

DOSSIÊ – Artes, História das ciências e técnicas: interações

Explosão-fixa da onda-partícula

Diego Pereira Rezende

Doutor em Artes Visuais – UFRJ
diegoperezende@gmail.com

Resumo: Investigação que tem como objetivo analisar a fotografia “Explosivo fixa” (Man Ray, 1934) a partir do arcabouço da teoria quântica sustentado pela constatação da “dualidade onda-partícula”. Para isso, em um primeiro momento, abordaremos a edificação do “paradigma quântico” durante as primeiras décadas do século XX. Em um segundo momento, averiguaremos a potencialidade transdisciplinar consolidada por meio do desenvolvimento desse paradigma. E, em um terceiro momento, examinaremos a imagem surrealista criada por Man Ray e buscaremos explorá-la de acordo com o pensamento construído pelo “paradigma quântico” e pela transdisciplinaridade.

Palavras-chave: Paradigma quântico, imagem surrealista, transdisciplinaridade.

Explosion-fixed of the wave-particle

Abstract: Research that aims to analyze the photograph “Fixed explosive” (Man Ray, 1934) from the framework of quantum theory supported by the finding of the “wave-particle duality”. For this, in a first moment, we will approach the construction of “quantum paradigm” during the first decades of the 20th century. In a second moment, we will investigate the consolidated transdisciplinary potentiality through the development of this paradigm. And, in a third moment, we will examine the surrealist image created by Man Ray and seek to explore it according to the thinking constructed by “quantum paradigm” and by transdisciplinarity.

Keywords: Quantum paradigm, surrealist image, transdisciplinarity.

Como ponto de partida do nosso trabalho, usaremos as seguintes indagações: é possível analisar uma criação artística a partir de um experimento científico? É possível estudar uma imagem surrealista, por exemplo, a partir de um paradigma sustentado pela teoria quântica? É possível abordar uma fotografia a partir do modo de funcionamento do *fóton*? Tais interrogações podem ser pensadas aqui como núcleos de possibilidades, como arranjos que abrem um lugar de inquietação que não pretendemos propriamente responder, mas também excitar, estimular e desencadear.

Tomaremos a fotografia *Explosivo fixa*, criada por Man Ray (1890-1976), em 1934, e a concepção quântica em torno da *dualidade onda-partícula* como exemplos norteadores. Ou seja, ambos os exemplos são suportes orientadores que nos fornecem as bases conceituais e imagéticas para nos guiar pelas possibilidades interrogativas emancipadas anteriormente.

Em um primeiro tópico, estudaremos o desenvolvimento da arquitetura conceitual do *paradigma quântico* durante as primeiras décadas do século XX. Analisaremos as diferenciações em relação ao paradigma da *física clássica* – física newtoniana –, a constatação do *quantum elementar de ação* por Max Planck (1858-1947), os paradoxos do *experimento da dupla fenda* e a verificação da *dualidade onda-partícula*. E, por fim, situaremos um dos conjuntos de interpretações esboçados diante de tais descobertas teóricas e práticas: a *interpretação de Copenhague*. Em um segundo tópico, abordaremos as potencialidades transdisciplinares do arcabouço teórico consolidado pela *interpretação de Copenhague* em direção a um sistema de pesquisa fundado na *unidade do conhecimento*. Essa abordagem se dará por meio do *princípio de complementaridade*, de Niels Bohr (1885-1962), e por meio da *metodologia transdisciplinar* descrita por Barasab Nicolescu (1942-). Em um terceiro tópico, averiguaremos a possibilidade de examinar a imagem surrealista *Explosivo fixa*, composta por Man Ray, a partir da base conceitual proporcionada pelo paradigma quântico e através das potencialidades transdisciplinares fundadas por esse paradigma. E, por fim, retomaremos e articularemos os tópicos elaborados no intuito de elucidarmos as indagações e hipóteses iniciais do nosso trabalho.

Onda-partícula, um paradigma

De acordo com John Polkinghorne (1930-), “não é exagero algum pensar na teoria quântica como uma das realizações intelectuais mais incríveis do século XX e em sua descoberta como a representação de uma verdadeira revolução em nossa compreensão do processo físico”¹. Sendo assim, torna-se necessário elucidar a mudança de *paradigma* levantada com a detecção da

¹ POLKINGHORNE, John. *Teoria quântica*. Tradução de Iuri Abreu. Porto Alegre: L&PM, 2016. p. 11.

inabilidade das leis newtonianas² diante da descoberta do *quantum* e da consolidação conceitual e tecnológica da *teoria quântica* no século passado. Porém, a física hegemônica que se arquitetou antes da descoberta do *quantum* não desapareceu, mas se adequou em uma dimensão própria de funcionamento. Nesse sentido, continua sendo utilizada vastamente em torno de objetos terrestres e celestes grandes o bastante para desconsiderarmos o *quantum*.

O que chamamos de física newtoniana é a ciência que foi estruturada por meio da obra de Newton, também conhecida como *física clássica*. Um ponto de partida que podemos ter como referência para essa ciência foi a publicação, em 1687, de *Principia*³. “O impacto mais imediato da visão de mundo newtoniana foi quebrar a síntese do físico com o espiritual do final da Idade Média”⁴, sendo uma potente ferramenta para a deflagração da *Revolução Industrial* e de empreendimentos intelectuais situados em diversos campos do conhecimento⁵. Desse modo, a *visão de mundo* newtoniana acabou se tornando parte substancial do nosso legado intelectual: “a herança newtoniana ainda molda a visão do mundo físico de nosso senso comum, bem como nosso modo de pensar em toda esfera intelectual”⁶. Mas qual visão de mundo seria essa? Podemos detectar algumas posturas marcantes na herança dos princípios newtonianos. São elas: o *determinismo* e a *realidade física*. Como veremos adiante, no decorrer desse estudo, são justamente essas posturas que foram questionadas e diluídas na aparelhagem conceitual e tecnológica da teoria quântica. Logo, a concepção de determinismo e de realidade física são postas em discussão através de noções opostas, como *indeterminismo*, *probabilidade*, *incerteza* e *complementaridade*.

A eficácia presente no legado dos fundamentos newtonianos é indiscutível. A lógica de suas *leis universais* que regem o *movimento* de corpos terrestres foi de extrema relevância para as possibilidades industriais concretizadas a partir do século XVIII. Porém, a longo prazo, algo foi se transformando com o desvendar de uma ação radicalmente minúscula da matéria: o *quantum*.

O *quantum* surgiu como um elemento inovador a ser abarcado na atmosfera científica dos anos iniciais do século XX. Investigando algumas interrogações e enigmas da época sobre a *radiação do corpo escuro*⁷, Max Planck era, em suas próprias palavras, “até certo ponto hostil, e não só indiferente, à teoria atômica”⁸. No entanto, no processo de pesquisa do tema de interesse

² Referente a Isaac Newton (1642-1727). Vale lembrar aqui, em linhas gerais, as três leis fundamentais de Newton: o *princípio da inércia*, o *princípio da dinâmica* (a *força* resultante é igual a *massa* constante multiplicada pela *aceleração* constante de um corpo) e o *princípio de ação e reação* (cada *ação* corresponde a uma *reação* igual e oposta).

³ *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Em tradução livre: *Princípios matemáticos da filosofia natural*. Nessa publicação, encontram-se primariamente estabelecidas as três conhecidas leis newtonianas.

⁴ ROSENBLUM, Bruce; KUTTNER, Fred. *O enigma quântico: o encontro da física com a consciência*. Tradução de George Schlesinger. Revisão técnica de Alexandre Cherman. Rio de Janeiro: Zahar, 2017. p. 42.

⁵ A sociologia de Augusto Comte (1798-1857) e a economia política de Adam Smith (1723-1790) são apenas alguns exemplos significativos.

⁶ ROSENBLUM; KUTTNER, 2017, op. cit., p. 43.

⁷ Tema presente no campo de estudo da Termodinâmica. Em linhas gerais, a *radiação do corpo escuro* é a radiação eletromagnética térmica interior ou exterior de um corpo em equilíbrio termodinâmico com seu ambiente. Um *corpo escuro* (*black body*) é um objeto hipotético que absorve toda a radiação eletromagnética que possa incidir sobre o mesmo. Desse modo, nenhuma luz atravessa e nem é refletida em um *corpo escuro*.

⁸ PLANCK, Max. *Autobiografia científica e outros ensaios*. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012. p. 130.

inicial, em um *salto de intuição*, ele fez sua *hipótese quântica* baseada no fato de que a troca de energia estabelecida pela *radiação do corpo escuro* era *quantificada*. Ou seja, não era contínua, mas *discreta*. Completamente sem precedentes, essa ideia foi um dos melhores saltos já vistos da *imaginação racional*⁹. Através dessas formulações, Planck percebeu que era necessário introduzir uma *constante universal* em seus cálculos¹⁰: “Como ela apresentava as dimensões de uma ação (uma energia multiplicada por um tempo), propus o nome de quantum elementar de ação”¹¹. Desse modo, o *quantum* proposto por Planck, em 1900, daria nome posteriormente à teoria que estava nascendo: a *teoria quântica*.

