.



Fonte: Sterchi (1960, p. 6-7).

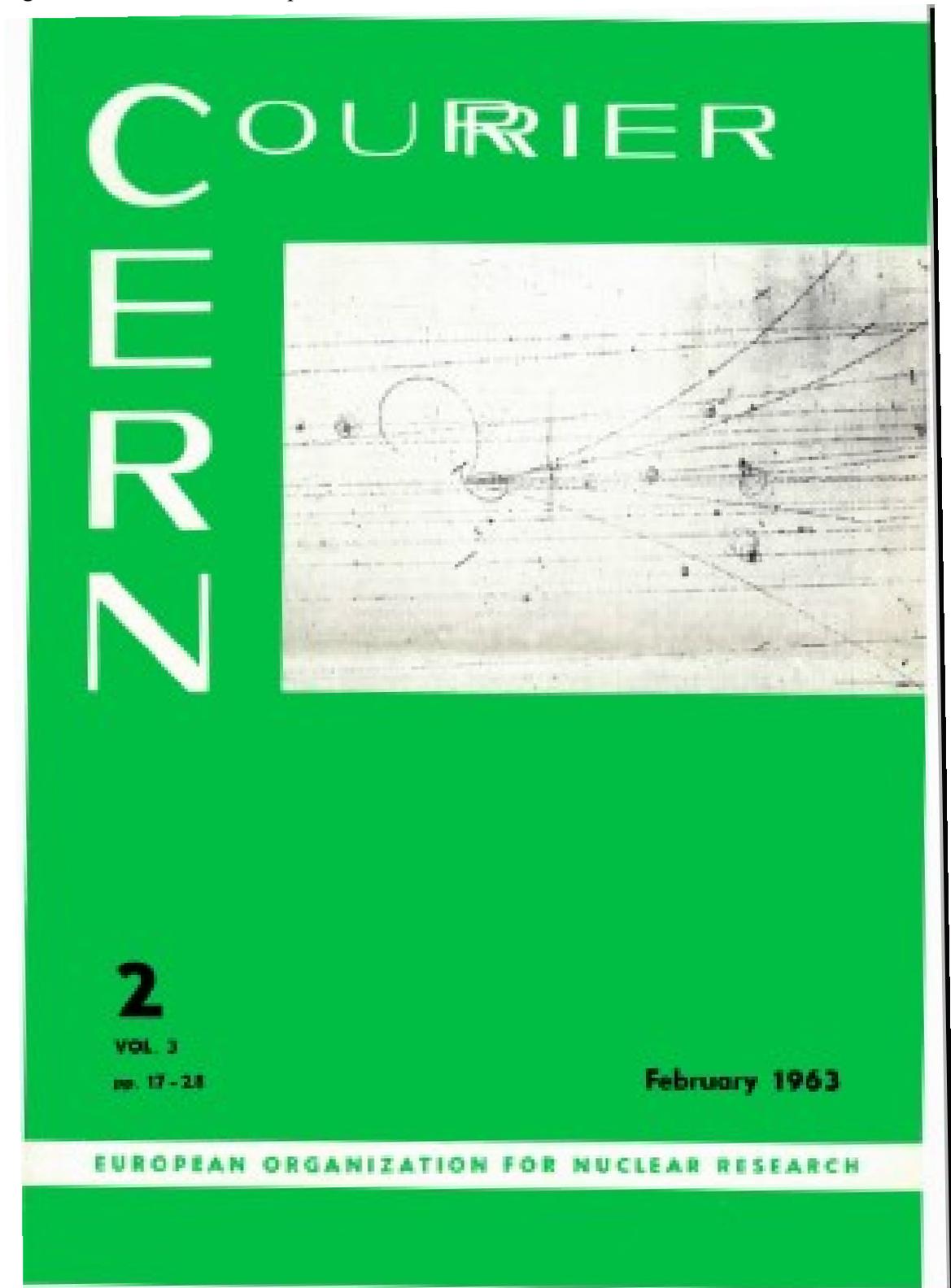
Figura 2.26 – Ato de desenhar as partículas.



Fonte: Sterchi (1960, p.7).

Seria a imagem, fixa acima de todos durante o evento, um símbolo daquilo que pesquisaram? Sendo ou não um símbolo, uma imagem similar teve a honorabilidade de estar na capa da revista CERN Courier de 1963 (Figura 2.27), dando-nos mais um indício da sua importância icônica nessa década.

Figura 2.27 – Partículas na capa da revista.



Fonte: CERN Courier (1963).

Samain (2012) nos ajuda a compreender essa situação na qual as imagens tendem a representar uma memória. Embora o autor esteja se referindo a objetos artísticos, como uma pintura ou desenho, ele afirma que a imagem, a fotografia, não traz consigo apenas o objeto representado, mas também um pensamento:

De um lado, o pensamento daquele que produziu a fotografia, a pintura, o desenho; do outro, o pensamento de todos aqueles que olharam para essas figuras, todos esses espectadores que, nelas, “incorporaram” seus pensamentos, suas fantasias, seus delírios e, até, suas intervenções, por vezes, deliberadas. (SAMAIN, 2012, p. 22)

Também identificamos que as revistas trazem propagandas, tal como encontramos em uma das revistas (*Scientific American*), ao final do artigo de Glaser (1955) sobre a câmara de bolhas, em uma página completa sobre a Kodak (Figura 2.28). Sabemos que o papel das empresas responsáveis pela fabricação dos filmes fotográficos, como já discutimos anteriormente, foi de suma importância para o desenvolvimento das pesquisas. Essa propaganda sobre a Kodak descreveu produtos e preços, mas como esteve circunscrita em uma revista científica, também se incluíram informações científicas sobre um dos compostos químicos utilizados pela Kodak, o “s-Di phenylcarbazono” (SCIENTIFIC American, 1955, p. 51).

Figura 2.28 – Página de Publicidade da Revista *Scientific American*.

## Kodak reports to laboratories on:

a great day for photography . . . a possibly outmoded philosophy . . . an idea for making extra copies of oscillograms

### Faster, faster



Where this man sits and writes pamphlets about photography 15 foot-candles hit his face. That's just within the lower limit of illumination recommended for office work. Nobody, of course, snapshots at that low a level. But good gracious, this picture was made with a \$6.95 camera (our esteemed *Brownie Hawkeye*), unassisted by any additional light source, at its one and only setting of  $f/15$ ,  $1/40$ th of a second! Imagine what an adjustable camera would have done under the circumstances.

How in the world, etc.? The catch is that our *Brownie* was loaded with a new kind of film, *Kodak Tri-X Film*. Not really a catch, for you, too, can now buy it at any film counter. Such husbandry of photons! Currently available in No. 620, No. 120, No. 135-36 exposure rolls, and No. 523 film packs. No sacrifice of graininess. Exposure index nominally 200 but not too meaningful because latitude is of a type the definition-framers hadn't anticipated. This is quite an announcement.

We also have a companion announcement about color. A new 35mm color film with approximately *thrice* the speed of *Kodachrome Film* has just gone on the market. To process it to full-color transparencies calls for no major capital appropriation and no chemical engineering talent but merely for a *Kodak Ektachrome Processing Kit, Process E-2*, priced at \$1.80. (It's really operable at the home darkroom level, but if you'd rather not bother, your Kodak dealer can handle it for you for processing by

processors equipped to do the work.) This new film we identify as *Kodak Ektachrome 135 Film* (for 35mm miniature cameras, 20 exposures for \$1.85) and *Kodak Ektachrome 828 Film* (for cameras like the *Kodak Pony* and *Bantam*, 8 exposures for \$1). Photographic characteristics have been changed substantially from the sheet and roll film *Kodak Ektachrome* because the new film is intended to be viewed at large magnifications, as in projection, and the other isn't.

In sum:

1) The scope and even the style of black-and-white photography have been vastly extended by dispensing with the need for added light in many situations and in others permitting flash or flood lamp to bite far deeper into the gloom than ever before.

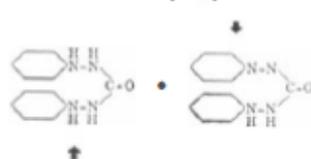
2) Color photography by 35mm camera can now be done in much less light than before, with results ready for inspection 65 minutes after the last shutter click.

*It's a great day for photography.*

### Behind the quotes

"*s-Diphenylcarbazone*" (Eastman 4459) appears in our catalog with a cynical pair of quotation marks around it. The punctuation betokens our essential honesty, indicating we know that Eastman 4459 is not really *s*-diphenylcarbazone. It is a double compound of

*s*-diphenylcarbazone



and *s*-diphenylcarbazide.

Sure, we can separate them, but that would greatly bump up the price of the reagent. Outmoded though the philosophy may be, we still feel that the cost of a reagent is of some practical importance. Besides, we're not so sure that separation of the components of this reagent would be a good idea.

After all, analysts have been buying it from us for years for argentometric titration of cyanides and mercurimetric titration of chlorides in biological fluids. To confuse the name of this tried and true reagent just because some academically minded organic chemists happen to know that in half the molecules the nitrogen bond has been reduced—that strikes us as a dirty trick.

*Nothing (short of selling you 10 grams of "s-Diphenylcarbazone" for \$3) would make us happier than sending you abstracts of the procedure for free. Also our List No. 39 of some 3500 Eastman Organic Chemicals, if you haven't received your copy as yet. Distillation Products Industries, Eastman Organic Chemicals Department, Rochester 3, N. Y. (Division of Eastman Kodak Company).*

### Plug

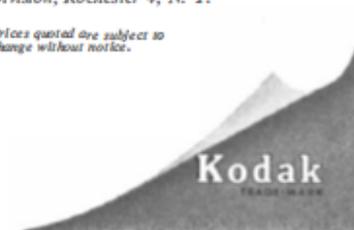
Reproduction is more to us than merely one of the basic biological functions; to us the word signifies the major market for our silver-sensitized paper. We read it literally to mean the copying of all manner of records and provide a large array of means, ranging from a little marvel of the age called the *Verifax Copier* (3 copies in 1 minute for less than 4¢ each) to simple sheets of *Kodagraph Contact Paper*.

A free plug for the latter, doubly welcome because we hadn't planted it, gladdened our eyes in a recent issue of *Electronics*. Little did it matter to us that the kind writer in his enthusiasm asserted a virtue for *Kodagraph Contact Paper* which even we have never claimed—that it requires only subdued room light instead of a proper darkroom for handling without danger of fogging. Just pleased that the fellow has a smart little scheme for using the paper in making inexpensive high-quality copies of cathode-ray tube oscillograms to include in manuals and laboratory reports.

*For the details of his scheme, or for general guidance on the host of materials and methods for the photographic reproduction of intelligence, write Eastman Kodak Company, Graphic Reproduction Division, Rochester 4, N. Y.*

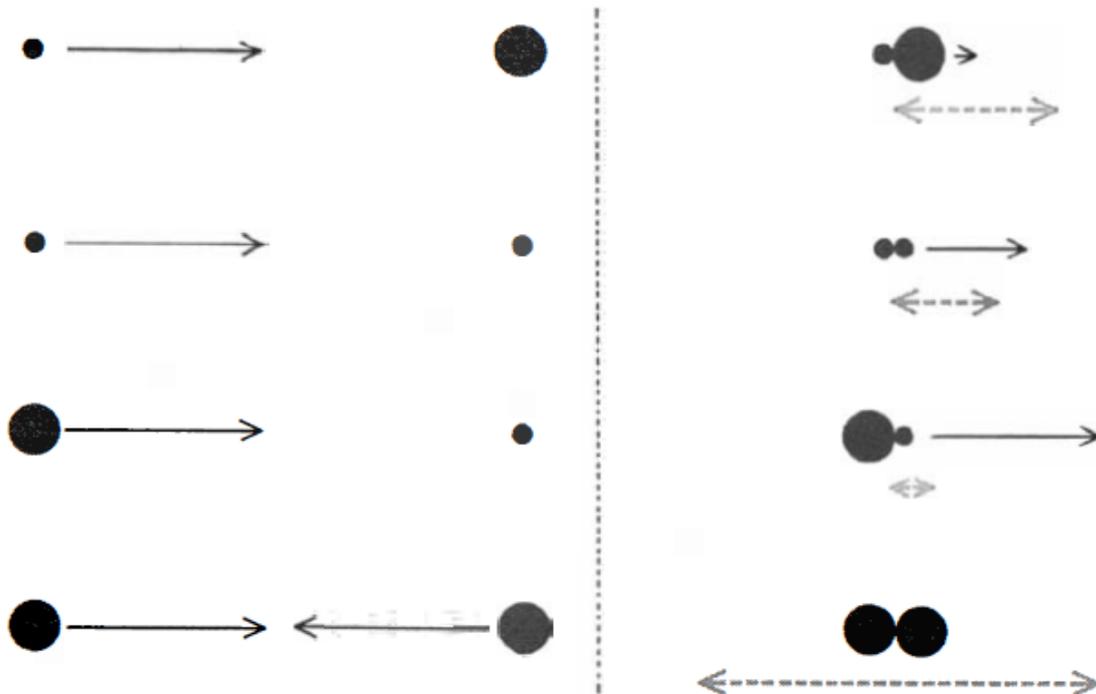
*Prices quoted are subject to change without notice.*

**This is one of a series of reports on the many products and services with which the Eastman Kodak Company and its divisions are . . . serving laboratories everywhere**



As imagens encontradas nas revistas e passaram por nossa análise, demonstram que nessas revistas circularam imagens que foram produzidas experimentalmente e imagens desenhadas, muitas vezes em mosaicos. Mas não circularam quaisquer outras imagens da mesma forma que ocorre hoje<sup>50</sup>. Porém, além das imagens experimentais, também é possível encontrar imagens em que as partículas são representadas por esferas (Figura 2.29 e Figura 2.30). Veremos no capítulo 3 que essas imagens de esferas se associam a memórias de referenciais da física clássica. Podemos perceber que essas imagens de esferas não são raras, mas são pouco utilizadas por essas revistas, e meios análogos, onde existe um controle discursivo maior.

Figura 2.29 – Representação em esferas das partículas.



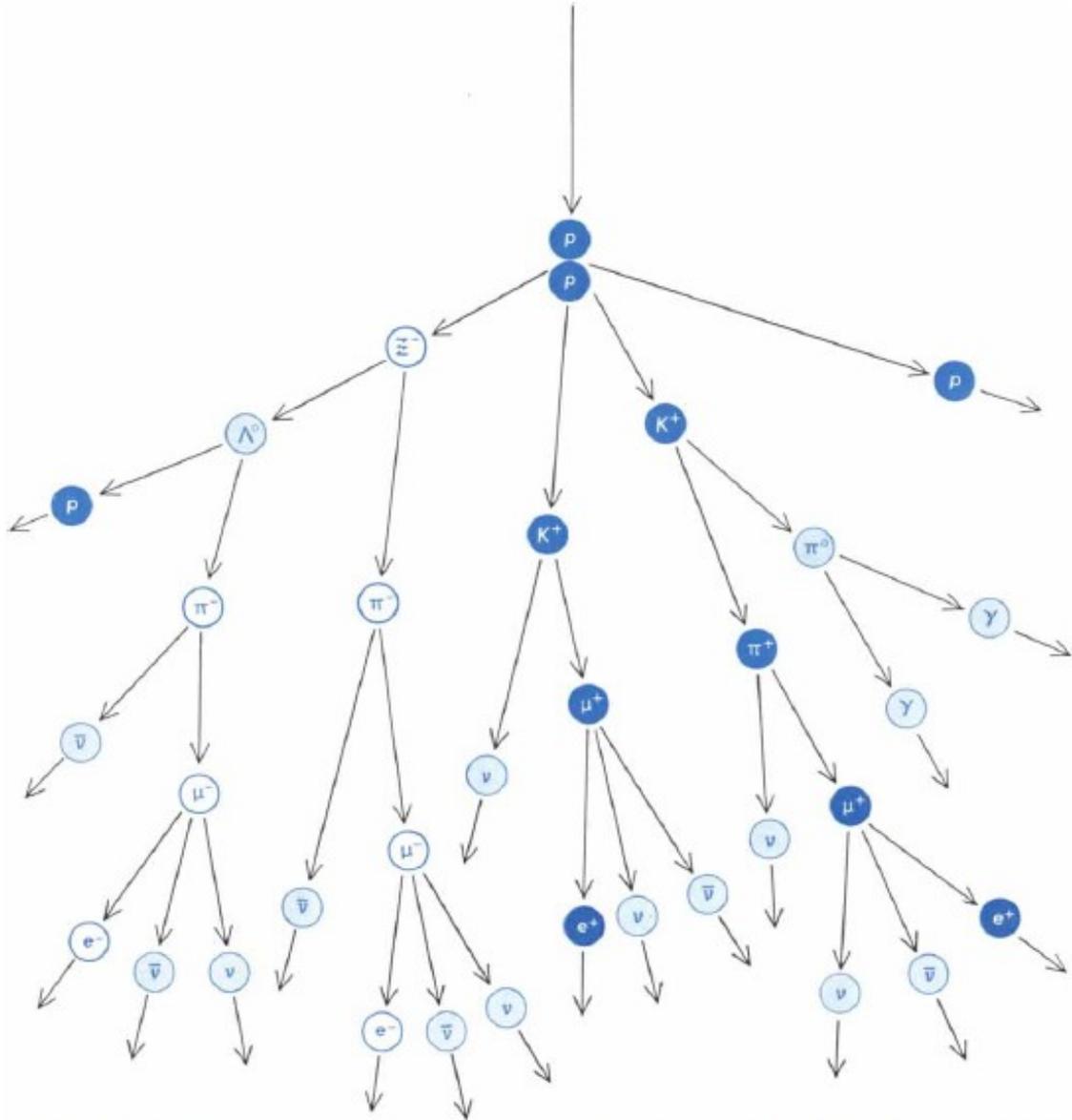
**USEFUL ENERGY** in a collision depends on the motion of the particles after impact. Solid arrows at left represent energy of motion of bombarding particles. Solid arrows at right show energy of motion of the system after impact. Broken arrows indicate fraction of total energy available for desired reactions. Small dots are light particles; large dots, heavy ones. When like particles are made to collide head-on (*bottom*), all of their energy is available.

Fonte: Wilson (1958, p. 76).<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Como veremos no capítulo seguinte.

<sup>51</sup> Embora o autor tenha o mesmo sobrenome, não se trata do Charles Thomson Rees Wilson, cientista associado à criação da câmara de nuvens.

Figura 2.30 – Representação em esferas das partículas em um raio cósmico.



HIGH-ENERGY COLLISION of two protons produces a shower of particles. One of the original protons darts away unchanged (upper right). The other gives rise to a negative xi particle and

two positive K mesons. These particles, being unstable, then decay into other particles, some of which in turn decay. At the end only stable particles remain, some 20 of them in the event depicted here.

Fonte: Treiman (1959, p. 77).

### 2.4 OS DIAGRAMAS DE FEYNMAN E OS ACES DE ZWEIG

Vimos que as partículas podem ser representadas por diferentes tipos de imagens que são produzidas por experimentos. Mas elas também podem ser representadas usando uma linguagem visual diferente da linguagem fotográfica. As imagens dos diagramas de Feynman,

no contexto de outra teoria, da Eletrodinâmica Quântica (QED), não possuem relação com objetos “clássicos”; elas possuem relação direta com expressões matemáticas estabelecidas na QED<sup>52</sup>. Os diagramas são usados para ajudar na constituição de expressões que busque entender e apresentar a interação dos elétrons com o campo eletromagnético. Em resumo, esses diagramas ajudam a compreender os fenômenos físicos que envolvem espalhamento de partículas.

Nas fotografias obtidas nas câmaras de nuvens ou emulsão nuclear, as linhas eram trajetórias de partículas; nos diagramas as linhas não são trajetórias<sup>53</sup>, elas representam equações, expressões matemáticas, provenientes dos diagramas. Mas, esquematicamente, elas também representam partículas que se espalham, podendo as partículas serem representadas por linhas contínuas, pontilhadas, onduladas, emaranhadas, zig-zag, duplas. O encontro dessas linhas no diagrama, é chamado de vértice. Cada vértice e linha, fornece um tipo de operador, expressão matemática que deve ser utilizada. Essas expressões ajudam a determinar a Amplitude de probabilidade – cálculos que são realizados na QED.

Diferente do que vimos na câmara de nuvens, o elétron na QED pode ser considerado virtual. Não necessariamente tem carga fixa e massa, pois essas quantidades dependem do momento. Já na câmara de nuvens, o elétron está relacionando às aparências visuais das fotografias, a massa é determinante para identificar que se trata de um elétron. Além, evidentemente, da prática de interpretar imagens da câmara de Wilson e dos diagramas de Feynman serem totalmente diferentes (GALISON, 1997).

Embora conheçamos esses diagramas por “Diagrama de Feynman”, ele foi primeiramente atribuído a Freeman Dyson, pois foi ele o primeiro a explicar as relações desses diagramas com os operadores. Mais tarde os diagramas passaram a ser atribuídos aos dois, Dyson-Feynman, até ser atribuído apenas a Richard Feynman (ANSELMINO et al., 2013; AGUILAR, 2018).

Para calcular a probabilidade de um processo de espalhamento relativístico, determinar a Amplitude de probabilidade, convencionou-se a utilização dos diagramas de Feynman como sendo “estados intermediários possíveis que conectam um estado inicial a um estado final (AGUILAR, 2018, p. 8). Dessa forma, cada trecho do diagrama representa uma expressão

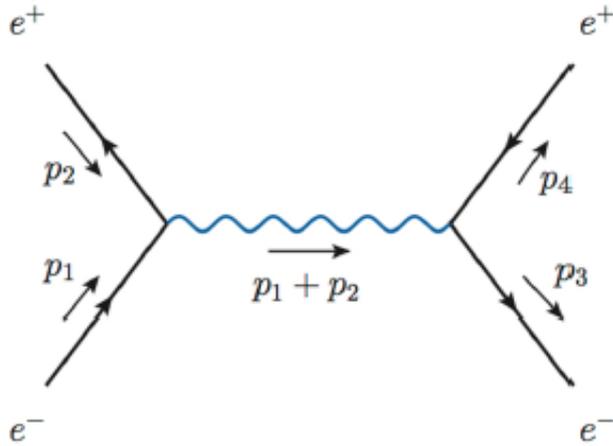
---

<sup>52</sup> A QED foi formulada por Richard Feynman, Julian Schwinger e Sin-Itiro Tomonaga, de forma independente, no ano de 1948. Tomonaga teria resolvido os problemas da QED antes dos outros dois, mas devido a segunda guerra mundial e o isolamento do Japão, ele só foi conhecido fora do Japão em 1947 (AGUILAR, 2018).

<sup>53</sup> No diagrama, existe uma orientação espacial e temporal, geralmente, representadas por eixos cartesianos, ou simplesmente, não são representadas, mas são convencionadas a *priori*.

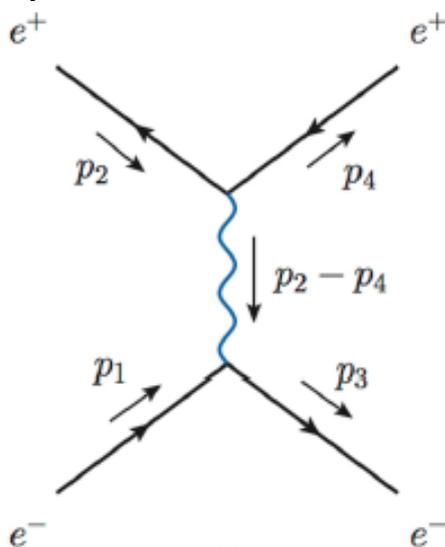
matemática que utiliza a notação de Dirac<sup>54</sup>. Por exemplo, se tomarmos o espalhamento Bhabha  $e^- + e^+ \rightarrow e^+ + e^-$ , podemos representar por meio do diagrama da Figura 2.31 e Figura 2.32 as duas possíveis contribuições para determinarmos a amplitude de probabilidade.

Figura 2.31 – Primeira contribuição para o espalhamento Bhabha representado por diagramas de Feynman.



Fonte: Adaptado de Aguilar (2018).

Figura 2.32 – Segunda contribuição para espalhamento Bhabha representado por diagramas de Feynman.



Fonte: Adaptado de Aguilar (2018).

Para cada linha interna ou conjunto de linhas do diagrama se tem uma expressão matemática, conforme a Tabela 2:

<sup>54</sup> C.f. detalhes da equação de Dirac e o uso da notação em Anselmino et al. (2013).

Tabela 2 - Linhas internas dos diagramas de Feynman e suas expressões matemáticas.

Diagramas	Expressões matemáticas
	$= \frac{-ig^{\mu\nu}}{p^2 + i\epsilon}$
	$= \frac{i(p + m)}{p^2 + m^2 + i\epsilon}$
	$= -ie\gamma^\mu$

Fonte: Adaptado de Aguilar (2018).

Já as linhas externas do diagrama têm as seguintes expressões, conforme a Tabela 3:

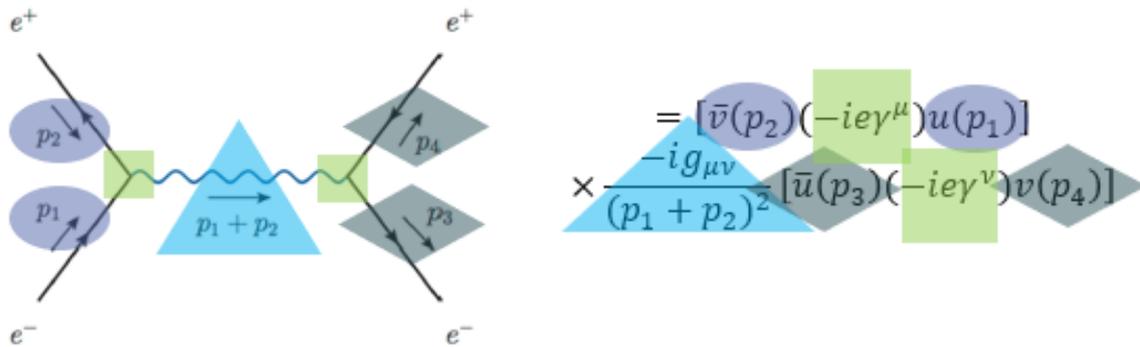
Tabela 3 – Linhas externas dos diagramas de Feynman e suas expressões matemáticas.

Diagramas	Expressões matemáticas
	$= \epsilon_\mu(p)$
	$= \epsilon_\mu^*(p)$
	$= u(p)$
	$= \bar{u}(p)$
	$= v(p)$
	$= \bar{v}(p)$

Fonte: Adaptado de Aguilar (2018).

Para o exemplo da Figura 2.31, podemos chegar à equação de contribuição utilizando as Tabela 2 e Tabela 3, bem como as regras convencionadas. Esquematizamos essas regras colocando cada cor destacada no diagrama (lado esquerdo da Figura 2.33) igual a cor referente à expressão matemática correspondente (lado direito da Figura 2.33).

Figura 2.33 – Esquema da leitura dos elementos no diagrama de Feynman.



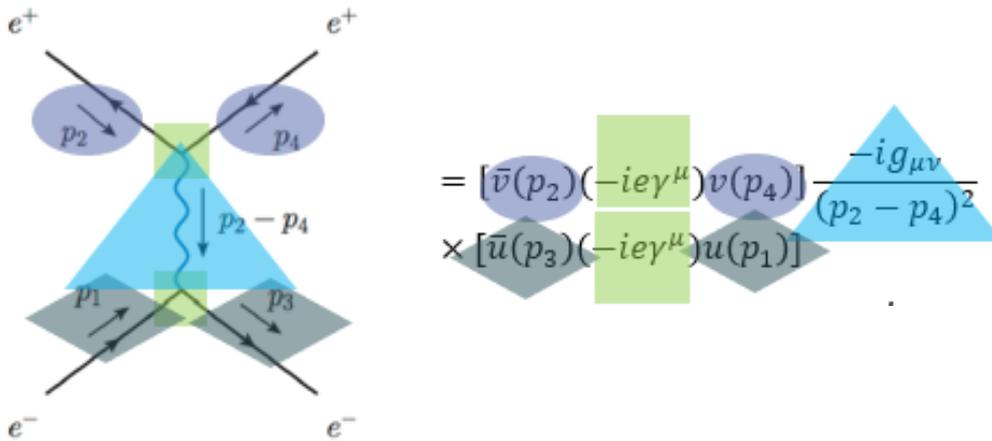
Fonte: Adaptado e colorido de Aguilar (2018).

O  $i\epsilon$  não aparece no denominador na Figura 2.33, pois foi considerado o limite  $\epsilon \rightarrow 0$  (AGUILAR, 2018). Ainda, podemos simplificar a equação chegando na expressão a seguir:

$$(-ie)^2 [\bar{v}(p_2)\gamma^\mu u(p_1)] \times \frac{-ig_{\mu\nu}}{(p_1 + p_2)^2} [\bar{u}(p_3)\gamma^\nu v(p_4)] \quad (1)$$

Fazendo o mesmo para a segunda contribuição (Figura 2.32), elaboramos a Figura 2.34 a seguir:

Figura 2.34 – Esquema da leitura dos elementos no diagrama de Feynman.



Fonte: Adaptado e colorido de Aguilar (2018).

A equação obtida na Figura 2.34 também é sujeita à simplificação, obtendo-se:

$$= (-ie)^2 [\bar{v}(p_2)\gamma^\mu v(p_4)] \frac{-ig_{\mu\nu}}{(p_2 - p_4)^2} \times [\bar{u}(p_3)\gamma^\mu u(p_1)] \quad (2)$$

Somando as equações obtidas em (1) e (2), podemos escrever a amplitude de espalhamento, suprimindo os índices de Dirac nos espinores e nas matrizes  $\gamma$  (AGUILAR, 2018)<sup>55</sup>, resultando a equação (3):

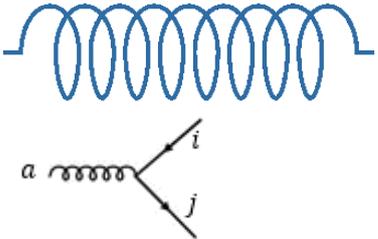
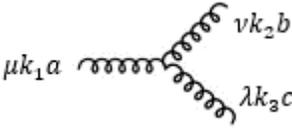
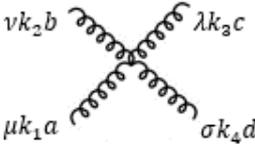
$$iM_{fi} = (-ie)^2 [\bar{v}(p_2)\gamma^\mu u(p_1)] \times \frac{-ig_{\mu\nu}}{(p_1 + p_2)^2} [\bar{u}(p_3)\gamma^\nu v(p_4)] - (-ie)^2 [\bar{v}(p_2)\gamma^\mu v(p_4)] \frac{-ig_{\mu\nu}}{(p_2 - p_4)^2} \times [\bar{u}(p_3)\gamma^\mu u(p_1)] \quad (3)$$

Outros diagramas foram derivados para compreender outros espalhamentos. Esses outros diagramas representam outras partículas, e tem relação com outras expressões matemáticas, como por exemplo as linhas da Tabela 4. Nesse caso, a base teórica também pode mudar, da QED para a Cromodinâmica Quântica (QCD). A principal diferença entre a QED e

<sup>55</sup> C.f. detalhes de cada elemento dessa equação em Anselmino et al. (2013).

a QCD é a característica do grupo de simetria associado às interações fortes, pois na QCD o grupo SU(3) de cor tem um caráter não-abeliano. Essa diferença e a base teórica foi desenvolvida por Gross, Wilczek e Politzer em 1973 (ANSELMINO et al, 2013).

Tabela 4 – Linhas dos diagramas de Feynman e suas expressões matemáticas para a QCD.

Diagramas	Expressões matemáticas
	$= \frac{i}{q^2} \left( -g_{\mu\nu} + (1 - \xi) \frac{q^\mu q^\nu}{q^2} \right)$ $= -ig_s \left( \frac{\lambda_a}{2} \right)_{ji} \gamma_\mu$
	$= -g_s f_{abc} [g_{\mu\nu} (k_1 - k_2)_\lambda + g_{\nu\lambda} (k_2 - k_3)_\mu + g_{\lambda\mu} (k_3 - k_1)_\nu]$
	$= -ig_s^2 [f_{abc} f_{cde} (g_{\mu\lambda} g_{\nu\sigma} - g_{\mu\sigma} g_{\nu\lambda}) + f_{ade} f_{bce} (g_{\mu\nu} g_{\lambda\sigma} - g_{\mu\lambda} g_{\nu\sigma}) + f_{ace} f_{dbe} (g_{\mu\sigma} g_{\nu\lambda} - g_{\mu\nu} g_{\sigma\lambda})]$

Fonte: Adaptado de Aguilar (2018).

Os papéis dessas expressões e operadores matemáticos na Física Quântica, foram analisados filosoficamente e epistemologicamente por Bachelard (2010). Segundo ele, a significação de espaço e localidade não é mais a mesma da Física Clássica. Existem novos tipos espaciais complexos que podem advir do uso desses elementos matemáticos, como os espaços generalizados, espaços de configuração e os espaços abstratos. Os operadores matemáticos, presentes nas equações de Dirac e manipulados quando usamos os diagramas de Feynman, constituem-se como sendo um ponto de convergência entre as epistemologias realista e simbólica; ou seja, os operadores criam práticas para relacionar o objeto com a linguagem usada, para compreender esse objeto. Como já analisamos em outros trabalhos (BARROS; NETO, 2017, p. 6), os operadores podem ser entendidos “(...) como sendo um meio (ou uma prática discursiva) totalmente matemático, de relacionar informação e forma, função e grandeza, realidade matemática e probabilidade física.”

Mais tarde, em 1964, algumas imagens que foram produzidas, no doutoramento do físico Zweig, também enunciaram as partículas elementares em diagramas. Dessa vez, para

explicar a relação da tríade dos *quarks* – conjunto de três *quarks* que formam um hádron. Zweig chamava os *quarks* de “Aces”, pois historicamente foi Murray Gell-Mann que cunhou na física o termo *quark*, quando desenvolveu a teoria de forma independente. Não vemos esses diagramas em revistas, artigos científicos, manuais de física, ou em outras posições discursivas<sup>56</sup>, pois suas imagens, juntamente com suas “teorias”, não tiveram a mesma repercussão e aceitação que teve a teoria de Gell-Mann com seus *quarks*. As formulações realizadas por esses dois autores foram feitas de maneira bem diferente, mas em vários aspectos elas concordavam, como em relação aos atributos básicos da estranheza (PICKERING, 1984).

As imagens que Zweig (1964) desenhou (Figura 2.35 e Figura 2.36) utilizavam pequenos círculos, triângulos e quadrados ligados por linhas retas contínuas, ou linhas retas pontilhadas. Misturavam-se, esses diagramas, com símbolos matemáticos como os sinais de igualdade, subtração, adição, parênteses, etc. As legendas dessas imagens acompanhavam longas explicações sobre elas. Por exemplo, na legenda da Figura 2.35 (ZWEIG, 1964, p. 75, tradução nossa), aparece o que se entendia estar materializado nas imagens:

Estas duplas e tríades correspondem às unidades de onde todas as partículas são construídas.

a. Os membros do octeto de bárions são construídos a partir de três deste tipo. Os círculos sombreados nos vértices são aces, enquanto as linhas sólidas significam energias de ligação. No limite simétrica unitária os três aces a, b, e c são indistinguíveis, conforme mostrado.

b. Os bárions decupletos são formados a partir desse tipo de tríade. Octeto e tríade decupletos podem ter diferentes ligações de ace.

c. Esta tríade é usada para construir o singlete unitário.

d., e. As duplas mostradas correspondem a membros de octetos mésons e singletos no limite da simetria unitária. Os círculos abertos são anti-aces.<sup>57</sup>

---

<sup>56</sup> Entendemos como posição discursiva aquela posição que pode ser assumida por formulações de sujeitos discursivos. Foucault (2014, p. 86) quando explica sobre sistema de formação existentes para individualizar uma formação discursiva, menciona que “quanto às modalidades de enunciação, vimos que eram descritas a partir da posição que o sujeito ocupa em relação ao domínio de objetos de que fala. Desta maneira, existe um sistema vertical de dependências: todas as posições do sujeito, todos os tipos de coexistência entre enunciados, todas as estratégias discursivas não são igualmente possíveis, mas somente as que são autorizadas pelos níveis anteriores.”

<sup>57</sup> “These deuces and treys correspond to the units from which all known particles are constructed.

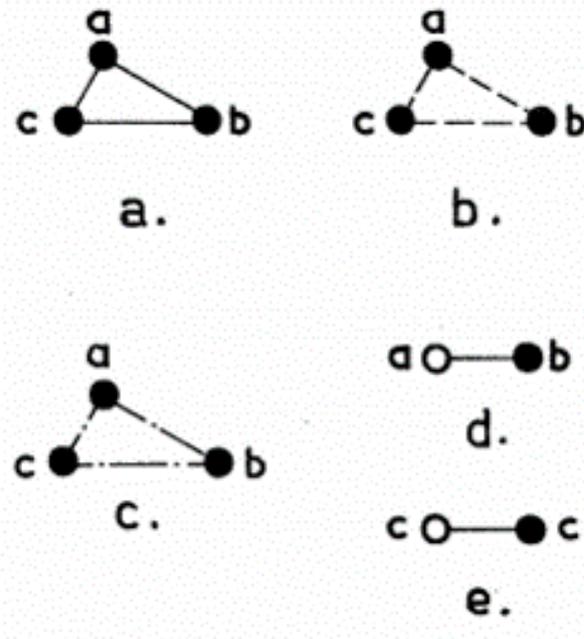
a. Members of the baryon octet are built from treys of this type. The shaded circles at the vertices are aces, while the solid lines denote binding energies. In the unitary symmetric limit the three aces a, b, and c are indistinguishable, as shown.

b. The decuplet baryons are formed from this type of trey. Octet and decuplet treys may have different ace bindings.

c. This trey is used to construct the unitary singlet.

d.,e. The deuces shown correspond to members of meson octets and singlets in the limit of unitary symmetry. The open circles are anti-aces.” (ZWEIG, 1964, p. 75).

