

# Há mundo depois da quântica?

Bruno Cava Rodrigues<sup>1</sup>

**Resumo:** Se o século XXI é o século da terceira morte filosófica, a do mundo, que os clínicos da civilização vêm diagnosticando no (pós-)horizonte do Antropoceno, cabe analisar o que vem depois e o que nos cabe esperar. As consequências tecnológicas da mecânica quântica são um fato notório, na medida em que a constituição de nossa vida comum está irremediavelmente imersa nelas. Menos reconhecido, entretanto, é o abalo das descobertas e paradoxos da mecânica quântica para uma nova imanência e uma nova liberdade. Está em jogo um deslocamento do problema que se comunica, por ondas de choque, com limiares de ruptura de outros campos, como reconstrução da legibilidade do Real por Paul Klee e sua variante radical da arte moderna. A gênese conceitual da interpretação de Copenhague se orienta pelos princípios da incerteza e da complementariedade. Ela embute uma dupla renúncia: ao projeto de inteligibilidade visual do mundo e ao determinismo eficiente que define um universo explicável por cadeias de causas e efeitos. Para elucidá-la, abordam-se três tipos ideais que compõem a Física predominante depois da Renascença: metafísica (neo-)aristotélica, mecanicismo cartesiano e cosmologia newtoniana (culminada na Teoria da Relatividade); bem como tais componentes foram deslocados na mecânica dos *quanta*, descortinada por Heisenberg e Bohr. O artigo conclui com um breve comentário sobre as ressonâncias cosmopolíticas da revolução quântica.

**Palavras-chave:** Antropoceno; real; incerteza; complementaridade; revolução.

---

<sup>1</sup> É autor de *A multidão foi ao deserto* (2013), republicado na Argentina, *La multitud se fue al desierto* (2016). Com Alexandre F. Mendes, publicou *A vida dos direitos, ensaio sobre violência e modernidade em Foucault e Agamben* (Lumen Iuris, 2008) e *A constituição do comum* (Revan, 2017). Organizador de *Amanhã vai ser maior* (2014), *Podemos e Syriza; experiências democráticas no século 21* (2015) e *A terra treme: leituras do Brasil de 2013 a 2016* (2016), os três pela ed. Annablume, além de *Pensar a Netflix – Séries de pop filosofia e política* (D'Plácido, 2018), com Murilo Duarte C. Corrêa. Publicou *New Neoliberalism and the Other* (Lexington Books, 2018), *Enigma do disforme* (Mauad, 2018) e *A vida da moeda* (Mauad, 2020), com Giuseppe Cocco. Escreve em vários sites, com artigos publicados em revistas. Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-6814-7200>. E-mail: [hamletvictrix@gmail.com](mailto:hamletvictrix@gmail.com).

## **Is there a world after quantum physics?**

**Abstract:** If the 21st century is the century of the third philosophical death, that of the world, which the clinicians of civilization have been diagnosing in the (post-)horizon of the Anthropocene, it is important to look at what comes next and what we can expect from it. The technological consequences of quantum mechanics are a well-known fact, insofar as the constitution of our common life is irremediably immersed in them. Less recognized, however, is the jolt of the discoveries and paradoxes of quantum mechanics on a new immanence and a new freedom. At stake is a displacement of the problem that communicates, through shock waves, with thresholds of rupture in other fields, such as the reconstruction of the legibility of the Real by Paul Klee and his radical variant of modern art. The conceptual genesis of the Copenhagen interpretation is guided by the principles of uncertainty and complementarity. It involves a double renunciation: of the project of visual intelligibility of the world and of the efficient determinism that defines a universe explainable by chains of causes and effects. To elucidate this, three ideal types that make up the predominant Physics after the Renaissance are discussed: (neo-)Aristotelian metaphysics, Cartesian mechanicism and Newtonian cosmology (culminating in the Theory of Relativity); as well as how these components were displaced in the mechanics of quanta, unveiled by Heisenberg and Bohr. The article concludes with a brief comment on the cosmopolitical resonances of the quantum revolution.