Tentei logo incluir o *quantum* elementar de ação [...] no quadro da teoria clássica. Mas a constante mostrava-se um obstáculo recalcitrante. Tudo ficava em ordem enquanto ela podia ser considerada infinitamente pequena [...] O fracasso das minhas tentativas de transpor o obstáculo logo me mostrou o papel fundamental do *quantum* elementar de ação na física atômica: ele abria uma nova era nas ciências da natureza. Anunciava algo inesperado, destinado a revolucionar as bases do pensamento físico¹².

Sejamos mais precisos: quanto seria esse infinitamente pequeno? Em seus primeiros cálculos, Planck chegou ao valor de $6,55 \times 10^{-27}$ erg.s (*energia por tempo*). Ou seja, uma constante de dimensões extremamente mínimas, sendo, de fato, “impossível incorporá-la no quadro da teoria clássica”¹³. Diante dessa constatação, tornou-se necessário considerar a possibilidade de criação de um novo aparato teórico para uma apreensão mais profunda do *quantum* e de suas aplicações. Como afirma o próprio Planck, a questão foi se tornando cada vez mais esclarecida devido ao trabalho incansável dos físicos que integraram o *quantum* em suas pesquisas¹⁴. O primeiro passo nessa via foi dado por Albert Einstein (1879-1955) no estudo dos *quanta*¹⁵ de energia.

Podemos dizer que as elucubrações de Einstein em torno de temas fundamentais da física foram tão vulcânicas quanto a descoberta de Planck. Em 1905, Einstein publicou três artigos científicos¹⁶. O primeiro deles abordava o território da *mecânica estatística*, no qual o autor elaborou, em suma, a primeira prova consistente da existência do átomo¹⁷. O segundo tratava

⁹ PAGELS, Heinz. *The cosmic code: quantum physics as the language of nature*. New York: Simon & Schuster, 1982. p. 26.

¹⁰ Torna-se relevante destacar que não abordaremos diretamente, nesse trabalho, os artifícios matemáticos utilizados pela teoria quântica. Diante disso, buscaremos associar conceitos e experimentos no intuito de esclarecer, de modo didático, os resultados obtidos por meio de cálculos e fórmulas matemáticas.

¹¹ PLANCK, 2012, op. cit., p. 35.

¹² Ibid., p. 36.

¹³ Ibid., p. 126.

¹⁴ Ibid., p. 127.

¹⁵ *Quanta* é o plural de *quantum*.

¹⁶ Os três artigos de Einstein foram publicados no volume 17 da *Annalen der Physik*, um periódico científico editado em Berlim, na Alemanha. Alguns anos antes, em 1901, no volume 4 do mesmo periódico, Planck publicara um artigo sobre a *radiação do corpo escuro*.

¹⁷ PAGELS, 1982, op. cit., p. 28.

do *efeito fotoelétrico*¹⁸, onde usou a hipótese quântica de Planck no sentido de investigar a natureza da luz¹⁹. Já o terceiro artigo descrevia os princípios da conhecida *teoria da relatividade especial*, que mudou decisivamente o modo de pensarmos o espaço e o tempo²⁰.

Além disso, no mesmo ano, no volume posterior do mesmo periódico²¹, Einstein publica um quarto artigo, no qual elabora a *equivalência entre massa e energia*, que resulta em sua famosa fórmula: *energia* é igual a *massa* multiplicada pela *velocidade da luz* – no vácuo – ao quadrado. Ou seja, chega a constatação de que *massa* e *energia* são simplesmente diferentes manifestações de uma *mesma coisa*²². E essa *mesma coisa* necessariamente perpassa a *velocidade da luz*, que foi entendida por Einstein como uma *constante absoluta*, portanto, segundo ele, nenhum movimento ultrapassaria a velocidade da luz²³. Questões referentes à velocidade da luz foram averiguadas inicialmente nos postulados sobre a *teoria da relatividade especial*²⁴. Porém, em nosso estudo, a luz será examinada mais densamente em torno de outra perspectiva: o espectro de sua natureza bífida.

No artigo sobre o *efeito fotoelétrico*, utilizando a hipótese quântica de Planck, Einstein chega a uma suposição controversa para o início do século XX: a luz era *quantificada* em *partículas*²⁵. Contextualizemos: cientistas contemporâneos de Einstein, inclusive Planck, pensavam a luz como um *fenômeno ondulatório*, compartilhando uma *visão contínua da natureza*²⁶. Isso se devia ao triunfo da *teoria ondulatória da luz* no século anterior: “No fim do século XIX só um tolo ou um gênio se teriam atrevido a sugerir que a luz era corpuscular”²⁷. Einstein o fez.

A hipótese de Einstein implicava que, na realidade, a luz era uma *chuva de partículas* constituídas pelos *quanta de luz*²⁸, que foram posteriormente chamados de *fótons*²⁹. Em outras palavras, Einstein aplicou a hipótese quântica de Planck à radiação eletromagnética e “afirmou não ser a

¹⁸ Em linhas gerais, o *efeito fotoelétrico* é a emissão de elétrons por um material quando o mesmo é exposto a uma radiação eletromagnética, como a luz.

¹⁹ PAGELS, 1982, op. cit., p. 29.

²⁰ *Ibid.*, p. 31.

²¹ Volume 18 da *Annalen der Physik*.

²² PAGELS, 1982, op. cit., p. 37.

²³ A velocidade da luz no vácuo é de aproximadamente 300 mil quilômetros por segundo. A contagem *ano-luz*, comumente usada na Astronomia, por exemplo, obtém-se pela distância que a luz atravessa, no vácuo, o período de um ano.

²⁴ A *teoria da relatividade especial* tem como referência a *velocidade da luz* no vácuo (velocidade absoluta) e o movimento uniforme. Tais elucubrações irão culminar na *teoria da relatividade geral*, onde a referência se desloca para a *velocidade da luz* em campos gravitacionais e para movimentos não uniformes. Segundo Einstein: “É tentador para toda mente que aspira à generalização dar o passo em direção ao princípio da relatividade geral” (EINSTEIN, Albert. *Teoria da Relatividade Especial e Geral*. Tradução de Carlos Almeida Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999. p. 55). Por meio das teorias da relatividade, “Einstein conseguiu reformular e generalizar todo o edifício da física clássica” (BOHR, Niels. *Física atômica e conhecimento humano: ensaios 1932-1957*. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995. p. 88).

²⁵ A suposição do caráter corpuscular da luz já tinha sido feita, no século XVIII, por Newton. Entretanto, as provas consistentes surgidas no século XIX em torno do aspecto ondulatório da luz levou a premissa newtoniana ao descrédito.

²⁶ PAGELS, 1982, op. cit., p. 29.

²⁷ GRIBBIN, John. *A procura do Gato de Schrödinger*. Tradução de Mário Berberan Santos. Lisboa: Presença, 1988. p. 25.

²⁸ PAGELS, 1982, op. cit., p. 29.

²⁹ Nomeado, em 1926, por Gilbert Lewis (1875-1946), o *fóton* é o *quantum* da radiação eletromagnética, que inclui a luz.

luz uma onda contínua tal como os cientistas julgavam há já uma centena de anos, mas sim uma sucessão de pedaços, os quanta³⁰. Porém, aperfeiçoando suas ideias no decorrer dos anos posteriores e buscando provar que a estrutura quântica da luz era um resultado inevitável da hipótese de Planck, Einstein constatou que o melhor caminho para a compreensão da luz estaria na *fusão das teorias corpuscular e ondulatória*³¹. Em suas palavras: “É minha convicção que da próxima fase evolutiva da física vai resultar uma teoria da luz onde as teorias emissiva e ondulatória estarão, por assim dizer, fundidas”³². Tal observação apontava para o cerne da teoria quântica: a *dualidade onda e partícula*.

Eis que surge outra espécie de *salto de intuição* promovido pela *imaginação racional* – como ocorreu na hipótese de Planck e na proposição de Einstein. Dessa vez, foi Louis de Broglie (1892-1987) quem compôs a interrogação certa: “A descoberta da dualidade onda-corpúsculo [ou onda-partícula] resultou de uma sugestão feita por Louis de Broglie [...] Uma sugestão simples, e, contudo, profunda. Podemos imaginar de Broglie absorto, pensando: ‘Se as ondas de luz se comportam por vezes como partículas, não poderão também os electrões [elétrons] comportar-se como ondas?’”³³.