Figura 2.35 – Diagramas dos aces de Zweig.



Fonte: Zweig (1964, p. 77).

Figura 2.36 – Esquema dos aces de Zweig com elementos matemáticos.

$$N = \text{Diagram a}$$

$$\Lambda = \frac{1}{6} \text{Diagram b} + \frac{1}{6} \text{Diagram c} + \frac{4}{6} \text{Diagram d}$$

$$\Sigma = \frac{1}{2} \text{Diagram e} + \frac{1}{2} \text{Diagram f}$$

$$\Xi = \frac{1}{2} \text{Diagram g} + \frac{1}{2} \text{Diagram h}$$

Fonte: Zweig (1964, p. 78).

Já na Figura 2.36, elementos matemáticos como sinais de igual, de adição e de igualdade foram misturados com os círculos e quadrados. A legenda é determinante para que possamos compreender essa imagem. Ela explica que:

Vemos o octeto bariônico com a simetria unitária quebrada pelas interações fortes. Um dos três ases se tornou distinto dos outros dois. É retratado como um quadrado sombreado. As rupturas de massa são induzidas tornando os quadrados mais pesados que os círculos. Como o mesmo conjunto de ases é usado para construir todas as partículas, relações de massa que conectam mésons e bárions podem ser obtidas. (ZWEIG, 1964 p. 75, tradução nossa).<sup>58</sup>

Em nossas análises, entre as imagens que vemos circular atualmente, as imagens da tese de Zweig não aparecem. Nesse sentido, podemos constatar que esses esquemas de Zweig são possíveis imagens na ciência que foram silenciadas com o tempo; elas deram lugar a outras imagens, ou a outros tipos de materialidade.

De maneira geral, podemos perceber que as imagens de diagramas, seja o digrama de Feynman ou de Zweig, são formulações que possuem outro tipo de condição de existência: elas existem por meio da relação matemática. Mas isso não significa que os diagramas não são imagens de partículas elementares, já que a existência material dos diagramas supõe a existência de partículas e de relações matemáticas ao mesmo tempo.

É importante ressaltarmos, que na década de 1970, o modelo padrão categorizou e mudou a forma como podiam ser entendidas as múltiplas partículas que estavam sendo detectadas; compreendida a interação das partículas. Prótons e nêutrons deixaram de ser partículas elementares para serem partículas compostas por *quarks*. Além do mais, esse modelo trouxe novos entendimentos sobre as forças eletromagnéticas e eletrofraca, propondo partículas mediadoras para cada força<sup>59</sup>. Em outras palavras, para que o modelo padrão fosse proposto, foi necessário que os *quarks* fossem propostos, que a QED, QCD e Física de Alta Energia (HEP)<sup>60</sup> fossem desenvolvidas.

---

<sup>58</sup> “We view the baryon octet with unitary symmetry broken by the strong interactions. One of the three aces has now become distinguishable from the other two. It is pictured as a shaded square. Mass splittings are induced by making the squares heavier than the circles. Since the same set of aces are used to construct all particles, mass relations connecting mesons and baryons may be obtained.” (ZWEIG, 1964 p. 75).

<sup>59</sup> Pickering (1984, p. 300, tradução nossa) analisa o cenário em que foi desenvolvido o modelo padrão, além de sintetizar a relação desse modelo padrão com o desenvolvimento da QED, separando em fases de pesquisas científicas pós-guerra, dizendo que “(...) a primeira fase havia sido o desenvolvimento de QED como uma teoria de campo renormalizável e fenomenologicamente precisa das interações eletromagnéticas. A segunda fase foi a extensão da teoria de campo às interações fracas e a unificação das forças fracas e eletromagnéticas em uma teoria de Gauge eletromagnética que foi novamente renormalizável e fenomenologicamente precisa.”

<sup>60</sup> Esse campo científico é delimitado pelas pesquisas experimentais que estudavam a detecção das partículas, na década de 1970. (PICKERING, 1984).

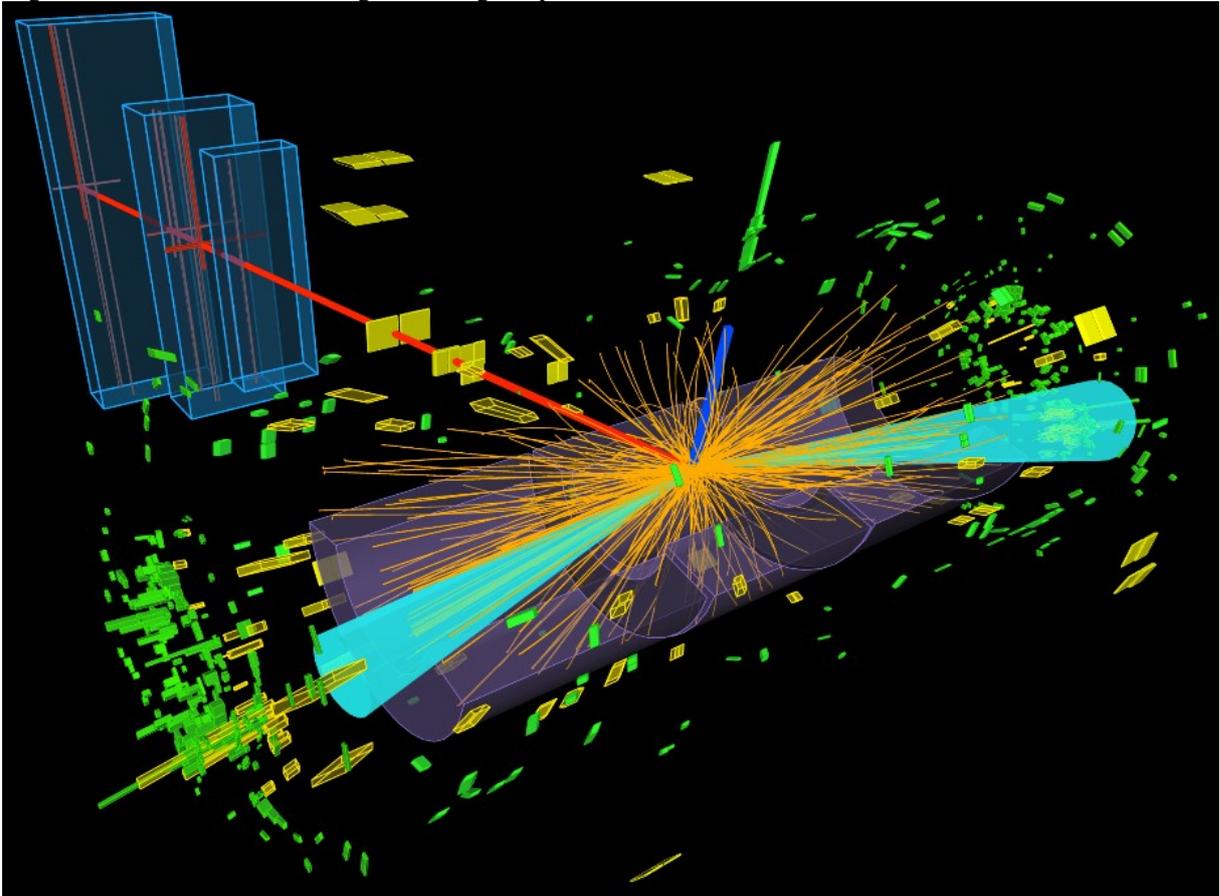
## 2.5 OS DETECTORES ESTATÍSTICOS

A prática de analisar muitas imagens experimentais pareceu não ser sustentável o suficiente para dar o progresso que se esperava para a área de altas energias, pois, em determinado momento, houve a necessidade de analisar milhares de imagens, estatisticamente, o que era humanamente inviável. Foi então que outros caminhos foram expandidos a essa área, abrindo espaços para experimentos repletos de dados compilados estatisticamente por meio de computadores. Conforme afirmado por Galison (1999, p.413), a matemática, com os saberes sobre estatística, foi determinante para disseminar outras práticas que não envolveriam a análise de imagens:

No último quarto do século XX, um grupo de teóricos cada vez maior começou a divorciar-se dos experimentadores e a formar uma aliança cada vez mais forte com matemáticos. De uma forma extremamente sumária, poderíamos dizer: enquanto nos tempos das teorias de medida, a experiência havia fornecido a estrutura coerciva de que os teóricos necessitavam, cabia agora à matemática fornecer-lhes uma nova estrutura com o mesmo fim.

A partir de então, os dados puderam fornecer informações que vão além das trajetórias das partículas, sendo possível detectar a radiação emitida pelas partículas com carga elétrica. A medida da velocidade, do momento e da massa ainda dependem de ângulos que as partículas deixam ao atravessar os detectores. Mas mesmo que esses experimentos tenham mudado a prática ao longo do tempo, resquícios de uma prática por ver o invisível ainda permanece até os dias de hoje. Ainda que hoje não sejam utilizadas freneticamente câmaras e emulsões, e sim grandes equipamentos eletrônicos, permanece a prática imagética, transformando os dados dos detectores eletrônicos em imagens computadorizadas (Figura 2.37).

Figura 2.37 – Amostra de imagem divulgada pelo CERN.



Fonte: CERN (2012).

As partículas que foram detectadas pelos detectores e que descrevemos anteriormente, produziram imagens principalmente de partículas provenientes da emissão de algum material, ou de raios cósmicos. Com a criação de aceleradores de partículas, surgiram feixes de partículas de alta energia com propriedades conhecidas e controláveis que, conseqüentemente, permitiram a detecção de novas partículas, que antes eram desconhecidas, ou apenas previstas teoricamente.

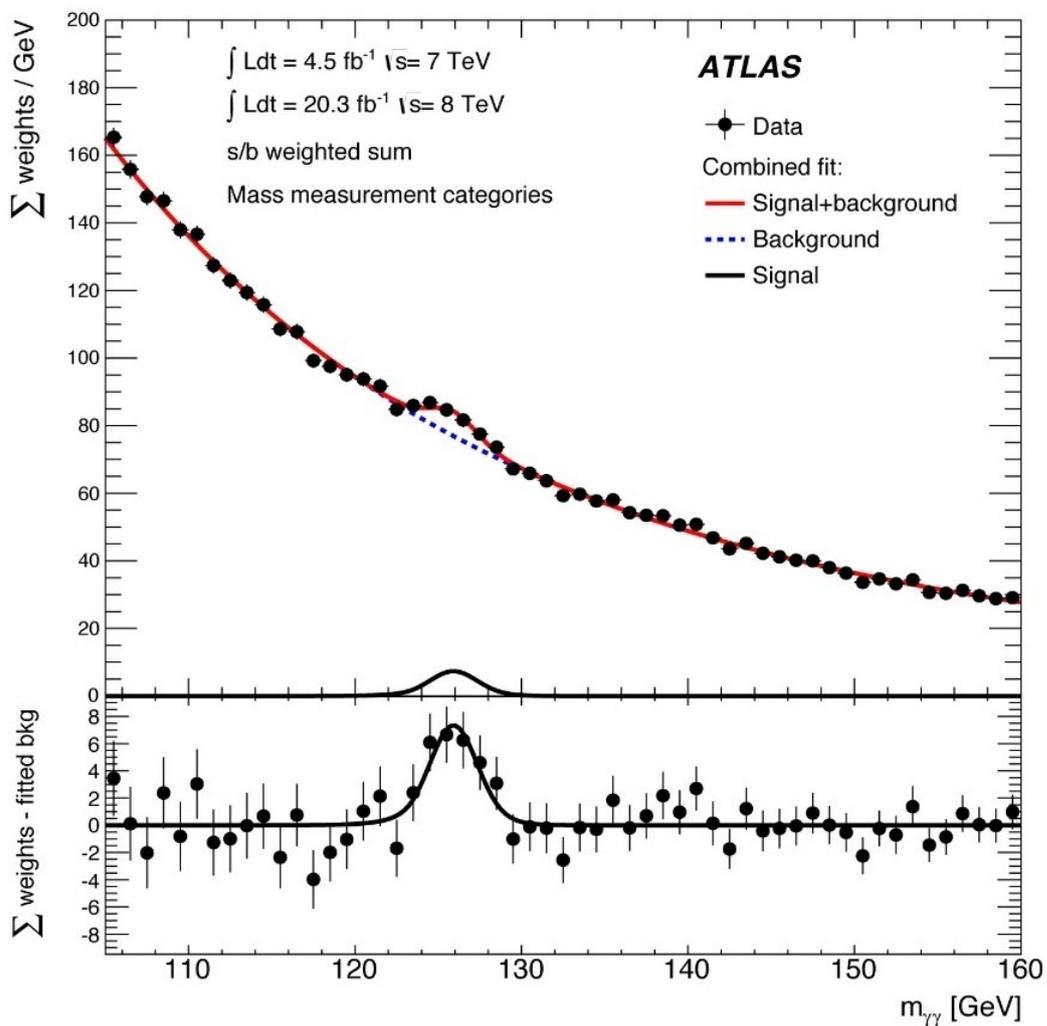
Acelerar partículas demandava dispositivos caros, grandes, e detectores estrategicamente posicionados para capturar as interações. Existem diversos tipos de aceleradores, alguns deles são lineares e outros circulares. Sejam essas interações de feixes acelerados com alvos fixos ou de feixes acelerados com outros feixes acelerados, os detectores coletavam dados que posteriormente eram analisados estatisticamente e, algumas vezes, eram convertidos em imagens<sup>61</sup>.

---

<sup>61</sup> Como já mencionamos anteriormente, houve também alguns aceleradores que direcionavam seus feixes para emulsões nucleares.

Essa mudança evidencia outro tipo de materialidade: o gráfico, o qual modificou a forma como se observavam as partículas, bem como essas imagens circulavam na sociedade. Por um lado, na circulação mais específica, dentro da área científica, existiu a prevalência da circulação de gráficos em relação a de imagens criadas por computador, como o gráfico que exhibe a suposta detecção do Bóson de Higgs (Figura 2.38). Já, na mídia e na circulação mais ampla, a prevalência é da circulação de imagens computadorizadas criadas com os dados desses experimentos (Figura 2.37)<sup>62</sup>.

Figura 2.38 – Gráfico da detecção do evento candidato de Higgs.



Fonte: ATLAS Experiment (2014).

<sup>62</sup> Das 26 notícias acessadas de 11 meios de comunicação, nenhuma exibia gráficos. As que exibiam imagens, eram provenientes de simulações de computador, semelhante à Figura 2.37, que discutiremos mais a frente.

Por serem instrumentos experimentais criados há poucas décadas, as imagens criadas por eles, que são divulgadas por institutos de pesquisa, têm grande circulação na mídia. A Figura 2.37 exemplifica uma das imagens que circulou em diversos meios de comunicação<sup>63</sup>. Trata-se de uma imagem com fundo preto, com figuras geométricas tridimensionais sendo representadas ao redor de vários traços que emergem do meio de um tubo roxo cortado transversalmente. As cores são escolhidas conforme a forma do objeto representado, as figuras geométricas em forma de paralelepípedos assumem a cor azul, amarelo ou verde. Já os traços assumem a cor vermelha, azul escuro e laranja, e o tubo assume a cor roxa. As placas em forma de paralelepípedos com cor amarela e verde estão ao redor do tubo roxo.

## 2.6 AS CONDIÇÕES DE EXISTÊNCIA DAS IMAGEM DE PARTÍCULAS ELEMENTARES

As imagens que tratamos nesse capítulo são um tipo de materialidade sígnica entre outros vários tipos que existem na sociedade como a verbal, manifestando-se em um texto, uma fala, um áudio, ou audiovisual, ou ainda, as expressões matemáticas, entre outras possibilidades. Todos esses tipos de signos podem ser mobilizados para produzir enunciados. Conforme menciona Foucault (2014, p. 102) “qualquer série de signos, de figuras, de grafismos ou de traços – não importa qual seja sua organização ou probabilidade – é suficiente para construir um enunciado”. Porém, o enunciado não pode ser confundido com uma frase, uma proposição ou ato de linguagem, pois o “enunciado é uma função” de existência dos signos (FOUCAULT, 2014, p. 113). Por isso, nesse perspectiva, o enunciado até pode ser reduzido a um signo, mas esse signo é apenas um elemento linguístico, ou outra materialidade, que pode se repetir em diversos momentos; ele é submetido a possibilidades de recorrência e cada reaparecimento terá sempre o sentido definido por regras de utilização. Mas, mesmo que o enunciado esteja reduzido a um signo, ele existe “fora de qualquer possibilidade de reaparecimento”; mesmo que um signo reapareça diversas vezes, não significa que seja o mesmo enunciado em cada vez (FOUCAULT, 2014, p. 108). Os enunciados não são livres, neutros e independentes, eles sempre fazem “parte de uma série ou de um conjunto, desempenhando um papel no meio dos outros, neles se

---

<sup>63</sup> Os meios de comunicação que acessamos se limitaram em sítios de notícia na rede de *internet*, como os sítios: G1, BBC, Estadão, UOL, Inovação tecnológica, Scientific American Brasil, Hypescience, Revista Galileu, Megacurioso, Últimos Segundos e Tecmundo. Usamos o buscador do google, que nos direcionou a esses meios de comunicação, considerados os meios mais acessados pelos internautas.

apoiando e deles se distinguindo” (FOUCAULT, 2014 p. 120); eles fazem parte de um campo enunciativo.

Esse conjunto de enunciados, quando se apoiam em uma mesma formação discursiva, é chamado de discurso. O discurso “é constituído de um número limitado de enunciados para os quais podemos definir um conjunto de condições de existência.” (FOUCAULT, 2014 p. 143). E indo mais além, as condições de “existência” também podem ser condições de “coexistência, de manutenção, de modificação e desaparecimento”. Além disso, o enunciado, sendo uma função de existência “que pertence, exclusivamente, aos signos”, “[...] cruza um domínio de estruturas e de unidades possíveis e que faz com que apareçam, com conteúdos concretos, no tempo e no espaço.” (FOUCAULT, 2014, p. 105).

Podemos entender que a “formação discursiva é o sistema enunciativo geral ao qual obedece um grupo de *performances* verbais” (FOUCAULT, 2014, p. 142, grifo do autor). Para o caso das imagens, poderíamos dizer, *performances* imagéticas. E só conseguiremos individualizar uma formação discursiva quando for possível definirmos um “sistema de formação das diferentes estratégias” que trabalham dentro dessa formação discursiva. Mesmo que exista uma diversidade de estratégias e uma dispersão dessas estratégias no tempo, é possível identificar que elas “derivam (...) de um mesmo jogo de relações”. Além disso, entende-se por sistema de formação (FOUCAULT, 2014, p. 88):

(...) um feixe complexo de relações que funcionam como regra: ele prescreve o que deve ser correlacionado em uma prática discursiva, para que esta se refira a tal ou tal objeto, para que empregue tal ou tal enunciação, para que utilize tal ou tal conceito, para que organize tal ou tal estratégia. Definir em sua individualidade singular um sistema de formação é, assim, caracterizar um discurso ou um grupo de enunciados pela regularidade de uma prática.

Por sua vez, conforme definido por Foucault (2014, p. 144), a prática discursiva não deve ser entendida como sendo um ato ou expressão de um indivíduo ao formular alguma ideia, nem como sendo uma atividade racional. Uma prática discursiva:

(...) é um conjunto de regras anônimas, históricas, sempre determinadas no tempo e no espaço, que definiram, em uma dada época e para uma determinada área social, econômica, geográfica ou linguística, as condições de exercício da função enunciativa.

Tomando esses aspectos teóricos e considerando que as imagens são um tipo de formulação que foi produzida historicamente e socialmente, podemos analisar as práticas discursivas, e elencar algumas das condições de existência dos enunciados imagéticos,

caracterizando alguns sistemas de formações, que constituíram as imagens enquanto imagens *de* partículas elementares:

1. *Os vários elementos de memória do período vitoriano romântico, no Reino Unido no século XIX, como a prática de observar a natureza e retratá-la por meio da arte.* Se era possível retratar a natureza por meio do desenho, pintura e fotografia, a câmara de nuvens seria a obra de arte mais sofisticada que esse período vitoriano poderia se exprimir. Epistemologicamente, segundo Galison (1999), Wilson tinha atração em estudos naturalistas, como obras de Thomas Forster e de Luke Howard, em que a morfologia das nuvens era corrente na cultura romântica daquele século XIX. Além do mais, Wilson teria observado vários fenômenos ópticos e elétricos da atmosfera enquanto era estudante no observatório meteorológico situado em Bem Nevis.

Esse período vitoriano foi marcado pelo realismo na arte. O surgimento da câmara escura<sup>64</sup> no século XVII, teria modificado a forma como se observava o mundo, dando espaço para o surgimento de pinturas realísticas e com perspectivas. A meteorologia nesse período marca um sistema de formação específico que é mobilizado nas pinturas vitorianas das nuvens. Conforme Galison (1997, p. 76, tradução nossa): “(...) a meteorologia, dado o peso cultural através desse tipo de ciência popular evocativa, promoveu estudos de nuvens na pintura, na poesia e depois na fotografia. Nuvens se tornaram uma figura central no pensamento romântico”.

Este século, marcado pela emergência da câmara escura, faria surgir as fotografias, imagens agora produzidas por uma máquina, criada com o uso das técnicas da câmara escura, a imagem da realidade. Nesse outro âmbito, alterou-se a relação das pinturas com a realidade, dos desenhos feitos a mão, e das fotografias (imagens) feitas por um objeto (CRARY, 2012). Conforme afirmado por Crary (2012, p. 32):

O que tem início nas décadas de 1820 e 1830 é um reposicionamento do observador, fora das relações fixas de interior/exterior que eram pressupostas pela câmara escura e que vai em direção a um território não demarcado, no qual a distinção entre sensação interna e sinais externos torna-se definitivamente opaca. Se alguma vez houve uma ‘liberação’ da visão no século XIX, é nesse momento que ela ocorre pela primeira vez. Na ausência do modelo jurídico da câmara escura, há uma emancipação da visão, um desmoronamento das estruturas rígidas que a formaram e constituíram seus objetos.

---

<sup>64</sup> A câmara escura é um equipamento em forma de caixa onde uma de suas faces possui uma abertura pequena por onde entra a luz e se projeta, na face oposta, a imagem proveniente dessa abertura. Essa câmara teria sido utilizada por muitos artistas, pois um quadro de imagem que se queria pintar podia ser projetado.

2. *As práticas de olhar, de fotografar e de desenhar presentes no século XIX e utilizadas nas práticas de laboratório.* Parte dos saberes<sup>65</sup> que envolveram as técnicas de observar, desenhar e fotografar eram difundidos na época. Como vimos, Wilson fotografava antes mesmo de entrar no curso de ciência, e fotografou durante esse curso. Ele aprendera a observar e a fotografar a natureza. As práticas de fotografia eram saberes necessários, por exemplo: as câmaras de nuvens utilizaram as práticas de Worthington e mais tarde as emulsões nucleares utilizaram os filmes fotográficos. No caso das emulsões fotográficas, o uso do microscópio modificou a prática que existia entre as coisas e os olhos, entre os traços das emulsões e a percepção, conforme analisado por Foucault (2007, p. 183)<sup>66</sup>:

O microscópio não foi requerido para ultrapassar os limites do domínio fundamental da visibilidade, mas para resolver um dos problemas que ele levantava - a manutenção, no curso das gerações, das formas visíveis. O uso do microscópio fundou-se numa relação não-instrumental entre as coisas e os olhos.

A prática de usar a materialidade simbólica em forma de desenho e imagem não é recente na ciência. No século XV, por exemplo, os desenhos estiveram presentes na prática da astronomia. Galileu desenhava as crateras da Lua, os satélites naturais de Júpiter, os anéis de saturno. Fazia parte dos seus momentos de observação astronômica, olhar por meio de lunetas, e após desenhar, materializar as observações.

Não é raro vermos que os saberes científicos estão apoiados também nas imagens. Temos, por exemplo, os saberes da astronomia apoiados nas diversas imagens astronômicas. Bredekamp (2015) lembra que as imagens são, além de importantes, parte integrante do processo de produção de saberes. Esse autor exemplificou como Charles Darwin confiou nas imagens, dependendo delas para não ficar perdido em meio a tanta riqueza de fenômenos naturais. Galileu também viu a necessidade de produzir imagens da lua para uma melhor análise

---

<sup>65</sup> Saber não no sentido comum da palavra. Aqui significamos o saber usando Foucault (2014, p. 219) em que define que “um saber é aquilo de que podemos falar em uma prática discursiva que se encontra assim especificada: o domínio constituído pelos diferentes objetos que irão adquirir ou não um *status* científico”. Seria o “conjunto de elementos formados de maneira regular por uma prática discursiva e indispensáveis à constituição de uma ciência”. Ainda, o saber pode ser tratado como sendo o “espaço em que o sujeito pode tomar posição para falar dos objetos de que se ocupa em seu discurso”, pode ser “o campo de coordenação e de subordinação dos enunciados em que os conceitos aparecem”, e por último, pode ser entendido como sendo as “possibilidades de utilização e de apropriação oferecidas pelo discurso”.

<sup>66</sup> Essa análise foi feita para o caso das plantas, na biologia. Trouxemos aqui, pois encontramos similaridades no tocante a modificação da prática de olhar.

das alturas e profundidades de crateras. Os desenhos podem materializar pensamentos e esses estão presentes na história dos diversos saberes, segundo Bredekamp (2015, p. 161):

Existem desenhos e linhas esquemáticas que, na fronteira entre pensamento e materialização, desenvolvem uma forma de expressão própria que não encontra legítima capacidade sugestiva em nenhuma outra manifestação. Independente do talento artístico, o desenho encarna, como primeiro vestígio do corpo sobre o papel, o pensamento em sua mais elevada imediaticidade possível.

Fleck (2010) também notou o papel da imagem enquanto prática de quem pesquisava a natureza. Ele analisou as diferenças entre as representações anatômicas do corpo humano, por exemplo, entre dois períodos diferentes da história da ciência. Esse autor comparou tanto a descrição quanto as imagens em livros manuais didáticos antigos e atuais. Mas, para o seu trabalho epistemológico ele escreveu que a preocupação era identificar nos textos e nas imagens várias diferenças que se relacionam com o estilo de pensamento de cada período histórico. No exemplo trazido por ele, observaram-se os elementos sobre a Clavícula em um livro de 1673 e outro de 1914. No primeiro livro, as descrições eram extensas com análises linguísticas de nomes, com descrições ilustrativas, sem detalhe da forma e com observações teleológicas. Já, no segundo livro, essas características são removidas, apresentando mais indicações sobre as conexões entre o músculo e descrições mais ricas sobre as partes do osso<sup>67</sup>. A prática de olhar se alinha com os sentidos que são produzidos. Conforme Fleck (2010, p. 196) “não existe outro olhar a não ser o olhar conforme o sentido e não existem outras reproduções a não ser as imagens-sentido”<sup>68</sup>. Ou seja, a prática de olhar, de observar, de percepção seletiva da realidade, faz produzir imagens específicas enquanto enunciados.

3. *As práticas da história natural e mimesis em que se tinha o objetivo de representar a natureza em laboratório, em um ambiente controlado, em uma escala menor.* Essa prática era bem difundida, no século XVI até o final do século XVIII, conforme analisado por Foucault (2007, p. 79). A História Natural traz uma relação entre a “*epistémê*” clássica e a “*máthêsis*” em que se supõe que existem sucessões ordenadas das coisas. Contudo, o instrumento particular

---

<sup>67</sup> Ele expande essa análise, observando imagens nos livros de 1673, e comparando-as com imagens atuais: “Quando se analisam reproduções anatômicas muito antigas (cf. a figura do século XII), impõe-se, no primeiro momento, seu caráter esquemático e primitivamente simbólico: percebemos esquemas numa postura convencional e uniforme, os órgãos são assinalados de maneira simbólica, como, por exemplo, o duto circular do pneuma no peito, ou, mais em baixo, ao lado direito, o fígado esquemático com seus cinco lobos. O que se nos apresenta, portanto, são símbolos, que representam certamente a concepção da época, mas não a forma fiel à natureza – que corresponde à nossa concepção” (FLECK, 2010, p. 192).

<sup>68</sup> Conforme nota de rodapé do texto traduzido (FLECK, 2010), imagem-sentido foi traduzido de “Sinn-Bilder” em que “Sinn” seria “sentido” e “Bild” seria “imagem”.

de análise para a história natural “não era o *método algébrico*, mas o *sistema dos signos*” (p. 79). A prática de fazer “ciência geral da ordem”, nessa relação com a *máthêsis* faz surgir “domínios empíricos” nunca antes definidos. Segundo Foucault (2007, p. 79) em quase nenhum desses domínios foi possível encontrar “vestígios de um mecanicismo ou de uma matematização”. Nesse período, o que existia eram histórias: “Belon escrevera uma História da natureza das aves; Duret, uma História admirável das plantas; Aldrovandi, uma História das serpentes e dos dragões. Em 1657, Jonston publica uma História natural dos quadrúpedes” (FOUCAULT, 2007, p. 176).

Nesse sentido, “fazer a história de uma planta ou de um animal era tanto dizer quais são seus elementos ou seus órgãos, quanto as semelhanças que se lhe podem encontrar” (FOUCAULT, 2007, p. 176). Mas o que torna esses trabalhos como sendo trabalhos da história natural estava na relação dos elementos da representação, poder “delinear e descrever, sem se poder medir, calcular” (FOUCAULT, 2007, p. 176). Qualquer uma dessas histórias naturais se caracterizavam por ser:

(...) o espaço aberto na representação por uma análise que se antecipa à possibilidade de nomear; é a possibilidade de *ver* o que se poderá dizer, mas que não se poderia dizer depois, nem ver, a distância, se as coisas e as palavras, distintas uma das outras, não se comunicassem, desde o início, numa representação. (FOUCAULT, 2007, p. 178).

(...) considerando-se, por exemplo, o sistema de formação que rege, no século XVIII, os objetos da história natural (como individualidades portadoras de caracteres e por isso classificáveis; como elementos estruturais suscetíveis de variações; como superfícies visíveis e analisáveis; como campo de diferenças contínuas e regulares), certas modalidades de enunciação são excluídas (por exemplo, a decifração dos signos), outras estão implícitas (por exemplo, a descrição segundo um código determinado); da mesma forma, considerando-se as diferentes posições que o sujeito do discurso pode ocupar (como sujeito que observa sem mediação instrumental, como sujeito que tira da pluralidade perceptiva os únicos elementos da estrutura, como sujeito que transcreve esses elementos em um vocabulário codificado etc), há um certo número de coexistências entre os enunciados que são excluídas (como, por exemplo, a reativação erudita do já dito, ou o comentário exegético de um texto sacralizado); outras, ao contrário, que são possíveis ou requeridas (com a integração de enunciados total ou parcialmente análogos em um quadro classificatório). Os níveis não são, pois, livres, uns em relação aos outros, e não se desenvolvem segundo uma autonomia sem limite: da diferenciação primária dos objetos à formação das estratégias discursivas existe toda uma hierarquia de relações. (FOUCAULT, 2014, p. 86-87)

As imagens da câmara de Wilson com base nessa episteme não eram imagens de partículas. Uma mudança na episteme conduziria a câmara a ser utilizada de outros modos pelo laboratório de Cavendish, mudando da mimese para um experimento que coletava dados. Já em outro período, com o surgimento da emulsão nuclear, a episteme passaria a utilizar o ato de ver em microscópios, os dados e as equações correlacionadas para significar a coisa, enquanto objeto, que surgiria nesses experimentos. A discussão no congresso de Solvay acentuou uma crise de uma nova positividade em que se consideravam o objeto, as imagens, os equipamentos experimentais e as equações matemáticas para interpretar a partícula.

4. *Os estudos sobre meteorologia em que se buscou entender as nuvens, raios e outros fenômenos atmosféricos.* Como vimos, a prática experimental de Aitken (da câmara de poeira) foi muito semelhante ao que foi criado por Wilson (câmara de nuvens), mas só o foi, porque o objetivo naquele momento era de explorar aspectos meteorológico. E por isso, ao mesmo tempo que os traços na câmara foram íons (e posteriormente partículas), foram também raios, precipitações em gotas de chuvas. Por isso, o instrumento da câmara de nuvens pode ter tantas configurações, cada uma baseada em um objetivo experimental diferente, baseada em uma rede de memórias diferente.

Wilson via, por meio da câmara de nuvens, partículas ionizantes como parte dos fenômenos atmosféricos, meteorológicos. Mas Thompson via, nessa mesma tecnologia, um instrumento para ver partículas carregadas, partículas de um mundo invisível ainda a ser compreendido, o mundo atômico e subatômico. Essa forma de ver o instrumento experimental, trouxe a possibilidade de se formular as imagens de partículas elementares, forma de ver que se prosseguem hoje sobre as imagens da câmara de nuvens. Foi possível identificar em livros didáticos do Ensino Médio, trechos em que se afirmava que a câmara de nuvens tinha apenas o objetivo de investigar partículas:

Utilizados [equipamentos como a câmara de nuvens] em conjunto com câmaras fotográficas ultrarrápidas, esses detectores forneceram "retratos" dos rastros deixados pelas partículas, quando estas ionizam gases e líquidos previamente preparados (PIETROCOLA et al., 2016, p. 257).

5. *Os saberes da física, em que o foco era compreender o comportamento dos gases, fenômenos elétricos, raios X e constituição da matéria, do átomo.* Esses saberes, enquanto “conjunto de condutas, das singularidades, dos desvios de que se pode falar no discurso” (FOUCAULT, 2014, p. 219), em algum momento, relacionaram-se com os instrumentos

experimentais que produziam imagens. E por isso, diferentes “objetos” foram mobilizados nesses instrumentos experimentais.

Por exemplo, a câmara de nuvens utilizou de saberes sobre o comportamento dos gases, fazendo com que o objeto “gás” fosse estudado com esse instrumento. Da mesma forma, utilizou-se de saberes sobre os fenômenos elétricos, estudando o objeto “íons”, carga elétrica; fenômenos de radiação, estudando o objeto “raios X”; constituição da matéria, estudando o objeto “elétron” por meio de experimentos envolvendo a “carga-massa”.

No caso das emulsões nucleares, a composição instrumental poderia ter sido utilizada para estudar a radiação, nesse caso envolveria o objeto “raios X”, pois se sabia que era possível utilizar filmes fotográficos para, qualitativamente, detectar os raios X. Porém, segundo Martins (2003), deu-se preferência à utilização de detectores de eventos elétricos, no lugar de eventos fotográficos<sup>69</sup>.

O conjunto de saberes mobilizados na prática de utilização desses equipamentos, tratam de um objeto não visível, objeto não sensível aos olhos humanos que, ao mesmo tempo que se relacionavam com o mundo subatômico, mundo de partículas, também podiam ser significados estatisticamente se fosse tomado uma grande quantidade desses objetos. Criou-se, assim, um outro objeto, sobre outra episteme, a da mecânica estatística e termodinâmica. Esses saberes da mecânica estatística e termodinâmica podem supor a existência de gases formados por muitos partículas, que se comportam estatisticamente; ou supor a emissão de radiação de corpos negros de Planck não visível por determinados materiais quando aquecidos, situação em que se supunha a Lei de Wien para a distribuição da densidade de radiação em termos de frequência e temperatura; ou partículas que provocavam movimentos estranhos, como o movimento browniano. Nessa episteme foi possível a criação de “analogias formais”

---

<sup>69</sup> Conforme relatado por Martins (2003, p. 33): “O método fotográfico, utilizado por Becquerel nos seus principais estudos, não permitia medidas, sendo puramente qualitativo. A intensidade das manchas fotográficas dependia evidentemente do próprio material fotográfico utilizado (e as chapas variavam muito de sensibilidade), assim como do processo de revelação, sendo impossível fazer uma comparação adequada entre duas fotografias obtidas em épocas diferentes. Além disso, o processo fotográfico é influenciado pela temperatura, umidade, pressão, e por muitas substâncias químicas, por isso o surgimento de uma mancha em uma placa fotográfica podia ocorrer tanto por influência de radiações penetrantes como por outros motivos. Pode-se atribuir exatamente a efeitos desses tipos as ‘descobertas’ acima referidas de tantas substâncias que pareciam emitir radiações penetrantes. Enquanto as chapas fotográficas eram o processo principal de detecção de radiação, ficava impossível distinguir as radiações do urânio de todos os outros efeitos espúrios.”

(GINGRAS, 2015), utilizadas por Einstein para interpretar o efeito fotoelétrico, surgindo o “gás de fótons”, ou seja, a luz como partícula.

Esse período, em que se observou a matemática entrando efetivamente nos enunciados, leva-nos a perceber uma mudança da episteme da “prática mimética” para a “prática analítica”. Passando de uma enunciação visual para uma enunciação que incluía a linguagem matemática, coleta de dados numéricos por meio de experimentações e cálculos sobre os objetos estudados.

Décadas depois, a física estatística também surgiria no tratamento dos dados coletados em experimentos de altas energias que aceleravam e “colidiam” partículas. As repetições demasiadas de muitos eventos, com inúmeras colisões, produziam muitos dados numéricos, tornando o tratamento estatístico a melhor forma de analisar os dados. Mas a ausência de imagens criaria a prática de produzir imagens computadorizadas, imagens gráficas no lugar de uma “foto” do objeto, fazendo com que a visibilidade atestasse os dados obtidos.

6. *As práticas instrumentais analíticas do laboratório de Cavendish que compõem uma episteme específica do método experimental.* Conforme mencionamos, Wilson teria criado o instrumento para investigar fenômenos meteorológicos e, na mesma década, quando os saberes sobre os raios X surgiram, a câmara de nuvens recebeu o método analítico. Nesse cenário, do uso da câmara de nuvens no laboratório de Cavendish, que a “prática analítica” se consubstancia com aquela prática mimética. Ou seja, as práticas que envolviam a câmara de nuvens passaram a se relacionar com práticas de análise de dados, análises matemáticas. Em paralelo a prática de imitar a natureza, imitar fenômenos meteorológicos, surgiu essa prática que era rotineira em outros experimentos do laboratório de Cavendish.