**Keywords:** Anthropocene; real; uncertainty; complementarity; revolution.

*Não há mundo quântico.*

*Niels Bohr*

O “escândalo intelectual do século”, assim René Thom (1993, p. 86) se referiu à aparição da mecânica quântica no século XX. O fato escandaloso, para o matemático das irreversibilidades e das catástrofes, foi a mecânica quântica ter renunciado à inteligibilidade do mundo. A tarefa principal da Física não seria mais explicar ou descrever a natureza como antes, mas tão somente ser capaz de prever as manifestações da natureza quando interpelada pelo aparato experimental. Ao aplicar uma função probabilística ao estado inicial do sistema, a teoria quântica facultava apenas calcular as chances de encontrar uma partícula em determinada posição ou, alternativamente, aferir a sua velocidade (Bitbol, 1995, p. 366). São pretensões científicas recessivas, nunca tão modestas em penetrar no real. Um deslocamento que Bohr sintetizou na conhecida fórmula: “não se trata de descobrir o que a natureza é, mas o que nós podemos dizer sobre ela” (Peterson, 1963, p. 12). A mecânica quântica não objetiva aceder à *physis*, mas sim aos modos com que podemos compreendê-la. Como, ademais, tais modos de compreensão são múltiplos, é apenas esperado que ao longo do tempo as interpretações a respeito da física quântica proliferem. É que as interpretações sobre a quântica não se acoplam ao que seria a “natureza real”, como uma superestrutura à realidade subjacente. As interpretações são intrínsecas à ocorrência mesma do acontecimento, assim como as observações pressupõem modos de observar. Noutras palavras, a mecânica quântica é indissociável de uma *episteme*. Apesar disso, quando comparada à mecânica da Idade Clássica, de Galileu ou Newton, a “renúncia” mencionada por Thom não implica um déficit ou falta da mecânica quântica. Poder-se-ia imaginar que o probabilismo inerente à teoria dos *quanta* implicasse uma limitação epistemológica, como se os estados quânticos e suas superposições, por não serem deterministas como na mecânica clássica, fossem portadores de uma menor “carga de real”. A noção de probabilidade é ela mesma problemática, sem consenso possível. Tão crucial quanto a probabilidade na natureza, é inquirir sobre a natureza da probabilidade (Childers, 2013). As principais concepções da probabilidade – frequentistas, propensistas e bayesianas – repercutem posições da história da filosofia entre empiristas, racionalistas e idealistas, respectivamente. Não é que o universo mecanicista de Descartes ou Laplace fosse mais (ou menos) real do que o de Bohr e Heisenberg: é a concepção da realidade que muda. No caso da mecânica quântica, a

limitação opera como um excedente, análogo ao que sucede no Cálculo Diferencial ou na Filosofia Crítica Kantiana (Juniper, 2006): o limite é etapa constituinte para a riqueza de determinações do fenômeno. O limite pode ser melhor entendido como o bordo da compreensão sobre o real, e a tendência que constitui a objetividade observável em primeiro lugar.

Para Michel Bitbol (2023), ao pensar a mecânica quântica sob a luz transcendental da filosofia de Kant, a dita renúncia autolimitante significou nada menos do que a verdadeira “revolução copernicana” da física moderna. A virada na qual a espécie humana não só participa, como está implicada na noção mesma de natureza, de uma maneira indissociável. Assim como, em Kant, o julgamento da razão, pelo tribunal da própria razão, serviu para elucidar aos filósofos quanto à ilegitimidade das pretensões da metafísica dogmática; a interpretação de Copenhague cumpriu o papel análogo de autoesclarecer os físicos, *pelos meios da própria Física*, sobre a ilegitimidade de postular uma coisa em si, “lá fora”, independente do aparato de medição e da percepção. Recusam-se as hipóteses extravagantes nas duas pontas: de um lado, um realismo ingênuo de fundo, de outro, um idealismo igualmente pouco esclarecido que reduz o Real à linguagem ou símbolos com que o possamos abordar. São penduricalhos metafísicos tanto quanto os epiciclos de Ptolomeu ou o flogisto de Paracelso, que após certo limiar de descobertas só poderiam ser sustentados *extra rationem et scientiam*. Que esta autopercepção esclarecida dos limites da física, que despontou subitamente, de uma vez, no triênio miraculoso de 1925-27 (Rovelli, 2020, p. 21-49), tenha sido imediatamente vivenciada como vertigem, quiçá experiência traumática, diz menos sobre as carências da mecânica quântica do que dos excessos de um dogmatismo atmosférico que impregnava a ciência no final do século XIX, confiante de aproximar-se da conclusão do livro da Física. Em uma de suas palestras na universidade, Albert Michelson sintetizou o espírito de *fin de siècle*: “os grandes princípios de base foram firmemente estabelecidos [...] as verdades futuras da ciência física devem ser buscadas na sexta casa decimal” (Michelson, 1896, p. 159). É essa lancinante autocompreensão, segundo Bitbol, a Revolução Copernicana nos pressupostos da Física carregada pelas linhas evolutivas da mecânica quântica, o que inaugura o drama ontológico de nossa contemporaneidade. É preciso repatriar esse grande debate no terreno filosófico, bem como ancorá-lo em nossa atualidade.

Na história dos conceitos da física, a periodização dos anos formativos da mecânica quântica usualmente é delineada em dois estágios, da “Velha Mecânica Quântica” àquela propriamente dita, com a descoberta

do Princípio da Incerteza e a avalanche de modelos e paradoxos que lhe seguiu (Jammer, 1989; Plotnitsky, 2013, p. 27; D'Espagnat, 2003). O primeiro se deu no limiar do século XX e inclui a descoberta dos *quanta* por Planck (1900), a aplicação por Einstein para o caso do *quantum* de luz, o fóton (1905), e por Bohr ao modelo orbital do átomo de Rutherford (1911) e ao salto do elétron. Nesses tateamentos e gaguejos, os físicos terminaram enquadrando as descobertas espantosas de que matéria e energia somente existem discretizadas, em pacotes, nos quebra-cabeças da ciência normal de então, isto é, de eletromagnetismo e cinemática clássica. Isto impediu que se depreendessem as principais consequências não tanto para o conceito de natureza, mas para o próprio *conceito do conceito de natureza*. Desde o começo, a dificuldade técnica em viabilizar experimentos na escala nanofísica provocou como contrapartida uma riqueza especulativa extraordinária, em um caldeamento de ciência, filosofia da ciência e ontologia. A mecânica quântica evoluiu nas empreitadas individuais, mas também através de animados debates ao redor de experimentações de pensamento, com alto teor especulativo. Considerando a defasagem dos fenômenos explicados em relação ao mundo vivido pelo ser humano, buscaram-se modelos de inteligibilidade visual, representações gráficas e didáticas, para conferir sentido ao que as observações e experimentos pareciam informar a respeito do funcionamento quântico da realidade. Bohr, nesta fase inicial, construiu em cima do modelo atômico de Rutherford (1911). Este modelo, consagrado nos manuais e escolas *malgré lui*, traça a analogia entre o sistema solar e a trajetória orbital dos elétrons (tal qual os planetas), em torno do núcleo atômico (Sol). Tais projetos ainda se prendiam a uma visão do mundo apartada da mecânica quântica em sentido estrito, que começa com a interpretação de Copenhague. A própria imagem do Bohr dos anos 1910 do elétron que realizaria saltos entre os níveis energéticos testemunha o projeto mecanicista de visão da natureza. Segundo esse modelo de visualidade, o elétron se moveria no espaço de uma órbita viável a outra, literalmente saltando. É impossível não assinalar aí uma reminiscência das representações com que trabalhavam os antigos atomistas gregos, que falavam em inclinação ou chuva dos átomos (Althusser, 2005; Serres, 2003).