A *dualidade* pôde assim se alargar a um terreno geral da matéria. Nesse sentido, “a ruptura total com a física clássica ocorre a partir do momento em que há a percepção de que não apenas os fótons [fótons] e os electrões [elétrons], mas todas as ‘partículas’ e todas as ‘ondas’ são afinal um misto de onda e partícula”³⁴.

Torna-se necessário elucidarmos o domínio aparentemente controverso dessa afirmação: *partículas* são *compactas* e *ondas* são *espalhadas*. “Um fóton, um elétron, um átomo, uma molécula, em princípio qualquer objeto pode ser compacto ou espalhado”³⁵. No entanto, como substâncias fundamentais do nosso *universo* podem se comportar, simultaneamente, de forma compacta e espalhada? Richard Feynman (1918-1988) busca uma saída: “Se eu disser que se comportam como partículas, transmitirei uma impressão errada; se disser que se comportam como ondas, também. Comportam-se de uma maneira própria e inimitável, que tecnicamente podemos chamar de maneira quântica”³⁶. É essa *maneira quântica*, própria e inimitável, detectada pela ciência do século XX que nos interessa: uma visão de mundo abstrata, profunda e bífida.

A *dualidade onda e partícula* dá corpo aos primeiros indícios de *ambivalência* presentes na *teoria quântica*. Diante da pergunta “onda *ou* partícula?”, não há uma resposta suficiente. O caminho é pela dualidade: onda e partícula – ambas valem. Aqui localizamos um ponto crucial que

³⁰ GRIBBIN, 1988, op. cit., p. 43.

³¹ Ibid., p. 44.

³² EINSTEIN apud GRIBBIN, 1988, op. cit., p. 66.

³³ GRIBBIN, 1988, op. cit., p. 68.

³⁴ Ibid., p. 71.

³⁵ ROSENBLUM; KUTTNER, 2017, op. cit., p. 88.

³⁶ FEYNMAN, Richard. *Sobre as leis da física*. Tradução de Marcel Novaes. Rio de Janeiro: Contraponto: Ed. PUC-Rio, 2012. p. 134.

sinaliza amplamente em direção à mudança de *paradigma* elaborada durante décadas pela *teoria quântica*, instaurando um novo paradigma no campo intelectual do século XX.

Abrangendo o aspecto dual da matéria, de modo didático e claro, Feynman faz um breve percurso pela história e pelo significado da *dualidade onda e partícula*:

Começamos com a história da luz. Primeiro supunha-se que o comportamento da luz era bastante semelhante ao de um feixe de partículas ou corpúsculos: ela podia ser comparada à chuva ou a projéteis de uma arma. Com o avanço das pesquisas, ficou claro que isso não estava certo: a luz se comportava como ondas na água. Mas, no século XX, novas pesquisas voltaram a indicar que a luz se comportava, em muitos casos, como partículas. No efeito fotoelétrico, por exemplo, podemos contar essas partículas, hoje chamada fótons. / Os elétrons, por sua vez, quando foram descobertos comportavam-se como partículas ou projéteis. Mas pesquisas posteriores, que usaram experimentos de difração, mostraram que eles se comportavam como ondas. Com o tempo, estabeleceu-se uma confusão crescente sobre o comportamento desses objetos: seriam ondas ou partículas? Tudo parecia ter os dois aspectos³⁷.

Ao orientar sua explicação ao redor desses dois aspectos de comportamento, Feynman propõe a análise de um experimento: o *experimento da dupla fenda*³⁸. Esse *experimento* é uma referência fundamental para a teoria quântica. Aliás, gostaríamos de destacar que o nome dado carrega uma fina ironia: o *experimento da dupla fenda* traz à tona a *fenda do duplo*. É nesse experimento que podemos acessar de modo mais nítido e prático a fissura esculpida pela dualidade da matéria. Feynman elucida: “Vou usar só um experimento, que contém todo o mistério da mecânica quântica. Ele vai colocá-lo frente a frente com os paradoxos, mistérios e peculiaridades da natureza”³⁹. Apresentaremos resumidamente o arquétipo do experimento nos baseando na explanação de Feynman⁴⁰ no intuito de abarcarmos didaticamente a proposta do autor.

A estrutura visual do experimento é simples (Figura 1). Imaginemos uma Fonte, uma placa com duas fendas (Fenda I e II⁴¹) e um Detector⁴² – tudo isso separado por uma distância determinada.

³⁷ Ibid., pp. 133-134.

³⁸ Proposto originalmente por Thomas Young (1773-1829), o experimento possibilitou a constatação do caráter ondulatório da luz por meio do fenômeno de *interferência*.

³⁹ FEYNMAN, 2012, op. cit., pp. 135-136.

⁴⁰ “Probabilidade e incerteza: a visão quântica da natureza” (ibid., pp. 133-153).

⁴¹ “Você pode imaginar fendas redondas em três dimensões, pois o desenho é só uma secção transversal” (ibid., p. 136).

⁴² O Detector é composto de um material sensível à passagem do elemento vindo da Fonte.

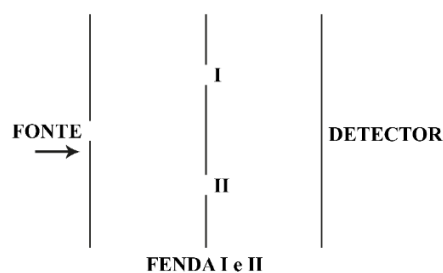


Figura 1: Experimento da dupla fenda

(esquema didático de nossa autoria)

Há uma série de possibilidades de manejarmos o experimento. Entretanto, em nossa investigação, para fins didáticos e de direcionamento, verificaremos apenas uma possibilidade ideal do sistema: a Fonte gera elementos em movimento constante, as duas fendas estão totalmente abertas, o Detector está imóvel e o espaçamento entre os elementos do sistema é o mesmo. No Detector, o que mediremos é a *probabilidade de chegada*: “um termo técnico para o número médio que chega em um dado intervalo de tempo”⁴³. Além disso, é no Detector que podemos constatar um fenômeno fundamental para o experimento: a *interferência*⁴⁴.

Inicialmente, falaremos sobre o resultado do sistema caso estejamos usando uma fonte de *partículas* (elementos compactos). Após isso, descreveremos o resultado se estivermos utilizando uma fonte de *ondas* (elementos espalhados). Por último, abordaremos o que ocorre quando usamos *elétrons* ou *fótons* como fonte.

No primeiro caso, as *partículas* chegam em unidades compactas, uma a uma. Assim, a medida de probabilidade de sua chegada é calculada pela soma do número de partículas que passam separadamente pelas duas fendas abertas. Sendo compactas, o cálculo da probabilidade de chegada é simples, basta somar a *quantidade* de partículas que passaram por cada abertura.

Já no segundo caso, as *ondas* não chegam em unidades compactas, pois são espalhadas. Desse modo, falaremos da *intensidade* das ondas, não em *quantidade*. Por serem espalhadas, o cálculo é diferente, precisaríamos usar um artifício matemático de proporção ao quadrado. Portanto, é possível verificarmos que, ao contrário do que ocorre com *partículas*, a *probabilidade de*

⁴³ FEYNMAN, 2012, op. cit., p. 138.

⁴⁴ Para compreendermos o fenômeno de *interferência* apresentado no *experimento* de Young, podemos usar como ilustração simples o encontro de duas ondas de água em um mesmo ponto. *Ondas* possuem cristas (ondulação positiva) e vales (ondulação negativa). Sendo assim, o encontro de duas cristas gera uma ondulação positiva mais elevada e o encontro de dois vales leva a uma elevação negativa mais profunda – em ambos os casos temos uma *interferência construtiva*. Entretanto, quando há o encontro de uma crista com um vale, as ondulações positiva e negativa se aniquilam, gerando uma *interferência destrutiva*.

chegada é diferente da soma da *intensidade ondulatória* que atravessa as duas fendas abertas. Nesse caso, devido ao resultado, podemos detectar que há *interferência*.

No último caso, algo interessante acontece. Seguindo a descrição do experimento, se usarmos *elétrons* ou *fótons*, esses se apresentam em unidades compactas (como *partículas*), mas a medida de probabilidade de chegada resulta em *interferência*, ou seja, estabelece-se como se estivéssemos calculando elementos espalhados (como *ondas*). Nas palavras de Feynman: “Os elétrons chegam como partículas, mas a probabilidade de chegada dessas partículas é determinada como se fosse a intensidade de ondas. Nesse sentido, os elétrons se comportam como partículas e como ondas ao mesmo tempo”⁴⁵.