7. *As interpretações da teoria quântica.* Por um lado, essas interpretações são condições de existência imediata, por outro são condições de existência posterior. Imediata, porque possibilitou que aqueles experimentos, ainda tímidos, da câmara de nuvens, passassem a ser vistos como detectores de íons no lugar de mimese de nuvens. Posterior, porque como vimos, a prática experimental de produzir imagens é continuada quase independentemente das interpretações da teoria quântica<sup>70</sup>. Se as partículas eram ondas ou corpúsculos, não importava ao ponto de descontinuar as práticas fotográficas (GALISON, 1997), tanto que existiram

---

<sup>70</sup> A mecânica quântica se relaciona, de certa forma, com a mecânica estatística, com uma mecânica de partículas. Como vimos, sem entrar em pormenores, os cálculos da mecânica quântica fornecem probabilidades do comportamento da matéria, sendo partículas ou ondas.

imagens de padrões de interferência a partir da década de 1930 que não afetaram as práticas das emulsões nucleares, apenas acaloraram as discussões sobre as interpretações da teoria quântica. Foi posteriormente, com os diagramas de Feynman, que as imagens voltaram a se relacionar fortemente com a quântica e dessa vez, com as expressões matemáticas de Dirac.

8. *Algumas composições de instrumentos experimentais foram desenvolvidas sem o anseio de detectar as partículas. Por oposição, atlas foram desenvolvidos como manuais para detectar partículas.* A câmara de nuvens criada por Wilson, não foi configurada para detectar o objeto “partícula”. Como vimos, os “rastros” apareceram na câmara em um período em que ela poderia ser configurada para estudar meteorologia, comportamento dos gases, raios X, comportamento e constituição da matéria. Os objetos visíveis que surgiram dentro da câmara de nuvens tinham outro sentido, só mais tarde foi convertido em rastros de partículas. Os atlas produzidos em 1940 trouxeram imagens que foram base para procurar imagens semelhantes, imagens consideradas “típicas”.

Já na emulsão nuclear, embora tenha se percebido uma troca de informações entre os físicos experimentais e os físicos teóricos, houve momentos em que as práticas eram quase independentes, as interpretações eram guiadas apenas com base em outras imagens já capturadas. Usaram-se os atlas enquanto manuais, enquanto regras de formulações de interpretações e de práticas. Os atlas tiveram um papel de normatizar essa prática experimental, institucionalizar, criar regras discursivas. Como retratado por Galison (1997, p. 147, tradução nossa), a emulsão nuclear:

(...) encontrou um tipo diferente de noção de habilitação, uma baseada não na teoria, mas no próprio design do instrumento. O filme foi associado primeiro a uma tela de cintilação e depois a uma câmara de nuvens; a transformação veio de dentro do domínio dos instrumentos - não das exigências da teoria ou do experimento.

9. *A prática de análise das emulsões pelos grupos de scanners mulheres.* Seja por conta da segunda guerra mundial, momento em que muitos países estavam em plena recessão, com poucos recursos econômicos, seja pelas características estereotipadas sobre as mulheres – adequadas para trabalhos meticulosos, tediosos e exigentes (GALISON, 1997) –, elas eram exploradas e ao mesmo tempo responsáveis por diversas imagens analisadas. O apagamento delas, por meio do apagamento da autoria, modifica a existência material das imagens de

partículas, pois sua existência demonstra aspectos sociais das instituições envolvidas que condicionaram como as imagens circularam e foram produzidas.

Nesse sentido, podemos examinar que as imagens das emulsões nucleares, enquanto enunciados, constituíram-se por meio de práticas discursivas<sup>71</sup> que filiava as mulheres a funções mais fáceis e metódicas, com remunerações menores, por considerar que as mulheres seriam “incapazes”, intelectualmente, e mais “delicadas e cuidadosas” que os homens. Assim, para que as imagens chegassem aos artigos, periódicos e livros, elas perpassavam a relação de exploração das mulheres, e supunham a existência de cientistas homens que dominavam o espaço de poder da formulação científica. Por esse ângulo, não são apenas as imagens de partículas que foram constituídas por práticas envolvendo as mulheres. As mulheres, enquanto sujeitos, também foram constituídas nessa relação de inferioridade perante os homens no laboratório.

10. *A comercialização das emulsões fotográficas e a dependência dos laboratórios de empresas que criavam os filmes fotográficos.* Os saberes sobre a composição química das emulsões nucleares pelas empresas de filmes fotográficos Ilford e Kodak criavam uma dependência mútua: de um lado, os cientistas não sabiam como funcionavam as emulsões e, por outro, os fabricantes não sabiam como funcionavam os experimentos. Esses saberes sobre a composição química criaram um “sistema de formação” para as imagens, sistema que se relaciona com práticas discursivas e não discursivas. Discursivas porque envolvem o simbólico sobre a composição química (consequentemente sobre como partículas interagiriam com essa composição química), e não discursivas porque envolve a comercialização, negociação, regras anônimas de lucrar sobre a venda de filmes fotográficos (mais uma opção comercial para vender filmes fotográficos, material personalizado, específico para esses experimentos).

As práticas são completamente diferentes quando comparamos a câmara de nuvens e a emulsão fotográfica. Como vimos, os físicos que utilizavam a câmara de nuvens manipulavam a substância dentro da câmara, sabiam exatamente como funcionava o experimento; após controlar a detecção, eles fotografavam a câmara. E posteriormente, os físicos que utilizavam a emulsão nuclear, não sabiam com precisão como funcionavam a detecção, não conheciam a composição dos filmes fotográficos adquiridos da Ilford e Kodak, não podiam simplesmente melhorar os filmes caso não funcionassem adequadamente. Porém, nos dois casos, os físicos dependiam dos filmes fotográficos, da mesma forma que os fotógrafos dependiam dos seus

---

<sup>71</sup> No sentido de Foucault (2014, p. 144) em que a prática discursiva é “um conjunto de regras anônimas, históricas, sempre determinadas no tempo e no espaço”, não no sentido de um ato de fala por um falante.

filmes para fotografar o mundo. Pois a câmara de nuvens dependia de filmes fotográficos comum e a emulsão nuclear dependia das emulsões fotográficas personalizadas.

11. *A ciência enquanto instrumento de poder e autonomia, demonstrada por meio de incentivos financeiros que ampliaram drasticamente pesquisas de áreas próximas da física nuclear, após o fim da segunda guerra mundial.* Por um lado, com a guerra fria, os incentivos se acentuaram ainda mais, valorizando os saberes científicos. Possibilitando que a prática da pesquisa da área de física de partículas ocorresse, resultando em pesquisas consolidadas, com infraestruturas laboratoriais. Por outro lado, o que as instituições pesquisavam passou a ser interesse público, controlado também por questões políticas. No Brasil, por exemplo, conforme Vieira e Videira (2011) as pesquisas que utilizaram as emulsões fotográfica, que iniciaram na década de 1940 com a colaboração Brasil-Japão, foram responsáveis pela institucionalização de pesquisas de ciência no Brasil. Pois como vimos, as emulsões nucleares usavam de técnicas baratas, possíveis em laboratórios com grupos menores de pesquisadores.

São por meio dessas relações de poder, que regras anônimas surgem e afetam as funções enunciativas, consolidando esse período pós-guerra como uma condição de existência para as imagens de partículas. Pois, certamente, precisou em algum momento ser dito publicamente que “está sendo pesquisado sobre partículas”, “essas são as emulsões de partículas”, “esse é um rastro de uma partícula”, “essa é determinada partícula”, etc.

12. *Os diagramas de Feynman e Zweig se conectam com relações matemáticas.* Nesse aspecto, podemos dizer que as imagens dos diagramas são novas modalidades de enunciação que possuem outros modos de condição de existência. Elas existem por meio da relação matemática, estão relacionadas com enunciações matemáticas, permitindo novas construções teóricas. Os objetos, as partículas, são diferenciados por meio da relação teórica entre Eletrodinâmica Quântica (QED) e os signos dos diagramas, entre a matemática e a imagem. O que não significa que os diagramas não sejam imagens de partículas elementares, a existência material dos diagramas são enunciações diferentes sobre um mesmo objeto. Podemos dizer que a imagem possui o objeto partícula e, ao mesmo tempo, a relação matemática.

As formulações das imagens de partículas são diferentes da câmara de nuvens, pois, como vimos, o elétron pode ser significado na QED como sendo uma partícula virtual que não

necessariamente tem carga fixa e massa, pois essas quantidades dependem do momento. Já na câmara de nuvens, o elétron está relacionando às aparências visuais das fotografias, a massa é determinante para identificar que se trata de um elétron.

Com essas relações matemáticas estabelecidas, por meio da QED e a QCD, foi possível desenvolver o modelo padrão de partículas elementares, em que se categorizou, classificou e mudou a forma como se entendi as partículas elementares. Fazendo, por exemplo, que na década de 1970 os prótons não fossem mais elementares, tornando-os constituídos por *quarks*.

13. *Os gráficos plotados com dados estatísticos e as imagens computadorizadas configuraram um período onde as imagens de partículas não eram mais produzidas corporalmente.* O cientista passou a não ter mais contato físico com a câmera fotográfica, com a emulsão fotográfica, com o microscópio ou o bulbo das câmaras. Ele não usa mais dos seus sentidos como o tato, sensação térmica ou visão. Os gráficos substituem as imagens, substituem as práticas discursivas e não discursivas, ao mesmo tempo que criam um vazio do simbólico imagético. Esse vazio é preenchido pelas imagens computadorizadas, imagens que são produzidas com o uso dos dados experimentais.

Enfim, procuramos elencar essas condições de existência, práticas discursivas e não discursivas, com o objetivo de compreendermos a emergência das imagens *de* partículas. Buscamos entender como esse efeito de verdade, efeito de que as imagens são de partículas e não de outra coisa, foi constituído por meio das práticas discursivas e não discursivas. O que nos levou a perceber que é necessário considerar muitos elementos que são do campo científico, mas também muitos elementos não científicos, de outros campos de saberes. Seja um ou outro, analisar esses elementos, enquanto práticas (discursivas e não discursivas), revelou como a área da física de partículas exhibe um campo de regularidades e memórias constituídas de forma histórica e cultural. Não poderíamos dizer que a imagem de partícula emergiu sem que aquelas regras anônimas e histórias do período vitoriano existissem. Foi necessário que determinadas práticas de observação da natureza existissem, para que a imagem de partícula na câmara de nuvem fosse criada. Por isso tantas práticas tiveram que ser consideradas nessa análise.

No próximo capítulo analisamos a dispersão, e heterogeneidade, social mais ampla dessas imagens; transformações e circulações das imagens em que existem menos práticas de controles. Assim, examinando a intericonicidade das imagens (COURTINE, 2013), a

interdiscursividade dos discursos (FOUCAULT, 2014), compreendendo como se constitui o espaço de memória discursiva, exibindo as redes de memórias das imagens.

### 3 UMA SOCIEDADE DE OBSERVADORES: CIRCULAÇÃO DAS IMAGENS



(VALLUZZI, 2014)

Usamos da visão para observarmos imagens, somos uma sociedade que vê, nosso corpo é vidente, é observador, mas nos relacionamos também com outras materialidades como textos, falas, áudios, audiovisuais. Por isso podemos afirmar que as imagens estão em constante relação com outras materialidades. Na ciência, seria ingenuidade conceber que as imagens que circulam nela não circulam em outros lugares, ou entendermos que as imagens produzidas pela ciência pertencem apenas ao campo científico. Após as imagens serem produzidas, elas circulam e podem passar por diversos processos de transformações, significações e produções de outras novas imagens. Esse funcionamento de circulação e textualização (SILVA, 2014) é um fenômeno sociocultural-histórico que não pode ser controlado pelos cientistas e seus laboratórios. Cabe a nós entender como funciona essa circulação e textualização, voltar às imagens conservadas e às novas imagens que circulam, buscar nas novas imagens os indícios de que outras imagens estão ali depositadas (COURTINE, 2013).

Identificar as conexões entre as imagens externas e internas, buscando a intericonicidade das imagens (COURTINE, 2013), possibilita-nos proximidade com a descrição histórica e cultural do que foi, e está sendo, a discursividade da iconicidade no campo científico da Física de Partículas. Além disso, permite que sejam percebidas as mudanças nas práticas discursivas que envolveram as produções das imagens e os deslocamentos delas para uma circulação mais ampla na sociedade, como a circulação no plano da divulgação científica.

Considerando os aspectos teóricos abordados sobre Análise do Discurso (FOUCAULT, 2014) e concebendo que os possíveis enunciados são formulados em um

processo que vai além das intenções, concepções e controle do sujeito da fala, podemos estabelecer outra formulação discursiva que não seja a verbal ou a textual, mas a imagética. Segundo Silva (2002), é importante refletirmos sobre o funcionamento discursivo das imagens, considerando que tanto o texto verbal, como o não-verbal (como o imagético), são incompletos do ponto de vista da significação. Assim, em “[...] toda leitura, seja do texto verbal ou não-verbal, há interpretação (mesmo que não consciente, intencional), na tensão constante entre repetição e deslocamento de sentidos” (SILVA, 2002, p. 80). A imagem não possui um sentido único, um sentido universal, um sentido que o autor intencionalmente desenvolveu e que supostamente outro alguém irá atribuir. Como afirma Joly (2008, p. 44): “Ninguém tem a menor ideia do que o autor quis dizer; o próprio autor não domina toda a significação da imagem que produz”. Nesse sentido, consideramos discursivamente uma “leitura de imagem”, conforme foi discutido por Silva (2006, p. 77):

[...] a leitura (interpretação) de imagens integra-se numa história que é maior do que nós, num processo do qual não somos a origem; uma imagem, ao ser lida, insere-se numa rede de imagens já vistas, já produzidas, que compõem a nossa cotidianidade, a nossa sensação de realidade diante do mundo. A leitura (interpretação) de imagens não depende apenas do contexto imediato da relação entre leitor e imagem: para lê-la o leitor se envolve num processo de leitura (interpretação) que já está iniciado.

Podemos mobilizar indícios de como se dá esse processo de leitura de imagens. Segundo Manguel (2001), só enxergamos na imagem aquilo que já vimos antes em algum “feitio ou forma”, presumindo uma memória discursiva das imagens. Em suas palavras: “Só podemos ver as coisas para as quais já possuímos imagens identificáveis, assim como só podemos ler em uma língua cuja sintaxe, gramática e vocabulário já conhecemos” (MANGUEL, 2001). Porém, não se pode ir ao extremo nessa comparação de ler uma imagem e ler um texto, pois, como Courtine (2013, p. 41) afirma: “a imagem não obedece em nada a um modelo da língua”.

Courtine (2013, p. 43) também supõe a existência de uma memória das imagens, definindo-as em memórias das “imagens externas” (aquelas que são percebidas) e memórias das “imagens internas” (aquelas que são sugeridas, que são “[...] ‘despertadas’ pela percepção exterior de uma imagem”). Esse autor vai além, desenvolvendo a noção de intericonicidade. Essa noção supõe uma relação entre as imagens percebidas (externa) e as imagens sugeridas (internas). Courtine (2013, p. 43) afirma que “(...) não existe imagem que não nos faça ressurgir

outras imagens, tenham elas sido vistas ou simplesmente imaginadas”. Porém, como afirma Correio (2013, p. 348):

As imagens dentro de mim e que são compartilhadas, modificadas, invertidas, apagadas e reinventadas pelo seio sociocultural-histórico não são somente minhas em particular, mas fazem parte da ilusão de uma coletividade que quer acreditar que elas seriam únicas.

Complementarmente, há reflexões que compreendem que a imagem tem relação entre o que mostra, o que dá a pensar e o que se recusa a revelar (SAMAIN, 2012). Nessa perspectiva, podemos afirmar que a imagem possui um trabalho próprio quando ela se associa “a outras imagens (visíveis/exteriores; mentais/interiores) e a outras memórias” (SAMAIN, 2012, p. 22). Não existiriam imagens que não nos fizessem relacionar a outras imagens, sejam essas algo que já vimos ou que simplesmente imaginamos. Assim “[...] a memória também exerce o papel de regulador das imagens em circulação, organizando certo campo de enunciação” (CORREIO, 2013, p. 353).

No processo de investigação de imagens, torna-se mais importante sabermos como elas existem, como elas vivem e como elas nos fazem viver, pois podemos entender que a “imagem nos provoca a pensar, nos convoca a pensar” (SAMAIN, 2012, p. 21). Para Samain (2012), toda imagem: “oferece algo para pensar”, e ela faz isso ao se associar com outras imagens e memórias; é “portadora de um pensamento”, carregando consigo memórias de memórias, trazendo uma história a qual pertence a imagem, supondo uma memória coletiva; e é uma “forma que pensa”, comunica-se e dialoga entre si, de forma independente dos autores e espectadores.

Afirmar que as imagens pensam também é dizer que as imagens são uma das formas não-verbais de materializar enunciados. Do nosso ponto de vista, Samain (2012) projetou um ato de “pensar” das imagens, da mesma forma que podemos projetar o ato de produzir significados; tanto a partir de falas, como a partir de imagens, formulações de enunciados. Dado que: “(...) as ideias por ela [imagem] veiculadas e que ela faz nascer dentro de nós – quando as olhamos – são ideias que somente se tornaram possíveis porque ela, a imagem, participa de histórias e de memórias que a precedem (...)” (SAMAIN, 2012, p. 33).

Isso não quer dizer que não existam práticas que sejam próprias da materialidade não-verbal. É importante frisarmos que, neste trabalho, não tratamos a imagem como um conjunto de signos, mas tratamos como elementos de práticas que vão formar os objetos de que se fala (FOUCAULT, 2014). A leitura de imagens que mencionamos anteriormente, pode ser entendida como sendo uma prática discursiva, e não discursiva. Nesse sentido, analisar as

imagens como discursos, a partir desses autores (FOUCAULT, 2014; COURTINE, 2013; SILVA, 2002, 2006), é pensá-las como parte de um dispositivo<sup>1</sup>, considerando um conjunto de instituições, regras, ditos (vistos) e não-ditos (não-vistos).

Podemos entender que essas práticas discursivas são modos de ver que persistem e coexistem, que são modificados ao longo da história. Se antes tínhamos fotografias analógicas que tinham relação com o comprimento de onda do espectro da luz que era focalizado e capturado por meio de um espaço real, agora temos imagens computadorizadas, que fazem emergir outros modelos dominantes, outros processos sociais e outras instituições (CRARY, 2012).

Tendo em vista o que foi discutido até aqui, ao analisarmos as imagens de partículas elementares, podemos afirmar que, de alguma maneira, elas comunicam dentro dos campos científicos, significam e produzem discursos. Embora o objeto partícula (elétron, próton, etc.) seja invisível e tenha comportamento dualístico (corpúscular e ondulatório), não significa que se deixa de materializar a partícula em imagens, pelo contrário, criam-se imagens e posteriormente se diz que “são partículas”; ou criam-se partículas por outras linguagens, como a verbal e a matemática, e depois se procura sua detecção que pode repercutir na produção de uma imagem. Mas no ano de 2018, por meio de um concurso nacional de fotografia científica organizado pelo “Conselho de Pesquisa em Engenharia e Ciências Físicas” - EPSRC<sup>2</sup>, foi divulgado o ganhador do concurso com a sua fotografia chamada “Único átomo em uma Armadilha de íons” (Figura 3.1)<sup>3</sup>. Nessa fotografia, estaria sendo exibido um átomo de estrôncio, com seus 38 prótons, iluminado por um laser, aparecendo ao centro da imagem entre duas agulhas e eletrodos. Mas seria possível ver esse átomo, essa partícula? Se não estamos vendo uma partícula, o que é o ponto azul ao centro?

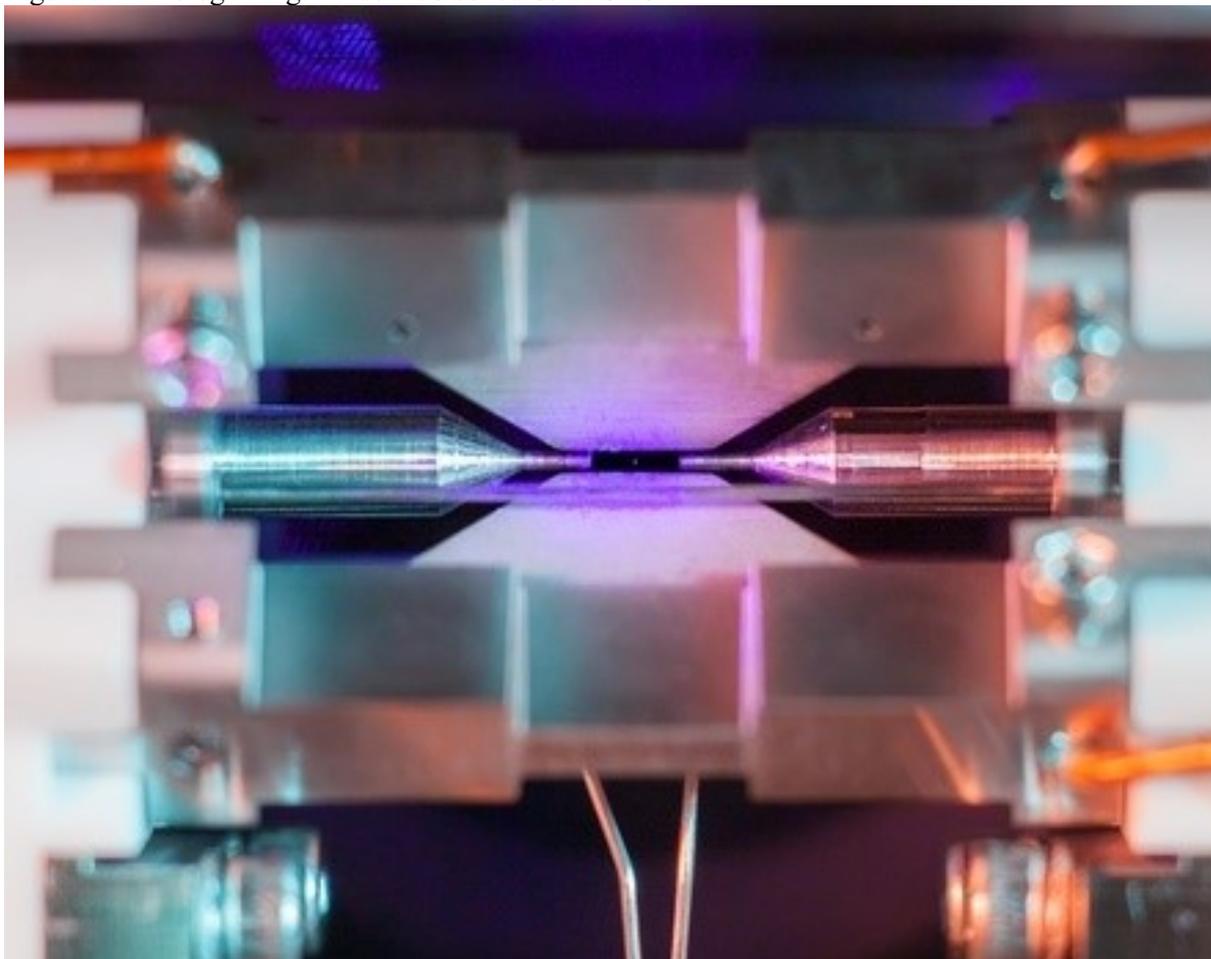
---

<sup>1</sup> Procuramos não aprofundar essa noção de dispositivo, uma vez que nosso estudo se limitou a apenas algumas obras de Foucault. Mas, segundo Courtine (2013), o dispositivo nos auxilia a entendermos os discursivos, ao afirmar que o dispositivo contempla um “[...] conjunto heterogêneo de instituições e de leis, de coisas e de ideias, de atos e de práticas, de palavras e de textos, de ditos e de não ditos” (COURTINE, 2013, p. 27).

<sup>2</sup> Sigla vem do nome original “Engineering and Physical Sciences Research Council”, órgão financiado pelo Reino Unido, que trabalha em parceria com universidades, organizações de pesquisa, empresas, instituições de caridade e governo (EPSRC, 2018).

<sup>3</sup> A imagem foi ampliada para que fosse possível observar o ponto no centro da imagem, o átomo. O título original da imagem é “Single Atom in Ion Trap”. Segundo a divulgação do concurso (EPSRC, 2018), a imagem estaria mostrando o átomo de estrôncio com carga positiva presa por campos elétricos providos dos eletrodos metálicos ao seu redor. A distância entre as pontas das agulhas é de aproximadamente 2 mm. O átomo de estrôncio é consideravelmente maior que os outros átomos, pois ele é formado por 38 prótons. Ele foi iluminado por um laser de cor azul-violeta, absorvendo e reemitindo luz, seguidamente sendo capturado pela câmera (EPSRC, 2018).

Figura 3.1 – Fotografia ganhadora do concurso EPSRC.



Fonte: Adaptação de Nadlinger (2017).

Essas imagens circulam e passam a existir em textos de ciência. Então, elas não são apenas meras ilustrações, elas constroem significados, assim como o texto, e constituem os objetos de significação. Nesse aspecto, investigar as imagens na ciência, possibilita construir uma genealogia das imagens, por meio de indícios, pelos rastros que outras imagens ali depositaram, e pela sua reconstrução. Ao analisarmos esses rastros (COURTINE, 2013) poderemos identificar se as imagens integram alguma cultura, algum campo de saber. No caso das imagens de partículas, podemos analisar como elas integram uma cultura do campo da Física de Partículas, e como elas podem, simultaneamente, circular no espaço de uma cultura visual mais ampla.

No capítulo anterior, investigamos discursos que passaram por práticas de controles rígidas do campo científico da física, e analisamos as regras anônimas, históricas, determinadas no tempo e no espaço, as quais definiram as condições de existência dos enunciados das imagens de partículas elementares. Nesse capítulo, buscamos compreender quais são as redes de memórias com as quais as imagens de partículas elementares se relacionaram, e estão se

relacionando nos dias atuais. Fazemos isso observando as relações que essas imagens possuem com outras imagens que circularam na sociedade. Como também, por meio da análise da relação dessas imagens com outras formulações, outras materialidades.

Do ponto de vista metodológico, iniciamos a análise dessa rede de memórias pesquisando em diferentes lugares. Primeiro observamos quais imagens circulavam em publicações com massiva distribuição, em que a origem eram jornais e *sites* jornalísticos. Posteriormente, observamos quais imagens circulavam em publicações com baixa distribuição, em origens como blogs, páginas de redes sociais. Seguidamente, buscamos observar as imagens em manuais, livros didáticos, e artigos de revistas da área. Por fim, buscamos em lugares que traziam uma dispersão maior sobre o tema, como em obras de artes, quadros, camisetas, etc.

Embora a análise da circulação tenha sido ampla, com um agrupamento de muitas fontes, evidentemente, esse conjunto não esgota todas as possibilidades de circulação; as fontes aqui levantadas supriram a função de observar uma rede de memórias que vai além daquela restrita ao campo científico. Expomos essa rede de memória e as formas de circulação dividindo o capítulo em cinco seções: na primeira (3.1) relatamos como a memória clássica aparece nos manuais da Física; na segunda (3.2) discutimos como as imagens de rastros e esferas marcam praticamente todas as imagens que circulavam sobre o tema; na terceira (3.3) discutimos a prática discursiva envolvida com a leitura dessas imagens, com a análise das imagens, trazendo o papel da legenda e do posicionamento das imagens nos materiais que circulavam; na quarta (3.4) mostramos a circulação que passa por controles menos rígidos, circulação *online* em redes sociais e outros espaços modernos na sociedade; e por último, na quinta seção (3.5), buscamos a dispersão mais ampla das imagens de partículas elementares, identificando alguns caminhos de circulação em que as imagens de partículas extrapolam o campo do saber científico.

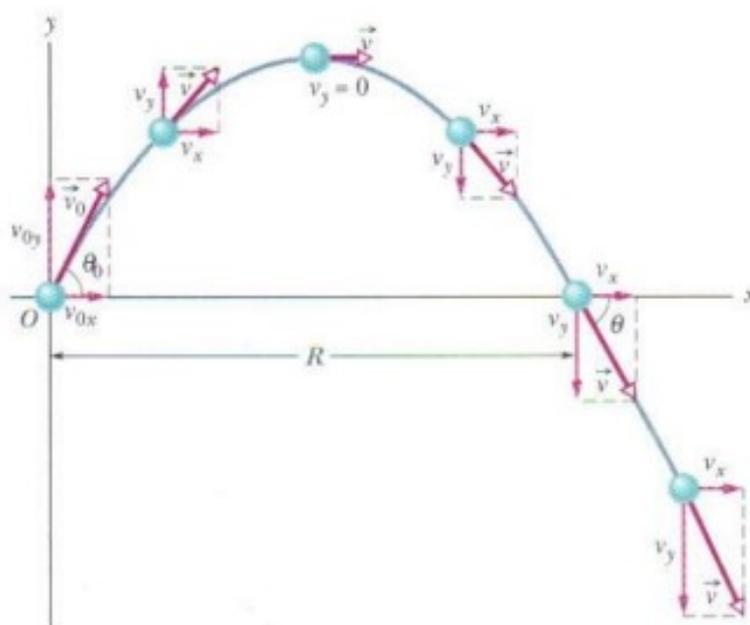
### 3.1 A MEMÓRIA CLÁSSICA NOS MANUAIS DA FÍSICA

Direcionando nossa análise para os manuais da física, é possível encontrar diversos exemplos da circulação de imagens que se relacionam com memórias da Física Clássica. Mesmo quando essas imagens estão relacionadas com objetos físicos que possuem comportamento quântico, o que prevalece são as memórias clássicas, devido ao uso de certos signos. Por exemplo, se, de um lado, temos uma imagem de um lançamento de projétil descrito

em forma de um gráfico bidimensional, que se resolve com a Física Clássica e funções matemáticas que trazem a aceleração da gravidade (Figura 3.2), por outro lado, é possível derivar a imagem bidimensional de um ponto material, com massa carregada na presença de um campo magnético (Figura 3.3)<sup>4</sup>. Para a segunda figura, a imagem estaria exibindo uma partícula quântica, pois uma partícula carregada pode ser, por exemplo, um elétron ou próton, partículas que possuem comportamentos quânticos. Como a força magnética é proveniente de um produto vetorial entre velocidade e campo magnético, nesse exemplo, esse produto resultou em uma força que gerou uma trajetória circular. Ou seja, a imagem exibe uma trajetória em que é possível extrair uma função matemática de movimento bem definida.

Figura 3.2 – Recorte de imagens sobre trajetória de projéteis e sua legenda.

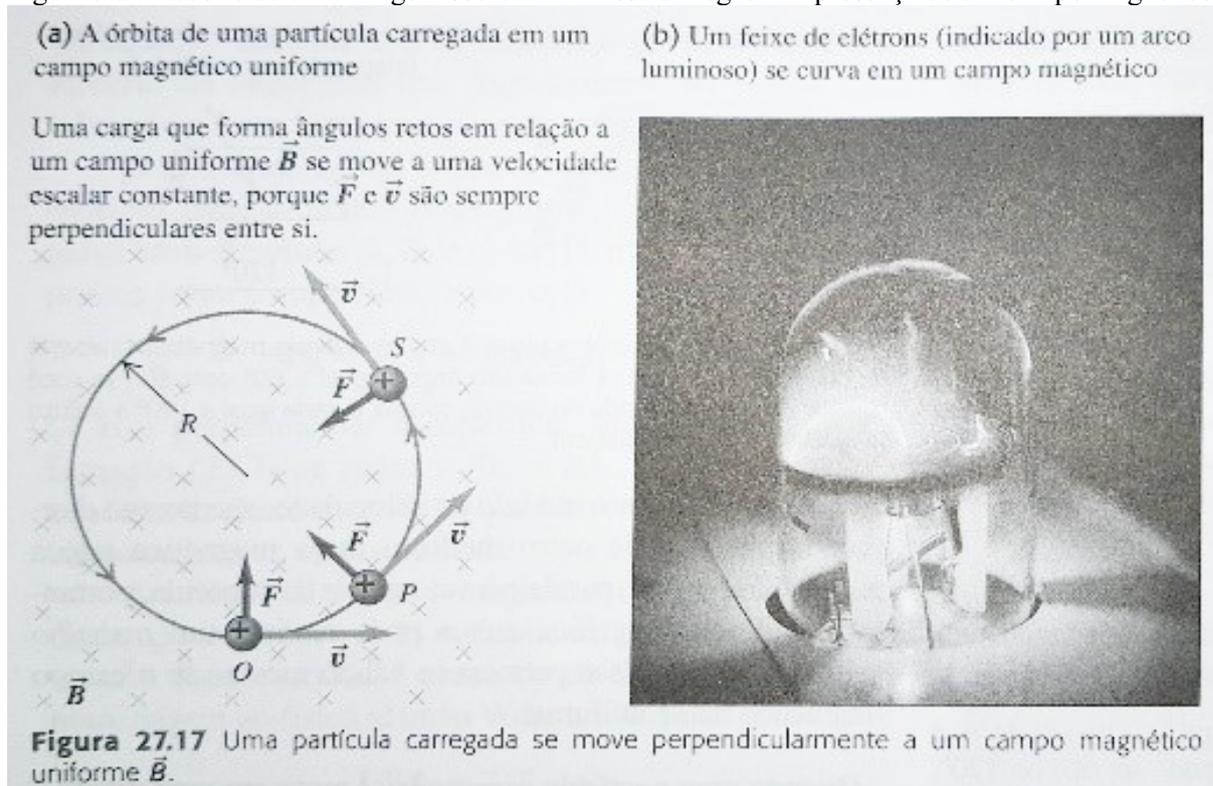
**FIG. 4-10** Trajetória de um projétil que é lançado em  $x_0 = 0$  e  $y_0 = 0$  com uma velocidade inicial  $\vec{v}_0$ . São mostradas a velocidade inicial e as velocidades em vários pontos ao longo da trajetória, juntamente com suas componentes. Observe que a componente horizontal da velocidade permanece constante, mas a componente vertical muda continuamente. O *alcance*  $R$  é a distância horizontal percorrida pelo projétil quando retorna à altura do lançamento.



Fonte: Hallyday (2009a, p.91).

<sup>4</sup> Foram consultados diversos outros manuais de física que são utilizados no Ensino Superior, nos cursos de Licenciatura e Bacharelado de Física, também foram consultados diversos livros didáticos do Ensino Médio. Para efeito de análise, selecionamos apenas algumas imagens. Imagens que são repetidas em vários dos manuais e livros didáticos consultados.

Figura 3.3 - Recorte de uma imagem sobre uma massa carregada na presença de um campo magnético.



Fonte: Young (2009, p.212).

A imagem do experimento de J. J. Thomson<sup>5</sup> – conhecido como experimento de razão carga/massa, que deixa um rastro por onde o elétron passa – (Figura 3.4) também mostra, em duas dimensões, o comportamento de uma partícula quântica. Dessa vez, seriam elétrons que atravessaram um campo magnético.

<sup>5</sup> Esse experimento, conhecido como experimento com tubos de raios catódicos, foi decisivo para que se entendesse que o átomo possuía partículas negativas, corroborando com o modelo atômico do “pudim de passas” que considerava que existiam partículas com cargas negativas dentro de uma sopa de carga positiva. Esse experimento ajuda também a determinar a razão entre carga e massa das partículas do raio catódico.

Figura 3.4 - Recorte de uma imagem sobre o equipamento usado por J. J Thomson e sua legenda.

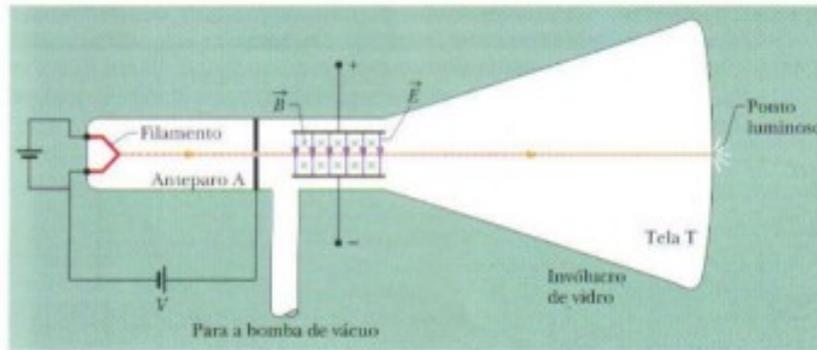


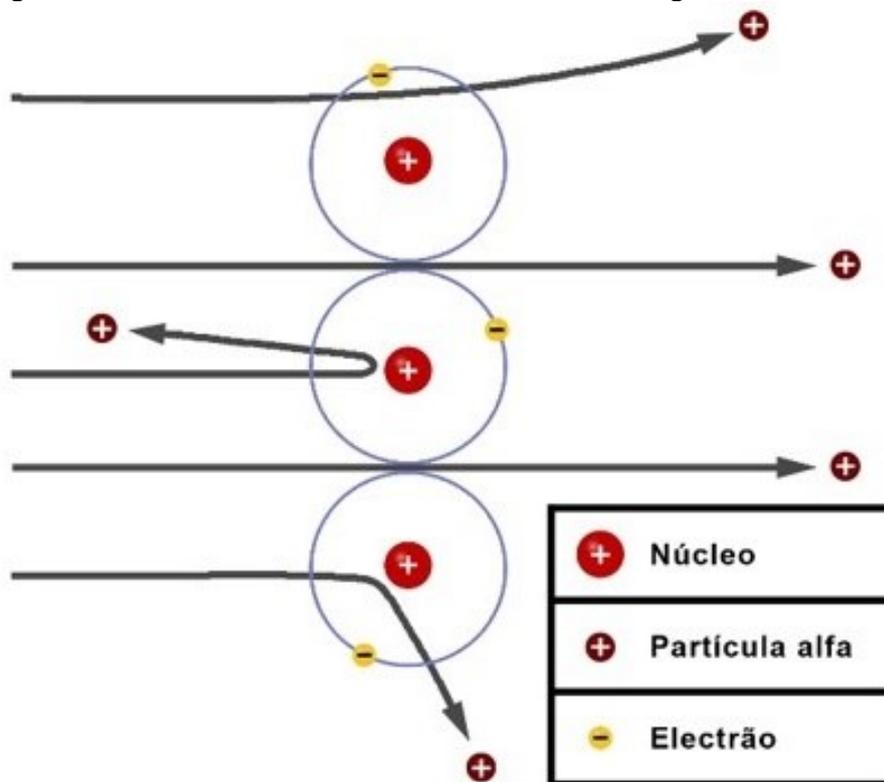
FIG. 28-7 Uma versão moderna do equipamento usado por J. J. Thomson para medir a razão entre a massa e a carga do elétron. Um campo elétrico  $\vec{E}$  é estabelecido ligando uma bateria aos terminais das placas defletoras. O campo magnético  $\vec{B}$  é criado fazendo passar uma corrente por um conjunto de bobinas (que não aparece na figura). O sentido do campo magnético é para dentro do papel, como mostram as cruzes (que representam as extremidades traseiras de setas).