No segundo momento, dá-se a ruptura paradigmática (Kuhn, 2017), que no caso é primeiro de tudo uma quebra da imagem do mundo físico. Isto ocorre com a formulação inicial do Princípio da Incerteza pelo jovem Heisenberg, então aos 23 anos. Ainda assim, ainda levará um tempo para a nova mecânica libertar-se completamente da imagem dogmática da an-

tiga. Heisenberg e Bohr, no princípio, utilizavam a gramática da “perturbação”, a fim de explicar a ineludível incerteza dos estados quânticos. A causalidade do fenômeno pela via da perturbação exógena está na base do dito “Argumento de Como” (Plotnitsky, 2013, 59-62), em referência à conferência de físicos às margens do lago alpino, no norte da Itália. Devido à escala extremamente diminuta, a medição de um parâmetro termina por provocar um distúrbio catastrófico no sistema observado, de maneira que os demais parâmetros têm sua medição invariavelmente perturbada. Isto acontece porque medir nessa escala implica disparar sobre a partícula uma radiação, isto é, um jato de fótons. Como o que se quer observar é tão ínfimo, a energia do fóton é suficiente para adulterar o estado do sistema, inviabilizando mensurações de outros parâmetros. Esta explicação ainda é tributária do projeto clássico de inteligibilidade, fundado na cinemática, com suas representações dos fenômenos redutíveis a partículas à semelhança de bolas de bilhar ou baseball que, ao longo do tempo, percorrem trajetórias em um espaço euclidiano tridimensional. Com indubitável valor pedagógico, foi bastante utilizada por Feynman ao descrever a troca de fótons entre elétrons, em suas lições sobre eletrodinâmica quântica (Feynman, 1989).

Depois de 1925, Bohr e Heisenberg reviram suas posições a respeito do Princípio da Incerteza, para então formularem juntos o que se tornou o cerne da interpretação de Copenhague. Doravante, a incerteza não é um “menos”, uma carência ontológica, mas sim constitutiva da objetividade dos fenômenos observados empiricamente (Bitbol, 2023, p. 144-149; Bohr, 1961, 1995), ou conjecturados mediante experimentos de pensamento. Entre outros, permite compreender por que o átomo é uma imensidão de vazio com um pontinho mínimo no centro, por que o diâmetro atômico é dezenas de milhares de vezes maior do que o núcleo composto de prótons e nêutrons, onde se concentra quase toda a sua massa (Brézin, 2017, p. 3). Ocorre que, quando o a trajetória do elétron se aproxima do núcleo, a incerteza a respeito de sua posição decresce, já que o espaço volumétrico no qual orbita reduz à razão cúbica da distância radial. Por força do Princípio da Incerteza, que correlaciona em proporção inversa posição e momento, uma vez que reduz a incerteza sobre a posição do elétron, ela necessariamente aumenta a respeito do momento dele. Próximo do núcleo, com a maior probabilidade de um momento alto, maior a energia cinética eletrônica, então maior a chance dele se afastar para órbitas distantes. O resultado é que o grau de incerteza é capaz para repelir o elétron e alargar espantosamente o diâmetro

atômico. Outros experimentos práticos comprovaram como a Incerteza é um problema inscrito no sistema e não depende de uma perturbação, na medida em que o princípio atua espontaneamente. Outro exemplo: ao se projetar um laser através de uma fenda com determinada largura, o fecho de luz tende a alcançar o anteparo do outro lado na mesma trajetória linear retilínea. Entretanto, se reduzirmos progressivamente a fenda por onde a luz passa, o laser começa a manifestar efeitos de difração e o fecho dispersa no anteparo, formando padrões de interferência<sup>1</sup>. Esse fenômeno é igualmente observado mesmo que sejam projetados um fóton a cada vez. Novamente, o Princípio da Incerteza conjura uma potência heurística diante dessa observação. Como a fenda reduziu, se tem maior certeza por onde passa a luz. Em consequência, ao ser reduzida a incerteza sobre a posição dos fótons, é aumentada a incerteza quanto ao momento deles. Com efeito, a luz se vê obrigada a difratar, espalhando-se no anteparo posterior, como que preocupada em não violar a equação de Heisenberg. Disso decorre uma conclusão assombrosa: a incerteza constituinte é o fator determinante, uma espécie de indeterminação criativa (o Real mesmo), que não cessa de afrontar temperamentos mais ortogonais (Lindley, 2008; D’Espagnat, 2021, p. 319)