Analisemos mais calmamente o resultado obtido com *elétrons* ou *fótons*. E se fecharmos uma das fendas? Fechando a primeira fenda, temos um resultado A. Fechando a segunda fenda, obtemos um resultado B. Porém, *abrindo as duas fendas*⁴⁶, não temos a soma de A mais B, mas uma probabilidade de chegada obtida por um cálculo ao quadrado. Nesse sentido, como podemos entender que os elétrons ou fótons se distribuem de uma maneira quando passam pela primeira fenda e de outra maneira quando passam pela segunda fenda sem que se obtenha a simples *soma* desses quando as duas fendas estão abertas? Em outras palavras, já que elétrons ou fótons chegam em unidades compactas, é razoável supor que passaram pela primeira fenda ou pela segunda fenda. Sendo também razoável pensarmos que o resultado obtido com as duas fendas abertas seja a soma das passagens por cada uma das fendas, mas não é. Segundo o autor, a matemática é esclarecedora:

Por exemplo, se coloco um detector no ponto *q* [ponto fictício no Detector] com as duas fendas abertas, não percebo praticamente nada. Se fecho uma das fendas, percebo muitos elétrons; se fecho a outra, percebo alguns; se deixo as duas abertas, não tenho nada. Deixo que passem pelas duas fendas e eles não chegam mais! Considere agora o ponto no centro [ponto fictício central no Detector]; podemos mostrar que ali a intensidade é maior do que a soma das curvas [a curva é referente à probabilidade de chegada] correspondentes às fendas tomadas individualmente. Para explicar esse fenômeno você poderia argumentar que os elétrons arranjam um jeito de ficar passando pelas fendas para a frente e para trás, ou fazem algo ainda mais complicado: dividem-se ao meio e passam pelas duas fendas, ou alguma coisa assim. Ninguém conseguiu elaborar uma explicação satisfatória [apesar da afirmação ainda ser atual, precisamos contextualizá-la: a citação do autor é da década de 60]. A matemática é simples, a curva é simples⁴⁷.

Vamos além: podemos propor uma *observação*⁴⁸ do experimento. Sendo assim, mais especificamente, usaremos *luz* sobre *elétrons*, seguindo o exemplo de Feynman (2012). Colocamos,

⁴⁵ FEYNMAN, 2012, op. cit., p. 144.

⁴⁶ Uma observação relevante: deixar ambas as fendas abertas nos proporcionam dialogar justamente com o caráter dual do experimento.

⁴⁷ FEYNMAN, 2012, op. cit., p. 144.

⁴⁸ O sentido de *observação*, nesse caso, é amplo. Obtemos *observação* não só por meio do olho humano, mas através de qualquer *instrumento de medida* aprimorado tecnologicamente.

portanto, uma intensa fonte de luz atrás das fendas e, se ela for suficientemente forte, podemos ver os elétrons quando passam. Cada vez que um elétron for contado, olharemos para checar se no momento anterior vimos um *flash* atrás da primeira ou da segunda fenda. Ou, como averigua o autor, talvez possamos ver meio *flash* atrás de cada uma ao mesmo tempo. Então, acendemos a luz e olhamos. Quando verificamos uma detecção, há sempre um *flash* atrás da primeira ou da segunda fenda. Logo, o elétron passa totalmente completo ou pela primeira ou pela segunda fenda *quando estamos observando*⁴⁹. Porém, como acrescenta Feynman, obtemos respostas diferentes quando a luz está acesa e quando está apagada. Se acendo a luz, temos resultados referentes a *partículas*. Se apago a luz, os resultados são condizentes às características *ondulatórias*. “A natureza nos escapou! Podemos dizer, então, que a luz altera o resultado”⁵⁰.

É importante ressaltarmos que os elétrons são altamente sensíveis. Portanto, “quando jogamos luz forte sobre um elétron, ela esbarra nele”⁵¹. E, inversamente, conforme usamos uma luz cada vez mais fraca, a *probabilidade de chegada* vai ganhando, de modo contínuo, a forma característica da *interferência*. Em suma, “é impossível regular a luz de modo que sejamos capazes de saber por qual fenda ele passou sem perturbar seu padrão de chegada, sem destruir a interferência; isso não se dá só com a luz, mas com qualquer coisa”⁵². Sendo assim, “é sobre essa corda bamba lógica que temos de andar se quisermos interpretar a natureza”⁵³ – pois essa é uma proposição generalizada, não se aplica apenas ao caso das duas fendas, funciona de modo geral quando buscamos *observar* o mundo subatômico. Usaremos assim o experimento como ilustração: se quisermos saber qual alternativa foi realizada (por qual fenda um *elétron* passou, por exemplo) perderemos o efeito de *interferência*, ou seja, a probabilidade original do experimento.

Para além dos dados apresentados, podemos mencionar uma classe de experimentos ainda mais ampla do que apenas o experimento de interferência da dupla fenda, mas, como escreve Feynman: “Isso é só repetir a mesma coisa. Não é mais profundo, é só mais amplo [...] O mistério profundo é o que descrevi”⁵⁴. Tal profundidade constitui um dos pilares conceituais mais extensamente enraizados da *teoria quântica*.

Na década de 1920, a *dualidade onda e partícula* já era um fenômeno examinado e verificado pelo meio científico. Entretanto, o que as constatações do fenômeno *significavam*? Tornou-se necessário *interpretar* as aplicações da dualidade. Nesse tópico, iremos descrever uma delas: a *interpretação de Copenhague*. Essa interpretação nos servirá como posicionamento dentro do *paradigma quântico*, ou seja, apresentaremos essa interpretação compartilhando seu ponto de vista e admitindo afinidades intelectuais com suas elucubrações. Lembrando que passaremos aqui a um

⁴⁹ FEYNMAN, 2012, op. cit., p. 145-146.

⁵⁰ Ibid., p. 147.

⁵¹ Ibid., p. 147.

⁵² Ibid., p. 148.

⁵³ Ibid., p. 150.

⁵⁴ Ibid., p. 150.

campo de análise conceitual mais denso, assim, abordaremos ponderações de cientistas que elaboraram perspectivas em torno de experimentos quânticos já averiguados.

Para todos os propósitos *práticos*, como enfatiza John Bell (1928-1990), a *interpretação de Copenhague* funciona perfeitamente. Ou seja, mesmo com a fissura que o fenômeno da *dualidade* nos traz, os cálculos matemáticos e a produção tecnológica prosseguem a todo vapor⁵⁵. Na verdade, não existe uma interpretação de Copenhague oficial⁵⁶, o que há são ponderações em torno do que ficou conhecido pelo nome da cidade natal de Niels Bohr – um dos principais cientistas, junto a Werner Heisenberg (1901-1976), envolvidos na elaboração teórica da interpretação. Capital da Dinamarca, Copenhague foi palco de diversos debates e avanços ao redor da *teoria quântica*. Essas ponderações podem ser configuradas em três ideias básicas: a *interpretação probabilística da função de onda*⁵⁷, o *princípio de incerteza* e o *princípio de complementaridade*⁵⁸. Vejamos cada uma delas.

Enquanto o ponto de vista newtoniano nos apresenta uma visão de mundo estritamente *determinista*, a teoria quântica levanta um *indeterminismo* vinculado à natureza que podemos chamar de *probabilidade quântica*. Segundo a interpretação de Copenhague: “A probabilidade quântica não é a probabilidade de onde o átomo está. É a probabilidade objetiva de onde você (ou qualquer pessoa) poderá encontrá-lo. O átomo não estava em certo lugar até ser observado lá”⁵⁹. (Abramos parênteses: a última afirmação é bastante polêmica. Muitos cientistas – entre eles, Einstein e Erwin Schrödinger (1887-1961) – discordaram publicamente de tal ideia e traçaram um intenso diálogo ao redor dela⁶⁰. Porém, torna-se preciso descrever e elucidar o requinte conceitual trazido por Bohr e Heisenberg. O refinamento teórico dos dois cientistas é de extrema relevância para a consolidação da *teoria quântica*).

Logo, a afirmação citada acima nos diz que se olharmos um ponto particular e vermos um átomo ali, essa *observação* colapsaria a *função de onda* espalhada daquele átomo para que esse ficasse inteiramente compacto naquele ponto específico⁶¹. Esse fenômeno é chamado de *colapso da função de onda*. De acordo com essa perspectiva, a *observação* faz colapsar a *ondulatividade* ou *probabilidade*⁶² para um ponto específico. Logo, o objeto não é independente de sua observação, ou seja, “o observado não pode ser separado do observador”⁶³. Como já descrito anteriormente (ver nota de rodapé nº 48), tomamos aqui como *observador* não só o ser humano, mas qualquer

⁵⁵ “Um terço da nossa economia [referente aos Estados Unidos da América] envolve produtos baseados na mecânica quântica” (ROSENBLUM; KUTTNER, 2017, op. cit., p. 149).

⁵⁶ *Ibid.*, p. 149.