Fonte: Hallyday (2009b, p. 207)

As três últimas imagens exibem trajetórias. Porém, os objetos envolvidos nas duas últimas imagens são partículas carregadas, podendo ser um elétron, ou qualquer outra partícula elementar com carga, com propriedades quânticas. Temos assim uma relação entre a imagem desse experimento e memórias de trajetórias bidimensionais e tridimensionais. Historicamente, sabemos que, em 1897, ainda não se conhecia sobre as propriedades quânticas dos elétrons. De fato, pouco se conhecia sobre o elétron nesse experimento da Figura 3.4, pois, como ficou registrado, o experimento foi chamado de “tubo de raios catódicos” e não “tubo de raios de elétron”, ou “tubos de elétrons”. Contudo, os desenvolvimentos da quântica não apagaram essas imagens, elas continuam circulando, ressignificando-se e transformando-se.

Outro exemplo é a imagem do experimento de Rutherford, em que partículas são dispersadas ao se aproximarem de um núcleo atômico e entrarem no campo elétrico gerado pela carga do núcleo. Nessa imagem, são exibidas as trajetórias por onde as partículas podem percorrer (Figura 3.5). Essa é uma imagem que, novamente, relaciona-se com as memórias da Física Clássica, pois vemos trajetórias, “pontos materiais”, corpúsculos representados por bolinhas e a bidimensionalidade da imagem.

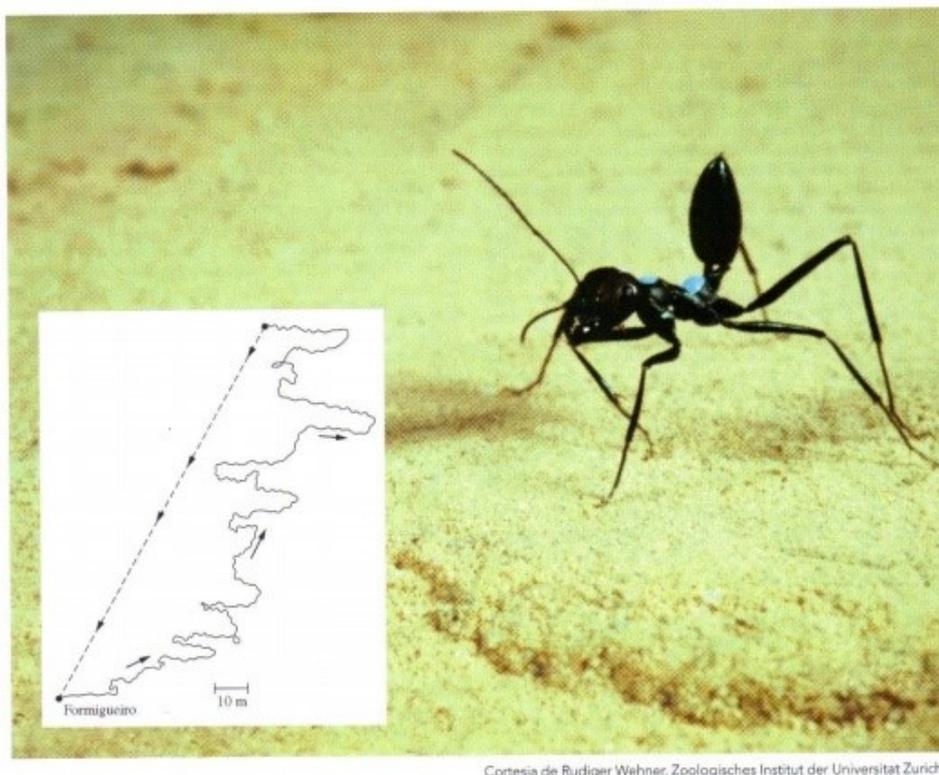
Figura 3.5 – Partícula  $\alpha$  desviando ao encontrar átomos segundo o modelo de Rutherford.



Fonte: Reis (2011).

A Figura 3.6, vinculada à trajetória que a formiga percorre versus a distância percorrida, serve-nos de mais uma memória da Física Clássica; remete-nos às equações de movimento mais básicas. Tal imagem pode estar em associação com as imagens que vimos no capítulo anterior, da câmara de nuvens, câmara de bolha (Figura 2.17 e Figura 2.19 respectivamente). Quais as semelhanças e diferenças entre essas imagens? No exemplo da Figura 3.6, tem-se, de um lado, a imagem real da formiga e, de outro lado, ao lado esquerdo, tem-se a trajetória dela desenhada. Certamente, a formiga não é uma partícula, mas ela também deixa um rastro que podemos desenhar para posteriormente analisarmos.

Figura 3.6 - Recorte de uma imagem mostrando a trajetória de uma formiga.



Cortesia de Rudiger Wehner, Zoologisches Institut der Universität Zürich

Fonte: Hallyday (2009a, p. 42).

Na perspectiva do que se entende por intericonicidade, segundo trabalhos de Courtine (2013), essas imagens são estocadas pelo sujeito discursivo<sup>6</sup> que estão/estiveram em contato com outros enunciados da Física Clássica. As posições desses sujeitos discursivos podem ser de professores, estudantes de Física, ex-estudantes ou profissionais de engenharia. O que todos esses lugares de fala possuem em comum, são as memórias da Física Clássica. Em todas essas imagens, tomadas como memórias, os conceitos da mecânica quântica não são predominantemente inseridos; tratam-se de memórias de movimentos com trajetórias que são modificadas por forças (gravitacionais ou eletromagnéticas) com as quais a Física Clássica tem afinidade.

Em virtude dessas imagens criarem uma rede de memórias correlata com a Física Clássica, devemos problematizar o comportamento quântico das partículas, discutir, nessa tese, os fenômenos da Física Quântica que não aparecem nessas imagens. Por um lado, nos detectores

---

<sup>6</sup> Conforme já explicamos anteriormente, sujeitos discursivos não devem ser entendidos como sujeitos que realizaram um ato de fala. Baseado em Foucault (2014), compreendemos que o sujeito discursivo deve ser entendido enquanto uma posição discursiva, uma posição que se constitui junto com os discursos. Uma posição que discursos podem assumir. Nesse caso, o “sujeito discursivo” funciona como uma posição criada historicamente e coletivamente.

de partículas ficam gravadas as interações pontuais das partículas com a matéria, como essas interações são seguidas uma da outra, criam-se rastros dessas partículas; evidenciando muito mais o comportamento corpuscular da partícula em questão. Por outro lado, vimos anteriormente, por meio da Figura 2.7, que o elétron, ao passar por dupla fenda, produz padrões de interferência em um anteparo, evidenciando a característica ondulatória. Mas, novamente, as interações da partícula com o anteparo, nesse experimento da dupla fenda, são interações pontuais. Por isso, nesse experimento, é necessário um número grande de interações para que comecem a surgir padrões no anteparo. Esse comportamento ondulatório não aparece nas imagens produzidas pelos detectores de partículas, não aparece também nos manuais de física, quando é tratado sobre as partículas. A dualidade da partícula não aparece na imagem, mas não significa que não apareça em outras formulações.

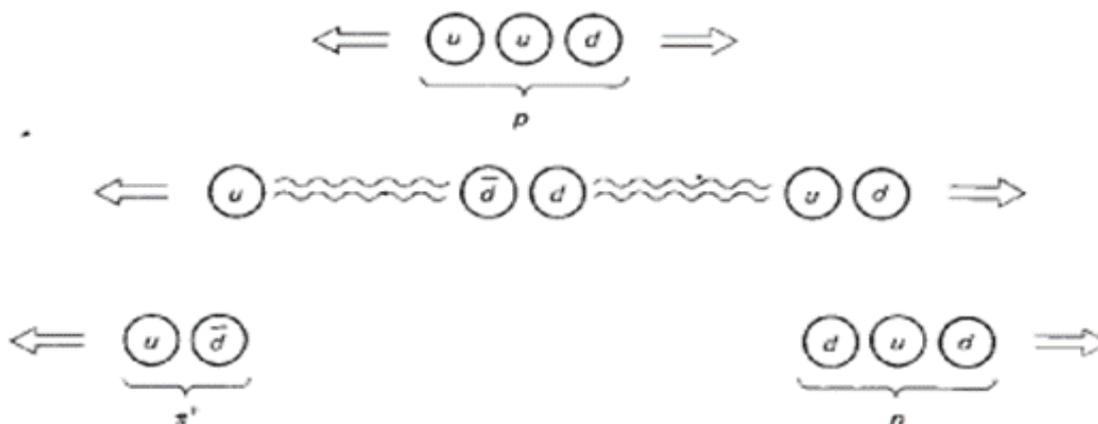
Quando analisamos as imagens das câmaras de bolhas e emulsões fotográficas que trouxemos no capítulo 2 – que circularam em artigos de revistas científicas e em manuais do campo de saber, e que permanecem circulando nos dias de hoje por meio de imagens computadorizadas –, podemos “sugerir” imagens, enquanto memórias, que trouxemos nessa seção. Isso porque as imagens das câmaras de nuvens, câmaras de bolhas e emulsões fotográficas exibem rastros de trajetórias de partículas, e as imagens que trouxemos nessa seção também exibem trajetórias. A predominância dos rastros, das trajetórias, dos comportamentos clássicos das partículas, é evidente em muitas imagens nos manuais e livros didáticos. Mas em outros lugares, quais formas as partículas assumem?

### 3.2 QUE PARTÍCULA É ESSA BOLINHA? QUE PARTÍCULA É ESSE RASTRO?

Na circulação mais ampla sobre Física de Partículas, as imagens que identificamos, resumidamente, podem ser descritas da seguinte forma: fotos dos experimentos da câmara de nuvens (Figura 2.4 e Figura 2.5), câmara de bolha (Figura 2.17 e Figura 2.20) ou emulsão nuclear (Figura 2.14 e Figura 2.15), similares às que podem ser observadas no capítulo anterior, em que predominam os rastros, as trajetórias; desenhos baseados nas fotografias experimentais, produzidos à mão (Figura 2.17 e Figura 2.26), em que também se predominam os elementos de rastros e trajetórias; círculos para significar partículas, em geral, círculos coloridos (Figura 2.29, Figura 2.30 e Figura 3.7) e com letras dentro deles, para designar cada partícula; desenhos de

esferas, utilizando escalas ou outros mecanismos artísticos, para evidenciar tamanhos e outras características das partículas (Figura 3.8), ou cones artísticos para trazer a sensação de ampliação, usam efeitos para trazer a tridimensionalidade e características de esferas; e imagens da colisão dos feixes de prótons realizados nos experimentos de altas energias, ou imagens de detectores em colisores de partículas, produzidas por computadores (Figura 2.37 e Figura 3.9)<sup>7</sup>.

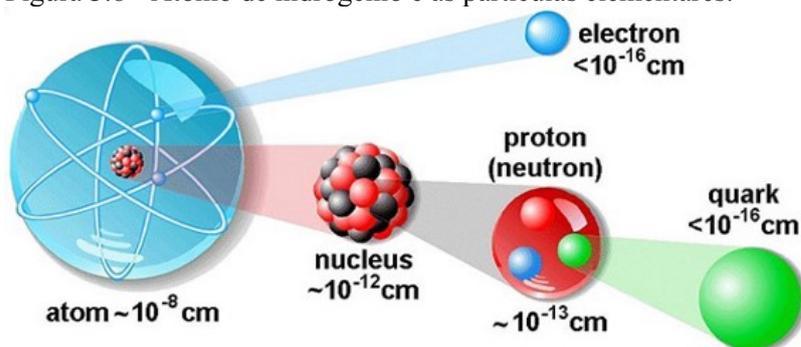
Figura 3.7 - Decaimento do próton em outras partículas.



**Figure 2.3** A possible scenario for quark confinement: As we pull a  $u$  quark out of the proton a pair of quarks is created, and instead of a free quark, we are left with a pion and a neutron.

Fonte: Griffiths (1987, p. 65).

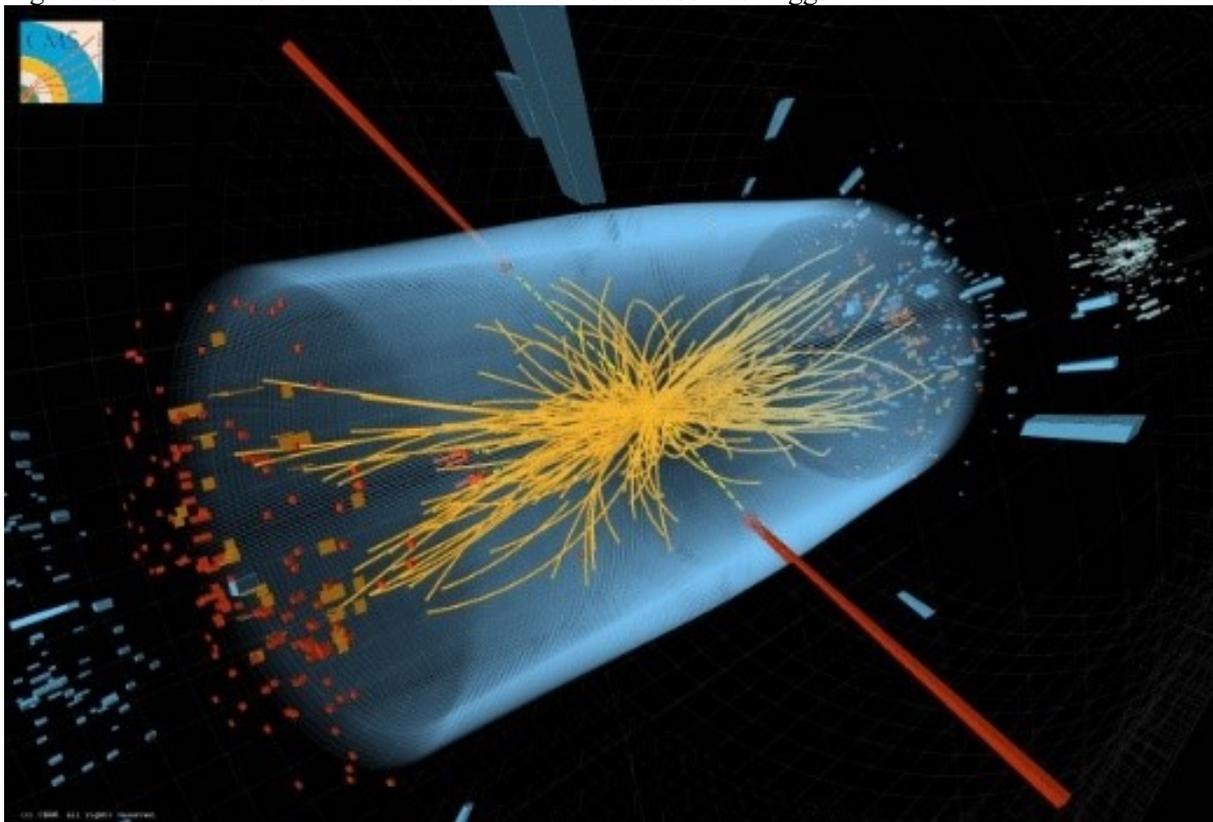
Figura 3.8 - Átomo de hidrogênio e as partículas elementares.



Fonte: GOOGLE Imagens (2016?).

<sup>7</sup> Importante mencionar que tratamos como sendo imagens de partículas porque algum texto ao redor, ou na legenda, indicou ser a imagem de uma partícula. Na seção 3.3 discutimos esse papel do texto e legenda sobre a imagem.

Figura 3.9 - Partículas elementares e o decaimento do bóson de Higgs.



Fonte: Stein (2012?).

Em todas essas imagens, o que predominam são rastros, trajetórias, círculos ou esferas, características corpusculares das partículas. Não aparece nenhuma característica indicando que a partícula possa também ser onda, ou que possa ter características ondulatórias. Rastros e trajetórias evocam fenômenos da física clássica, círculos e esferas dão forma às partículas enquanto objetos da física clássica. O rolar de uma esfera pode deixar rastros em uma superfície, dando visibilidade a uma trajetória, assim como uma esfera pode ser tratada como sendo um ponto material para simplificar cálculos matemáticos de fenômenos físicos clássicos. A memória da física clássica é a principal memória que surge ao observarmos essas imagens.

Algumas imagens conciliam essas duas características (de rastros e esferas). A Figura 3.10 evidencia o que seriam as partículas com forma de esferas; porém, dessa vez, cada esfera deixa um rastro de mesma cor. Por exemplo, esfera de cor verde deixa um rastro, uma linha, na cor verde. Como essa figura é a extraída da abertura do documentário Particle Fever (2014), o que trouxemos foi apenas um quadro dessa animação em que é exibido vários movimentos, nos quais as esferas se chocam, percorrem trajetórias lineares e curvas, indo de dentro da tela para

a frente da tela, por meio do recurso de aumento de tamanho da esfera. É uma pequena animação que une duas características que predominantemente temos observado: círculos e rastros, esferas e linhas, bolinhas e linhas curvas. A Figura 3.11 também exibe esferas, rastros, colisões. Os rastros estão combinados com as cores das esferas, mas dessa vez, esferas diferentes (na cor verde, amarela e vermelha) saem de uma mesma esfera deformada (cor azul) que, por sua vez, saiu de uma colisão de outras duas esferas, mais ao fundo.

Figura 3.10 – Amostra de um quadro da abertura de um documentário sobre partículas elementares.



Fonte: Particle Fever (2014).

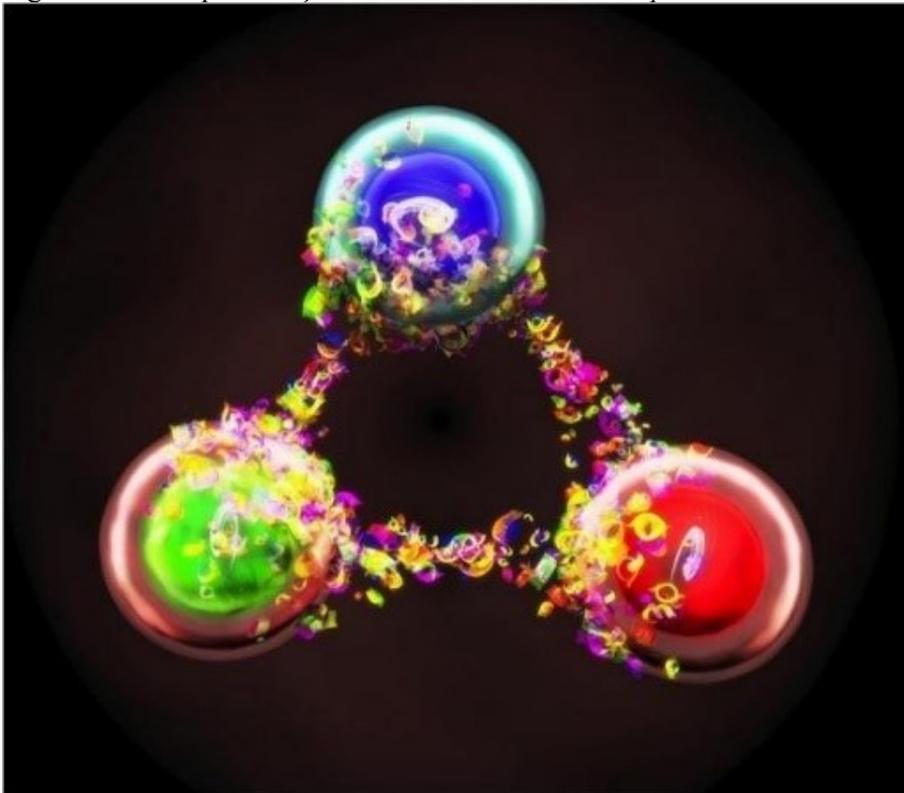
Figura 3.11 – Capa da revista CERN COURIER de 2015 exibindo as esferas e rastros.



Fonte: CERN COURIER (2015b).

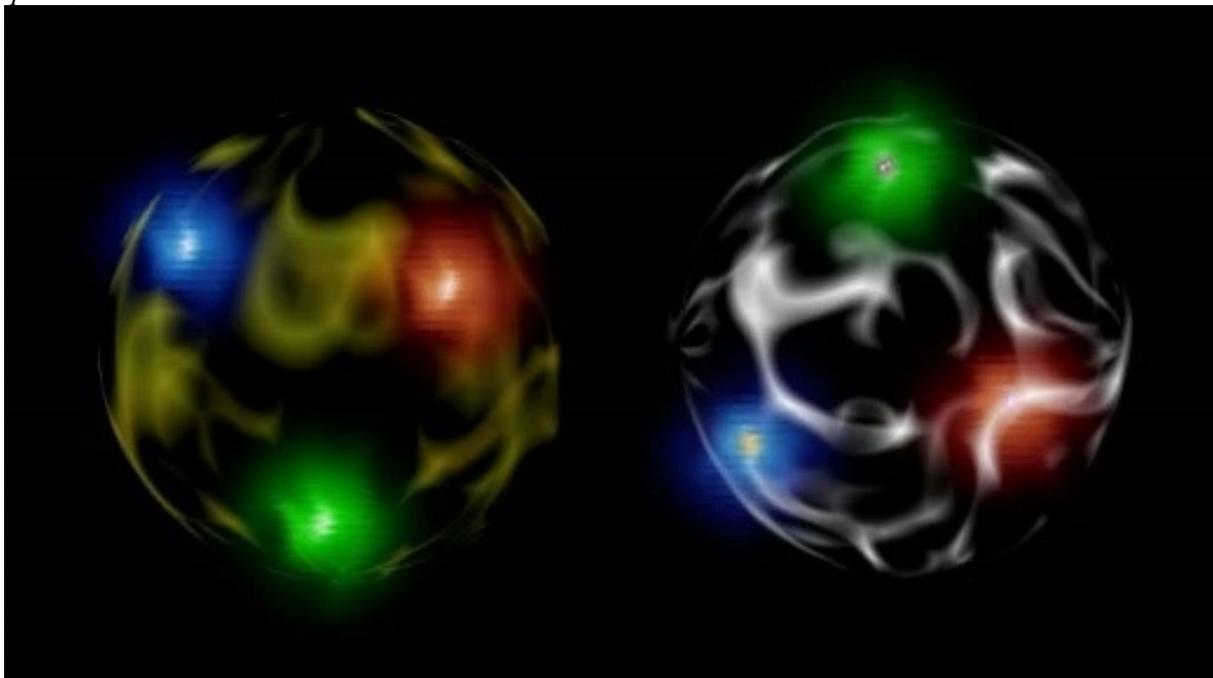
Mas nem todas as imagens representam as partículas exibindo rastros ou esferas. Algumas trazem formas geométricas esféricas junto com nuvens e efeitos de membranas coloridas ao redor dessas esferas, como mostram a Figura 3.12 e Figura 3.13. Ambas as figuras representam os *quarks* com cores vibrantes em azul, verde e vermelho. Na Figura 3.12, a membrana aparece apenas ao redor do que seriam os *quarks*. O espaço entre os *quarks* é preenchido por pequenos objetos que lembram pétalas de rosa de várias cores, representando os glúons. Já na Figura 3.13, as esferas coloridas que representariam os *quarks* possuem forma de nuvens esféricas. Entre essas nuvens, só é possível visualizar a membrana que reveste os três *quarks*: são membranas na cor amarela e branca. Essa imagem é a captura de um quadro de um vídeo, no qual as esferas coloridas se movimentam pelo espaço limitado da membrana branca e amarela. A nuvem ao redor das esferas coloridas e a membrana branca e amarela também se modificam e se movimentam. Essa forma de nuvem seria uma forma da imagem dialogar com a memória ondulatória do comportamento quântico das partículas?

Figura 3.12 – Representação de um hádrons com seus *quarks*.



Fonte: FRANCIS (th)e mule science's news (2012).

Figura 3.13 – Amostra de um quadro de um vídeo em que mostra a representação de hádrons e seus *quarks*.



Fonte: QUARKS | Standard Model Of Particle Physics (2009).

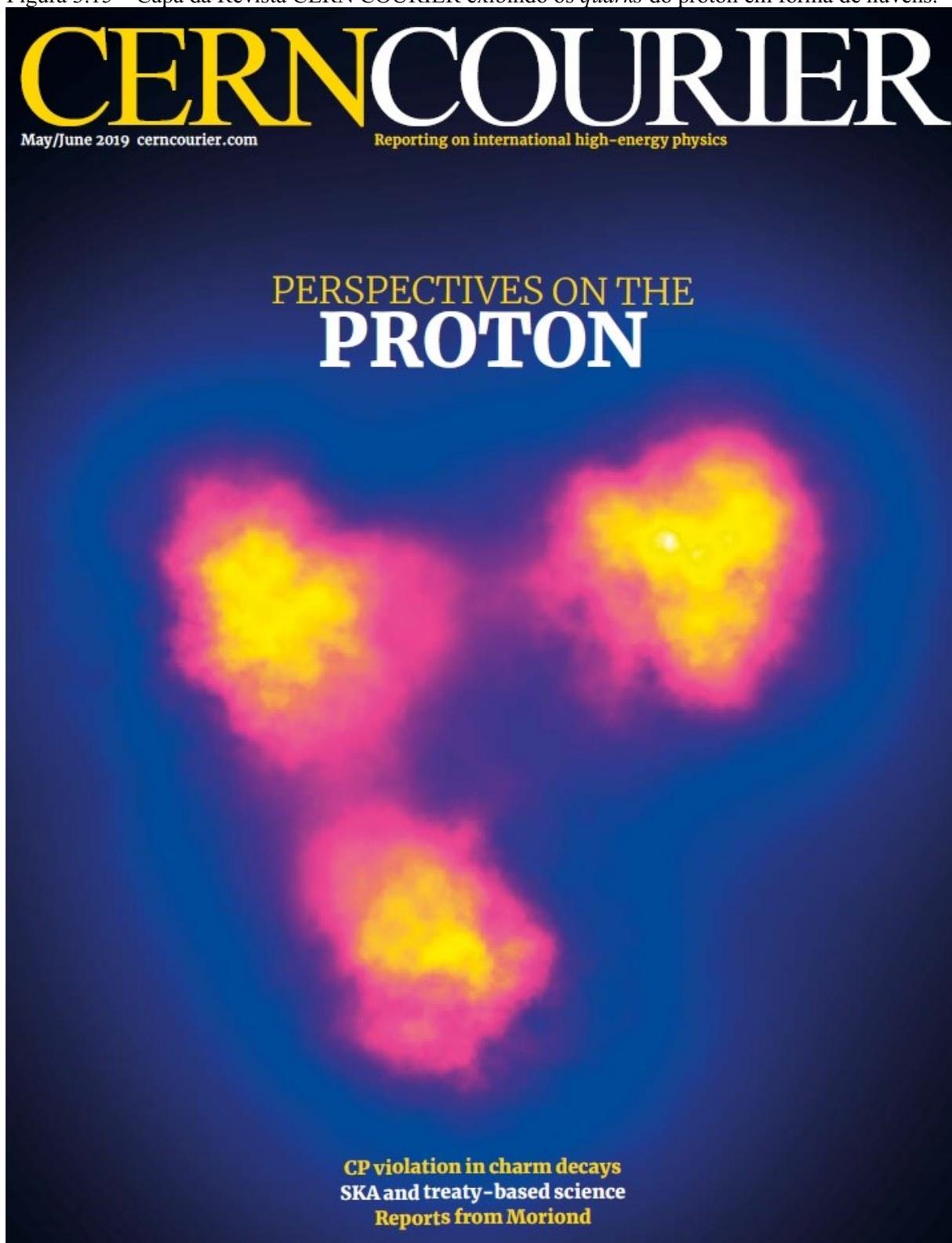
De toda forma, a memória de que as partículas também possuem comportamento ondulatório só aparece se esses efeitos gráficos estiverem presentes nas imagens. Analisemos, outra imagem (Figura 3.14), que mostram as partículas em forma de esferas gelatinosas, as superfícies dessas esferas se ligam como se fossem gotas de água se dividindo, ou células biológicas se dividindo. Elas são coloridas em três cores: azul, verde e vermelho; e estão envoltas de outra esfera gelatinosa de cor azul translucido. E mais recentemente, outra imagem (Figura 3.15) circulou em uma capa da revista CERN COURIER de 2019, em que o próton apareceu com seus três *quarks* também em forma de nuvem, lembrando mais labaredas de fogo ou nuvens de gás em combustão.

Figura 3.14 – Capa da revista CERN COURIER exibindo os *quarks* em formas de esferas gelatinosas.



Fonte: CERN COURIER (2013).

Figura 3.15 – Capa da Revista CERN COURIER exibindo os *quarks* do próton em forma de nuvens.



Fonte: CERN COURIER (2019).

Outra imagem (Figura 3.16), semelhante às imagens anteriores (Figura 3.12 e Figura 3.13), também exibe uma membrana, uma nuvem, dessa vez na cor roxa e ao redor de uma esfera central que representaria o Bóson de Higgs. A figura é uma imagem capturada de um vídeo. No vídeo, as palavras “Higgs Bóson” que aparecem no centro da esfera giram ao redor dessa esfera e a membrana mais externa também se movimenta, mas no sentido oposto às palavras. Semelhante à Figura 3.15, a Figura 3.17, extraída de uma cena do filme Anjos e Demônios (2009), exibe a antimatéria<sup>8</sup> em forma de nuvens que emitem luz no espectro do azul.

Figura 3.16 - Amostra de um quadro de um vídeo que traz a representação do bóson de Higgs.



Fonte: Fermilab (2012).

---

<sup>8</sup> Sinteticamente, antimatérias são compostas por antipartículas, cuja carga elétrica ou carga-cor é inversa às partículas. Por exemplo, o pósitron é a antipartícula do elétron, ambos possuem mesma massa de repouso e spin, mas como os elétrons têm carga elétrica negativa, os pósitrons possuem carga elétrica positiva. Já quando se trata de antipartículas compostas por quarks, a carga-cor dos quarks também é inversa. Além disso, quando antipartículas encontram partículas, ocorre o aniquilamento. É possível que seja produzido antipartículas em aceleradores de partículas.

Figura 3.17 – Cena do filme Anjos e demônios em que aparece a antimatéria.



Fonte: ANJOS e demônios (2009).

Ainda que a Figura 3.12, Figura 3.13 e Figura 3.16 tragam esferas, elas se diferenciam das imagens de “bolinhas”, ou pequenas esferas coloridas, pois as esferas não são lisas, pois elas possuem detalhes artísticos, iluminações diferentes, e efeitos de design gráfico. Elas trazem o elemento da nuvem, da membrana, que se relaciona com uma possível memória ondulatória da partícula. Ademais, é importante lembrarmos que, na Física Quântica, quando é solucionado as equações de Schrödinger<sup>9</sup> para o átomo de hidrogênio – composto por um elétron e por um núcleo de um próton –, determina-se uma função de onda  $\psi$  e uma energia  $E$  que descreverão a probabilidade de encontrar o elétron em determinada região. Região que comumente é chamada de eletrosfera, nuvem eletrônica ou nuvem de probabilidade<sup>10</sup>. Essa nuvem de probabilidade expõe uma característica quântica da partícula, a não localidade da partícula. Resultado que se relaciona com o princípio de incerteza, princípio que limita a precisão com que se pode determinar simultaneamente posição e velocidade (momento linear). Princípio, que de outras formas, impossibilita que sejam traçadas trajetórias para partículas. Mas essa nuvem de probabilidade, ao ser representada em imagem, dá forma ao elétron, pois o elétron se apresenta como uma esfera ao redor de um núcleo. Essa nuvem de probabilidade ao ser exibida em

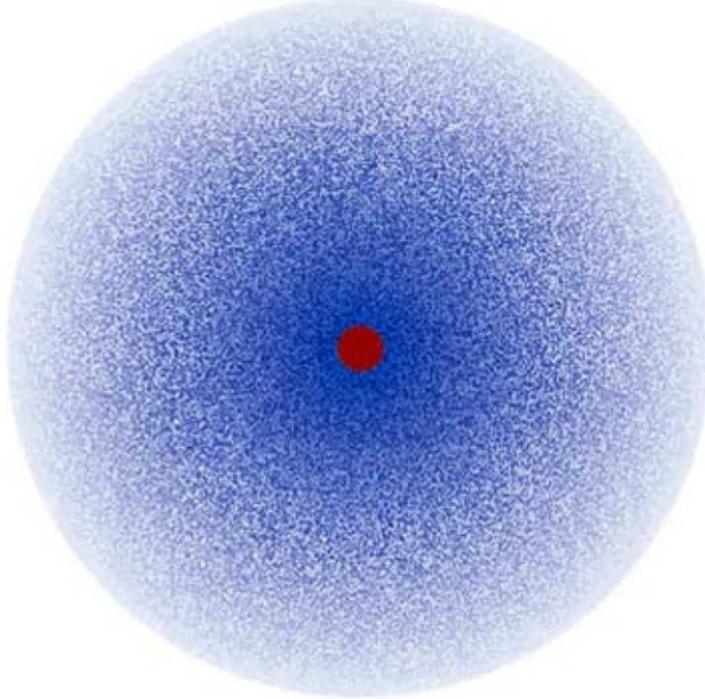
---

<sup>9</sup> Para essa situação, utiliza-se a equação de Schrödinger independente do tempo em três dimensões. As equações de Schrödinger são equações diferencial parcial.

<sup>10</sup> Essa nuvem de probabilidade é tomada como ideia central para outro modelo atômico, chamado de “modelo de Schrödinger”.

imagem, não se trata de características ondulatória da partícula, mas outro aspecto da física quântica, a incerteza. Entretanto, as nuvens de probabilidades são em geral homogêneas: como podemos ver na Figura 3.18, a densidade de pontos na imagem aumenta de forma homogênea até o centro, e em algumas imagens (Figura 3.13, Figura 3.15, Figura 3.16, Figura 3.17) que trouxemos, as nuvens não eram homogêneas, o que nos leva a concluir que essa não homogeneidade pode estar relacionada a memória ondulatória.

Figura 3.18 – Eletrosfera de um átomo de hidrogênio.

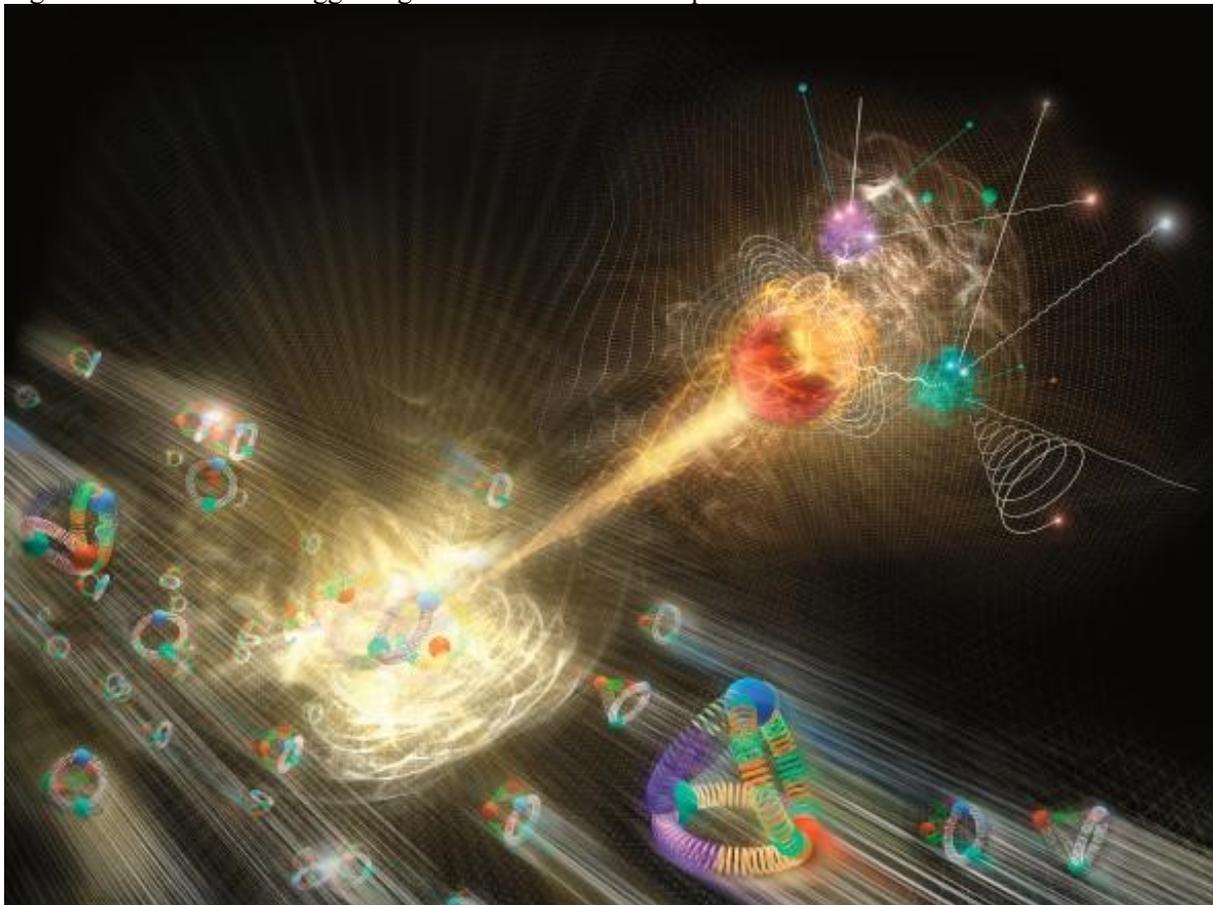


Fonte: Infopédia (entre 2003 e 2019).