Os paradoxos da mecânica quântica consumiram décadas de ruminação intelectual para desenvolver passo a passo um pressentimento decisivo, de que algo de mais profundo, *something rotten in the state*, estava em jogo no Princípio da Incerteza e seus corolários. Nenhum dos físicos da época dourada transigiu menos com a intuição fundante de uma novidade fundamental do que Bohr (Plonitsky, 2006, 2013; Pauli, 1955). Os ensaios de Bohr atestam a tensão febril de um pensamento que pena na rarefação da linguagem à disposição. São frequentes as hesitações, os recuos, os escorregões. Em tom por vezes sibilino, as obtemperações de Bohr a Einstein, sua argumentação compungida, sinaliza a crise de uma longa tradição (Kumar, 2010). Os antigos quebra-cabeças já não davam mais conta. A partir da dualidade onda-partícula, Bohr elaborou o Princípio da Complementariedade (Katsumori, 2011, p. 16), formulado em sucessivas versões em seus escritos. Bohr compreendia que, na mecânica quântica, não há chão de realismo mínimo (Plotnitsky, 2021, p. 178). A teoria paira em um terreno ontológico aberto, *groundless ground* (Braver, 2012). Sem alcançar o mesmo rigor filosófico de um sistema, as reflexões

---

<sup>1</sup> Este experimento é relativamente simples de reproduzir. O leitor pode ver com os próprios olhos a demonstração no vídeo Youtube produzido pelo canal Veritasium, organizado por Derek Muller: <<https://www.youtube.com/watch?v=a8F-Tr2qMutA>> Consulta em fevereiro de 2024.

tardias de Bohr encontram ressonâncias com a *Kehre* antifundacionalista que, em sua época, era esgrimida nas obras de Heidegger e Wittgenstein. A dualidade onda-partícula, para Bohr, não significa que deva existir uma realidade de base (seja ela composta de partículas ou eminentemente ondulatória), nem que a hipóstase do real seja onda e partícula, em disjunção inclusiva. Um modo de compreender seria dizer que primeiro a matéria é vibração, i.e., fenômeno ondulatório probabilístico. Somente em segunda mão, mediante a atualização ou colapso da função-onda, é que a onda se faz partícula determinada, *fiat lux*. Em suma, as partículas não passariam de epifenômenos ou individuações, secundárias ou derivadas da função-onda, essa sim, de base ôntica. Na outra ponta do realismo mitigado, se poderia entender, contrariamente, que a realidade é constituída de partículas elementares, que a realidade de base da natureza são as partículas mesmas, e que, portanto, o fenômeno ondulatório seria derivado ou secundário na escala dos entes. Afinal, segundo o raciocínio, como não há éter luminífero, é preciso que primeiro haja corpúsculos para que, a seguir, eles possam vibrar. A vibração só teria sentido se *alguma coisa* estiver vibrando, sem o que não seria possível se propagar. Ambos os caminhos – pela via do primado da partícula ou da onda – vão acabar se deparando com a mesma pedra no meio: existiria uma matéria subsistente em si mesma, autoportante, *prima qualitas*, da qual decorreria uma cascata ôntica.

Para Bohr, ambas as compreensões falham em captar o essencial da mecânica quântica: nem onda nem partícula vem primeiro. Não passam de modelagens contingentes ou constructos lógicos, para compreender determinados experimentos em seus respectivos dispositivos, e nada mais. O essencial para Bohr é a ausência de fundação ela própria. Pelo Princípio da Complementariedade, a natureza entrega o que lhe foi perguntado, ou seja, o parâmetro adequado para a medição. Se for mensurada como onda, responderá como onda, excluindo nesse mesmo desenlace a resposta como corpúsculo – e vice-versa. O que importa é a interpelação e não algum substrato hipostático. É o *coup de foudre* conceitual da interpretação de Copenhague, para dar conta da perplexidade: a realidade não admite uma imagem unívoca. Admitirá tantas quantas forem possíveis em função do modo como é abordada.

A mesma ruptura paradigmática, o mesmo deslocamento de grandes proporções do problema podemos encontrar na meditação filosófica de Paul Klee sobre a arte moderna. A arte “não reproduz o visível, torna visível” (Klee, 1998, 34). Uma atitude estética diante da natureza que re-



nuncia a toda e qualquer referencialidade, para definir a arte como uma ferramenta de constituição. Renuncia-se a uma visão pré-formada, de um quadro a priori de formas da intuição sensível: o espaço, a sucessão e o plano geométrico, com o que se podem construir pontos, linhas e figuras (Bouerneuf, 2015). Em vez disso, a visão para Klee é um *acontecimento visual*. Antes da representação do que é visto, Klee erige o ato mesmo do ver como problema para o pintor (Arantes, 2018). Um problema sem correlato “externo”. Em seu artigo que toma o apotegma de Klee como epígrafe, a crítica de arte Otília Arantes sintetiza o deslocamento: “a percepção visual ganharia anterioridade em relação ao mundo dado, e a pintura, não mais refigurativa, alcançaria o estatuto de ‘filosofia figurada da visão’” (*ibid.*, p. 23).