⁵⁷ “A representação matemática da onda é chamada de ‘função de onda’” (*ibid.*, p. 94).

⁵⁸ *Ibid.*, p. 152.

⁵⁹ *Ibid.*, p. 153.

⁶⁰ O debate entre Bohr e Einstein é mundialmente conhecido. Podemos considerar a Conferência de Solvay, em 1927, como seu ponto de partida. Nas palavras de Bohr: “Os debates com Einstein [...] estenderam-se por muitos anos, que assistiram a um grande progresso no campo da física atômica. Quer nossos encontros efetivos tenham sido de longa ou curta duração, eles sempre deixaram em minha mente uma impressão profunda e duradoura” (BOHR, 1995, op. cit., p. 82).

⁶¹ ROSENBLUM; KUTTNER, 2017, op. cit., p. 101.

⁶² “Born [Max Born (1882-1970)] percebeu que a ondulatividade numa região era probabilidade, a probabilidade de o objeto inteiro ser encontrado naquela região” (*ibid.*, p. 100).

⁶³ *Ibid.*, p. 103.

instrumento de medida, incluindo qualquer possibilidade tecnológica aprimorada de observação. Nesse sentido, para a perspectiva abordada, o mundo físico *não observado* é descrito como uma *superposição de potencialidades*, ou melhor, como um *estado de superposição*. Tal afirmação é primordial para nossa investigação. A visão analítica de Copenhague pontua que elementos não observados de escala atômica existem em uma *atmosfera abstrata*.

Essa visão perfura a estrutura de *realidade física* newtoniana, pois a discussão em torno da concepção de *real* deixa de ser algo propriamente do território macroscópico e mergulha no oceano conceitual da *teoria quântica*. Segundo Gaston Bachelard (1884-1962), o dilema entre *determinismo* – herança newtoniana – e *indeterminismo* – levantado pela probabilidade quântica – “perturba profundamente nossa concepção do real e dá a essa concepção uma estranha ambivalência”⁶⁴. Para ele, no final do século XIX, ainda se acreditava no caráter *empiricamente unificado* do nosso *conhecimento do real*⁶⁵. Porém, com a chegada da ciência do século XX, com mensagens de um *mundo desconhecido*⁶⁶, o *real* se *desindividualiza fisicamente* indo para as *profundezas da física infinitesimal*⁶⁷: “Real microfísico que tanto pode ser matéria, radiação, energia química ou movimento contínuo. Seria possível dizer que a realidade microfísica sempre está de certo modo na encruzilhada e que só pode ser prevista sob a forma de probabilidade”⁶⁸.

Assim, seguindo o ponto de vista de Copenhague, o que podemos chamar de *real*, no nível quântico, teria um fundamento *abstrato* e existiria em *superposição*. Quando falamos sobre uma *atmosfera abstrata*, estamos nos movimentando através de um terreno matemático. Referindo-se à *dualidade onda e partícula*, Bachelard esclarece: “O corpúsculo [ou *partícula*] e a onda não são coisas ligadas por mecanismos. Sua associação é de ordem matemática; deve-se compreendê-los como momentos diferentes da matematização da experiência”⁶⁹. Desse modo, “não consideraremos a matemática pura como um ramo separado do conhecimento, mas com um aperfeiçoamento da linguagem geral e que a suplementa com instrumentos apropriados para representar relações para as quais a expressão verbal corriqueira é imprecisa ou confusa”⁷⁰.

O segundo pilar elaborado pela interpretação de Copenhague é um fundamento matemático fundado por Heisenberg: o *princípio de incerteza*. Em linhas gerais, o princípio nos fala que quanto maior a precisão com que se mede a *posição* de um objeto, mais incerteza se terá sobre seu *momento* (isto é, o produto da massa pela velocidade). E vice-versa, quanto maior a precisão com que se mede o *momento* de um objeto, mais incerteza se terá sobre sua *posição*⁷¹. Além de

⁶⁴ BACHELARD, Gaston *A filosofia do não; O novo espírito científico; A poética do espaço*. Seleção de textos de José Américo Pessanha. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. São Paulo: Abril Cultural, 1984. p. 98.

⁶⁵ Id., *Estudos*. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008. p. 11.

⁶⁶ Ibid., p. 12.

⁶⁷ Ibid., p. 13.

⁶⁸ Ibid., pp. 63-64.

⁶⁹ Id., 1984, op. cit., p. 138.

⁷⁰ BOHR, 1995, op. cit., p. 86.

⁷¹ ROSENBLUM; KUTTNER, 2017, op. cit., pp. 158-159.

posição e momento, podemos usar também *energia e tempo* no mesmo raciocínio. Bohr descreve, segundo sua perspectiva, o princípio criado por Heisenberg:

Qualquer procedimento imaginável que vise localizar os elétrons de um átomo no espaço e no tempo implicará, inevitavelmente, uma troca essencialmente incontrolável de momento e energia entre o átomo e os aparelhos de medida, aniquilando por completo as notáveis regularidades da estabilidade atômica pelas quais o *quantum* de ação é responsável. Inversamente, qualquer investigação dessas regularidades, cuja descrição implica, ela mesma, as leis de conservação da energia e do momento, imporá, em princípio, uma renúncia no que tange à localização espaço-temporal dos elétrons individuais do átomo. Longe de serem incoerentes, portanto, os aspectos dos fenômenos quânticos revelados pela experiência obtida nessas condições mutuamente excludentes devem ser considerados complementares⁷².

Nesse sentido, o terceiro pilar da interpretação de Copenhague é uma *síntese racional* aprimorada por Bohr no decorrer de toda a sua vida, alargando-se para um território além da física: o *princípio de complementaridade*. De acordo com ele: “A interação dos objetos atômicos com os instrumentos de medida é parte integrante dos fenômenos quânticos. Portanto, os dados obtidos através de diferentes arranjos experimentais não podem ser compreendidos nos moldes costumeiros, e a necessidade de levar em conta as condições em que a experiência é obtida impõe o modo de descrição complementar”⁷³.

Então, segundo Bohr, há *ambivalência*, ou seja, *ambos valem*: observador e observado, instrumento e objeto, onda e partícula. A base do princípio de complementaridade nos diz que “dois aspectos de um objeto microscópico, seu aspecto de partícula e seu aspecto de onda, são ‘complementares’. Uma descrição completa requer ambos os aspectos contraditórios”⁷⁴. Portanto, “Bohr tentava admitir a existência simultânea de partículas e ondas, afirmando que, embora os dois conceitos fossem mutuamente excludentes, ambos eram necessários para uma descrição completa dos processos atômicos”⁷⁵. Para Heisenberg, Bohr entendia que “a complementaridade era uma característica central de todas as tentativas de descrever a natureza, um traço inerente a ela”⁷⁶.

No final da década de 1920, Bohr e Heisenberg eram intensos interlocutores e debatiam constantemente os princípios da *teoria quântica* e suas implicações conceituais⁷⁷. É importante salientar que eles não compartilhavam um ponto de vista tão homogêneo quanto possa parecer em um primeiro momento. Discordavam em pontos relevantes, mas uniram suas perspectivas

⁷² BOHR, 1995, op. cit., pp. 24-25.

⁷³ Ibid., pp. 2-3.

⁷⁴ ROSENBLUM; KUTTNER, 2017, op. cit., p. 161.

⁷⁵ HEISENBERG, Werner. *A parte e o todo*. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. p. 94.

⁷⁶ Ibid., pp. 127-128.

⁷⁷ Heisenberg, na época, fazia seu pós-doutorado e Bohr era seu supervisor.

no intuito de fundamentar uma *interpretação* possível para os fenômenos quânticos emergentes. Logo, podemos constatar que os princípios de ambos – *incerteza* e *complementaridade* – foram formulados quase que simultaneamente no decorrer do ano de 1927 – justamente quando cada um se voltou para a solidão dos próprios pensamentos após meses de longos diálogos noturnos⁷⁸.

Investigando uma percepção baseada na *unidade do conhecimento*, Bohr ampliou a noção de *complementaridade* para além do campo da física. No tópico a seguir, averiguaremos a possibilidade de uma perspectiva *transdisciplinar* a partir do paradigma quântico.

Unidade do conhecimento, uma perspectiva transdisciplinar

De acordo com Bohr: “A lição epistemológica contida no desenvolvimento da física atômica faz-nos lembrar uma situação similar com respeito à descrição e compreensão de experiências que ultrapassam em muito as fronteiras da ciência física, e nos permite descobrir traços comuns que promovem a busca da unidade do conhecimento”⁷⁹.