Outra imagem (Figura 3.19) exibe características semelhantes às últimas quatro imagens: fundo preto; partículas em forma de nuvem esférica; rastros de partículas; e partículas com trajetórias lineares e curvas. Mas são acrescentados de elementos que não existem nas outras imagens, como os rastros brilhantes que os objetos da parte inferior da imagem deixam. São rastros desfocados e com cores brilhantes. Esse elemento brilhante e desfocado produz a sensação de emissão de luz, produzindo o efeito de que dali emana alguma forma de energia. Esse efeito aparece também na capa da revista CERN COURIER de 2015 (Figura 3.20). Ainda na Figura 3.19, surgem alguns objetos em forma de molas, entre as nuvens esféricas de

partículas, lembrando outras imagens em que essas molas são partículas, glúons que ligam os *quarks*<sup>11</sup>, como por exemplo a Figura 3.21, capa da revista CERN COURIER de 2018.

Figura 3.19 - Bóson de Higgs surgindo de uma colisão de prótons.

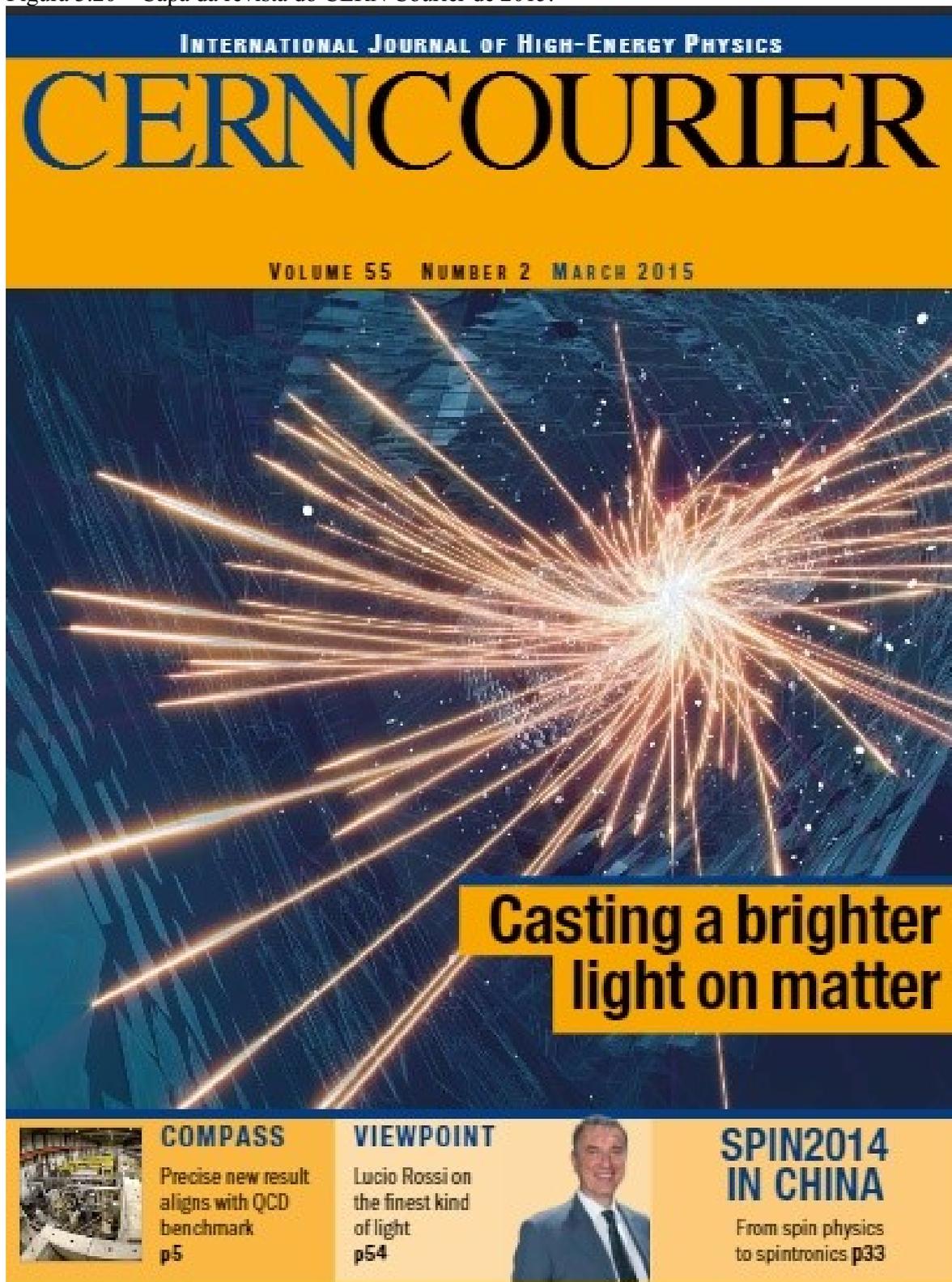


Fonte: Moonrunner design ltd. (2012).

---

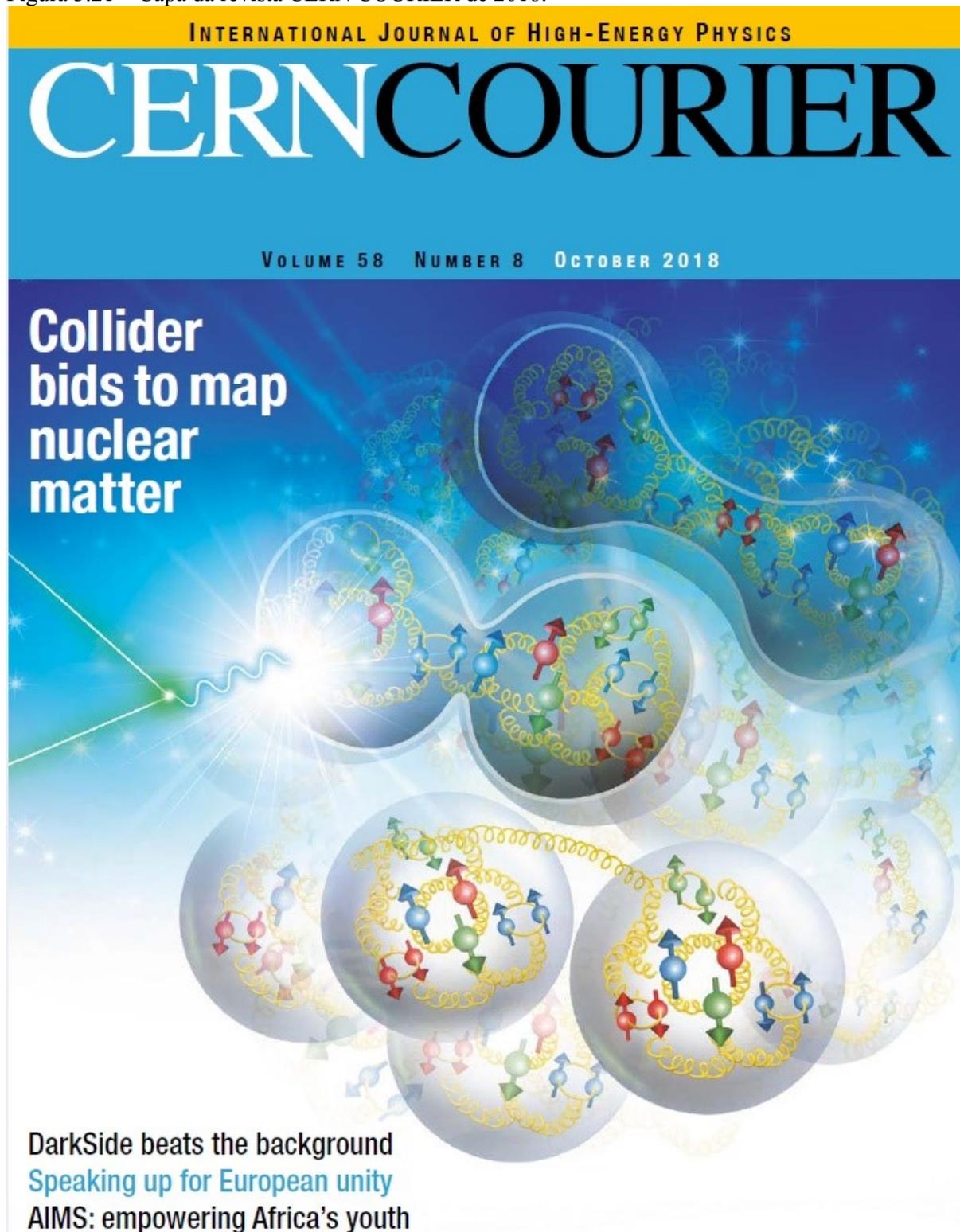
<sup>11</sup> Comumente se utilizam molas para representar os glúons. Usam-se molas, pois é mobilizado a memória dos diagramas de Feynman, que discutimos na seção 2.4, em que molas, na QCD, são usadas para representar o grupo de simetria associado às interações fortes, aos glúons.

Figura 3.20 – Capa da revista do CERN Courier de 2015.



Fonte: CERN Courier (2015a).

Figura 3.21 – Capa da revista CERN COURIER de 2018.



Fonte: CERN COURIER (2018).

Mas como identificar a qual partícula a imagem está se referindo? Quais artifícios são utilizados para identificar as partículas nas imagens? Primeiro, é preciso retomar que as imagens não possuem um sentido único, universal. A relação da imagem com seu referente no mundo não se dá por um caminho singular, ímpar. Essa relação acontece por meio da rede de memórias em que a imagem está estabelecida. Segundo, a imagem, enquanto formulação produzida socialmente, culturalmente e historicamente, surge como um dispositivo, circula e se materializa por meio de regras estabelecidas por instituições.

Esses aspectos das imagens nos levou a identificar em nossas análises que, na maioria dos casos, usam-se formulações textuais para que se reconheça nas imagens quais partículas aparecem. Esse reconhecimento surge por meio de práticas específicas, como o uso de: legendas, ao redor das imagens; textos que mencionam a imagem; palavras inseridas perto das partículas; letras inseridas nas imagens, em geral letras gregas que comumente são usadas para diferenciar entre os hádrons e mésons; e combinações entre números inseridos, ao mesmo tempo, nas imagens e legenda.

### 3.3 O PAPEL DO TEXTO E DA LEGENDA NA LEITURA DAS IMAGENS

A legenda é um elemento da prática discursiva, inerente às imagens que analisamos. A prática de olhar para as imagens inclui ler a legenda, inclusive pode causar desconforto quando encontrarmos imagens em “textos científicos”, textos acadêmicos, que não possuam legendas. Esse desconforto só acontece porque a legenda está institucionalizada enquanto regra de exibição de imagem. Até mesmo em textos que circulam fora de revistas científicas, a legenda está presente. Como se sabe, as legendas, na maioria delas, ficam abaixo das imagens, ou no topo das imagens. Por vezes, as legendas recebem um número, ou índice, para que possam ser mencionadas no texto. Nessa seção analisamos o funcionamento das legendas, afim de entendermos outro elemento da circulação das imagens de partículas na sociedade.

Nessa prática de observar as imagens, o que temos percebido é que a legenda modifica o olhar, muda o modo de ver, fazendo com que um simples olhar se torne uma incessante procura por características materiais na imagem que sejam minimamente condizente com algum elemento da formulação da legenda. Ou seja, se a legenda escrever “Imagem de um elétron”, a prática do olhar para imagem será a procura desse “elétron”. Dessa forma, se por um lado olhar para a imagem mobiliza as memórias que estão ligadas às reminiscências pessoais, por outro

lado, ler a legenda antes de olhar a imagem faz trabalhar muito mais as memórias coletivas. Isso reforça mais ainda o caráter institucional de controlar a dispersão da imagem por meio da legenda.

De toda forma, ainda é possível identificar modos distintos da legenda no processo de leitura de imagens, na prática discursiva que envolve a imagem enquanto enunciado. Mediante análise das imagens sobre partículas elementares e suas legendas, pudemos identificar cinco modos<sup>12</sup> distintos de legendas: 1) Explicativas e/ou indicativas; 2) Descritiva e não explicativa; 3) Com afirmações sem relação direta com a imagem; 4) Com informação da origem da imagem; 5) Com dados experimentais. São modos diferentes de legendas que alteram o processo de leitura de imagem de forma diferente.

As legendas que são *explicativas e/ou indicativas* apresentam explicações longas e detalhadas. Por exemplo, a Figura 2.20 de um artigo científico (CERN COURIER, 1962, p. 5, tradução nossa) apresenta a seguinte legenda:

Os antiprótons, produzidos por meio do acelerador Proton-Synchrotron de 28 GeV do CERN e aparelhos associados, chegam com momentos de 3 GeV / c e passam a alta velocidade através do hidrogênio líquido da câmara de bolha de 81 cm. Um desses antiprótons (1) é visto viajar 20 cm na câmara, e depois colidem em (2) com um núcleo de hidrogênio (um próton), resultando em aniquilação mútua. A massa do próton e a massa e energia cinética do antipróton dando origem a duas partículas pesadas, xi-hiperons: um xi negativo (3) e sua antipartícula (4), que é um antioxidante carregado positivamente. É a última partícula que torna esta foto tão excepcional, porque esta é a sua primeira aparição, embora tenha sido prevista teoricamente alguns anos atrás. Como todos os hiperônios, o antixi se desintegra rapidamente: em (5), após cerca de  $10^{-10}$  segundos (um dez milésimo de milhão de segundo), ele produz uma "cascata" de outras partículas.

Primeiro dá um pión positivo (6) e um antilambda zero (7). Esta última é uma partícula neutra que não faz pista no hidrogênio líquido; é assim mostrado por uma linha pontilhada no diagrama. Desintegra-se, por sua vez, em (8), produzindo um antipróton (9) e outro pión positivo (10). O outro produto da colisão inicial em (2), o negativo xi (3), se desintegra em (11) em um pión negativo e um lambda zero, outra partícula neutra que não deixa nenhuma pista [linha pontilhada (13)]. O destino deste lambda zero é desconhecido. Possivelmente, ele escapa da câmara e se desintegra no exterior. Existe também a possibilidade de que se desintegra dentro da câmara, mas produz duas partículas neutras sem pistas: um neutro e um pión neutro. O evento

---

<sup>12</sup> Embora sejam modos distintos de legendas com características distintas, algumas dessas características podem surgir concomitantemente.

indicado em (14) é devido à aniquilação de outro antipróton acidente, e não tem nada a ver com a reação principal de interesse.<sup>13</sup>

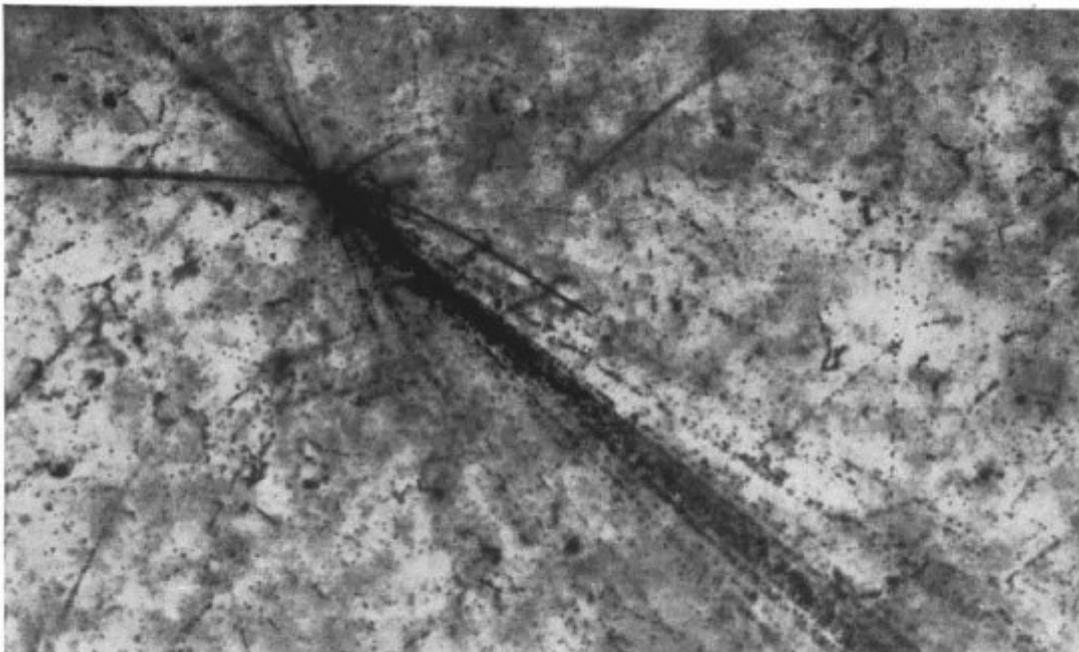
Consideramos que essa é uma legenda *explicativa e/ou indicativa*, pois explica minuciosamente cada pedaço da imagem. Cria-se uma prática específica de observação da imagem, transformando os modos de ver, por exemplo, como os números estão inseridos na imagem, a cada número lido na explicação da legenda se retorna para a imagem, na função de conferir o que foi lido. Ou seja, número a número que vai sendo mencionado na legenda é momento propício para retornar à imagem e conferir. Evidentemente, esse movimento não é único, embora seja o mais provável, outra prática possível seria iniciar a leitura pela imagem fazendo o caminho inverso, observando a imagem e depois procurando na legenda o número correspondente.

Tal como a legenda anterior, a legenda da Figura 3.22 (parte superior da figura), também traz uma explicação e indicativos do que podemos observar na imagem.

---

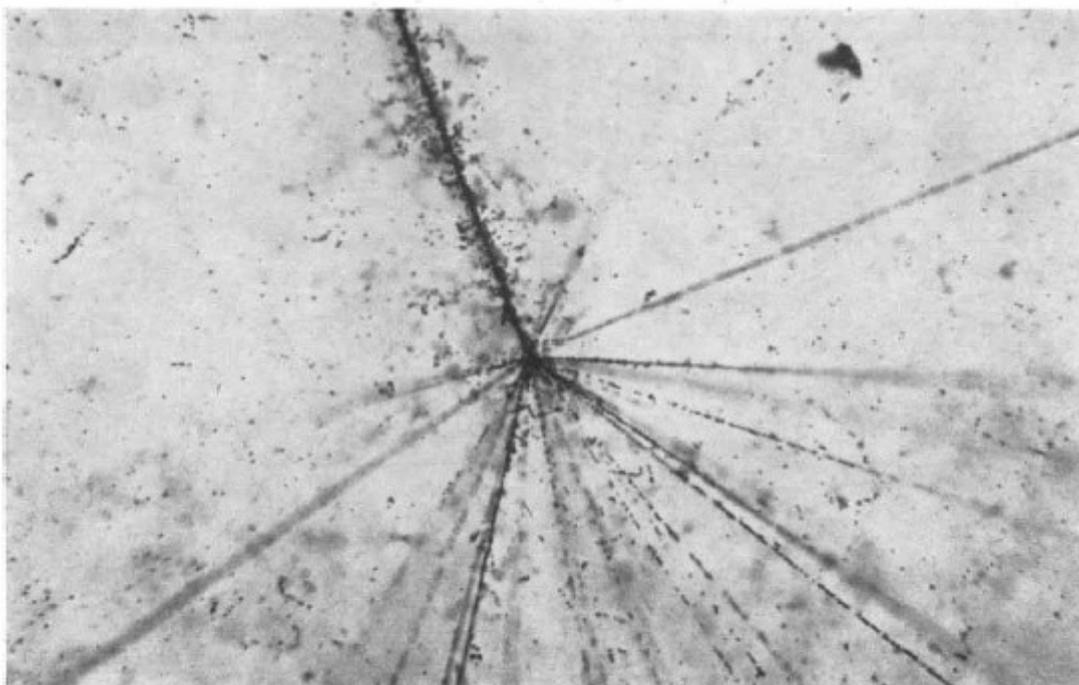
<sup>13</sup> “Antiprotons, produced by means of CERN's 28 GeV proton-synchrotron accelerator and associated apparatus, arrive with momenta of 3 GeV/c and pass at high speed through the liquid hydrogen of the 81-cm bubble chamber. One of these antiprotons (1) is seen to travel 20 cm in the chamber, and then collide at (2) with a hydrogen nucleus (a proton), resulting in mutual annihilation. The mass of the proton and the mass and kinetic energy of the antiproton give birth to two heavy particles, xi-hyperons : a negative xi (3) and its antiparticle (4), which is a positively charged antixi. It is the latter particle which makes this photo so exceptional, because this is its first appearance, although it was predicted theoretically some years ago. Like all hyperons, the antixi quickly disintegrates : at (5), after about 10<sup>-10</sup> second (one ten-thousandth of a millionth of a second), it gives rise to a 'cascade' of other particles. First it gives a positive pion (6) and an antilambda zero (7). This latter is a neutral particle which forms no track in the liquid hydrogen ; it is thus shown by a dotted line on the diagram. It disintegrates in its turn, at (8), producing an antiproton (9) and another positive pion (10). The other product of the initial collision at (2), the negative xi (3), itself disintegrates at (11) into a negative pion and a lambda zero, another neutral particle leaving no track [dotted line (13)]. The fate of this lambda zero is unknown. Possibly it escapes from the chamber and disintegrates outside. There is also the possibility that it disintegrates inside the chamber, but produces two neutral particles with no tracks: a neutron and a neutral pion. The event indicated at (14) is due to the annihilation of another incident antiproton, and has nothing to do with the main reaction of interest.” (CERN COURIER, 1962, p. 5).

Figura 3.22 – Imagens de emulsão fotográfica usadas na revista Scientific American.



**COSMIC PARTICLE** caused this tiny explosion revealed by a photomicrograph of a photographic emulsion especially prepared to record nuclear events. An exceptionally energetic helium nucleus

struck a heavier nucleus in the emulsion, giving rise to the jet of mesons going off to the lower right. These photographs were provided by Herman Yagoda of the National Institutes of Health.



**PRIMARY COSMIC PARTICLE** entered this emulsion from the upper left and shattered a nucleus into about 40 nucleons and mesons. Some of the particles went off at large angles to the plane of

the emulsion, and hence are not visible. The nuclear charge of the primary was about 20, that of calcium. The event was recorded during the flight of an unmanned balloon from Pyote, Texas.

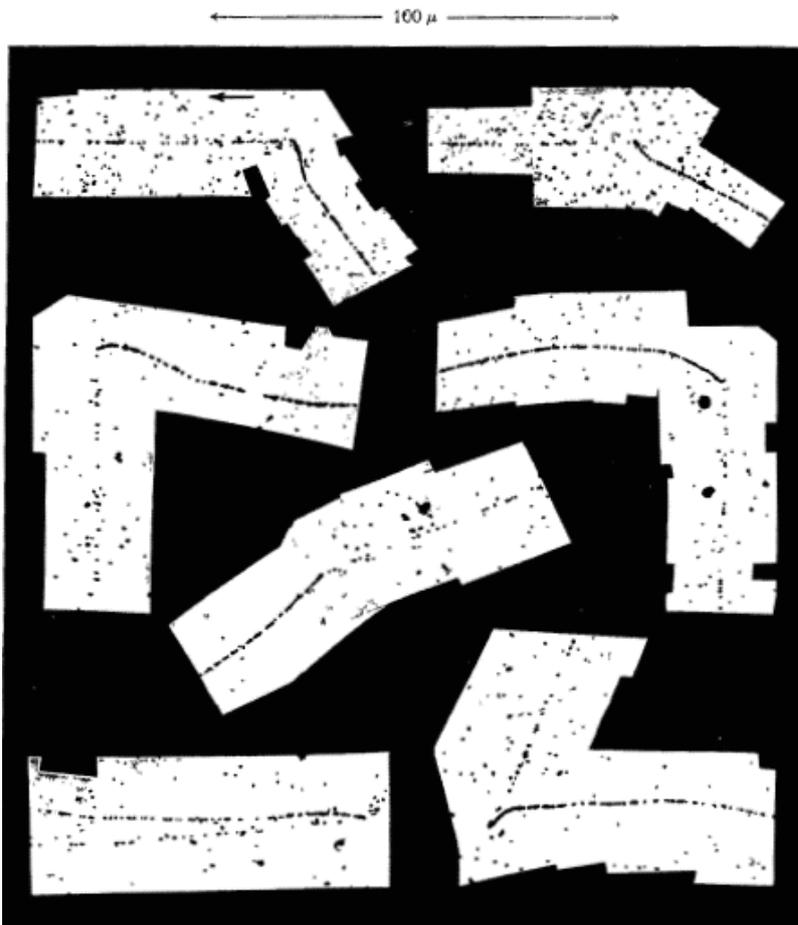
Fonte: Rossi (1953, p. 65).

Nesse caso, a legenda dizia o seguinte:

A partícula cósmica causou essa pequena explosão revelada por uma microfotografia de emulsão fotográfica especialmente preparada para registrar eventos nucleares. O núcleo excepcionalmente energético de hélio atingiu um núcleo mais pesado na emulsão, dando origem ao jato, de mésons indo para a parte inferior direita. Essas fotografias foram fornecidas por Herman Yagoda do Instituto Nacional de Saúde. (ROSSI, 1953, p. 65, tradução nossa).<sup>14</sup>

Por outro lado, existem legendas que consideramos *descritivas e não explicativas*, ou seja, elas descrevem a imagem, sem usar muitos detalhes presentes na imagem, são sintéticas. O controle que esse modo de legenda exerce sobre a imagem é menor se comparado com as legendas que consideramos *explicativas e/ou indicativas*, permitindo assim que mais memórias externas à imagem sejam mobilizadas na leitura das imagens. Encontramos essas características na Figura 3.23, extraída de um artigo científico de 1948.

Figura 3.23 – Amostras de emulsão nuclear.



Fonte: Lattes; Occhialini; Powell (1948, p. 173).

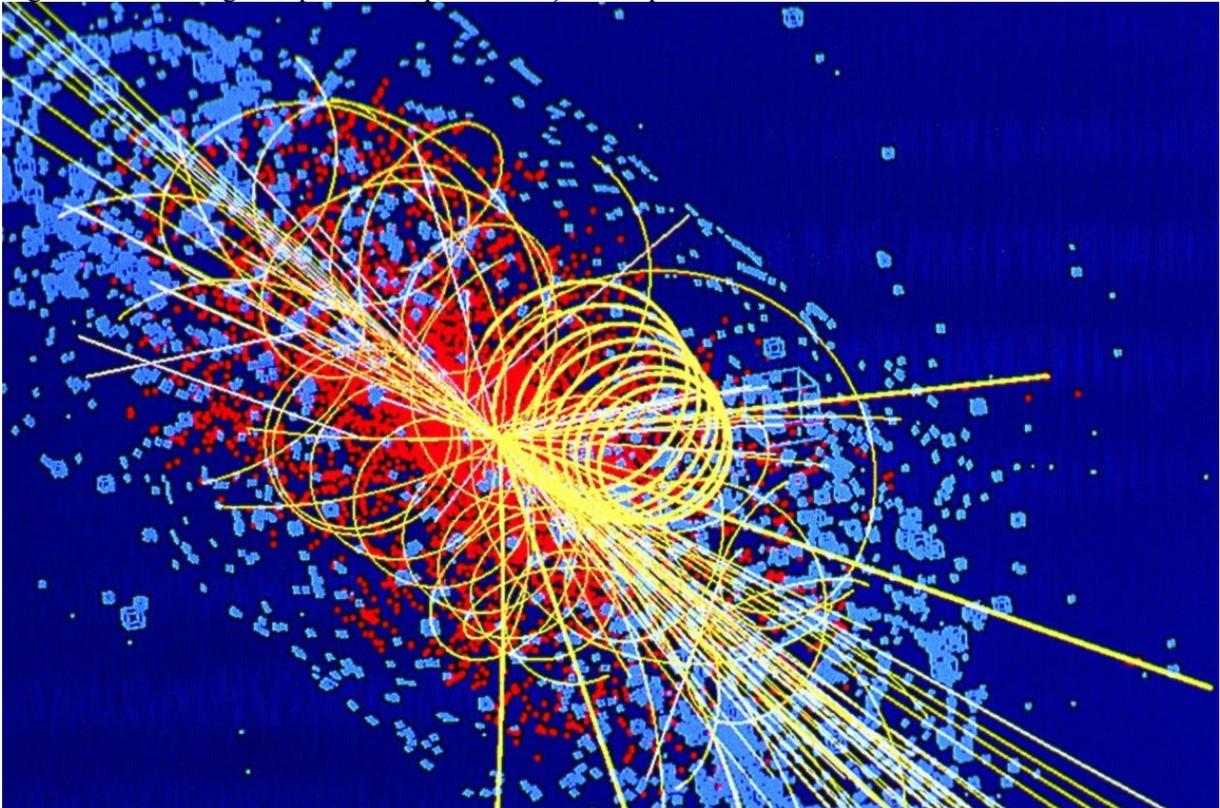
<sup>14</sup> “COSMIC PARTICLE caused this tiny explosion revealed by a photomicrograph of a photographic emulsion especially prepared to record nuclear events. An exceptionally energetic helium nucleus struck a heavier nucleus in the emulsion, giving rise to the jet of mesons going off to the lower right. These photographs were provided by Herman Yagoda of the National Institutes of Health.” (ROSSI, 1953, p. 65).

A legenda dizia:

Sete exemplos de foto-micrografias do decaimento de  $\pi$ -mesons, demonstrando que a direção do movimento do  $\mu$ -meson passa dentro de  $1\mu$  do último grão no rastro do  $\pi$ -meson. (LATTES; OCCHIALINI; POWELL, 1948, p. 173, tradução nossa).<sup>15</sup>

Outra legenda em que observamos esse aspecto, pertence à Figura 3.24, extraída do *site* institucional do CERN. *Site* que existem várias divulgações sobre o andamento das pesquisas. Essa imagem também circulou na rede de *internet* por meio de publicações em redes sociais, blogs e *sites* de notícias.

Figura 3.24 – Fotografia produzida por simulação computacional.



Fonte: Aylor (2013?).

Nessa imagem (Figura 3.24), a legenda menciona apenas a sua origem e sinteticamente o que ela demonstraria: “Simulação computacional de traços de partículas de uma colisão do

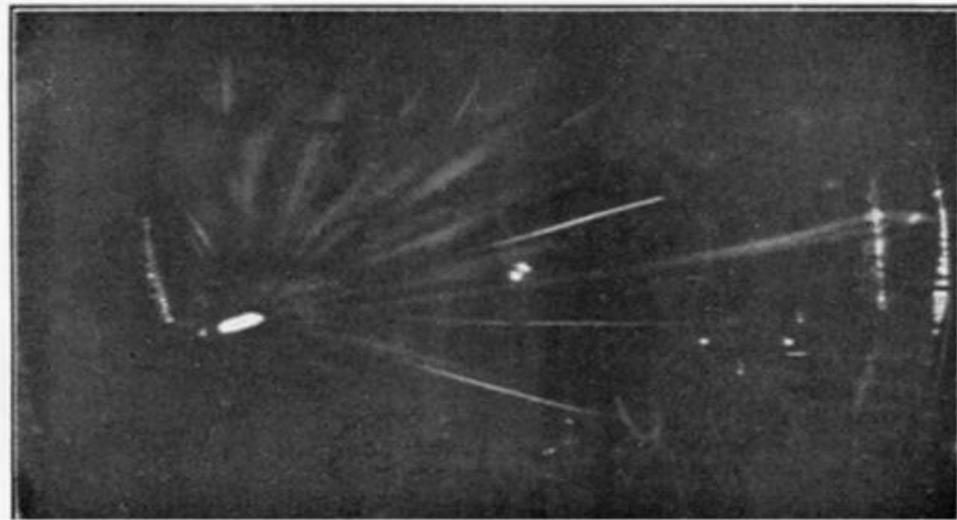
---

<sup>15</sup> “Seven examples of photo-micrographs of the decay of  $w$ -mesons, showing that the direction of motion of the  $p$ -meson passes within  $1\mu$  of the last grain in the track of the  $w$ -meson.” (LATTES; OCCHIALINI; POWELL, 1948, p. 173).

LHC em que um Bóson de Higgs é produzido. (c) CERN. Crédito da imagem: Lucas Taylor” (AYLOR, 2013?).

O mesmo acontece com a Figura 3.25, a legenda é descritiva, mas não explica os elementos que aparecem na imagem, a legenda diz “Nuvem formada em Íons devido ao raio  $\alpha$ .” (WILSON, 1911). Como também ocorre na Figura 3.26, em que a legenda diz “Rastros de partículas registradas no escâner de uma câmara de bolhas” (PIETROCOLA et al., 2016, p. 257).

Figura 3.25 – Fotografia produzida por uma câmara de Wilson.



Fonte: Wilson (1911).

Figura 3.26 – Amostra de imagens de câmara de bolhas extraída de um livro didático.



Kevin Fleming/Corbis/Fotoarena

Fonte: Pietrocola et al. (2016, p. 257).

Um modo diferente de legenda que observamos são as que usam de formulações em que fazem afirmações sem relação direta com a imagem. Encontramos esse modo de legenda em *sites* de notícias divulgados na rede de *internet* e nas redes sociais. A prática de observação da imagem em que se lê a legenda para depois olhar para a imagem, é interrompido por uma formulação sem relação direta com a imagem. Por exemplo, a Figura 3.27 traz a legenda com a seguinte formulação:

Físicos já demonstraram que há influências escondidas além do espaço-tempo, em dimensões não capturadas pelas teorias atuais. [Imagem: Timothy Yeo/CQT/National University of Singapore]. (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2013).

Figura 3.27 – Imagem extraída de uma notícia da *internet*.



Fonte: INOVAÇÃO Tecnológica (2013).

A legenda dessa imagem é uma formulação que não menciona nenhum aspecto da imagem, deslocando o uso comum da legenda que apontamos até aqui. Mas é importante notarmos que os lugares que essa legenda aparece (como *sites* de divulgação científica) difere

dos lugares que as legendas *explicativas e/ou indicativas e descritiva e não explicativa*, isto é, este tipo de legenda não aparece em artigos científicos, em revistas científicas.

Outro modo de legenda traz apenas a *informação da origem da imagem*. A legenda da imagem que vimos anteriormente (Figura 3.22) faz isso, mencionando que “Essas fotografias foram fornecidas por Herman Yagoda do Instituto Nacional de Saúde.” (ROSSI, 1953, p. 65, tradução nossa). Ou esse outro trecho da legenda da Figura 3.22 que diz “O evento foi gravado durante o vôo de um balão não tripulado de Pyote, Texas.” (ROSSI, 1953, p. 65, tradução nossa). Algumas legendas vão trazer apenas essa informação da origem, outras são complementadas com essa informação. Essa prática é utilizada principalmente por imagens que são infográficos ou gráficos.

Por último, um modo de legenda que aparece muito nos artigos científicos da área da Física de Partículas é a que traz *dados experimentais*, como a Figura 2.1, em que a legenda fornece cinco dados experimentais:

Ionização por raios  $\alpha$  e  $\beta$ . A fonte dos raios está a direita da imagem. Eixo da câmara horizontal. [...]  
 Raio  $\alpha$  e  $\beta$  de radio.  
 $\rho_1 = 0,98$  ,  $v_2/v_1 = 1,33$  ,  $\rho_2 = 0,74$  ,  $V = 30$  volts ,  $M = 6,0$  .  
 (WILSON, 1912, p. 291, tradução nossa).<sup>16</sup>

Além das legendas, o texto também apresenta essas características que trouxemos aqui, ou seja, essas várias relações da legenda com a imagem também surgem nos textos que antecedem a imagem, ou textos posteriores à imagem. Esse mesmo recurso é utilizado nessa tese, em que em vários momentos chamamos as imagens, citando-as para que seja construído significações junto ao texto. Os lugares por onde as imagens de partículas elementares circularam usam dessas práticas, pois esses mecanismos fazem parte das regras de constituição de enunciados que a nossa sociedade possui.

Além disso, identificamos que as publicações científicas em que as imagens de experimentos são reportadas, as imagens se tornam material empírico e surgem formulações em forma de texto verbal. São formulações que citam essas imagens, conectando fenômenos à objetos da física, produzindo significados sobre o que estava sendo exibido na imagem, tornando a imagem quase um texto verbal. Nos vários textos que analisamos, são comuns formulações que indicam que as imagens estão “mostrando”, ou que elas “mostram” ou que

---

<sup>16</sup> “Ionisation by  $\alpha$ - and  $\beta$ -rays. The source of the rays is on the right of the picture. Axis of camera horizontal [...]” (WILSON, 1912, p. 291).

são “mostrados”. Ao longo dos artigos, se constroem diversas relações do que é dito e do que aparece na imagem, nos trechos a seguir podemos observar algumas dessa relação:

Algumas fotografias de traços de raios  $\beta$  foram obtidas juntamente com as de raios  $\alpha$  no decorrer dos experimentos (...) Fig. 2 **mostra** o resultado da passagem de um feixe estreito de raios  $\gamma$  através da câmara de nuvens; os traços, neste caso, **são, sem dúvida**, os de partículas  $\beta$  que começam nas paredes do recipiente. (WILSON, 1911, p. 285, tradução nossa, grifo nosso).<sup>17</sup>

Fig. 1 é uma reprodução de um mosaico de fotomicrografia que **mostra** que uma partícula  $m_1$  chegou ao fim de sua faixa na emulsão. Os frequentes pontos de dispersão e a rápida mudança da densidade de grãos em direção ao final do intervalo **mostram** que a trilha foi produzida por um méson. **Será visto** da figura que a pista de uma segunda partícula,  $m_2$ , começa no ponto onde a primeira termina, e que a segunda faixa também tem todas as características de uma partícula de pequena massa. (LATTES et al., 1947, p. 695, tradução nossa, grifo nosso).<sup>18</sup>

Fotografias recentes de Anderson, Adams, Lloyd e Rau (1947) **mostram** que os mésons do raio cósmico trouxeram para descansar no gás de uma câmara decomposta com a emissão de um elétron de energia 25 Mev. (LATTES; OCCHIALINI; POWELL, 1948, p. 180, tradução nossa, grifo nosso).<sup>19</sup>

A legenda e o texto têm as suas funções na prática discursiva de leitura de imagem de partículas, assim como as legendas e as notas em galerias de artes têm suas funções, ficam próximas as obras de artes, trazem alguma informação, acrescentam alguma referência, modificam a prática da observação, transformam a prática do olhar. Contudo, não apenas as legendas e textos podem transformar o olhar, a forma como as imagens circulam e os espaços por onde circulam também modificam a prática discursiva.