Tem-se, com Klee, a recondução da pintura dos objetos constituídos ao campo de constituição, dissolvendo as formas substanciais e o espaço absoluto, em prol de um Paradigma do Disforme (Cocco; Cava, 2018a). Na crítica que desfere ao nascimento da arte moderna, Klee atribui aos pintores impressionistas e pós-impressionistas uma timidez formal. Eles não foram longe o suficiente. O abstencionismo programático desses movimentos no final do século XIX, em descrever ou narrar, a fim de privilegiar a sensação em ato, os levou somente à disponibilidade de “naturalismo ampliado” (Arantes, p. 25) Mas não permitiu alcançar o elemento genético da própria imagem, por assim dizer, o trabalho das linhas (Cocco; Cava, 2018b). A fim de superar o paradigma ótico-representativo, é preciso, segundo Klee, levar a visão até o estatuto do delírio, partindo de formas não naturais, substâncias não formadas, cores não existentes (Klee, 1970). Nos desenhos e textos, em geral, o artista se empenhou em destituir o olho de sua pretensão de centro organizador das representações do mundo, das coisas e do eu. Esse modernismo extremado embute o esforço de desvelamento da verdade mais antiga, que o despotismo da representação soterrou. O projeto mecanicista-geométrico de inteligibilidade visual do mundo, que a pintura compartilha com a física desde o limiar da Renascença, se baseia nesse velamento sistemático. Esquecimento outrora deliberado e consciente de si, porém, a certa altura da história da visão, esquecido ao quadrado, esquecimento esquecido, que precisa ser recordado – *aletheia*.

Com a licença para o esquematismo, pode-se decompor esse projeto em três tipos ideais: a filosofia natural aristotélica, de que tanto se abeberaram a Segunda Escolástica e a Renascença do século XVI, além do mecanicismo programático cartesiano e da cosmologia matemática

newtoniana. Do *corpus aristotelicum* (Aristóteles, 2000, 2007; D'Espagnat, 2021, p. 32-34) tantas vezes recepcionado, depreende-se alguns princípios estruturantes. Em Aristóteles, a realidade é constituída de coisas (*rei*) que preexistem à observação e se definem por meio de categorias objetivas. A coisa contém propriedades intrínsecas, inerentes a ela, que podem ser essenciais ou acidentais. A coisa detém uma forma substancial sem a qual deixa de ser o que é, qualidades essenciais ou primeiras. Mas também acidentes ou qualidades inessenciais, que a coisa pode ou pode não ter, sem deixar de ser o que é. Por isso, é basilar na física aristotélica a oposição entre substância e acidentes. A ciência consiste em separar o acidental do substancial, e explicá-lo pela doutrina das causas. Já na mecânica quântica, os entes não possuem propriedades intrínsecas, pois estão entretecidos em um contexto experimental. As propriedades pertencem ao conjunto de disposições do experimento, sendo indivisível em partes autônomas. Em outros termos, as propriedades não são intrínsecas à coisa, mas disposicionais (Mittelstaedt, 1998, p. 9-11). Por exemplo, no caso de dois elétrons emaranhados (*entangled*), a propriedade do spin do elétron não está contida nele mesmo, como se fosse uma propriedade intrínseca. Se for medido o spin de um, o spin do outro instantaneamente é atribuído, devido à lógica do *entanglement*, ou seja, por estarem vinculados à distância. Outra diferença consiste em que, na física de Aristóteles, conhecer é sempre conhecer pelas causas. Conhecer é remontar dos efeitos às causas, a fim de averiguar por que a coisa é o que é. Por meio de inferências regressivas, se conhece a ordem das razões, que explica o encadeamento de causas até que a coisa venha a ser o que ela é *hic et nunc*. Mas a mecânica quântica não admite explicação determinista, visto que o conhecimento do estado inicial é apenas provável em relação aos estados progressos, assim como o estado futuro é provável em relação ao presente. Com a virada quântica, é negada a dupla ambição da filosofia da natureza em Aristóteles. Primeiro, não é possível remontar à essência causal de cada coisa, pois coexistem configuradas em um aparato, ao qual respondem as propriedades emaranhadas (*entangled*) de umas e outras (Mittelstaedt, 1998, p. 116-118). Segundo, tampouco é possível reconstituir passo a passo o percurso de determinação a partir de princípios primeiros, procedimento *verboten* dado o probabilismo inerente.

Para Descartes (2018; Schuster, 2013; Koyré, 1986), a verdade mesma se define pela coincidência de inteligível e visível. O critério da verdade está na evidência e clareza, à luz da razão. O órgão da visão assegura para o Sujeito a equivalência entre imagem e realidade, no enlace determinado