Na procura dessa *unidade*, Bohr encontrou um vetor: “um incentivo para examinar se a solução dos paradoxos examinados com que deparamos na aplicação de nossos conceitos mais simples aos fenômenos atômicos não nos ajudaria a esclarecer dificuldades conceituais em outros campos da experiência”⁸⁰. A pesquisa de Bohr em torno do campo da *psicologia* se fez a partir desse vetor:

O uso de atributos aparentemente contrastantes, referidos a aspectos igualmente importantes da mente humana, de fato apresenta uma analogia notável com a situação da física atômica, na qual fenômenos complementares requerem, para sua definição, diferentes conceitos elementares [...] Nessa analogia, a impossibilidade de fornecer um conteúdo inambíguo para a ideia de subconsciente [ou inconsciente] corresponde à impossibilidade da interpretação pictórica do formalismo quântico⁸¹.

Ou seja, segundo Bohr, a ambiguidade fundada em torno da *ideia de inconsciente* é compatível com a impossibilidade de interpretação pictórica sobre a composição matemática presente no *formalismo quântico*. O que podemos constatar nos estudos de Sigmund Freud (1856-1939), pois, de acordo com ele, uma das características do *inconsciente* é a *ausência de contradição*⁸². Precisariamos, então, de outras estratégias para desbravarmos os territórios quântico e inconsciente. Bohr elucida: “Devemos ter claro que, quando se trata de átomos, a linguagem só pode ser

⁷⁸ HEISENBERG, 1996, op. cit., pp. 93-94.

⁷⁹ BOHR, 1995, op. cit., p. 95.

⁸⁰ Ibid., p. 26.

⁸¹ Ibid., p. 98.

⁸² FREUD, Sigmund. O inconsciente (1915). In: *Introdução ao narcisismo, Ensaio de metapsicologia e outros textos* (1914-1916). Obras completas – Volume 12. Tradução de Paulo César de Souza. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

usada como na poesia, pois não se trata de expressar precisamente dados objetivos, mas sim de fazer com que o ouvinte conceba imagens na sua consciência e estabeleça ligações mentais”⁸³. Bohr procura uma linguagem possível para a exploração de campos inóspitos do conhecimento:

Pode-se dizer que a arte literária, a arte pictórica e a arte musical compõem uma sequência de modos de expressão em que a renúncia cada vez mais ampla à definição, característica da comunicação humana, dá à fantasia uma liberdade maior de manifestação. Na poesia, em particular, esse propósito é alcançado pela justaposição de palavras relacionadas com situações observacionais mutáveis, com isso unindo emocionalmente múltiplos aspectos do conhecimento humano⁸⁴.

A partir da citação de Bohr, podemos localizar um exemplo posterior fecundo de *justaposição de palavras* na poesia de Herberto Helder (1930-2015). No livro *Poemacto*, de 1961, Helder escreve: “Há no meu esquecimento, ou na lembrança / total das coisas, / uma rosa como uma alta cabeça, / um peixe como um movimento / rápido e severo. / Uma rosapeixe dentro da minha ideia / desvairada”⁸⁵. Busquemos assim, por meio da leitura do trecho acima, conceber a justaposição *rosa e peixe* em uma mesma imagem, unindo uma *alta cabeça* com um *movimento rápido e severo*. Se considerarmos a *alta cabeça* com um elemento *fixo* e o *movimento rápido e severo* como um elemento *explosivo*, temos a concepção de uma imagem ambivalente: a *explosão-fixa* da *rosapeixe*.

Rosa e peixe formam um duplo intrincado, um “nome no espírito como uma rosapeixe”⁸⁶. Formam, portanto, uma imagem concebida mentalmente em um nome ambivalente. Assim, na imagem da *rosapeixe* criada por Helder, flora e fauna, terrestre e aquático, inércia e movimento, deixam de ser percebidos como coisas contraditórias. O híbrido *rosapeixe* forma uma imagem onde *rosa e peixe* se tornam elementos *complementares*, usando o termo de Bohr.

Retomando o pensamento de Bohr em direção à unidade do conhecimento, podemos reconhecer sua busca em elucidar questões de campos distintos do saber tendo como base o arcabouço conceitual arquitetado pelos fundamentos da teoria do *quantum*. Décadas após as elucubrações de Bohr, já no final do século XX, Barasab Nicolescu elabora uma posição intelectual, uma visão de mundo, que também tem como propósito a *unidade do conhecimento: a transdisciplinaridade*.

Baseando-se na *revolução quântica* e na *revolução informática*, Nicolescu escreve: “A transdisciplinaridade, como o prefixo “trans” indica, diz respeito àquilo que está ao mesmo tempo entre as disciplinas, através das diferentes disciplinas e além de qualquer disciplina. Seu objetivo

⁸³ BOHR apud HEISENBERG, 1996, op. cit., p. 54.

⁸⁴ BOHR, 1995, op. cit., p. 101.

⁸⁵ HELDER, Herberto. *Poemacto*. In: *Ou o poema contínuo*. São Paulo: A Girafa, 2006. p. 108.

⁸⁶ *Ibid.*, p. 110.

é a compreensão do mundo presente [década de 1990], para o qual um dos imperativos é a unidade do conhecimento”⁸⁷.

Segundo a perspectiva transdisciplinar, a maioria das *lógicas quânticas* elaboradas (sustentadas pela *dualidade onda-partícula*) modificaram um importante axioma da *lógica clássica*: o axioma da não-contradição⁸⁸. Com isso, podemos integrar ao pensamento lógico um modo não binário de concepção da realidade: a *lógica do terceiro incluído* – formalizada por Stéphane Lupasco (1900-1988). Essa lógica, que é parte fundamental da metodologia transdisciplinar, assume que existe um terceiro termo *T* que é ao mesmo tempo *A* e *não-A*. Ou seja, um terceiro termo que é, simultaneamente, um elemento (*A*) e seu oposto (*não-A*):

Para se chegar a uma imagem clara do sentido do terceiro incluído, representamos os três termos da nova lógica – *A*, *não-A* e *T* – e seus dinamis-mos associados por um triângulo onde um dos ângulos situa-se em um nível de Realidade e os dois outros em outro nível de Realidade. Se permanecermos num único nível de Realidade, toda manifestação aparece como uma luta entre dois elementos contraditórios (por exemplo: onda *A* e corpúsculo [ou partícula] *não-A*). O terceiro dinamismo, o do estado *T*, exerce-se num outro nível de Realidade, onde aquilo que parece desunido (onda ou corpúsculo) está de fato unido (quantum), e aquilo que parece contraditório é percebido como não-contraditório⁸⁹.

Tais *níveis de Realidade*, considerados por Nicolescu, podem ser exemplificados pela *realidade clássica* (macrofísica) e pela *realidade quântica* (microfísica). A realidade clássica funciona segundo a contradição *A* e *não-A* (dois ângulos de um triângulo) enquanto a realidade quântica concebe a possibilidade de um terceiro elemento *T* (terceiro ângulo do mesmo triângulo).

Nossa passagem pelos princípios da *transdisciplinaridade* tem como objetivo evidenciar uma abertura de perspectiva histórica proporcionada pelos estudos de Bohr. Uma perspectiva que legitima a possibilidade de pensarmos por meio de arranjos não-contraditórios que estão através e para além das disciplinas tradicionais. Desse modo, admitindo a sugestão de Bohr e tomando a potência *transdisciplinar* do *paradigma quântico* como orientação, podemos afirmar, por exemplo, que os elementos *rosa* e *peixe*, concebidos anteriormente no poema de Helder, comportam-se de “uma maneira própria e inimitável, que tecnicamente podemos chamar de maneira quântica”⁹⁰. Em outras palavras, estamos em um terreno abstrato, experimentando mentalmente *onda* e *partícula* do mesmo modo que experimentamos mentalmente *rosa* (fixo) e *peixe* (explosivo). Assim como Bohr nos sugere, estamos usando a linguagem para conceber imagens e para estabelecer experimentos mentais.

⁸⁷ NICOLESCU, Basarab. *O manifesto da transdisciplinaridade*. Tradução de Lucia Pereira de Souza. São Paulo: TRIOM, 1999. p. 53.

⁸⁸ Ibid., p. 37.

⁸⁹ Ibid., pp. 38-39.

⁹⁰ FEYNMAN, 2012, op. cit., p. 134.

A *maneira quântica* de funcionamento toma aqui um propósito transdisciplinar em busca da *unidade do conhecimento* esboçada por Bohr e Nicolescu. Unidade essa que transpassa os campos de conhecimento transformando os limites de suas fronteiras. Como, por exemplo, podemos transitar entre o elemento *fóton* e o elemento *fotografia*? Se pudermos nos desprender, por um momento, dos modelos fechados que edificaram historicamente abismos entre a *ciência* e a *arte*, podemos experimentar mentalmente esses dois campos como campos em transição aberta, em fluxo teórico contínuo. No exemplo acima, independente das disciplinas dadas, um lugar em comum se apresenta. Etimologicamente, a palavra *fotografia* significa “grafia da luz”. Sabendo que o *fóton* é a menor unidade de informação (*quantum*) da luz, podemos considerar conceitualmente a fotografia como um modo de se grafar (escrever, manejar, lapidar) com fótons.