### 3.4 OS ESPAÇOS MODERNOS DE CIRCULAÇÃO: A IMAGEM QUE NÃO SE CALA

---

<sup>17</sup> “Some photographs of  $\beta$ -ray trails were obtained along with those of the  $\alpha$ -rays in the course of the experiments last described. Figs. 1, 3, and 4 of Plate 7 were obtained in this way; fig. 2 shows the result of passing a narrow beam of  $\gamma$ -rays through the cloud chamber; the tracks in this case are doubtless those of  $\beta$ -particles starting in the walls of the vessel.” (WILSON, 1911, p. 285).

<sup>18</sup> “Fig. 1 is a reproduction of a mosaic of photomicrographs; which shows that a particle,  $m_1$ , has come to the end of its range in the emulsion. The frequent points of scattering and the rapid change of grain-density towards the end of the range show that the track was produced by a meson. It will be seen from the figure that the track of a second particle,  $m_2$ , starts from the point where the first one ends, and that the second track also has all the characteristics of that of a particle of small mass.” (LATTES; OCCHIALINI; POWELL, 1947, p. 695).

<sup>19</sup> “Recent photographs by Anderson, Adams, Lloyd and Rau (1947) show that the cosmic-ray mesons brought to rest in the gas of an expansion chamber decay with the emission of an electron of energy 25 Mev.” (LATTES; OCCHIALINI; POWELL, 1948, p. 180).

A maioria das imagens (Figura 3.8, Figura 3.9, Figura 3.10, Figura 3.12, Figura 3.13, Figura 3.16, Figura 3.19, Figura 3.20, Figura 3.24, Figura 3.27) que mencionamos até aqui surgiram em um cenário de circulação bastante complexo, em que os textos, ou notícias, foram publicadas quase simultaneamente às produções científicas, por meio da grande rede de *internet* (blogs, sites, redes sociais). Os jornais impressos e televisivos que publicam sobre ciências frequentemente disponibilizam colunas para comunicar as produções científicas, e fazem o mesmo nos seus *sites online* na *internet*. As revistas também utilizam essa prática. Além de publicarem impressas as notícias sobre a ciência, elas disponibilizam colunas *online*, o que facilita a reprodutibilidade, o compartilhamento e a transformação das imagens. Cada jornal, revista e *site* tem um discurso sobre a produção científica. As materialidades desses enunciados também possuem formas diferentes, por vezes são: textos, infográficos, imagens, animações ou vídeos. Não é difícil observarmos que os espaços sociais, seja a mídia, os livros, os museus ou os filmes, são repletos de discursos científicos. A forma e rapidez com que essas notícias *online* se propagam são características complexas e próprias da *internet*, que se diferenciam muito de outras formas de circulação, são espaços modernos e complexos que fazem as narrativas se transformarem rapidamente. As notícias não ficam apenas nos grandes jornais e revistas, elas entram nas redes sociais e são reproduzidas, são ressignificadas, produzindo novos enunciados através de diferentes materialidades. Por sua vez, as materialidades também são modificadas, onde era texto se transforma em imagem, ou infográfico se transforma em texto, ou vídeo se transforma em animação e vice-versa. Contexto esse que é muito diferente das décadas de 1950 a 1980, período das imagens que analisamos na seção 2.3, por exemplo.

Observamos que as imagens que atualmente circulam, carregam memórias das imagens das câmaras de nuvens, câmara de bolhas e emulsões nucleares que circulavam antes de 1980. A partir dessas memórias, podemos afirmar que, de alguma forma, essas imagens são reguladas mediante um conjunto de imagens de décadas passadas, gerando um determinado campo de regularidade e memória que evidenciamos nessa análise. Por exemplo, os jatos de partículas que foram observados em câmaras de nuvens, câmara de bolhas e emulsões nucleares são memórias que sobreviveram na imagem que foi produzida atualmente e exibida pela revista CERN Courier de 2015 (Figura 3.20). A capa exibe um jato de partículas tridimensional em cores vibrantes, com o centro do jato mais iluminado que os outros traços. O título da notícia

diz: “Lançando uma luz brilhante sobre a matéria”<sup>20</sup> (CERN COURIER, 2015a, tradução nossa).

Usando outra prática discursiva, a página do CERN na rede social *Facebook* trouxe a imagem de uma câmara de bolha e pergunta a seus seguidores: “Adivinha o que é isto?”<sup>21</sup> (Figura 3.28). Durante o período de três dias, seus seguidores puderam interagir *online* por meio dos recursos de “comentário” e “curtidas”, disponibilizados pela rede social. Após esse período de três dias, foi publicada a resposta, conforme mostra a Figura 3.29.

Figura 3.28 – Recorte de uma publicação no Facebook da página do CERN no dia 6 de abril de 2018.

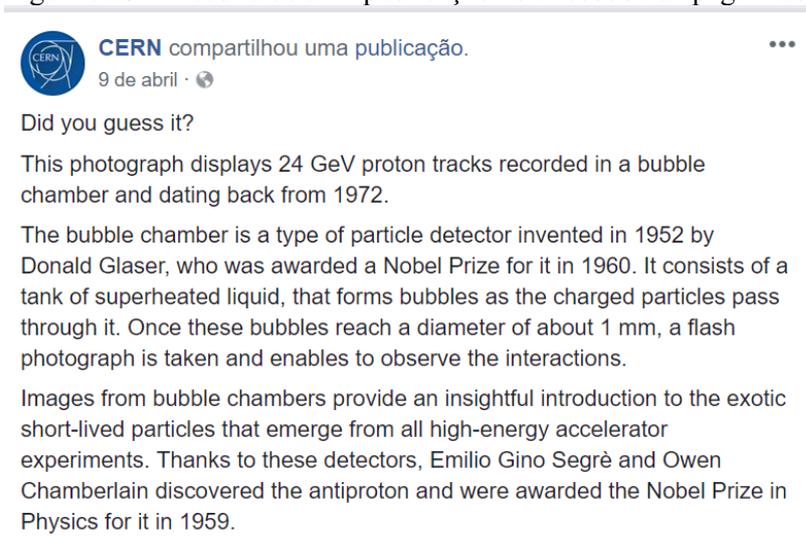


Fonte: CERN (2018).

<sup>20</sup> “Casting a brighter light on matter” (CERN COURIER, 2015a).

<sup>21</sup> Tradução automática da própria rede social (Facebook).

Figura 3.29 – Recorte de uma publicação no Facebook da página do CERN no dia 9 de abril de 2018.



Fonte: CERN (2018).

A publicação no *Facebook* do dia 9 de abril, que também foi publicada em forma de comentário na publicação do dia 6 de abril, dizia o seguinte:

- Adivinhou o que é isso?

Esta fotografia mostra 24 GeV rastro de prótons gravadas em uma Câmara de Bolhas e datando de 1972.

A Câmara de bolhas é um tipo de detector de partículas inventado em 1952 por Donald Glaser, que foi premiado com um prêmio Nobel para ele em 1960. É composto por um tanque de líquido superaquecida, que formam bolhas quando as partículas carregadas passam através dela. Uma vez que estas bolhas atinjam um diâmetro de cerca de 1 MM, uma fotografia flash é tomada e permite observar as interações.

Imagens das câmaras de bolhas fornecem uma introdução perspicaz às partículas exóticas de curta-vida que emergem de todas as experiências de acelerador de alta energia. Graças a estes detectores, Emilio Gino Segrè e Owen Chamberlain descobriram os antipróton e foram laureados com o Nobel de física em 1959. (...) <sup>22</sup>

Outra publicação na mesma rede social, feita pela página do CERN em 2015, exibiu uma imagem da câmara de bolha (Figura 3.30). Junto à imagem estava um texto que dizia: “Vendo o invisível: o evento mostrado na Física de Partículas”. Também continha o endereço eletrônico<sup>23</sup> que direcionava para uma página do site institucional do CERN, cujo o título é o mesmo do texto da publicação. Mais abaixo da mesma publicação existia um texto (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) que se relaciona com a imagem dizendo:

<sup>22</sup>.Cf. FACEBOOK. Disponível em: <<https://www.facebook.com/cern/posts/1663289083758430>> Acesso em: maio de 2019. Tradução nossa.

<sup>23</sup> Endereço eletrônico para uma reportagem cf. CERN. **Seeing invisible event displays particles physics.** 2015. Disponível em < <https://home.cern/about/updates/2015/06/seeing-invisible-event-displays-particle-physics>> Acesso em: maio de 2018.

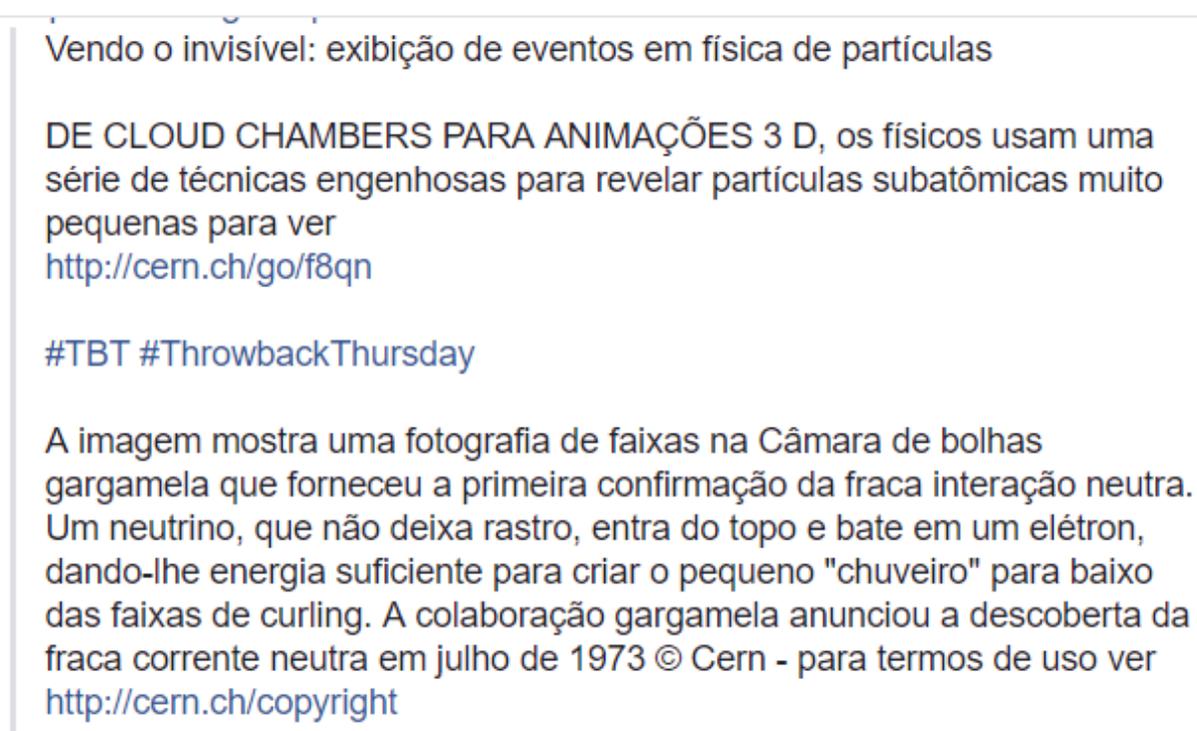
A imagem mostra uma fotografia de faixas na câmara de bolhas de Gargamelle que forneceu a primeira confirmação da fraca interação corrente-neutra. Um neutrino, que não deixa rastro, entra pelo topo e bate em um elétron, dando-lhe energia suficiente para criar o pequeno "chuveiro" de pistas de curling. A colaboração de Gargamelle anunciou a descoberta da fraca corrente neutra em julho de 1973.

Figura 3.30 - Recorte de uma publicação no Facebook da página do CERN no dia 4 de junho de 2015.



Fonte: CERN (2015).

Figura 3.31 – Recorte de uma publicação no Facebook da página do CERN no dia 4 de junho de 2015.



Fonte: CERN (2015).

A rede de *internet* permite que existam espaços nos quais qualquer pessoa possa inserir suas produções, por exemplo, os *blogs*, páginas no *Facebook*, *sites*. Em um desses *blogs* que encontramos, circularam textos e imagens produzidas à mão. É possível perceber que são folhas A4 que foram escritas e desenhadas à mão. O *blog*, chamado “Coleção de partículas”, publica desde novembro de 2016 e transforma as imagens que circulam em desenhos. Por exemplo, a Figura 3.32 exhibe o átomo, as partículas internas ao átomo (prótons e nêutrons) e as partículas internas ao próton (*quarks up* e *down*). Representam-se as partículas por esferas, marcadas pelas letras p, u e d, sendo o próton, *quark up* e *quark down*, respectivamente. As partículas são ligadas por cones transparentes escritos “Zoom”. Essa representação é semelhante à Figura 3.8.

Figura 3.32 – Recorte de uma das publicações de um *blog*.

## O que são partículas elementares?

**PARTÍCULA ELEMENTAR:**  
Partícula de matéria ou radiação que não pode ser subdividida em partes menores.

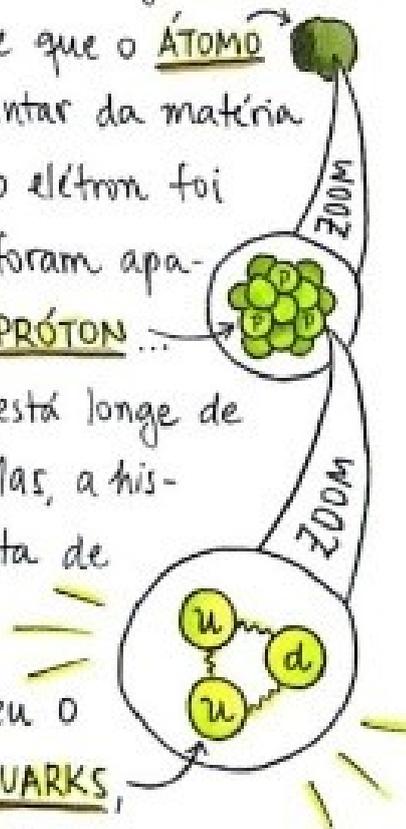


→ Falando assim parece muito simples, mas o caminho até encontrarem tais partículas foi longo e difícil.

Acreditava-se que o ÁTOMO era a partícula mais elementar da matéria até o final do século XIX, quando o elétron foi descoberto. Depois, outras partículas foram aparecendo, como o nêutron, múon, PRÓTON ... Todas mostrando que o átomo está longe de ser a partícula mais elementar. Mas, a história não acaba por aí. Por volta de 1960, surgiu uma dúvida:

SERÁ QUE OS PRÓTONS SÃO REALMENTE ELEMENTARES?

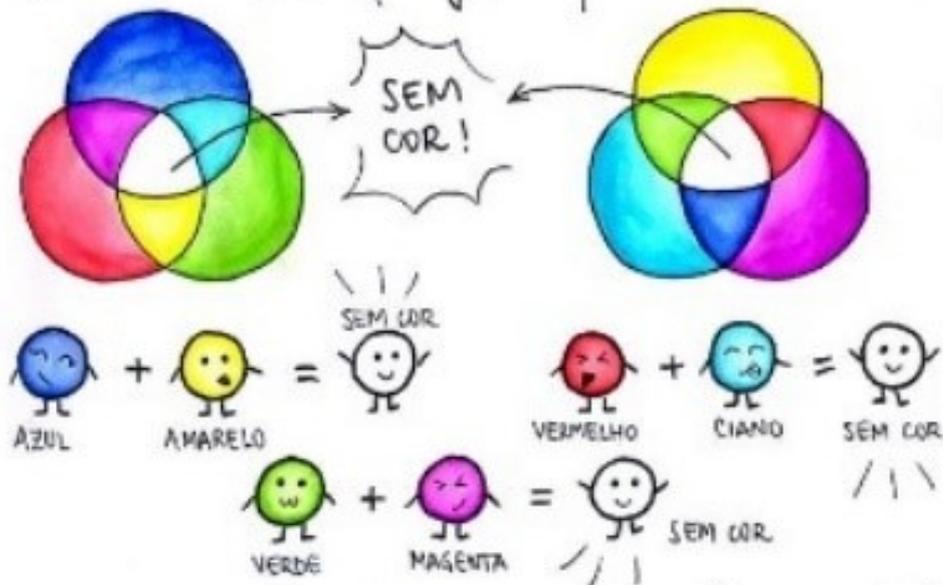
→ E assim nasceu o modelo dos QUARKS, partículas ainda mais elementares que juntas podem formar os prótons, nêutrons e muitas outras partículas!



Outra publicação desse mesmo *blog* (Figura 3.33), exibem as partículas em forma de esferas coloridas com rostos, pernas e braços. Os rostos exibem expressões diversas, dependendo da cor que a partícula possui. A imagem trata da regra da carga-cor das partículas elementares, em que os *quarks* e glúons obedecem. Essa regra é derivada da Cromodinâmica Quântica (QCD) e determina que um *quark* assume uma cor específica quando combinado com outro *quark*. Cada *quark* assume uma cor e na soma das cores a resultante necessariamente deve ser branca ou “sem cor”. Na interação entre três *quarks*, cada um recebe uma cor primária, ou secundária, na interação entre dois *quarks* um recebe uma cor primária e o outro uma cor secundária. Dessa forma, preserva-se a regra de se obter a cor branca ou “sem cor”. O diagrama apresentado na Figura 3.33 resume essa regra.

Figura 3.33 – Recorte de uma das publicações de um blog.

III  
 Porém, não é qualquer combinação de quarks que formam partículas. Por algum motivo, a natureza não permite coisas com carga de cor, portanto só podem existir combinações que geram partículas sem cor:



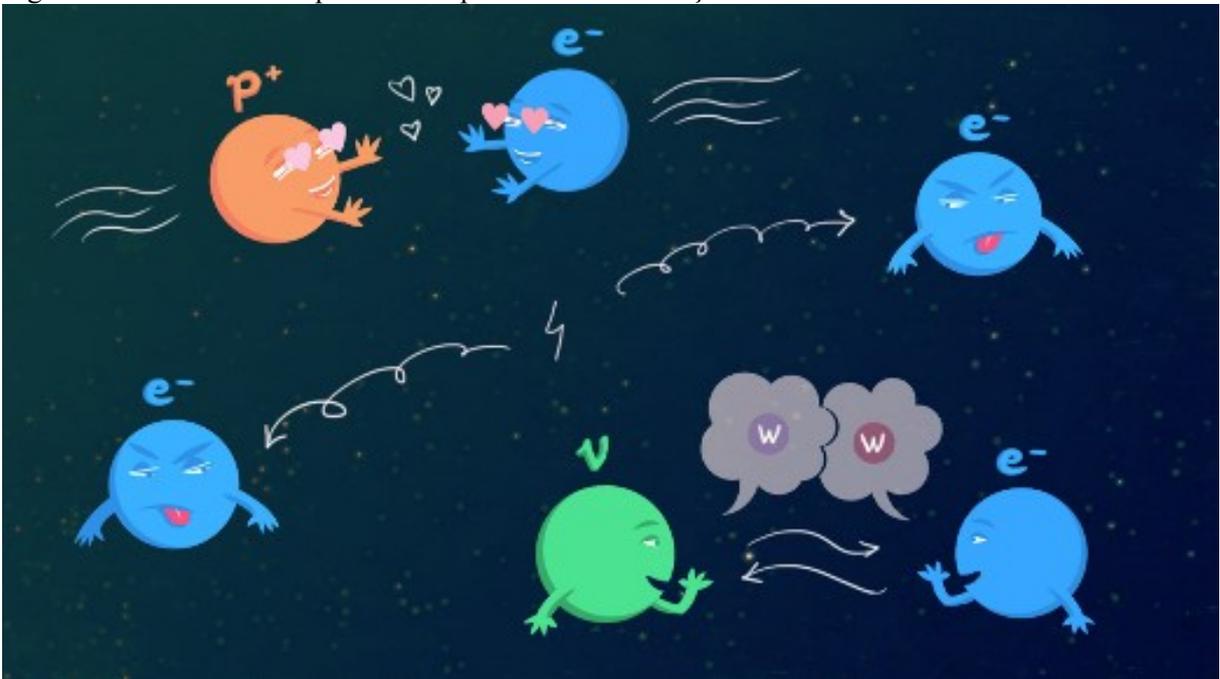
Alguns exemplos de 'receitas' mais simples que formam partículas:



• Recentemente foi comprovado a existência de partículas formadas por 4 ou mais quarks!

Também encontramos outras imagens que exibem as partículas com características de seres vivos, com rostos e braços. A Figura 3.34, por exemplo, exhibe esferas com braços e rostos, com expressões diferentes conforme a interação entre elas. Um próton, na cor vermelha e no canto superior esquerdo, aparece com a expressão de apaixonado, com olhos em forma de corações, com braços abertos para um abraço, indo em direção ao elétron com as mesmas características de apaixonado, indicando a atração elétrica que essas duas partículas possuem. Já na interação entre os dois elétrons, representados no meio da imagem, são exibidas esferas com rostos de ódio, raiva, e as flechas indicam que eles se moveram em direções opostas, indicando a repulsão eletromagnética entre os elétrons. Mais abaixo da imagem, no canto inferior direito, uma esfera na cor verde, representando o neutrino, possui uma mão que é levada em direção à boca, exprimindo que está cochichando com a outra partícula, um elétron. No balão dessa conversa, é exibida uma esfera na cor roxa com a letra “W” ao centro, indicando que estão trocando bósons intermediários, responsáveis pelas interações eletromagnéticas fracas entre as partículas, entre os léptons. Vemos que, acima de todas as esferas, existem letras que indicam de qual partícula se trata.

Figura 3.34 – Partículas representadas por esferas com braços e rostos.

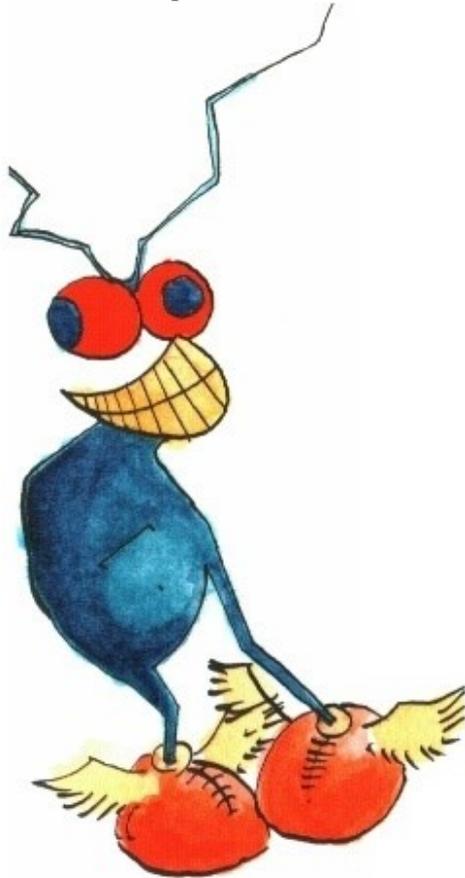


Fonte: Izlar (2013).

O que apuramos é que esses espaços modernos e complexos de circulação não apenas veiculam massivamente as imagens de partículas, mas também transformam, modificam e criam novas relações entre as memórias anteriores. Por outro lado, essa circulação possui menos

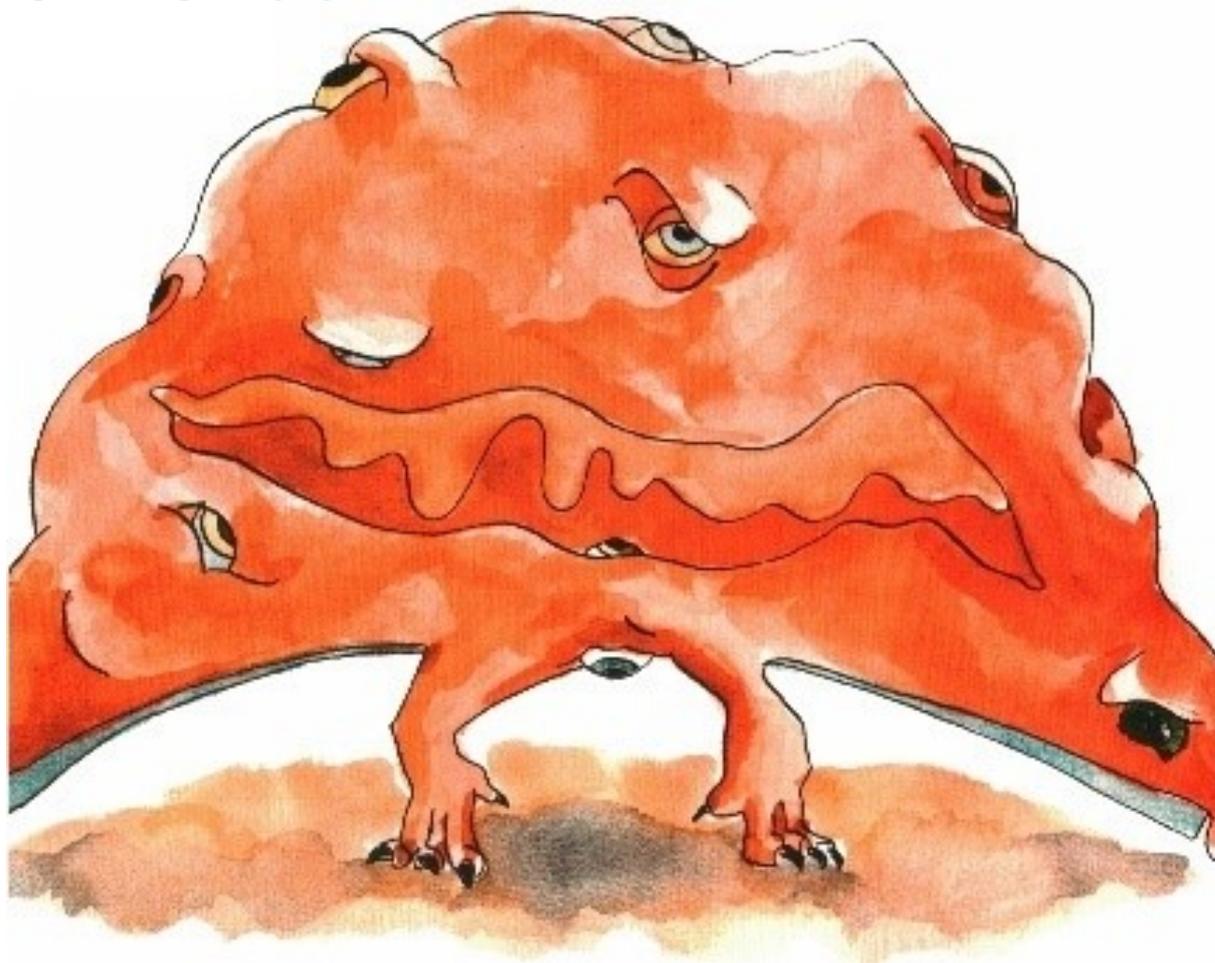
controle se comparado com as revistas científicas, manuais ou livros didáticos. Possibilitando dispersões sociais mais amplas das imagens, como a humanização das partículas (Figura 3.34 e Figura 3.35), por exemplo. Embora a maioria das imagens de partículas elementares se apresentem em forma de esferas, nem todas as imagens que circulam são constituídas por esferas, “bolinhas”, corpúsculos. No livro da Abdalla (2006), ilustrado por Sérgio Kon, as partículas elementares são representadas como seres vivos, “monstrinhos”, muito semelhantes às bactérias que são ilustradas em comerciais de creme dental, pois eles possuem pernas, olhos, bocas, etc (Figura 3.35 e Figura 3.36). Porém, todas as partículas possuem características que vão relacionar as suas formas visuais com suas propriedades. Ao analisarmos essas imagens no livro (NETO; SILVA, 2014), identificam que a forma textualizada ganhou características diferenciadas ao se representar as partículas como “monstrinhos”, demonstrando um distanciamento “[...] do gênero de divulgação científica, e se aproximando de representações feitas em livros infantis” (NETO; SILVA, 2014, p. 8).

Figura 3.35 – Elétron representado como um monstrinho.



Fonte: Abdalla (2006, p. 38).

Figura 3.36 – *Quark top* representado como um monstinho.



Fonte: Abdalla (2006, p. 136).

No livro de Abdalla (2006) foi possível observar relações entre as características nas imagens com os saberes da física. Por exemplo, o elétron (Figura 3.35) se apresenta com asas nos seus pés, da mesma forma que todos os outros Léptons, Múon, *Tau*, neutrino do elétron, neutrino do Múon e neutrino do *Tau*, mantendo uma regularidade para produzir o sentido de pertencimento de uma mesma classe, mesma família. Já o *quark top* (Figura 3.36) se apresenta ocupando a página toda do livro quando foi colocado junto a outras partículas. Em análise que fizemos (NETO; SILVA, 2014), identificamos que ao ser colocada a partícula em um plano cartesiano, foi produzido um efeito de que a partícula, *quark top*, ocupa mais espaço do que as outras partículas. Porém, partículas com massa maior, ou mais energéticas, como o *quark top*, *quark bottom* e o léptons *tau*, não possuem tamanhos definidos na física de partículas, não existe uma noção de tamanho físico associado a essas partículas, o princípio de incerteza impossibilita tal noção. Ainda, a partícula *quark top* apresenta muitos olhos ao longo do corpo, sugerindo

que ela poderia ser composta por várias outras partículas. Como explicado, produziu-se esse efeito, pois:

Sabe-se que o decaimento de partículas como os quarks top, bottom, charm e strange ocorrem em menos de segundos depois da sua reação, e desse decaimento surgem várias outras partículas. Reações como essa ocorrem e são comuns quando se trata de partículas elementares e não elementares. No livro, todas essas reações foram representadas utilizando ilustrações. Em alguns deles é acompanhado da equação de reação. (NETO; SILVA, 2014, p. 6)

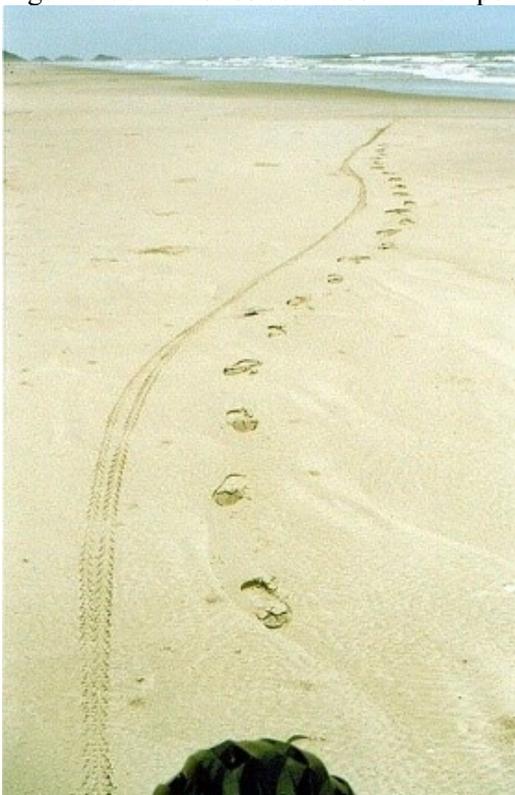
### 3.5 O VISTO E O IMAGINADO: O RESSURGIMENTO DO NÃO CIENTÍFICO

Contudo, como as imagens não são isoladas da sociedade, da cultura ou da história, elas vão se relacionar com outras imagens que já foram vistas ou simplesmente imaginadas (COURTINE, 2013). As memórias externas e as memórias internas podem surgir em processos de leitura de imagens. Dessa forma, podemos olhar para imagens que são tratadas nessa tese e supor as possíveis memórias que podem surgir.

Por exemplo, ao olharmos para as Figura 2.17 e Figura 2.20, um sujeito discursivo pertencente ao espaço acadêmico da área da Física poderia sugerir que são imagens de um problema cinemático clássico de deslocamento de uma formiga (Figura 3.6). Mas também qualquer outro sujeito que não seja da posição discursiva da área da Física poderia relacionar com imagens externas ao campo científica da Física e imaginar que elas se tratam de fotografias de uma trilha deixada por formigas que saíram de diversos buracos da terra. Esses são deslocamentos inevitáveis ao se olhar para a Figura 2.17 e a Figura 2.20.

Mas, podem surgir memórias que podem ser externas ao campo de saber da Física como: pegadas humanas na areia (Figura 3.37); rastro que um pneu de bicicleta deixou na areia (Figura 3.38); rastro de insetos ou evidências estratigráficas, com diferentes tipos de impressões do corpo do mesmo animal localizado em icnofósseis na superfície do varvito (Figura 3.39) e (Figura 3.40); explosões de fogos de artifícios (Figura 3.41); meteoros entrando na atmosfera terrestre (Figura 3.42); e Contrails (“fumaça” branca) deixada por aviões no céu (Figura 3.43).

Figura 3.37 – Rastros deixados na areia por pneu de bicicleta e pegadas humanas.



Fonte: CICLOTURISMO no lagamar (2004).

Figura 3.38 – Imagem de areia mostrando marcas deixadas por rastros de pneus.



Fonte: WALK paddle cycle (2016).

Figura 3.39 - Icnofósseis na superfície do varvito.



Fonte: Rocha-Campos (2000).

Figura 3.40 – Rastro deixado por inseto em areia.



Fonte: Rebecca (2011).

Figura 3.41 – Rastros deixados no céu por fogos de artifícios.



Fonte: PHOTOGRAPHY At the speed life (2012).

Figura 3.42 – Rastros deixados por meteoros entrando na atmosfera.



Fonte: EXPLORADOR do céu (2014).

Figura 3.43 – ConTrails: Marcas deixas por um avião no céu.



Fonte: Larson (2005).

O surgimento de memórias a partir das imagens de partículas elementares demonstra as possibilidades de dispersão que as materialidades das imagens possuem. Mas apontamos que isso não é apenas uma característica da materialidade da imagem, o texto verbal também apresenta a possibilidade de se relacionar com a exterioridade, que nem sempre é do mesmo espaço de fala científico. Pode o texto verbal e seus enunciados de um determinado lugar institucional de formulações se relacionar com a exterioridade e com outros lugares. Por exemplo, o trabalho de Lima (2017, p. 99), que investigou a circulação de discursos de Física Quântica em relação aos discursos de autoajuda, identificou que “existem filiações discursivas sobre o colapso da onda na física que podem fazer parte de um discurso místico quântico que pode ter sido deslocado e heterogeneizado ao discurso de AA [Auto Ajuda].”<sup>24</sup>

Aquela fotografia, que trouxemos no início do capítulo (Figura 3.1), embora seja de um átomo fotografado e não de uma partícula elementar, apresenta um movimento artístico em que, fisicamente, buscou-se iluminar com lasers um átomo para que fosse possível fotografá-lo. Mas estamos observando o átomo? O que observamos na imagem é a luz que foi absorvida

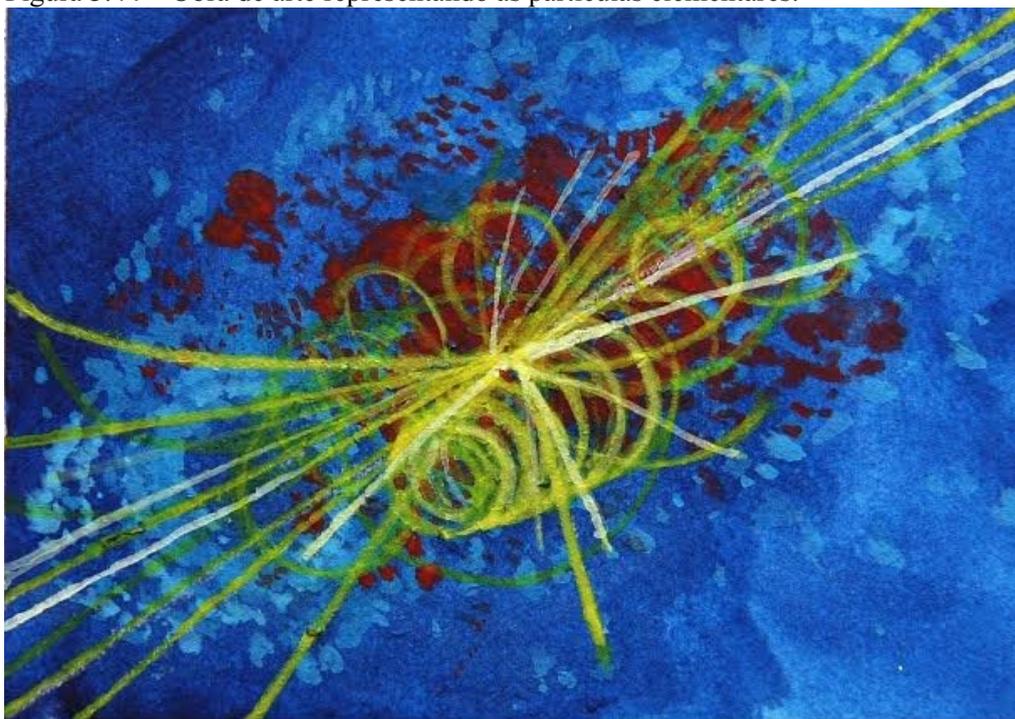
---

<sup>24</sup> Essa autora usou Análise de Discurso baseada em Peuceux, por meio de leituras de Eni Orlandi.

pelo átomo, emitida e capturada pela câmera de alta exposição, que estava atrás da câmara de vácuo que abrigava a armadilha de íons. Ela foi produzida e premiada em um concurso de fotografia, certamente, porque a possibilidade de vermos o átomo, a luz que fora emitida por apenas um átomo, é simplesmente fascinante, admirável e excepcional. Nessa fotografia premiada, é a característica corpuscular que predomina, afinal, o átomo se apresenta como um ponto, apresenta-se como um ponto iluminado.