pela ação do *cogito*. Em contraposição ao ecletismo dos magos naturais da Renascença, Descartes rechaça qualquer física que ainda esteja atravessada de qualidades ocultas, propriedades complicadas e toda sorte de holismo finalístico. Deve ser depurada das conecções e hipóteses excedentes, para concentrar-se no solo evidente e seguro do mundo mecanicista. O esquema sensório-motor do mecanismo é claro e sem lacunas: corpos em movimento no plano geométrico, que colidem e interagem entre si, em sequência de causas e efeitos detectáveis e calculáveis. Com Descartes, as preocupações da Física devem recair sobre o espaço enquanto composição mecânica de extensões. A quantidade de movimento é definida pelas relações métricas dos corpos deslocados, sob o fundo homogêneo de velocidades e acelerações. Em suma, a natureza se permite desnudar as razões à maneira das máquinas, nas articulações entre vivo e engenho. Por isso, em Descartes, os autômatos servem de modelagens explicativas para a natureza miniaturizada. Avatar filosófico do século do Grande Mecanismo, a lógica do mundo cartesiano é de relojoaria, dando início à metafísica do cronológico, que desembocará três séculos depois em Einstein. Complexas engrenagens e nexos pelos quais os corpos se combinam, superpõem ou transformam o movimento, maquinando reações em cadeia no luminoso espaço extensivo. Os manequins e as bonecas não nos mergulham em alguma noite ameaçadora (como o farão no Romantismo), ao revés, expõem-nos um movimento mecânico de meridiana clareza, que homogeniza seres vivos e coisas inanimadas e assim mobiliza o universo. Em certa medida, a mecânica quântica é o avesso da mecânica cartesiana, na medida em que a Incerteza e a Complementaridade inviabilizam a composição mecânica de corpos delimitados com propriedades claras e evidentes em si mesmas.

O paroxismo da visão física mecanicista se dá com as teorias do Marquês de Laplace, no século XVIII (Hahn, 2004). O matemático, físico e filósofo francês elucubrou um experimento de pensamento com um Demônio onisciente, capaz de conhecer até o fundo os parâmetros de posição e momento de todas as partículas em dado instante do universo. Trata-se da visão de um Autômato Lógico, que inspiraria o projeto dos primeiros computadores por Ada Lovelace e Charles Babbage e percolaria o conceito de *Geist*, do Idealismo Alemão (Canales, 2020, p. 30, 31). Laplace conclui que qualquer estado de coisas passado ou futuro do universo se torna exatamente previsível pela dita entidade. O demônio de Laplace, por conseguinte, é possuidor da *formula universalis* com o que pode decodificar qualquer situação em qualquer ponto da linha temporal entre o nas-

cimento e a morte do universo. Em termos ontológicos, isto significa que o passado e o futuro estão contidos no presente, meros desdobramentos lógico-causais nas duas direções da linha do tempo. Somente não poderíamos prevêê-los por limitação do nosso conhecimento, mas, de direito, seria possível fazê-lo – hipoteticamente, com um supercomputador ou acesso ao intelecto divino. A concepção bergsoniana de tempo é uma resposta a essa concepção mecanicista-determinista, pois para Bergson o futuro não está contido *in potentia* no presente nem o passado pode ser deduzido da configuração presente das coisas no universo (Bergson, 2022).

O terceiro componente é a cosmologia newtoniana (Newton, 2008; Ghins, 1991; Sciama, 1963; Koyré 1986). Além da lei da gravitação universal, o diferendo de Newton em relação a Descartes consiste na definição lógica de um espaço e um tempo absolutos. Os corpos movem-se em relação uns aos outros, relativamente, como também em relação a um sistema de referência inercial. É o que explica, de acordo com Newton, o efeito centrífugo no movimento de rotação uniforme. Para utilizar o exemplo do próprio físico nos *Principia*, não houvesse um sistema inercial absoluto, como explicar que um balde cheio d'água entorne quando rotacionado no simples vácuo, sem qualquer proximidade com algum outro corpo? Newton erigiu o contrapiso metafísico para a cosmologia moderna: um espaço homogêneo que se estende idealmente em todas as direções, bem como um tempo que corre linearmente em toda parte, na seta do passado ao futuro. Tempo e espaço configuram o deslocamento que, elevado à segunda potência, se torna aceleração. Mesmo quando, no começo do século XX, Einstein teorizou sobre a relatividade do tempo e do espaço, em boa medida, não inovou em relação ao mobiliário metafísico newtoniano. A diferença filosófica da Teoria da Relatividade Restrita (TRR) em relação aos *Principia* é que, nas teorias de Einstein, cada ente com massa possui um relógio próprio, um tempo seu. Mas isto *per se* não exclui que o tempo de todos os relógios, *no referencial local*, funcionem idênticos. O tempo não é um absoluto como na física newtoniana, mas não deixa de ser absoluto *localmente*, o que permite compará-lo ou mensurá-lo em relação a outros tempos. Isto é, a relatividade não implica o relacionismo, pois a natureza da relação prossegue existindo interna aos corpos (detém um tempo próprio) e não externa, uma relação que teria base ontológica em si mesma e independente dos corpos relacionados entre si. O localismo do espaço e do tempo é fundamental para a sistematização da Física por Einstein. Quanto à contribuição da Teoria da Relatividade Geral (TRG), Einstein estendeu ao sistema o postulado

de Ernst Mach, de que a distribuição de matéria pelo universo curva o espaço-tempo e responde pela aceleração dos corpos. O espaço-tempo é curvado pela gravidade, cuja tensão arrasta massa e energia, todavia, o espaço-tempo continua homogêneo e linear, espacializado (Bergson, 2006; Campo; Gozzano, 2022), já que é essencialmente uno e o mesmo, apesar da curvatura/tensão gravitacional. Dilata e contrai em função da velocidade (TRR) ou gravidade (TRE), mas o mesmo tempo dos relógios. O espaço-tempo einsteiniano não deixa de ser uma malha referencial ubíqua. A física einsteiniana é a culminância da newtoniana – não sua ruptura. É menos revolução do que reforma. Certamente, descortina-se um quebra-cabeça melhor e mais abrangente de fenômenos explicados pela física, mas nem por isso inaugura outro paradigma.