Sendo assim, torna-se legítima a pergunta: a *maneira quântica* de funcionamento do *fóton*, constatada anteriormente, pode nos servir de *arcabouço conceitual* para analisarmos uma *fotografia*? Tomemos essa pergunta enquanto inquietação e analisemos possíveis apontamentos no próximo tópico.

Explosão-fixa, uma imagem

De modo provocativo, Guillaume Apollinaire (1880-1918) e André Breton (1896-1966), dois dos fundadores do *surrealismo*⁹¹, afirmam: “as conquistas da ciência se baseiam mais num pensamento surrealista que num pensamento lógico”⁹². Não retiramos o fulgor intelectual da afirmação de Apollinaire e Breton citada por Walter Benjamin (1892-1940), ao contrário, vemos nela um amplo horizonte de estudo. Porém, na investigação que propomos aqui, buscaremos uma orientação dialética. Consideremos, portanto, o âmagô provocativo da afirmação acima: a *ciência* se baseia em um *pensamento surrealista*. E o que seria esse pensamento surrealista?

No *Segundo Manifesto do Surrealismo*, publicado em 1930, Breton se propõe a “provocar, do ponto de vista intelectual e moral, uma crise de consciência”⁹³. Sob o ponto de vista intelectual, tratava-se de “pôr à prova, por todos os meios possíveis, e fazer reconhecer a todo preço o caráter artificial das velhas antinomias”⁹⁴. Segundo ele: “Tudo leva a crer que existe um certo

⁹¹ O termo *surrealismo* – segundo a origem da palavra: super-real, acima do real, para além do real – foi criado, em 1917, por Apollinaire em seu livro *As mamas de Tirésias* que subintitulou *Drama Surrealista*. Já a noção teórica de *surrealidade* foi aprimorada por Breton em três manifestos: o *Manifesto do Surrealismo*, de 1924; o *Segundo Manifesto do Surrealismo*, de 1930; e o *Prolegômenos a um Terceiro Manifesto do Surrealismo ou Não*, de 1942.

⁹² BENJAMIN, Walter. O surrealismo. O último instantâneo da inteligência europeia. In: *Magia e técnica, arte e política*. Tradução de Sérgio Paulo Rouanet. São Paulo: Brasiliense, 1987. p. 28.

⁹³ BRETON, André. *Manifestos do surrealismo*. Tradução de Sergio Pachá. Rio de Janeiro: Nau, 2001. p. 153.

⁹⁴ *Ibid.*, p. 153.

ponto do espírito de onde a vida e a morte, o real e o imaginário, o passado e o futuro, o comunicável e o incommunicável, o alto e o baixo deixam de ser percebidos como coisas contraditórias. Ora, seria falso atribuir à atividade surrealista qualquer motivação que não fosse a esperança de determinar esse ponto”⁹⁵.

Podemos localizar um dos alicerces da intelectualidade surrealista na busca pelo *ponto do espírito* descrito por Breton. Ponto onde elementos opostos deixam de ser percebidos como contraditórios. Tateada sob uma perspectiva transdisciplinar, não seria essa a *maneira quântica* de funcionamento do *fóton*? Não seria essa a forma de conceber a *matematização da experiência*⁹⁶ referente ao mecanismo onda-partícula? Não seria essa a *lógica quântica* integrada à perspectiva transdisciplinar? Se nos orientarmos através de uma resposta afirmativa para as indagações acima, a *ciência quântica* se baseia sim em um *pensamento surrealista* para chegar a suas hipóteses.

Sendo assim, a afirmação de Apollinaire e Breton só se faz consistente se o *pensamento lógico* citado for um pensamento sustentado pela *lógica clássica*. Pois, como vimos, a intelectualidade surrealista elaborada por Breton possui uma base ternária consonante à *lógica quântica*. O terceiro termo *T* – que é ao mesmo tempo *A* e *não-A* – da *lógica quântica*⁹⁷ funciona do mesmo modo que o *ponto do espírito* – “onde a vida e a morte, o real e o imaginário, o passado e o futuro, o comunicável e o incommunicável, o alto e o baixo deixam de ser percebidos como coisas contraditórias”⁹⁸. Em outras palavras, o terceiro termo *T* da *surrealidade* é o *ponto do espírito* esboçado por Breton.

Partindo dos pressupostos acima, entremos um pouco mais na dialética levantada pela afirmação de Apollinaire e Breton, o inverso de tal afirmação também seria legítimo? Ou seja, seria possível afirmar que a *surrealidade* se baseia em um *pensamento quântico*? Na articulação mental que desenvolvemos no parágrafo anterior, podemos dizer que sim, que é possível fazermos tal afirmação. No entanto, torna-se preciso analisar e averiguar melhor a indagação dialética proposta. Para isso, tomaremos como exemplo a imagem *Explosivo fixa* (Figura 2), de 1934, composta por Man Ray.

⁹⁵ Ibid., p. 154.

⁹⁶ BACHELARD, 1984, op. cit., p. 138.

⁹⁷ NICOLESCU, 1999, op. cit., pp. 38-39.

⁹⁸ BRETON, 2001, op. cit., p. 154.



Figura 2: *Explosivo fixa*, Man Ray, 1934
Título original: *Explosante fixe*
Fotografia (preto e branco)
Coleção particular

A imagem apresenta a fixação de uma explosão, o registro imóvel de um movimento vulcânico, o êxtase estático da bailarina Prou del Pilar e a permanência da sua performance. O espanto é visível diante do convulsivo estagnado, do que se mostra, o monstro, invisível à nossa percepção cotidiana. A vestimenta da bailarina se arrepia na captura do instante do transe e se embaça na linha tênue entre o *explosivo* e o *fixo*. A grafia da luz sobre o espalhar da vestimenta a torna compacta em uma imagem de margens inertes. A imagem funda uma ausência de contradição, torna visual uma *ambivalência* onde os elementos explosivo e fixo deixam de ser percebidos como coisas contraditórias – como descrito por Breton ao se referir à atividade surrealista.

A fotografia de Man Ray é um exemplo eloquente da adoção de um *modelo puramente interior* considerado por Breton a base da *visualidade surrealista*. Ou seja, a ênfase dada à *ideia*, e não tanto à presença material dos objetos, tendo na visão da câmara um pretexto para a formalização de um *processo mental*⁹⁹. Sendo assim, Man Ray afirma: “Não fotografo a natureza, fotografo a minha fantasia”¹⁰⁰. Portanto, “longe de reproduzir o já existente, a fotografia de Ray produz um novo visível”¹⁰¹. Produz um visível cerebral, uma imagem mental criada e concebida por meio de uma atividade intelectual. A imagem composta por Man Ray nos conduz à *atividade surrealista* descrita por Breton, à esperança em determinar o *ponto do espírito*, o terceiro termo *T* da *surrealidade*. Em *Explosivo fixa*, o movimento (explosivo) e a estagnação (fixa) estão em *ambivalência*. Ou seja, a oposição entre ambos os elementos se funde e se indiferencia na imagem, criando um lugar (*ponto do espírito* ou terceiro termo *T*) de não-contradição.

A *fantasia* fotografada por Man Ray está em tornar visível o processo mental da ambivalência: o movimento convulsivo de Prou del Pilar se formula em nossa imaginação por meio da sua imagem fixa. Eis uma das bases da linguagem fotográfica: a fotografia enquanto fixação da grafia da luz sobre um mundo em constante movimento. Ou seja, em todo processo fotográfico, existe a fixação de um movimento virtual. Porém, o que diferencia a imagem de Man Ray é a própria radicalização do processo fotográfico na exposição da ambivalência *explosão-fixa*.

Podemos tomar a explosão como um movimento súbito que espalha algo que era compacto, que expõe o que está dentro de alguma forma delimitada, ou seja, que exterioriza o que é interior. Façamos um experimento mental a partir da *dualidade onda-partícula*: se considerarmos a explosão como um ato, um modo de tornar *onda* (espalhado) aquilo que é *partícula* (compacto), uma explosão-fixa seria a captura (fixação) do ato (explosão) em que uma partícula (compacta) se torna onda (espalhada). Se acompanharmos a edificação dessa imagem mental, podemos obter um experimento, um mecanismo, um arranjo onde há a captura do ato de transformação onda-partícula.