Com características artísticas, a Figura 3.44 e a Figura 3.45 exemplificam outra dispersão possível, baseada nas imagens que circularam sobre partículas elementares. A primeira (Figura 3.44) lembra a Figura 3.24, que é uma simulação computacional, assemelhando-se a uma releitura da imagem original. Já a segunda imagem (Figura 3.45) lembra as imagens de câmaras de detecções, os traços coloridos mais fortes que possuem trajetórias semelhantes as trajetórias das partículas das câmaras de bolhas (Figura 2.10, Figura 2.18, Figura 2.20). Também já mostramos que imagens que circularam na capa de uma revista científica (Figura 3.15) que exibia os *quarks* em forma de nuvens iluminadas tem relações com a cena de um filme (Figura 3.17) que exibia a antimatéria, antipartículas. Tanto a capa dessa revista, quanto o filme são dispersões criadas sobre as partículas, ambas são dispersões artísticas que se correlacionam com o comportamento ondulatório, com o comportamento quântico da partícula.

Figura 3.44 – Obra de arte representando as partículas elementares.



Fonte: Butt (2013).

Figura 3.45 – Obra de arte representando as partículas elementares.



Fonte: Valluzzi (2014).

Algumas dessas imagens artísticas circulam amplamente, terminando estampadas em camisetas (Figura 3.46), tornando-se um produto de venda, transformando-se em um ícone que pode circular ao ser estampado em canecas, adesivos, canetas, etc. Isso lembra um movimento que mostramos acontecer com a Figura 2.26, em que uma imagem experimental de uma emulsão fotográfica foi ampliada em um mosaico para depois ser colocada no palco de um evento científico. Nessa situação comercial, as imagens dentro de uma mesma rede de memórias surgem em lugares discursivos bem diferentes dos lugares “originais”. Poderíamos dizer que algumas imagens se tornam ícones dessa campo científico da física de partículas, por isso dispersam e circulam de tantas formas.

Figura 3.46 – Camiseta com rastro de partículas coloridas, semelhantes às imagens de detecções.



Fonte: CLARK (2014).

O que buscamos fazer nesse capítulo foi trazer a discursividade das imagens de partículas, trazer a intericonidade das imagens, as formas de circulação e suas dispersões. Tornamos visíveis aspectos que estão relacionados as diferentes materialidades, seus deslocamentos, suas regularidades, incluindo tanto a memória (historicidade) quanto aspectos culturais e das formas do saber científico associados a suas diferentes enunciações. Assim, vimos a predominância da memória clássica nas imagens de partículas que circulam nos manuais de física. Rastros, trajetórias, feixes de partículas aparecem constantemente nesses manuais. Há um sujeito discursivo, uma posição discursiva, que torna as imagens de partículas correlatas aos enunciados da Física Clássica. As características ondulatórias das partículas não servem a essas imagens, elas podem aparecer em outras formas de formulações, podem aparecer nos textos, nas equações matemáticas, mas não aparecem nas imagens que circulam nesses manuais.

Rastros, trajetórias, linhas, círculos, esferas e bolinhas são as formas que essas imagens de partículas tomam em outras circulações. Vimos que são diversas as imagens que usam essas formas, mas também vimos que nuvem, ou membranas, também aparecem alternativamente. Estabelecendo, assim, uma rede de memória sobre o que são as partículas. O texto e a legenda

aparecem para reforçar ainda mais os enunciados sobre o que são as partículas. Exibindo uma prática discursiva específica em que se leem as imagens, observam-se as imagens, também pelos textos. Por último, mostramos a dispersão das imagens de partículas que ocorrem nos espaços modernos e as dispersões que podem surgir por meio da relação de outras memórias.

Se por um lado, no capítulo 2 trouxemos as condições de existências, as práticas discursivas e não discursivas que fizeram emergir as produções das imagens de partículas, por outro lado, esse capítulo mostrou a não transparência das imagens que circularam e ainda circulam, trouxe a opacidade das imagens, deu visibilidade a relação que aparentemente é unívoca e inequívoca com os objetos do mundo que supostamente representam (SILVA; NETO, 2018). Remanescem ainda como podemos derivar práticas em situações de ensino que utilizem essa opacidade.

#### **4 A OPACIDADE DAS IMAGENS DE PARTÍCULAS ELEMENTARES: PERSPECTIVAS E DESAFIOS NO ÂMBITO ESCOLAR**

(...) ‘É um cachimbo, é um cachimbo’, gritam os alunos em algazarra, enquanto o mestre, cada vez mais baixo, mas sempre com a mesma obstinação, murmura, sem que ninguém mais o escute: ‘e entretanto isto não é um cachimbo’.  
(FOUCAULT, 2016, p. 36)

Nessa tese, no capítulo 2, percorremos por uma análise dos enunciados imagéticos de partículas elementares, investigando discursos que passaram por prática de controles do campo científico da física. Encontramos algumas regras anônimas, históricas, determinadas no tempo e no espaço que definiram as condições de existência dos enunciados das imagens de partículas elementares.

Já, no capítulo 3, vimos a dispersão social mais ampla das imagens em que existem menos práticas de controle, examinando a intericonicidade das imagens (COURTINE, 2013), a interdiscursividade dos discursos (FOUCAULT, 2014), percebendo que as imagens são delineadas num espaço de memória discursiva, exibindo redes de memórias das imagens. Nossa análise mostrou que o campo da física de partículas apresenta um campo de regularidades e memórias constituídas de forma histórica, social e cultural.

Em minha dissertação de mestrado (NETO, 2015), eu já estava preocupado em entender as relações entre as imagens, as memórias, os saberes da física e o ensino de partículas elementares, sob a perspectiva das interações discursivas presentes em debates e respostas de questionários de licenciandos(as) de Física. Inclusive, foi elaborado uma sequência de aulas, que não foi objeto direto de investigação dessa dissertação, mas que teve o objetivo de fomentar a discussão entre os envolvidos na pesquisa sobre possíveis aulas desse tema. Após este trabalho, faltava dar “opacidade” às imagens que utilizamos nessa sequência, analisar as condições de existência e a circulação.

E foi nos dois capítulos anteriores, onde procuramos trazer essa “opacidade” das imagens (SILVA; NETO, 2018, p. 128), isto é, darmos visibilidade aos efeitos que produzem a sensação de “evidência de um único sentido para um objeto simbólico”, para a imagem de partículas elementares. Desconstruímos esse efeito de “transparência”, de “univocidade e inequivocidade” entre “imagem e mundo”, fizemos isso pois:

A imagem de um objeto produto do conhecimento gerado pela física não é jamais um elemento que isoladamente corresponda a um objeto pela sua transparência, aos modos de uma *mimesis*. Essa imagem é elemento de uma

rede de condições, relações com outras linguagens (a verbal, a matemática e as linguagens pictóricas, como esquemas, diagramas, gráficos), relações com textualidades específicas (como as dos artigos científicos), com práticas institucionalizadas, técnicas e instrumentos que compõem culturas materiais específicas. (SILVA; NETO, 2018, p. 143-144, grifo dos autores).

Agora, resta-nos entender quais as contribuições e os subsídios que as análises desenvolvidas nessa tese podem fornecer para darmos visibilidade às imagens como *opacidade*, em oposição à imagem como *transparência*, no âmbito escolar<sup>1</sup>.

Com este propósito, podemos retomar as várias imagens que exibimos nos capítulos anteriores (2 e 3) e que circularam, e ainda circulam, na sociedade. De maneira geral, é possível identificar que essas imagens também estão presentes nas situações de ensino de Partículas elementares, isto é, o âmbito escolar conta com diversas dessas imagens. Conseqüentemente, professores e estudantes significam essas imagens de diferentes formas, podendo ocorrer diferentes deslocamentos discursivos. Essas imagens também são formulações da Física, elas funcionam semelhantemente, apresentando regras de funcionamento e condições de existência que remetem ao campo da Física. Quando as imagens são apresentadas, elas não possuem o mesmo modo de existência, não têm o mesmo sistema de relações que tinham em sua produção, nem os mesmos esquemas de uso (FOUCAULT, 2014)<sup>2</sup>.

No âmbito escolar, podemos afirmar, baseados em Courtine (2013), que temos imagens que sujeitos discursivos diversos podem facilmente sugerir, pressupondo que, no seu contato com a imagem, as imagens nos fazem relacioná-las a outras imagens, seja algo que já vimos ou que simplesmente imaginamos. Onde há uma fotografia de um experimento de câmara de bolhas, pode-se imaginar uma fotografia de uma trilha deixada por formigas que saíram de diversos buracos da terra. Onde há uma imagem produzida por um computador de uma colisão de hádrons, pode-se imaginar a descrição da trajetória da explosão de fogos de artifício.

A forma como as imagens circulam vai, aos poucos, construindo uma memória coletiva que habita em futuros professores de Física, licenciandos(as) em Física, e estudantes

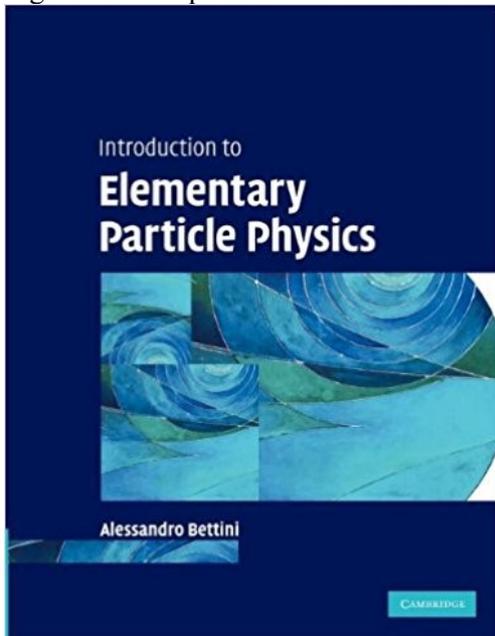
---

<sup>1</sup> O que propomos não é apontar um método para abordar as imagens em situações de ensino, ou de descrever o que deve ou não ser feito no âmbito escolar. Almejamos trazer uma perspectiva que poderá se desdobrar em diversos caminhos, que tem potencial de ser explorada no âmbito escolar, e que poderá nortear a elaboração de futuras situações de ensino.

<sup>2</sup> É essa perspectiva que Foucault (2014) descreve para aquilo que é dito, e que estamos considerando aqui também para as imagens.

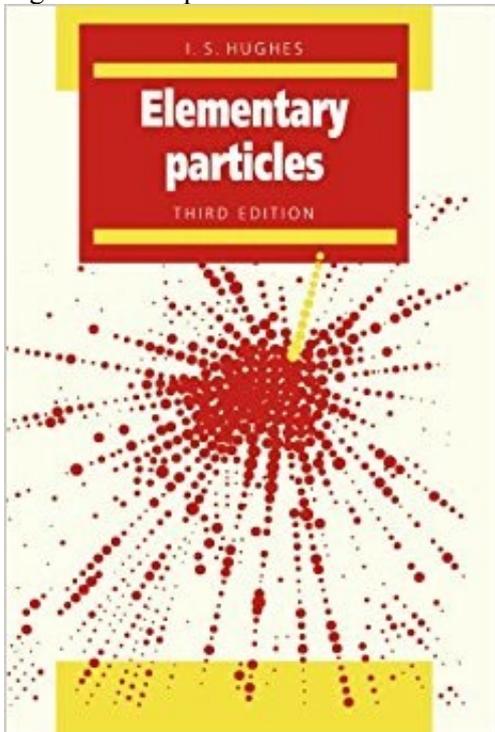
no Ensino Médio. Vejamos, por exemplo, as imagens que estão nas capas de alguns dos principais manuais da área de Física de Partículas (Figura 4.1, Figura 4.2 e Figura 4.3)<sup>3</sup>.

Figura 4.1 – Capa de um livro manual da área de Física de Partículas



Fonte: Bettini (2008).

Figura 4.2 - Capa de um livro manual da área de Física de Partículas

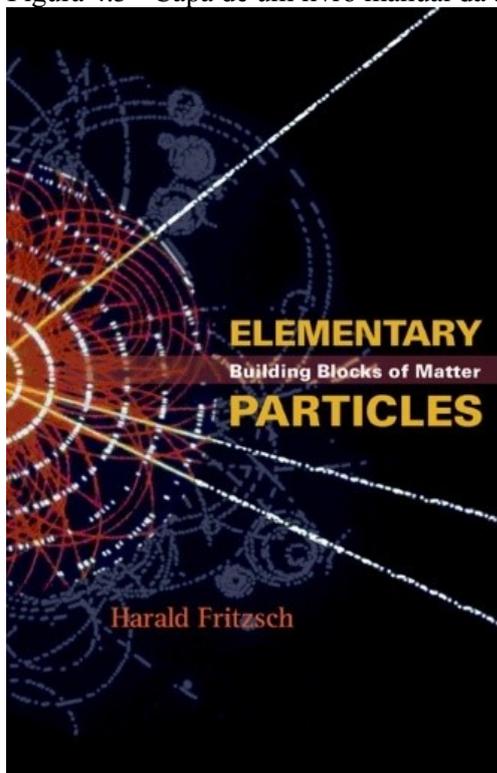


Fonte: Hughes (1991).

---

<sup>3</sup> Cada uma dessas capas se relaciona com imagens que já exibimos nos capítulos anteriores. Trouxemos apenas algumas, mas há diversas outras capas com aspectos similares.

Figura 4.3 - Capa de um livro manual da área de Física de Partículas



Fonte: Fritzsch (2005).

Essas capas de livros são de manuais que circulam nas instituições de ensino, em cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física. Se as instituições de ensino participam dessa circulação é de extrema importância que seja refletido sobre como podemos trabalhar com essas memórias e as tensões que estão associadas a essas imagens de partículas elementares. Pois, certamente, também teremos imagens semelhantes que circularão no âmbito escolar do Ensino Médio. Como mencionado por Silva (2006, p. 72), o texto e as imagens “são produzidos histórico-socialmente como parte da cultura humana e distribuem-se, circulam e funcionam de formas desiguais”, indicando que sua circulação e funcionamento sejam elementos importantes a serem considerados nas reflexões sobre as práticas de ensino e da educação científica.

De fato, atualmente, é possível encontrar diversas pesquisas no Brasil em que a imagem na ciência é analisada do ponto de vista educacional, de ensino, da educação científica. Na sua grande maioria, os trabalhos que discutem as práticas de leituras das imagens nos ambientes escolares (SILVA et al, 2006; REGO, 2011; REGO; GOUVÊA, 2013; SILVA, 2013; NETO, 2015; SILVA; NEVES, 2018) pressupõem que as imagens são lidas e que elas fazem parte das práticas escolares.

Silva et al (2006) identificaram que ocorrem leituras de imagens de formas diferentes no âmbito escolar, sendo importante “conhecer essas leituras para intervir em sua produção” (p. 231). Nesse trabalho, que analisou aspectos de um curso de formação continuada de curta duração para professores de Ciências (Física, Química, Biologia e Ciências do Ensino Fundamental) e Matemática, as imagens aparecem nas situações de ensino como objeto de discussão, sendo inseridas situações de ensino em que se realizam questionamentos sobre o que se via nas imagens e como era possível interpretar algumas imagens, estimulando a “leitura de imagens” pelos sujeitos participantes. Em outro trabalho, de Rego e Gouvêa (2013), são propostas situações de ensino em que ocorram leituras de imagens junto com a análise das relações entre o texto e a imagem. Nesse sentido, essa proposta sustenta que trazer essa relação entre texto verbal e imagem torna “possível verificar se eles [estudantes] estão inseridos na linguagem científica, como eles, transitam entre as duas formas de linguagem [científica e cotidiana]” (p. 140). Nesse trabalho, também se esteve preocupado em como os estudantes lidam com as noções de realidade.

Já Silva e Neves (2018) trazem uma perspectiva de leitura de imagem baseada em Umberto Eco, Paul Valéry e Edgar Morin, em que se propõe que a leitura da imagem seja uma leitura de imagem interdisciplinar, que passe por uma “análise da forma, análise do conteúdo, análise das relações que envolvem a imagem (autor versus contexto versus leitor) e análise interpretativa do leitor” (SILVA; NEVES, 2018, p. 23). Embora a fonte teórica possa ser considerada como sendo da vertente mais semiótica que discursiva<sup>4</sup>, esse trabalho destaca aspectos da imagem que costumam passar despercebidos nas práticas de observar.

Outros trabalhos como o de Martins, Gouvêa e Piccinini (2005, p. 39), já haviam identificado que as imagens, no âmbito escolar, permitem: localizar estruturas e funções, “possibilitando mostrar relações espaciais entre parte e todo”; fornecem situações em que os(as) estudantes e o(a) professor(a) possam refletir, localizar e identificar as entidades e suas partes; conduzem um processo de construção de representações, tanto por meio de descrições como por analogias; criam situações nas quais a explicação assuma menos rigidez, permitindo expressões mais criativas e representativas, nas quais os alunos participem discutindo conceitos

---

<sup>4</sup> Os autores defendem uma prática de “hermenêutica imagética” que se distancia de uma abordagem discursiva das imagens, ao mesmo tempo que considera aspectos importantes a se considerar ao observarmos as imagens. Silva e Neves (2018) afirmam que “Precisamos aprender a ver o mundo e para isso devemos ter claro que uma imagem é uma representação de algo real ou irreal: um sonho, uma ideia, etc. Porém, essa representação, pela interpretação, pela hermenêutica imagética, torna-se um novo objeto, um novo “ser” e é com esse novo estado ontológico que devemos nos aproximar e tentar compreender o próprio mundo numa compreensão partilhada e dialógica.” (SILVA; NEVES, 2018, p. 34).

e ideias; e influenciam na “memorização dos alunos”, considerando que as analogias visuais contribuem para lembrar de entidades que não são do universo visível, “aumentando a possibilidade de ‘convencimento’ desses alunos” (MARTINS; GOUVÊA; PICCININI, 2005, p. 39).

Inegavelmente, nas vertentes educacionais, a imagem é encarada como importante, já que se considera que ela tem o papel de representar não apenas coisas, mas também noções ligadas a essas coisas ou conceitos (CAVALCANTE et al., 2012). A imagem não é apenas o que é visto, mas é a maneira como ela é pensada, ela é dada pela perspectiva imaginativa e isso ocorre no ato de imaginar (CASEY, 1974 e HILMAN, 1983a, p. 28 apud CAVALCANTE et al., 2012). Por isso, torna-se importante trabalhar as imagens com estudantes, visto que não tomamos as imagens como sendo transparentes (SILVA, 2006). Desse ponto de vista, as formulações dos professores – da fala, escrita e práticas –, os textos, as imagens e outras materialidades irão compor situações de ensino nas quais as imagens serão trabalhadas com os(as) estudantes.

Essa preocupação ávida com a imagem em situações de ensino, delineou, teórica-metodologicamente, pesquisas que analisaram práticas de estudantes, investigando as leituras de imagens em situações de ensino específicas (SILVA, 2002; SILVA et al, 2006; REGO, 2011; SILVA, 2013; REGO; GOUVÊA, 2013; NETO, 2015; GOUVÊA et al, 2016; SILVA; ALMEIDA, 2017). Por esse ângulo, essas pesquisas têm se preocupado com aspectos que envolvem a materialidade imagética ao mesmo tempo em que se preocupam com o potencial pedagógico que as imagens podem ter.

Em aulas de Metodologia de Ensino de Física, de um curso de licenciatura em Física, Neto (2015) identificou discursos de estudantes licenciandos(as) sobre o uso de imagens em que se produziam o efeito de sentido de que: a imagem poderia ser utilizada como uma metodologia de ensino facilitadora; a imagem apresentaria diferentes relações, podendo ser, representar e/ou ilustrar a realidade; o uso de imagem teria o potencial de se relacionar com discursos do campo científico e também com discursos externos a esse campo. Essa identificação sinalizou que são necessários mais espaços de discussões sobre o funcionamento dos textos e imagens na ciência, assim como, discussões sobre aspectos epistemológicos da física quântica relacionados às imagens.

Por outro lado, em outra pesquisa (SILVA, 2013) que também investigou situações de ensino com licenciandos, foram identificados modos de funcionamento sobre as relações que foram estabelecidas por licenciandos entre as imagens e os sentidos produzidos, são esses modos:

a) as imagens motivam a aprendizagem; b) a imagem é um ponto de partida para a discussão de um determinado conceito/assunto; c) a imagem cumpre a função explicativa, ela dá suporte para as explicações textuais; d) as imagens funcionam como apoio nas atividades de ensino; e) as imagens auxiliam na construção de modelos mentais dos leitores, e por vezes ajudam a evitar ou reduzir más interpretações. (SILVA, 2013, p. xiii).

Ainda nesse mesmo trabalho, Silva (2013, p. 193) chegou à conclusão de que “as imagens desempenham um papel fundamental na produção de sentidos” sobre o tema em questão – nesse caso, relatividade restrita. Também percebeu que ao discutir as imagens em aulas da licenciatura em física, as imagens passaram a ser vista pelos estudantes de forma diferente, deixaram de ser “simples ilustrações”, deixaram de ser “ocorrências sem importância, mostradas acidentalmente e utilizadas para atrair e agradar o leitor”.

Outra vertente de trabalho tem pesquisado sobre como o desenho realizado por estudantes se situam no ambiente escolar (LIMA; CARVALHO; GONÇALVES, 1998; LIMA; CARVALHO, 2008; SASSERON; CARVALHO, 2009; PAIVA; BARRELO JUNIOR; CARVALHO, 2015). Nesses trabalhos, leva-se em conta a função dos desenhos feitos pelos estudantes, analisando-os em relação aos textos e aos significados construídos. Um dos trabalhos, por exemplo, identificou que “relatos em forma de desenho fornecem condições de avaliar a evolução particular de cada aluno” (LIMA e CARVALHO, 2008, p. 337).

Também encontramos diversos trabalhos que investigam as imagens em livros didáticos de física, que nos mostram a complexa relação entre as materialidades imagéticas e outras formulações textuais presentes nos livros (MARTINS et al, 2003; GOUVÊA; OLIVEIRA, 2010; REGO, 2018). Uma dessas análises, de Martins et al. (2003), por exemplo, analisa livros didáticos de ciências para o Ensino Fundamental, trazendo as características das imagens, quais tipos de imagens aparecem e suas frequências. A partir do resultado desse trabalho, é discutido sobre como o uso dessas imagens podem “promover abordagens interdisciplinares e favorecer a contextualização de explicações científicas” (MARTINS et al., 2003, p. 1). Nesse trabalho é identificado que as imagens, e o poder delas de construir categorias por meio de padrões, podem contribuir para a aquisição de habilidades para o fazer científico. Já outra análise, de Gouvêa e Oliveira (2010), identifica que as modificações encontradas nas imagens e formulações textuais, sobre os conceitos e fenômenos, acompanham as mudanças

nas práticas de ensino de ciências, sendo que as formas que se mantêm, compõem o que foi chamado de “memória social do ensino de física” (p. 69). Outro trabalho, de Rego (2018), por meio da análise de livros didáticos de física para o Ensino Médio, pode identificar como as fotografias traziam os seres humanos, examinando que em grande parte das 70 fotografias analisadas, a maioria mostrava homens adultos brancos, havendo escassez de fotografias com a presença de mulheres. Todas são análises que consideram que as imagens participam das práticas discursivas, das produções de saberes científicos.

Em pesquisas desenvolvidas por Neto (2015), em que foram analisadas algumas imagens de partículas elementares – que também circularam em livros didáticos –, foi evidenciado que existem tensões epistemológicas associadas à *forma* e ao *tamanho* das partículas elementares<sup>5</sup> e as memórias discursivas a que essas imagens se associam. Foi defendido que embora existam essas tensões, elas não devem ser impedimentos para que os professores discutam essas imagens, suas memórias, e seus efeitos no âmbito escolar. Pelo contrário, seriam motivações para que fossem criadas situações de ensino que discutam essas memórias e suas condições de produção<sup>6</sup>, trabalhando as textualizações do discurso da Física e suas interpretações, com os estudantes, considerando a rede de significação histórica e cultural que desloca os sentidos da Física Quântica – sentidos epistemologicamente afastados dos sentidos estabilizados no campo da Física. Essa posição diante das imagens, difere da posição de Moreira (2007, p. 161) que considera que “[...] nessa área da Física (partículas elementares, Física dos *quarks*), as imagens apenas reforçam obstáculos representacionais mentais que, praticamente, impedem a aprendizagem significativa”.

Dialogando com o contexto dessas várias pesquisas, esta tese traz contribuições adicionais. Propomos uma perspectiva que leve em conta que as imagens não são transparentes, que traga a opacidade das imagens, que coloque em discussão a visibilidade das partículas elementares ao considerarmos as interpretações da teoria quântica<sup>7</sup>. Assim, essa perspectiva pode orientar futuras produções e ampliar as possibilidades de serem criadas práticas no espaço escolar envolvendo o uso de imagens. Trazer a opacidade das imagens é considerar que “jamais

---

<sup>5</sup> Discutimos sobre essas tensões epistemológicas na seção 2.1.2, em que apresentamos o dualismo das partículas, e as noções de *choquismo* e *coisismo* que Bachelard (2006) expôs.

<sup>6</sup> Nesse trabalho, utilizou-se dos referenciais da Análise do Discurso, da vertente de Michel Pêcheux, vertente essa que foi desenvolvida principalmente por Orlandi (2013).

<sup>7</sup> Trabalhos como o de Pessoa Jr. (1998; 2003) podem sustentar algumas dessas discussões.

há correspondência única entre elas [imagens] e a realidade, entre elas e o que significam” (SILVA; NETO, 2018, p. 143). Para o caso das imagens de partículas elementares, as imagens são opacas porque:

- 1) se inscrevem em diferentes formações discursivas, estabelecendo relações de intericonicidade com outras imagens, vistas, imaginadas;
- 2) entre as formações discursivas que lhes dão sentido e as conectam com a realidade, encontram-se modos distintos de pensar a realidade, particularmente aquele associado à concepção de realidade da física clássica e aquele associado à concepção da teoria quântica, marcado pela dualidade partícula-onda. Assim, os acontecimentos discursivos relativos a essas imagens se inscrevem em memórias que podem retomar sentidos já ultrapassados na física contemporânea, no modo como esta concebe esses objetos, entidades, do mundo do muito pequeno (microfísica), da ordem da escala dos átomos e seus componentes e outras entidades, como os fótons;
- 3) seus significados estão ligados à cultura material do laboratório, com suas condições materiais, histórico-sociais e institucionais de produção e circulação;
- 4) um aspecto relacionado à opacidade delas diz respeito às relações que se estabelecem com a linguagem verbal.

(SILVA; NETO, 2018, p. 143).

Abordar essa opacidade das imagens, é mais do que estimular a prática de leitura de imagens no âmbito escolar, pois implica em considerarmos que as imagens serão trabalhadas na sala de aula:

(...) como objetos de discurso, como objetos de discussão, de produção de enunciados verbais, de estudo, propiciando práticas de ensino com potencial de conectar os conhecimentos científicos e a própria existência material (social, histórica, cultural e simbólica) e restabelecendo sua opacidade por meio da relação entre o conhecimento e o mundo, da relação entre discurso e conhecimento. Essa outra forma de se posicionar diante das imagens permite colocar as práticas escolares em diálogo com a produção e a dispersão cultural das visualidades da física, com seus deslocamentos, equívocos, enfim, sem se esquivar da materialidade dos discursos (SILVA; NETO, 2018, p. 144).

Assim, seria possível derivar situações de ensino em que os estudantes possam explicitar suas leituras das imagens, emergindo memórias de diferentes posições discursivas, expondo as suas reminiscências pessoais<sup>8</sup>. Trazendo assim a opacidade das imagens pela

---

<sup>8</sup> Pensando nesse desdobramento, foi proposto uma atividade de ensino que foi apresentada no XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, no trabalho intitulado “Leitura de imagens de partículas elementares: monóculos em ação” (NETO; SILVA, 2018). Essa atividade propunha que os sujeitos, estudantes ou licenciandos(as), olhassem para um monóculo e vissem uma imagem individualmente, para que em seguida, cada estudante escrevesse em um papel parte da memória que esteve nas suas redes de reminiscências pessoais

inscrição delas em diferentes formações discursivas, estabelecendo relações de intericonicidade com outras imagens, vistas ou imaginadas (COURTINE, 2013). Essas memórias que são explicitadas podem ser trabalhadas em contraposição com as memórias de outras imagens, inserindo-se discussões que demonstrem a vasta possibilidade de relações, observando assim as regularidades de uma imagem com outra. Como vimos no capítulo 3, na área da Física Clássica, há circulação de imagens em que pequenas esferas, pontos, rastros e trajetórias são tratadas como corpúsculos genéricos com trajetórias especificamente clássicas. E as imagens de partículas elementares exibem esses dois aspectos – o esférico e o rastro –, evidenciando muito mais a memória do corpúsculo da partícula do que a memória do ondulatório da partícula.

Por outro lado, é possível que nessas situações de ensino surjam memórias dispersas, em que se relacionem com as imagens que exibimos na seção 3.5. São deslocamentos inevitáveis ao se olhar para as imagens de partículas elementares que circulam. São memórias externas ao campo científico, independentemente do que as imagens “pareçam” ser, os sujeitos irão atribuir significados sobre o que estão observando. Por isso, situações de ensino como essa precisam ser problematizadas, explicitando que as significações possuem relação com as memórias. Dessa forma, na prática, defendemos que existam no ambiente escolar momentos em que os estudantes falem sobre o que vêem, discutam os aspectos que observam nas imagens. Levando ao ambiente escolar as memórias possíveis, as memórias latentes.

Agora, para trabalharmos a opacidade das imagens que conectam a materialidade imagética das partículas elementares com a realidade, é possível derivar situações de ensino que discutam profundamente às concepções de realidades da física clássica, física quântica e das partículas elementares. Podemos fazer isso analisando a produção histórica das imagens que exibimos no capítulo 2, explicitando como elas foram produzidas por meio de fotografias, câmaras, emulsões, equações, estatísticas computadorizada, diagramas de Feynman. Por esse ângulo, uma discussão como essa contribuiria para o entendimento de como os saberes sobre as partículas elementares se deram, levando-nos a compreender porque as imagens produzem os efeitos de transparência; porque criam concepções de realidade que extrapolam a dualidade partícula-onda; porque criam o enunciado que discursa “isto é uma partícula”.

---

(COURTINE, 2013). Seguidamente, eles produziram um coletivo através de diálogos sobre o que cada um observou nos monóculos.

Assim, podemos derivar situações de ensino em que os sujeitos possam confrontar a história, e encontrar lá as memórias do objeto “partícula elementar” sendo construído junto com a construção das imagens. Podemos criar essa situação dialogando com as condições de existências que apontamos na seção 2.6, abordando questões sobre: o período vitoriano romântico que impulsionou a prática de observar a natureza; as práticas de olhar, de fotografar e de desenhar do século XIX; as práticas da história natural e suas mimesis; os fenômenos meteorológicos que se relacionaram com as câmaras; os saberes que circulavam no início do século XX, como o comportamento dos gases, fenômenos elétricos, raios X, constituição do átomo; as práticas instrumentais relacionadas com a câmara de Wilson, com os grupos de Scanners das emulsões nucleares; as interpretações da teoria quântica nas imagens e diagramas de Feynman; os trabalhos estatísticos, gráficos e imagens que foram criadas por meio de análise de dados por computadores.

São inúmeras as possibilidades de criarmos narrativas que evidenciem a produção das imagens e a construção do efeito de transparência, efeito em que observar uma imagem passa a ser observar uma imagem “de partículas”; observar um rastro em uma emulsão fotográfica é observar uma partícula; observar linhas coloridas em imagens produzidas por computador é observar as centenas de partículas que “colidiram” em um acelerador de partículas.

Em suma, a imagem não dá conta por si só de ser significada a partir da noção de dualidade partícula-onda, e a relação da radiação com a matéria. A partícula que é invisível no nosso mundo visível, extrapola o simbólico imagético que é visível: em outras palavras, todas as imagens de partículas estão por exhibir algo que o nosso olho vê, mas a partícula elementar não é visualizada da mesma forma que vemos um objeto no nosso cotidiano, da mesma forma que vemos uma bola de bilhar, por exemplo. Não observarmos as partículas é uma característica intrínseca à partícula elementar quântica.

E, novamente, ao criarmos narrativas que evidenciem a produção das imagens e construção do efeito de transparência, e levarmos para o âmbito escolar, serão evidenciadas as relações que as memórias possuem com o campo de saber da Física Clássica e da Física Quântica. Sendo possível colocar em discussão essas imagens que possuem o efeito de transparência, que trazem a sensação de ser uma imagem “de” partícula elementar, e que não trazem a memória do caráter ondulatório da partícula quântica. As características ondulatórias se perdem nas imagens que majoritariamente circulam, mas podem retornar por outras formulações simbólicas, nas discussões.

Abordar as condições de existência, apontadas na seção 2.6, em situações de ensino também fazem realçar a opacidade das imagens que estão ligadas à cultura material, com a produção e circulação dos saberes que são institucionalizados de forma histórico-social. Em uma abordagem como essa, almeja-se evidenciar aspectos da natureza da ciência, da controvérsia entre os cientistas sobre a quântica, do cotidiano do laboratório, das instituições que participaram da produção das imagens, das características da sociedade relacionadas aos gêneros, das relações políticas para o provimento de pesquisas.

Essa abordagem se assemelha com outras que buscam evidenciar não apenas os conteúdos científicos, mas também os processos de construção da ciência por meio de uma “História Cultural da Ciência” (MOURA; GUERRA, 2016, p. 725). Essa abordagem seria uma alternativa para abordagens que se limitam a estudar apenas as práticas restritas ao campo científico, chamadas de abordagens metodológicas. Segundo Moura e Guerra (2016, p. 742), trazer esse “elemento histórico-cultural” ajuda a “justificar a necessidade da história da ciência como guia para construção dessa perspectiva cidadã”.

Do nosso ponto de vista, poderíamos dizer que nessa abordagem, o saber científico relacionado tem a mesma relevância que as práticas históricas e culturais (discursivas e/ou não discursivas) que envolveram o tema. Assim, estão sob a mesma importância, desenvolver em situações de ensino a compreensão sobre o conteúdo científico; como as imagens se relacionam com o campo científico; e como as imagens são produzidas, transformadas e circulam na sociedade.

Muitos desses aspectos, analisamos nos capítulos 2 e 3. Mas foi no capítulo 3 que evidenciamos a não transparência das imagens; trouxemos a opacidade das imagens, e demos visibilidade à relação que se apresenta como unívoca e inequívoca que as imagens traçam com os objetos do mundo que supostamente representam. E também analisamos a dispersão social que as imagens de partículas têm, e que são definidas por práticas culturais da nossa sociedade. São esses aspectos do capítulo 3, que ambicionamos aparecer em situações de ensino do Ensino Médio.

Por outro lado, para abordar em situações de ensino a circulação das imagens de forma ampla, poderiam ser desenvolvidas situações em que os sujeitos participem de forma simulada das circulações, como, por exemplo, confrontá-los com notícias que não possuem imagens e os estimular a escolherem imagens para essas notícias. Deslocando-os da posição de estudantes à

posição de um editor de um jornal, ou jornalista, explorando o funcionamento dessa circulação mais ampla.

Uma última possibilidade a ser apontada referente à opacidade das imagens, seria versar sobre a relação das imagens com outras formas de linguagem. Seria possível situações de ensino em que seja discutido as relações das imagens com outras imagens, textos, materialidades, explicitando como as memórias são transformadas e ressignificadas por meio de outras formulações. Uma das possibilidades seria apontar, por exemplo, as transformações que a imagem da câmara de Flâmula (Figura 2.11) teve ao ser reexibida na capa da revista do CERN COURIER de 2015 (Figura 3.20). Ou, mostrar as imagens divulgadas pelo CERN (Figura 3.9 e Figura 3.24) e a imagem do documentário *Particle fever* (Figura 3.10), abordando assim a transformação da imagem. Nessa perspectiva, o capítulo 3 contribui para compreendermos como a circulação das imagens fazem com que elas se transformem. Na prática, seria possível criar situações no âmbito escolar em que os sujeitos comparem os tipos diferentes de linguagens, encontrando padrões de similaridades nas formulações.

Em suma, neste capítulo, o que fizemos foi apontar perspectivas gerais que devem ser levadas em conta ao elaborarmos futuras práticas de ensino sobre partículas elementares. Essas perspectivas podem aumentar a possibilidade de serem criadas narrativas em sala de aula que tragam de fato a opacidade das imagens. Se nos capítulos anteriores vimos o objeto “partícula elementar” ser construído por meio da imagem, criar narrativas com essas imagens em situações de ensino fará parte da construção dos objetos com os sujeitos escolares.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, procurou discutir a produção e circulação de imagens de partículas elementares por meio de fontes históricas, a partir de um recorte temporal do século XIX até os dias atuais. Para isso, pressupomos que as imagens se inscrevem em diferentes formações discursivas (FOUCAULT, 2014), relacionam-se com outras imagens vistas ou imaginadas, estabelecem uma intericonicidade (COURTINE, 2013), são um tipo de formulação que foi produzida historicamente e socialmente. Compreendemos que as imagens significam, e ressignificam, relacionando-se com práticas discursivas e não discursivas, com práticas do laboratório, com características institucionalizadas de produção e circulação. E que elas estabelecem diferentes relações com a linguagem verbal, bem como regras de formações discursivas. Assim, nesse sentido, buscamos investigar as condições de existência que possibilitaram essas imagens, enquanto imagens *de* partículas, circularem no início do século XX.