De todas as linhas de ruptura da mecânica quântica, o não localismo foi o que mais gerou consternação na comunidade de físicas. Einstein, por todos, reagiu desde a primeira hora, nos encontros entre os físicos na segunda metade da década de 1920. A Teoria da Relatividade cantava a glória de um universo racional e ordenado, como o Deus de Espinosa. A mecânica quântica parecia surrupiar o fogo radiante do modelo explicativo tão bem-acabado. Em especial, a Einstein causava estranheza a ação quântica à distância (Einstein; Podolsky, Rosen, 1935, p. 777-780), que o físico famosamente rotulou de *spukhafte Fernwirkung* ou “efeito fantasmagórico” (Einstein; Born, 1971, p. 158). Como, segundo a interpretação de Copenhague, uma partícula emaranhada (*entangled*) comunica informação à outra *instantaneamente*, devido à ocorrência de uma medição? Ou seja, a informação viaja acima da velocidade da luz, o que impõe um espaço não local, ou seja, um vínculo entre dois corpos independente do espaço-tempo, como que ligados mediante um atalho, um buraco de minhoca quântica. Porque, como previsto na TRG e comprovado por experimentos empíricos, mesmo as ondas gravitacionais se deslocam através do espaço-tempo à velocidade da luz ( $c$ ) no *medium*. Mesmo uma partícula despida de massa, como o fóton, que desconhece Cronos, não pode viajar mais rápido do que  $c$  medida no vácuo. Einstein tinha por certeza de que a velocidade da luz é a própria velocidade de causação, delimitando *ipso facto* o horizonte de toda ação possível, para tudo o que existe no universo. Fora desse esquadro, só haveria esoterismo e pseudociência.

O grande debate entre Bohr e Einstein exprime, dos dois lados, a experiência traumática de uma Física que não mais se referia à realidade das coisas, nem a corpos com propriedades intrínsecas, nem ao espaço-tempo modelado pela Teoria da Relatividade Geral. Einstein, obviamente,

não era ingênuo a ponto de negar as descobertas da mecânica quântica, nem deixava de reconhecer a vastidão do campo de suas aplicações tecnológicas e seu impacto ao futuro da humanidade. Ponderava, no entanto, que a ciência física não tinha ido longe o suficiente, que o essencial ainda estava por vir, quanto à interpretação do que significava. Até o fim da vida, Einstein dedicou-se a tentar terminar a “revolução inacabada” da mecânica quântica (Smolin, 2020), para esperançosamente integrá-la à física relativística e seu projeto mecanicista-visual de universo. Compreendia que àquela faltava algo, talvez um realismo mínimo.

A arte moderna instilou perseguições em todo espectro político-ideológico, durante os refluxos históricos que vão dos anos 1930 aos 1950. Tachada de formalista e burguesa pelos realistas socialistas na URSS, liberal e degenerada pelos fascistas da Europa Central e comunista e antipatriótica pelos macartistas nos EUA, para uns e outros representantes dos poderes constituídos era preciso restabelecer a representação comportada e edificante do trabalhador, da “raça sadia” e do cidadão de bem. Em 1937, dezessete obras de Paul Klee foram incluídas na exibição da “Arte Degenerada” (Barron, 1991), com cerca de outras 600 de artistas *avant-garde* como Kandinsky, Chagall, Kokoschka e Emil Nolde. O tour de execração organizado pelos nazistas por Alemanha e Áustria durou quatro anos e reuniu mais de três milhões de espectadores. Outros mais de cem trabalhos do pintor suíço terminaram confiscados em meio à guerra cultural nazista. Na Suíça, Klee continuou trabalhando na longa série de desenhos de seus anjos espantados, testemunhas do advento do intolerável, até a morte do artista em 1940. Vários físicos da mecânica quântica passaram por perseguição política nesse período, não tanto devido às teorias que elaboravam, mas pelo simples fato de serem judeus, como o próprio Einstein, emigrado para os Estados Unidos em dezembro de 1932.

A mecânica quântica, por sua vez, não foi suprimida nem considerada expressão de “raças esqueléticas”. Em vez disso, foi colocada a serviço da competição geopolítica, na forma de ciência do Estado, *Big Science* atrelada ao complexo militar-industrial (Kaiser, 2012). Os físicos passaram a caminhar com generais, industriais, políticos, e suas teorias paulatinamente penetraram nos avanços tecnológicos em que, no final do século XX, a civilização moderna se tornará imersa. No segundo pós-guerra, era ultrapassado o umbral da Idade Atômica. Os imperativos da Guerra Fria moldaram a atividade dos físicos, *scientia propter potentiam*, na contramão da cultura humanística e pacifista da mecânica quântica no período entreguerras, banhada em animados debates sobre parado-

xos, conjecturas e experimentos de pensamento. A atitude padronizada se tornou mais utilitária e instrumental: “apenas calcule!”. A revolução no pensar aos poucos se tornou um retrato na parede. A revolução copernicana chegava a seu encerramento e a atmosfera era de retorno ao sono dogmático da Física. Depois da hibernação da filosofia, veio a redespertar nos anos 1960, como concorda Rovelli, “pela influência da cultura hippie, fascinada pela estranheza dos *quanta*” (Rovelli, 2020, p. 66). É curioso como a mesma polpa de contracultura, orientalismo e experimentação psicotrópica – tantas vezes denunciada como parasitária da genuína física quântica e inclusive responsável por sua falsificação nas mídias de massa (Stenger, 1995) – tenha contribuído para resgatar a mecânica quântica das engrenagens da Guerra Fria.