Torna-se preciso enfatizar: estamos lidando aqui com um *experimento mental*, um artifício amplamente usado pelos pensadores engajados na elaboração do *paradigma quântico*. Estamos abordando conceitos e fenômenos do mesmo modo que Schrödinger criou o *paradoxo do gato vivo-morto*¹⁰². Estamos, portanto, em um lugar de manejo abstrato de imagens mentais. Nesse

⁹⁹ FABRIS, Annateresa. *O desafio do olhar: fotografia e artes visuais no período das vanguardas históricas*, volume 2. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2013. p. 146.

¹⁰⁰ RAY apud PEARL, Jed. *Man Ray*. Nova York: Aperture, 1988. p. 5.

¹⁰¹ FABRIS, 2013, op. cit., p. 192.

¹⁰² “Schrödinger traçou-nos o seguinte quadro: uma caixa contendo uma substância radioactiva [radioativa], um detector de radiação (um contador Geiger, por exemplo), uma ampola de gás venenoso (gás cianídrico, por exemplo) e ainda um gato vivo. As coisas são dispostas de modo que haja cinquenta por cento de probabilidade de o detector registrar uma desintegração (fixa-se uma duração para o ensaio). Se isso acontecer, a ampola quebra-se e o gato morre. Senão, continua vivo. Antes de abrirmos a caixa, não sabemos o que se passou: a desintegração radioactiva dá-se ao acaso e é imprevisível excepto [exceto] em termos estatísticos [...] Até que olhemos para o interior da caixa existe um detector que registrou e não registrou uma desintegração, uma ampola intacta e quebrada e um gato vivo e morto sem estar vivo nem morto” (GRIBBIN, 1988, op. cit., pp. 142-143).

lugar, é possível retomarmos a pergunta: o *surrealismo* se baseia em um *pensamento quântico*? Em outras palavras, direcionando melhor a pergunta para nossa investigação, o *paradigma quântico* pode ser tomado enquanto arcabouço conceitual para pensarmos uma *imagem surrealista*? Se analisarmos a interrogação de acordo com o experimento mental esboçado anteriormente, podemos concluir que a resposta é afirmativa: a *dualidade onda-partícula* pode ser tomada como arcabouço conceitual para pensarmos a fotografia *Explosivo fixa*.

Sejamos cautelosos: não estamos afirmando aqui que Man Ray se baseou sistematicamente nos princípios quânticos do seu tempo para compor a imagem citada. Essa não é a hipótese que buscamos sustentar. O que estamos afirmando é a possibilidade de analisarmos uma imagem da década de 1930 – lembrando que *Explosivo fixa* foi composta em 1934 – de acordo com o arcabouço conceitual que estava em desenvolvimento na mesma época. O *paradigma quântico* faz parte do arcabouço conceitual da década de 1930, pois, como já vimos, Bohr e Heisenberg desenvolveram, no final da década anterior, os princípios do que chamamos *interpretação de Copenhague*. A utilização aqui de textos posteriores de Bohr (até o final da década de 1950) em busca da *unidade do conhecimento* e de textos posteriores de Nicolescu (década de 1990) se justificam pelo intuito de manejarmos potencialidades metodológicas que nos forneçam lucidez sobre os fundamentos e sobre as repercussões em torno do pensamento científico e artístico das primeiras décadas do século XX.

Portanto, retomando o experimento mental abordado anteriormente, há uma *maneira quântica* de conceber o funcionamento onda-partícula que pode ser usado para analisarmos a fotografia *Explosivo fixa*. Nesse modo de conceber, há *ausência de contradição*, espalhar e conter não são movimentos contraditórios no *experimento da dupla fenda*, explodir e fixar não são movimentos contraditórios na imagem de Man Ray. O que temos, no experimento e na imagem, é o funcionamento do terceiro termo *T*, descrito por Nicolescu, e do *ponto do espírito*, descrito por Breton.

O terceiro termo *onda-partícula* (que não é propriamente *onda* nem *partícula* e que também não é meramente a soma *onda* e *partícula*) pode nos proporcionar uma possibilidade intelectual de experimentarmos mentalmente o ponto *explosão-fixa* (onde *explosão* e *fixa* deixam de ser percebidas como coisas contraditórias). E o inverso também é válido. A *explosão-fixa da onda-partícula* – título do nosso trabalho – sofisticada assim o arcabouço teórico em direção à unidade do conhecimento, emaranhando os campos da *ciência* e da *arte* sob os domínios da dimensão quântica da ciência e da dimensão surrealista da arte.

Considerações finais

Analisamos inicialmente a mudança de paradigma originada pela constatação do *quantum elementar de ação*, por Planck, e consolidada pela verificação da *dualidade onda-partícula* por meio

do *experimento da dupla fenda*. A *onda-partícula*, a *maneira quântica* (termo de Feynman) de considerarmos os experimentos, causou uma ruptura em relação à visão clássica de mundo. De um modo geral, essa visão clássica, newtoniana, permanece no plano macrofísico. Porém, a inquietação intelectual fundada pela mudança de paradigma nos proporcionou um modo ambivalente e movediço de apreender a realidade e nos disponibilizou ferramentas sofisticadas de atuação abstrata.

Paradigma quântico, portanto, não é um conceito fechado e absolutamente definido. Ao contrário, é uma noção aberta, em mutação contínua. A *interpretação de Copenhague* foi uma proposta de delimitação desse paradigma que tinha como objetivo elucidar uma nova base conceitual para o pensamento humano. Além da *interpretação de Copenhague*, temos diversas interpretações dos fenômenos quânticos averiguados experimentalmente. Entre elas, podemos destacar, por exemplo, a *interpretação dos mundos múltiplos*. Fundada por Hugh Everett (1930-1982), em 1957, essa interpretação sustenta a existência de *mundos alternativos perpendiculares* – e não paralelos, como é comumente denominado na ficção científica. Além disso, possui uma base conceitual profunda que se fundamenta em equações matemáticas, sendo uma consequência lógica e consistente de interpretar literalmente a teoria quântica¹⁰³.

Podemos dizer que a consolidação, a ampliação e o contínuo aprimoramento do *paradigma quântico* nos proporcionam a possibilidade científica de pensarmos em *mundos múltiplos* (Everett), em *níveis de Realidade* (Nicolescu) e em *surrealidade* (Breton). A *realidade* do mundo clássico foi aprofundada e alargada: o *quantum* (Planck) e o *ponto do espírito* (Breton) fazem parte hoje do que chamamos de *real*. O terceiro termo *T* (Nicolescu) demonstra que o *real*, em sua abertura, se compõe de modo não-contraditório. Sendo assim, elementos como *onda* (espalhado) e *partícula* (compacto) não precisam ser compreendidos de acordo com a lógica clássica de contradição.

Como vimos, o *princípio de complementaridade* descrito por Bohr tem como alicerce um lugar não-contraditório de reflexão. Um lugar onde elementos opostos não se excluem, mas se situam de maneira complementar. Quando falamos sobre a *unidade do conhecimento*, portanto, estamos falando de uma unidade ternária (*A* e *não-A* enquanto elementos complementares) que considera sempre um terceiro termo *T*. Façamos assim um emaranhamento lógico segundo os elementos transdisciplinares já citados em nosso trabalho. No campo tradicional da *ciência*, temos como exemplo de um terceiro termo a *onda-partícula* (partindo da verificação do *experimento da dupla fenda*). No campo tradicional da *arte*, temos como exemplo de um terceiro termo a *explosão-fixa* (partindo da verificação da imagem surrealista de Man Ray). Se considerarmos a unidade *ciência-arte* (que está através e para além dos campos da ciência e da arte), temos como exemplo de um terceiro termo a *onda-partícula – explosão-fixa*. Em nossa investigação, buscamos analisar uma *imagem surrealista* a partir de um *paradigma quântico*, ou seja, a *explosão-fixa da onda-partícula*.

¹⁰³ Ibid., p. 162.

Porém, o caminho inverso de análise também é legítimo e poderá ser usado em nossos estudos posteriores.

Voltemos aqui às interrogações propostas na introdução. São elas: é possível analisar uma criação artística a partir de um experimento científico? É possível estudar uma imagem surrealista, por exemplo, a partir de um paradigma sustentado pela teoria quântica? É possível abordar uma fotografia a partir do modo de funcionamento do *fóton*? Partindo das considerações realizadas e das observações propostas, podemos afirmar que sim, há uma possibilidade de realizarmos as análises, os estudos e as abordagens contidas nas perguntas acima. Sustentados por um arcabouço transdisciplinar, é possível analisar a imagem *Explosivo fixa*, de Man Ray (criação artística, imagem surrealista e fotografia) a partir da *dualidade onda-partícula* (experimento científico, paradigma quântico, fóton). Ou seja, é possível transitar conceitualmente através e para além de experimentos artísticos e científicos. Enfim, invocando o título do nosso trabalho, esperamos ter elucidado a profunda possibilidade de analisarmos a *explosão-fixa da onda-partícula*.