Ao longo dos últimos três capítulos, indubitavelmente, buscou-se problematizar as imagens de partículas em muitas circunstâncias. Tivemos como objetivo dar visibilidade às imagens, trazendo, dentre várias outras questões, como a imagem de partícula se constituiu (e se constitui) em imagem “de partícula”, e não de outra coisa. Evidenciando os porquês de olharmos para algumas imagens e vermos partículas e não outras coisas. Apontando os conjuntos de práticas discursivas que estão envolvidas com essas imagens. Discutindo implicações dessa análise para situações de ensino.

No capítulo 2 estivemos preocupados com os conjuntos de práticas discursivas e não-discursivas, condições de existência para a formação de seus enunciados imagéticos, a produção das imagens de partículas. Pôde-se identificar que aquele modo de observar a natureza, retratar a natureza por meio da arte, pintar, fotografar e reproduzir a natureza, compuseram uma rede de memórias do período vitoriano romântico. E essa rede teria relação com práticas discursivas presentes na história natural. Vimos que a câmara de nuvem utilizou da prática da história natural, da mimese, para produzir fenômenos meteorológicos que envolviam as nuvens. A episteme que a câmara de Wilson estava inserida, ainda não consideraria que eram partículas na câmara. Foi preciso que o laboratório de Cavendish mudasse essa episteme, trazendo a prática de coleta de dados no lugar da imitação da natureza (mimese). Para esse laboratório, a

câmara exibia íons e havia um tratamento clássico para se interpretar as trajetórias. Só mais tarde, com a emulsão nuclear, que a episteme seria de, efetivamente, correlacionar as várias formulações, juntar a imagem às equações, dados. As práticas de criação de filmes fotográficos e emulsões fotográficas estaria no centro dos desenvolvimentos das pesquisas envolvendo raios cósmicos, sendo que os físicos não sabiam os detalhes sobre como ocorriam as detecções, e, do outro lado, as fabricantes não sabiam como funcionavam os experimentos em detalhes. A emergência da física quântica, de discussões no congresso de Solvay de 1927, acentuaria uma crise de uma nova positividade em que se consideravam o objeto, as imagens, os equipamentos experimentais e as equações matemáticas para produzir interpretações sobre as partículas. Mas percebemos também que o uso da matemática estatística, em experimentos que geram muitos dados, como em aceleradores de partículas, produziram imagens computadorizadas, imagens que computadores criavam a partir dos dados, imagens de colisões de partículas. Essa prática discursiva, da imagem criada por meio de computador, completamente distinta das práticas anteriores, produzida de forma não corporal, sem que os cientistas tivessem contato direto com o instrumento (câmera fotográfica, emulsão fotográfica, microscópio ou bulbo das câmaras), estaria relacionada com a episteme analítica que já havia sido difundida no laboratório de Cavendish. Além disso, apontamos relações matemáticas, apresentadas nos diagramas de Feynman e Zweig, ou gráficos plotados com dados estatísticos, que operam outras formas de formular as partículas.

Em suma, as análises têm indicado que no século XIX o uso da câmera fotográfica já estava difundido no ocidente, demonstrando seu potencial para atividade da medicina, atividade policial, atividade artística, estudos meteorológicos e outros usos. Até que por fim, foi amplamente utilizado por físicos, eternizando segundos em que partículas passavam por experimentos de detecção como as Câmaras de Nuvens. Técnicas específicas para registrar e analisar esses segundos, pertencente a uma cultura material, eram utilizadas, e foram aprimoradas até a metade do século XX – período esse que foi marcado por momentos em que as trilhas deixadas pelas partículas, que foram fotografadas, passaram a serem tomadas, cada vez mais, como representação genuína de um objeto. Contrapondo, assim, um contexto em que ainda não se compreendia como seria possível “observar” partículas quânticas; marcado por desigualdade de gênero nas análises das fotografias, prática exclusiva de mulheres; por desconfiança da integridade de materiais produzidos por fábricas de filmes fotográficos, materiais que eram utilizados nas técnicas de detecção.

Já no capítulo 3, objetivamos por verificar a dispersão social mais ampla das imagens de partículas. Identificamos as transformações e circulações das imagens em que existia um número menor de práticas de controles, em que os controles são de outra ordem. Foi examinado a intericonicidade das imagens (COURTINE, 2013), a interdiscursividade dos discursos (FOUCAULT, 2014), identificado as redes de memórias e relações com outras imagens e formulações. Uma rede de memória de imagens da física clássica foi a primeira a ser analisada, sendo muitas as imagens que exibem trajetórias, rastros, características corpusculares das partículas. Os vários manuais trazem imagens de trajetórias e associam funções matemáticas da física clássica para estudar essas trajetórias, construindo memórias clássicas que fazem predominar o comportamento clássico das partículas no imaginário social. Imagens exibindo círculos, esferas, bolinhas compõem outra rede de memórias, novamente predominando as características corpusculares das partículas. Mas também, circularam imagens que apresentavam trajetórias e esferas ao mesmo tempo. Em contrapartida, identificou-se que algumas imagens apresentaram o acréscimo de elementos visuais para produzir o efeito de onda, relacionando-se com o comportamento ondulatório da partícula, com a nuvem de probabilidade das partículas. Ainda, no capítulo 3, discutimos como a formulação dos textos e legendas ao redor das imagens tem um papel determinante na prática de observar essas imagens de partículas. A legenda modifica o olhar, cria um movimento de ida e volta, da imagem ao texto, um modo específico de observar essas imagens. Baseando-nos em Courtine (2013), analisamos que ao olharmos para as imagens, mobiliza-se muito mais as memórias que estão ligadas às reminiscências pessoais, e ao ler a legenda antes de olhar a imagem, trabalha-se muito mais as memórias coletivas. Os textos e legendas, reforçam mais o caráter institucional de controlar a dispersão das imagens, por isso as legendas são tão extensas quando surgem em artigos, mas são tão diminutas quando aparecem em *sites*, jornais, *blogs*. Por fim, no capítulo 3, analisamos a dispersão das imagens de partículas e identificamos que elas ocorrem em espaços modernos e que podem surgir por meio das memórias externas. Encontramos imagens que trazem elementos artísticos, criativos, em que partículas podem ter características humanas ou de monstros; em que um rastro de uma bicicleta na areia da praia pode lembrar rastros de partículas; em que uma imagem computadorizada criada por dados experimentais fazem surgir obras de artes como releitura; em que imagens de trajetórias circulares de partículas passam a aparecer em camisetas e outros objetos comerciais, como símbolo de um campo de saber.

Algumas demandas analíticas foram criadas por essa tese, demandas que, devido ao recorte escolhido, não foram centralizadas profundamente. A primeira demanda seria uma análise que tenha como foco as relações que as mulheres, cientistas, microscopistas, *scanners*, tinham com as imagens de partículas. O pouco que trouxemos mostrou o apagamento delas na autoria das imagens, mas futuros trabalhos podem mostrar o que foi silenciado; quais as anotações que elas faziam sobre as imagens; quais as discussões e debates que elas tinham com os homens cientistas e outras mulheres. A segunda demanda tem relação com os aspectos institucionais de poder a partir da segunda guerra mundial, no mundo e no Brasil. Pudemos identificar que a ciência foi usada como instrumento de poder e autonomia, por meio de incentivos financeiros nas áreas da física nuclear após a segunda guerra mundial. Mas poderíamos desenvolver trabalhos que enfoquem esse cenário pós-guerra relacionado com a produção das imagens. Apontamos indícios de que produzir pesquisas de emulsão nuclear era uma atividade barata, fácil de ser incentivada após a segunda guerra mundial. Porém, conforme os anos se passaram, os experimentos se complexificaram e encareceram e, mesmo assim, continuou-se a incentivar esses experimentos. É necessária uma análise desse processo transitório, processo que certamente influenciou as pesquisas no Brasil.

Transversalmente, nesses dois capítulos (2 e 3), foi exibido como funciona a imagem na ciência, como as imagens de partículas elementares se constituíram como um saber, e se relacionaram com instituições científicas da sociedade. As imagens de partículas, enquanto uma prática discursiva, enquanto enunciado, individualizaram-se e assumiram sua autonomia, emergindo historicamente. As várias epistemes pelas quais essas imagens passaram, tal como exploramos no capítulo 2, levam-nos a identificar que posteriormente surgiram práticas que dispersaram as imagens, modificaram as práticas históricas, analisadas no capítulo 3. Esses aspectos, relatados e discutidos nesses capítulos, teceram um domínio específico de saber em que as imagens de partículas se encontravam e, ao mesmo tempo, exibiram considerações importantes sobre aspectos sociais da ciência. Aspectos que, antes desses dois capítulos, poderiam estar sendo apagados pelo fantasma da “imparcialidade da ciência”.

Encerramos nossa análise, no capítulo 4, com as possíveis contribuições que as pesquisas apresentadas nos capítulos 2 e 3 podem trazer para futuras situações de ensino sobre física de partículas. Propomos uma perspectiva que considere a opacidade das imagens, que possa orientar futuras produções de práticas escolares. Essa perspectiva consideraria as relações de intericonicidade da imagem; modos distintos de pensar a realidade; práticas relacionadas à

materialidade do laboratório, produção e circulação das imagens; relações com outras formulações como o texto, linguagem verbal, audiovisual, etc. (SILVA; NETO, 2018).

Este trabalho apresentou algumas nuances educacionais que se podem aprofundar ainda mais. Em primeiro lugar, é preciso explorar mais profundamente as imagens, textos e legendas em livros didáticos. Exploramos muitos aspectos da circulação nesses manuais, mas uma análise que investigue mais centralmente a constituição da transparência das imagens de partículas elementares nesses livros, podem nos mostrar como eles criam outra rede de memória. Em outras palavras, é preciso uma análise que demonstre a opacidade dessas imagens nesses livros, evidenciando as formulações, práticas discursivas e não discursivas. Em segundo lugar, no capítulo 4, trouxemos perspectivas gerais que podem ser levadas em conta em futuras situações de ensino, deixando em aberto as diversas derivações narrativas que podem surgir; possíveis sequências didáticas que não tratem a imagem como sendo transparente. Há uma gama de narrativas que podem esclarecer as memórias clássicas e quânticas, até narrativas que tenham como foco a história da produção das imagens. Em terceiro lugar, é notável que tenhamos pesquisas que relatem, problematizem e discutam situações de ensino em que foi levado em consideração a opacidade das imagens. Trazer resultados práticos do uso dessa abordagem poderá fortalecer o que temos defendido nessa tese.

Da perspectiva educacional, pensamos que esta tese se apresentou como um convite para que professores, ou futuros professores, reflitam sobre as potencialidades e possibilidades de se trabalhar a história, cultura, produção e circulação das imagens de partículas. Esta tese pode fornecer subsídios para entendermos a tensão complexa entre as memórias da Física Clássica (aquelas que pressupõem uma Física funcionando em um mundo visível) e as memórias da Física de Partículas (aquelas com características quânticas) que circulam na sociedade, no campo científico e, certamente, no espaço escolar.

Por fim, este trabalho, contribuiu para pensarmos sobre os desafios de assumir essa vertente teórica-metodológica de problematizar discursivamente as práticas, características, epistemes das imagens de partículas elementares. Pois, embora as imagens sejam produzidas por experimentos, ou sejam desenhadas por cientistas, ou criadas por computadores, a sua significação e circulação ocorre de forma discursiva, sendo necessário considerarmos aspectos intrínsecos à história, cultura, materialidades, sociedade e significação dentro do campo científico da Física.

## REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das partículas elementares**. 1ª edição. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

AGUILAR, A. C. Diagramas de Feynman: O poder de uma imagem. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 40, n. 4, e4205, 2018.

ANJOS e demônios. Direção: Ron Howard. Produção: Brian Grazer; Ron Howard. Roteiro: Akiva Goldsman; David Koepp. Culver City, Califórnia, Estados Unidos: Columbia Pictures; Imagine Entertainment, 2009. 1 DVD (146 min), widescreen, color. Baseado no livro “Anjos e demônios” de Dan Brown.

ANSELMINO, M et al. **Introdução à QCD perturbativa**. Rio de Janeiro: LTC 2013.

ATLAS EXPERIMENT. **Precise measurement of the Higgs boson mass**. 2014. Disponível em: <<https://atlas.cern/updates/physics-briefing/precisemeasurement-higgs-boson-mass>>. Acesso em: ago. 2019.

AYLOR, L. **Higgs Boson**. Higgs CE0047H. [2013?]. Disponível em: <<http://cms.cern/physics/higgs-boson>> Acesso em: ago. 2019.

BACHELARD, G. **A experiência do espaço na física contemporânea**. Tradução. E. S. Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2010.

BACHELARD, G. **A epistemologia**. Lisboa: Edições 70, 2006.

BARROS, M. A.; NETO, J. T. J. Diferentes efeitos de sentidos enquanto obstáculos epistemológicos: contribuições da epistemologia de Bachelard para o ensino de física quântica. In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2017, São Carlos. **Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, São Carlos, SP: SBF, 2017.

BETTINI, A. **Introduction to Elementary Particles Physics**. Cambridge: Cambridge University Press. 2008.

BISPO, W. F. O.; DAVID, D. G. F. Sobre a cultura material dos primeiros testes experimentais do teorema de Bell: uma análise das técnicas e dos instrumentos. In: FREIRE JR., O.; PESSOA JR., O.; BROMBERG, J. L. (Org.). **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais online**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. 456p. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/xwhf5>> Acesso em: ago. 2019.

BREDEKAMP, H. Mãos pensantes – considerações sobre a arte da imagem nas ciências naturais. In: ALLOA, E. (Org.). **Pensar a imagem**. 1 ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2015.

BLAU, M.; WAMBACHER, H. Disintegration Processes by Cosmic Rays with the Simultaneous Emission of Several Heavy Particles. **Nature**, 140 (3544), p. 585, 1937.

- BUTT, E. M. Higgs Boson. **Zazzle**. Fev. 2013. il. color. Disponível em: <[https://www.zazzle.com/collections/higgs\\_boson-119628694068512297](https://www.zazzle.com/collections/higgs_boson-119628694068512297)> Acesso em: ago. 2019.
- CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. **Partículas elementares: 100 anos de descobertas**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.
- CAVALCANTE, A. L. B. L. et al. Epistemologia da Imagem: o concreto, o abstrato e a metáfora das imagens de uma organização. **Projetica**, v. 3, p. 183-192, 2012.
- CERN. Genève: European Organization for Nuclear Research. **Facebook online**. 2018. Disponível em: <<https://www.facebook.com/cern/posts/1659914420762563>> Acesso em: ago. 2019.
- CERN. Genève: European Organization for Nuclear Research. **Facebook online**. 2015. Disponível em: <<https://www.facebook.com/cern/photos/a.173272186093468.45199.169005736520113/834072000013480/?type=3>> Acesso em: ago. 2019.
- CERN. Genève: European Organization for Nuclear Research. Higgs candidate decaying into two taus in ATLAS detector. ATLAS 205. 2012. Disponível em: <<http://cds.cern.ch/record/1994460>>. Acesso em: ago. 2019.
- CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 59, n. 3, maio/jun. 2019.
- CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 58, n. 8, out. 2018.
- CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 55, n. 2, mar. 2015a.
- CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 55, n. 9, nov. 2015b.
- CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 53, n. 4, maio 2013.
- CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 3, n. 2, fev. 1963.
- CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 2, n. 3, mar. 1962.

CICLOTURISMO no lagamar. 2004. Disponível em:

<[http://webventureuol.uol.com.br/multimidia/fotos/foto\\_16478\\_2004-09-08\\_grande.jpg](http://webventureuol.uol.com.br/multimidia/fotos/foto_16478_2004-09-08_grande.jpg)>

Acesso em jan. 2015. il. color.

CLARK, L. Momentum and Energy of Elementary Particles. Graphic T-Shirt. REDBUBBLE. 2014. Disponível em:

<<https://ih1.redbubble.net/image.126428876.2983/gptr,1400x,front,black-c,313,133,750,1000-bg,f8f8f8.u7.jpg>> Acesso em: ago. 2019. il. color.

CORREIO, N. M. Intericonicidade: funcionamento discursivo da memória das imagens. **Acta Scientiarum. Language and Culture**. Maringá, v. 35, n. 4, p. 345-355, Oct.-Dec., 2013.

CORTADA, X. A banner day at the LHC. **Symmetry Magazine**. 2013. Disponível em: <<https://www.symmetrymagazine.org/article/may-2013/a-banner-day-at-the-lhc>> Acesso em: ago. 2019. il. color.

COURTINE, J. **Decifrar o corpo: pensar com Foucault**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013. 174p.

CRARY, J. **Técnicas do observador: visão e modernidade no século XIX**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012.

DAVISSON, C. J. Are electrons waves? **Journal of the Franklin Institute**, v. 206, n. 5, p. 597–623, may, 1928.

DE BROGLIE, L. **Recherches sur la théorie des quanta**, Tese, Université de Paris, Paris, 1924.

EPSRC. **Single trapped atom captures Science Photography Competition's top prize**. Swindon, Reino Unido: The Engineering and Physical Sciences Research Council – EPSRC, 12 fev. 2018. Disponível em: <<https://epsrc.ukri.org/newsevents/news/single-trapped-atom-captures-science-photography-competitions-top-prize/>> Acesso em: ago. 2019.

EXPLORADOR DO CÉU. Você sabe o que é chuva de meteoros? 2014. Disponível em: <<http://exploradordosceus.blogspot.com.br/2014/09/voce-sabe-o-que-e-chuva-de-meteoros.html>> Acesso em: maio de 2018.

FERMILAB. O que é Bóson de Higgs Legendado em português? Youtube. 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PomrY5i88oo>> Acesso em: ago. 2019.

FLECK, L. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FOUCAULT, M. **Isto não é um cachimbo**. 7. Ed. São Paulo: Paz e Terra, 2016.

FOUCAULT, M. **A Arqueologia do Saber**. 8 ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2014.

FOUCAULT, M. **As palavras e as coisas: uma arqueologia das ciências humanas**. 8 ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

FRANCIS (THE) MULE SCIENCE'S NEWS. Diseno grafico y visualizacion cientifica en fisica de particulas. 2012. Disponível em:

<<https://francisthemulenews.wordpress.com/2012/05/30/disenografico-y-visualizacion-cientifica-en-fisica-de-particulas/>> Acesso em: ago. 2019.

FRITZSCH, H. **Elementary Particles: Building Blocks of Matter**. Singapore: World Scientific, 2005.

GARCIA, R. **Bóson de Higgs é eleito a descoberta do ano pela "Science"**. Folha de São Paulo, São Paulo, 21 dez. 2012. Disponível em:

<<http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/1204592-boson-de-higgs-e-eleito-a-descoberta-do-ano-pela-science.shtml>>. Acesso em: ago. 2019.

GALISON, P. Culturas etéreas e culturas materiais. In: GIL, F. (Org.) **A ciência tal qual se faz**. 1ª edição. Lisboa: Edições João Sá da Costa, 1999.

GALISON, P. L. **Image and logic: a material culture of microphysics**. Chicago: The University of Chicago, 1997.

GENTNER, W.; MAIER-LEIBNITZ, H.; BOTHE, W. **Atlas typischer Nebelkammerbilder: mit Einführung in die Wilsonsche Methode**. Julius Springer: Berlin, 1940.

GINGRAS, Y. The Creative Power of Formal Analogies in Physics: The Case of Albert Einstein. **Science & Education**, p. 529–541, 2015.

GLASER, D. A. The bubble chamber. **Scientific American**: New York, v. 192, n. 2, p. 46-50, Feb, 1955.

GOOGLE Imagens. [2016?]. Disponível em: <[https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRKwSWaeWukTuyF\\_4UvVqwkLtf5EgsSIXq1TgHL-1eWnWeJWW79](https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRKwSWaeWukTuyF_4UvVqwkLtf5EgsSIXq1TgHL-1eWnWeJWW79)>. Acesso em: ago. 2019.

GOUVÊA, G., OLIVEIRA, C. I. C. Memória e representação: imagens nos livros didáticos de física. **Ciência & cognição**. Vol. 15 (3), p. 69-83, dez. 2010.

GRIFFITHS, D. **Introduction to elementary particles**. John Wiley & sons: Canada, 1987. p. 65.

GRUPEN, C.; SHWARTZ, B. A. **Particle Detectors**. 2ª ed. New York: Cambridge University Press, 2008.

HALLYDAY, D. **Fundamentos de física**, volume 1: mecânica. Rio de Janeiro: LTC, 2009a.

HALLYDAY, D. **Fundamentos de física**, volume 3: eletromagnetismo. Rio de Janeiro: LTC,

2009b.

HARRINGTON, J. Why Does the Atom Stick Together? **Scientific American**: New York, v. 154, e. 2, p. 80- 82, Feb, 1936.

HUGHES, L. S. **Elementary particles**. 3ª ed. Cambridge: Cambridge University Press. 1991.

INFOPÉDIA. Nuvem eletrónica do átomo. Porto: Porto Editora, [entre 2003 e 2019]. Disponível em: <[https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$nuvem-eletronica-do-atomo](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$nuvem-eletronica-do-atomo)> Acesso em: ago. 2019.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Teoria de Tudo: Será Weinstein a superação de Einstein? 2013. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=teoria-tudo-weinstein-superacao-einstein>> Acesso em: ago. 2019.

IZLAR, K. Force Carriers. Symmetry Dimensions of Particle Physics online. Ilustração de Sandbox Studio, Chicago. jul. 2013. Disponível em: <<https://www.symmetrymagazine.org/article/july-2013/force-carriers>> Acesso em: ago. 2019.

JOLY, M. **Introdução à análise da imagem**. Tradução de M. Appenzeller. Campinas: Papirus, 2008.

LATTES, C. M. G.; OCCHIALINI, G. P. S.; POWELL, C. F. A Determination of the Ratio of the Masses of  $\pi$ - and  $\mu$ -Mesons by the Method of Grain-counting. **Proceedings of the Physical Society**, v. 61, n. 2, p. 173-183, apr. 1948.

LATTES, et al. Processes Involving Charged Mesons. **Nature**, v. 159, n. 24, p. 694-697, may. 1947.

LANDSHOFF, P.; JACOB, M. The inner structure of the proton. **Scientific American**, New York, v. 242, n. 3, p. 46-55, mar. 1980.

LARSON, G. Contrails 002. Wikimedia Commons. 2005. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Contrails\\_002.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Contrails_002.jpg)> Acesso em: ago. 2019. il. color.

LIMA, J. H. G. **Circulação da ciência**: relações entre o discurso referente à ciência e o discurso de autoajuda. Florianópolis: UFSC, 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

LIMA, M. C. B.; CARVALHO; A. M. P.; M. E. R. GONÇALVES. A escrita e o desenho: instrumentos para a análise da evolução dos conhecimentos físicos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 3: p. 223-242, dez. 1998.

LIMA, M. C. B.; CARVALHO, A. M. P. O desenho infantil como instrumento de avaliação da construção do conhecimento físico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**

**online**, v. 7, n. 2, p. 337-348, 2008. Disponível em:

<[http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen7/ART4\\_Vol7\\_N2.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen7/ART4_Vol7_N2.pdf)> Acesso em: ago. 2019.

MANGUEL, A. **Lendo imagens: uma história de amor e de ódio**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001. 358p.

MARSHAK, R. E. The multiplicity of particles. **Scientific American**: New York, v. 186, n. 1, p. 22-27, Jan 1952.

MARTINS, I.; GOUVÊA, G.; PICCININI, C. Aprendendo com imagens. **Ciência e Cultura online**. v. 57, n. 4, p. 28-40, Oct./Dec, 2005. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v57n4/a21v57n4.pdf>> Acesso em: ago. 2019.

MARTINS, I. et al. Uma análise das imagens nos livros didáticos de ciências para o Ensino fundamental. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2003, Bauru, SP. **Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, SP: ABRAPEC, nov. 2003.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. **Revista da SBHC**. nº 1, p. 29-41.2003.

MOONRUNNER DESIGN LTD. Ilustração, National Geographic. 2012. Disponível em: <<https://news.nationalgeographic.com/news/2012/07/120704-god-particle-higgs-boson-new-cern-science/>> Acesso em: ago. 2019.

MOREIRA, I. C. As equações de Maxwell fazem 150 anos: descoberta ou construção? In: 14º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, 2014, Belo Horizonte. **Anais Eletrônicos do 14º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia**, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <[https://www.14snhct.sbhct.org.br/arquivo/download?ID\\_ARQUIVO=1742](https://www.14snhct.sbhct.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1742)>. Acesso em: maio 2019.

MOREIRA, I. C. 1905: um ano miraculoso. **Física na Escola online**, v. 6, n. 1, 2005. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/1905-ildeu.pdf>> Acesso em: maio 2019.

MOREIRA, M. A. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. A Física dos Quarks e a Epistemologia. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 161-173, 2007.

MOURA, B. A; BOSS, S. L. B. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: Uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. vol.37, n. 4, 4203, Oct./Dec. 2015.

MOURA, C.; GUERRA, História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 725–748, dez. 2016.

NADLINGER, D. **Single Atom in a Ion Trap**. Oxônia, Reino Unido: Universidade de Oxford, 7 ago. 2017. Canon 5D Mk II, EF 50mm f/1.8. Disponível em: <<https://epsrc.ukri.org/newsevents/news/single-trapped-atom-captures-science-photography-competitions-top-prize/>> Acesso em: ago. 2019.

NETO, J. T. J. **Imagens, conhecimento físico e Ensino de partículas elementares: Discursos na formação inicial de professores de física**. Florianópolis: UFSC, 2015. 162 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

NETO, J. T. J.; SILVA, H. C. Leitura de imagens de partículas elementares: monóculos em ação. In: XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2018, Campos do Jordão. **Atas do XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Campos do Jordão, SP: SBF, 2018.

NETO, J. T. J.; SILVA, H. C. Intericonicidade, regularidade e memória e imagens sobre partículas elementares. In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2017, São Carlos, SP. **Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**, São Carlos, SP: SBF, 2017a.

NETO, J. T. J.; SILVA, H. C. Imagens sobre partículas elementares: relações entre a circulação e o âmbito escolar. In: 10ª edición del Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, set. 2017, Sevilla. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**. v. 35, n. extraordinario, p. 3531-3536, 2017b.

NETO, J. T. J.; SILVA, H. C. A problemática da representação de partículas elementares: a construção de um átomo. In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2015, Uberlândia, MG. **Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Uberlândia, MG: SBF, 2015.

NETO, J. T. J.; SILVA, H. C. A textualização da física de partículas em um livro de divulgação científica. In: XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2014, Maresias, São Sebastião, SP. **Atas do XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Maresias, São Sebastião, SP: SBF, 2014.

O'LUANAIGH, C. Highlights from CERN in 2012. **CERN**, Genebra. 21 dez. 2012. Disponível em: <<https://home.cern/news/news/experiments/highlights-cern-2012>> Acesso em: maio 2019.

ORLANDI, E. P. **Análise de discurso: princípios e procedimentos**. 11. ed. Campinas, SP: Pontes Editores, 2013.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 415-436, set. 1999.

PAIS, A. **Sutil é o senhor...**: a ciência e a vida de Albert Einstein. Tradução de Fernando Parente e Viriato Esteves com revisão de César Benjamin. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

PAIVA, J. R.; BARRELO JUNIOR, N.; CARVALHO, A. M. P. Considerações sobre a função de representação imagética em sala de aula. In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2015, Uberlândia, MG. **Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Uberlândia, MG: SBF, 2015.

PARTICLE FEVER. Direção: Mark A. Levinson e David E. Kaplan. Anthos Media, LLC e PF Productions, LLC. 2014. Filme (99 min).

PESSOA JR., O. **Conceitos de Física Quântica**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

PESSOA JR., O. Discussão Geral das Novas Idéias Formuladas. 5º CONGRESSO DE SOLVAY (1927). In: PESSOA JR. (Org.) **Fundamentos da Física 2 – Simpósio David Bohm**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001, p. 139-172.

PESSOA JR., O. As Interpretações da Física Quântica. In: III Semana de Física, 1998, Londrina. AGUILERA-NAVARRO, M.C.K.; AGUILERA-NAVARRO, V.C.; GOTO, M. (Orgs.). **Anais III Semana de Física**. Londrina: Editora da Universidade Estadual de Londrina, p. 137-187, 1998.

PHOTOGRAPHY AT THE SPEED OF LIFE. Like It in Black and White. Blog, 2012. Disponível em: <<https://photosatthespeedoflife.wordpress.com/2012/05/16/i-like-it-in-black-and-white/>> Acesso em: ago. 2019. il.

PICKERING, A. **Constructing quarks: a sociological history of particle physics**. University of Chicago Press. Chicago, 1984.

PIETROCOLA, M. et al. Unidade 3 - Radiação e matéria. In: PIETROCOLA, M. et al. **Física em contextos 3**. Volume 3. Editora do Brasil. 3ª edição 2016.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em Contextos**: pessoal, social e histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria. 1º edição. São Paulo: FTD, 2010.

PINHEIRO, L. A. **Partículas elementares e interações fundamentais no Ensino Médio**. Porto Alegre: UFRGS, 2011. 313 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

POWELL, C. R.; OCCHIALINI, G. P. S.; LIVESEY, D. L.; CHILTON, L. V.. A New Photographic Emulsion for the Detection of Fast Charge Particles. In **Selected Papers of Cecil Frank Powell**, edited by BURHOP, E. H. S; LOCK, W. O.; MENON, M. G. K., New

York: North-Holland, p. 209-13, 1972. First published in *Journal of Scientific Instruments* 23, p. 102-106, (1946).

QUARKS | STANDARD MODEL OF PARTICLE PHYSICS. 2009. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PxQwkdu9WbE>> Acesso em: maio 2018.

REBECCA, H. 0043. **Rebecca Heisman**. 2011. Disponível em: <<https://rebeccainthewoods.files.wordpress.com/2011/05/0043.jpg>> Acesso em: jun. 2018. il. color.

REIS, R. O Átomo e o Pêndulo. 1º Atelier de Escrita em Comunicação de Ciência. 2011. Disponível em: <<http://atelierescritaciencia.blogspot.com.br/2011/06/o-atomo-e-o-pendulo.html>> Acesso em: maio 2018.

REGO, S. C. R. Imagens em livros didáticos de física: características de seres humanos em fotografias. **Em Aberto online**, Brasília, v. 31, n. 103, p. 177-190, set./dez. 2018. Disponível em: <<http://emaberto.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/view/4143>> Acesso em: ago. 2019.

REGO, S. C. R. **Imagens fixas no ensino de física**: suas relações com o Texto verbal em materiais didáticos e padrões de leitura de Licenciandos. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Saúde). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

REGO, S. C. R.; GOUVÊA, G. Imagens na disciplina escolar Física: Possibilidade de leitura. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 1, p. 127-142, 2013.

RIDPATH, I. **Guia Ilustrado Zahar de Astronomia**. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Zahar, 2007.

ROCHA- CAMPOS, C. A. Varvito de Itu, SP. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. São Paulo, p. 147-154, 2000. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio062/sitio062.htm>> Acesso em: ago. 2019.

ROSSI, B. Where do cosmic rays come from? **Scientific American**. v. 189, n. 3, Sep. 1953. p. 65.

RUTHERFORD, E. The electrical structure of matter. **Science**. v. 58, n. 1499, p. 209–221, 1923.

SAMAIN, E. As imagens não são bolas de sinuca. Como pensam as imagens. In: SAMAIN, E. (Org.). **Como pensam as imagens**. Campinas: Editora da Unicamp, 2012.

SARAMAGO, J. **Ensaio sobre a cegueira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Escrita e desenho: análise das interações presentes nos registros elaborados por alunos do ensino fundamental. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis: ABRAPEC, SC, nov. 2009.

SCIENTIFIC AMERICAN. **Kodak reports to laboratories on: a great day for photography ... a possibly outmoded philosophy ... an idea for making extra copies of oscillograms.** New York, v. 192, n. 2, P.51. Feb, 1955.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Exames de imagem no Ensino Médio: representações de futuros professores de Física. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas.** v. 35, n. extraordinario, p. 719-724, 2017.

SILVA, H. C. Ciência, política, discurso e texto: circulação e textualização: possibilidades no campo da educação científica e tecnológica. **Ciência & Ensino Online**, v. 3, p. 72-94, 2014. Disponível em: <<http://200.133.218.118:3535/ojs/index.php/cienciaeensino/article/view/884/0>> Acesso em: ago. 2019.

SILVA, H. C. Lendo imagens na educação científica: construção e realidade. **Pro-Posições** (UNICAMP. Impresso), Campinas, SP, v. 17, n.1(49), p. 71-83, 2006.

SILVA, H. C. **Discursos escolares sobre gravitação newtoniana:** textos e imagens na física do ensino médio. Campinas: UNICAMP, 2002. 233 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

SILVA, H. C. et al. Cautela ao usar imagens em aulas de ciências. **Ciência e Educação** (UNESP. Impresso), v. 12, p. 219-233, 2006.

SILVA, H. C.; NETO, J. T. J. Transparência versus opacidade na educação em ciências: as imagens na física de partículas elementares. **Em Aberto online**, Brasília, v. 31, n. 103, p. 125-147, set./dez. 2018. Disponível em: <<http://emaberto.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/view/3993>> Acesso em: ago. 2019.

SILVA, J. A. P.; NEVES, M. C. D. Leitura de imagens como possibilidade de aproximação entre arte e ciência. **Em Aberto online**, Brasília, v. 31, n. 103, p. 23-38, set./dez. 2018. Disponível em: <<http://emaberto.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/view/4002>> Acesso em: ago. 2019.

SILVA, L. L. **O funcionamento de imagens e a produção de sentidos na leitura da relatividade restrita.** Tese (Doutorado em Educação). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

STEIN, B. P. **Dois Físicos Dividem o Prêmio Nobel Pela Descoberta do Higgs.** [2012?] Science Blogs. Disponível em: <<http://scienceblogs.com.br/chivononpo/tag/boson-de-higgs/>> e <[https://www.nsf.gov/news/news\\_images.jsp?cntn\\_id=124704&org=NSF](https://www.nsf.gov/news/news_images.jsp?cntn_id=124704&org=NSF)> Acesso em: maio 2018.

STERCHI, R. S. The biggest enlargement? **CERN Courier**, Genève, v. 1, n. 10, p. 6-7, mars 1960. União de duas imagens que estavam cada metade em uma página.

TAKEDA, C. S. O que são Partículas elementares? **Coleção de partículas**. [2016?]. Disponível em: <<https://colecaodeparticulas.wordpress.com/blog/>> Acesso em: ago. 2019.

TAKEDA, C. S. As quatro forças Fundamentais (parte 2). O que são Partículas elementares? **Coleção de partículas**. 2016. Disponível em: <<https://colecaodeparticulas.wordpress.com/2016/12/24/as-quatro-forcas-fundamentais-parte-2/>> Acesso em: ago. 2019.

THOMSON, G. P. The Waves of an Electron. **Nature**, v. 122, n. 3069, p. 279–282. Aug, 1928.

Thomson, J. J. XL. Cathode Rays, **Philosophical Magazine. Series 5**, 44:269, p. 293-316, 1897.

TONOMURA, A. et al. Demonstration of single-electron build-up of an interference pattern. *American Journal of Physics*. V. 57, n. 117., p. 117-120, 1989.

TREIMAN, S. B. The weak interactions. **Scientific American**: New York, v. 200, n. 3, p. 72-84, Mar 1959.

VALLUZZI, R. T. Ink with acrylic and metal powder on “Art board” an archival epoxy-stiffened paper composite material. 2014. 22x30x0.1 pol.

VIEIRA, C. L.; VIDEIRA, A. A. P. O papel das emulsões nucleares na institucionalização da pesquisa em física experimental no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física online**. v. 33, n. 2, p. 1-11, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v33n2/a18v33n2.pdf>> Acesso em: ago. 2019.

WALK paddle cycle. 2016. Disponível em: <[https://i0.wp.com/walk-paddle-cycle.com/wp-content/uploads/2016/08/IMG\\_4729-2b.jpg](https://i0.wp.com/walk-paddle-cycle.com/wp-content/uploads/2016/08/IMG_4729-2b.jpg)> Acesso em: jun. 2018. il. color.

WEINBERG, S. Unified Theories of Elementary-Particle Interaction. **Scientific American**, New York, v. 231, n. 1, p.51, Jul., 1974

WILSON, R. R. Particle accelerators. **Scientific American**: New York, v. 198, n. 3, p. 64-73, Mar, 1958.

WILSON, C. T. R. On an Expansion Apparatus for making Visible the Tracks of Ionising Particles in Gases and some Results obtained by its Use. **Proceedings of the Royal Society of London A**, v. 87, n. 595, p. 277-292 + Plates 6-9, 1912.

WILSON, C. T. R. On a Method of making Visible the Paths of Ionising Particles: through a Gas. **Proceedings of the Royal Society of London – A**. v. 85, n. 578, p. 285-288 + Plate 9, 1911.

WORTHINGTON, A. M. **A Study of Splashes**. London: Longmans, Green, 1908.

YAGODA, H. The tracks of nuclear particles. **Scientific American**: New York, v. 194, n. 5, p. 40-47, May 1956.

YOUNG, H. D. **Física III: eletromagnetismo. Young e Freedman.** 12 ed. São paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.

ZWEIG, G. **An SU3 model for strong interaction symmetry and its breaking.** CERN-TH-412. 21 Feb. 1964. 80 p.