Hoje vivemos sob o signo das catástrofes. Mudança climática irreversível, pontos de não retorno, desmatamento e savanização da Amazônia, pragas, pandemias, êxodos, a sombra da guerra nuclear. O drama ontológico da atualidade é o Antropoceno, a era em que os humanos se tornaram uma força geofísica global, enquanto a Terra ela mesma é uma força social massiva (Danowski; Viveiros de Castro, 2014). O tempo saiu fora dos gonzos e os acontecimentos se sucedem desafiando os nexos de causalidade. Construir uma visão de conjunto se torna quimérico. O “escândalo” da mecânica quântica nos fala de nossa própria atualidade: a ausência de solo firme ou coordenadas visuais nítidas, de futuro derivável do estado presente, e de uma imagem do mundo que faça sentido. O desafio é como fazer da mudança paradigmática dos problemas uma nova liberdade.

## Referências

- ALTHUSSER, Louis. Du matérialisme aléatoire. In *Multitudes* 2005/2, n. 21. p. 179-194.
- ARANTES, Otília Beatriz Fiori. Klee, a utopia do movimento. In *Revista Filosófica São Boaventura*, v. 12, n. 1, jan/jun. 2018. p. 21-42.
- ARISTÓTELES. *Metafísica*, org. Giovanni Reale. Milan: Bompiani, 2000.
- ARISTÓTELES. *La física*, org. L. Ruggiu. Milan: Mimesi, 2007.
- BARRON, Stephanie. *Degenerate Art: The fate of the avant-garde in Nazi Germany*. New York: Harry N. Adams, 1991.
- BERGSON, Henri. *Duração e simultaneidade: A propósito da teoria de Einstein*. Tradução de Carla Berliner. São Paulo: Martins Fontes, 2006 [1922].

- BERGSON, Henri. *A ideia de tempo*: Curso no Collège de France (1901-1902). Tradução de Débora Morato Pinto. São Paulo: Ed. UNESP, 2022.
- BITBOL, Michel. L'aveuglante proximité du réel. *Critique*, n. 576, p. 359-383. Mai 1995.
- BITBOL, Michel. *Philosophie quantique*. Le monde est-il extérieur. Paris: Mimésis, 2023.
- BOHR, Niels. *Atomic theory and the description of nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 1961.
- BOHR, Niels. *The philosophical writings of Niels Bohr*, Vol. 3: Essays 1958-1962 on atomic physics and human knowledge. Woodbridge, CN: Ox Bow Press, 1995.
- BOURNEUF, Annie. *Paul Klee: The visible and the intelligible*. Chicago: Chicago University Press, 2015.
- BRAVER, Lee. *Groundless Grounds*. A study of Heidegger and Wittgenstein. Boston, MA: MIT Press, 2012.
- BRÉZIN, Édouard. The inescapable strangeness of the quantum world. In D'ESPAGNAT, Bernard; ZWIRN Hervé. *The quantum world: philosophical debates on quantum physics*. Berlin: Springer, 2017, p. 1-30.
- CAMPO, Alessandra; GOZZANO, Simone (org.) *Einstein vs. Bergson: An enduring quarrel on time*. Berlin: de Gruyter, 2022.
- CANALES, Jimena. *Bedeviled: A shadow history of demons in science*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2020.
- CHILDERS, Timothy. *Philosophy and probability*. Oxford: Oxford University Press, 2013.
- COCCO, Giuseppe; CAVA, Bruno. *Enigma do disforme: neoliberalismo e biopoder no Brasil global*. Rio de Janeiro: Mauad, 2018a.
- COCCO, Giuseppe; CAVA, Bruno. Le travail des lignes. *Revue Multitudes*, n. 70. Paris, 2018b. p. 195-200.
- DANOWSKI, Déborah; VIVEIROS DE CASTRO, Eduardo. *Há mundo por vir? Ensaio sobre os medos e os fins*. São Paulo: ISA, 2014.
- DESCARTES, René. *Discurso do método & ensaios*. Compilado por Pablo Ruben Mariconda. São Paulo: Ed. UNESP, 2018.
- D'ESPAGNAT, Bernard. *Veiled reality*. An analysis of present-day – quantum mechanical and concepts. Boulder, CO: Westview Press, 2003.



- D'ESPAGNAT, Bernard. *On Physics and Philosophy*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2021.
- EINSTEIN, Albert; BORN, Max. *The Born-Einstein letters: correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916–1955, with commentaries by Max Born*. Macmillan, 1971. p. 158.
- EINSTEIN, Albert; PODOLSKY, B.; ROSEN, N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, Princeton, NJ, v. 47, 1935, p. 777-780.
- FEYNMAN, Richard P. *QED*. Milano: Adelphi, 1989.
- GHINS, Michael. *A inércia e o espaço-tempo absoluto*. Campinas: UNICAMP, 1991.
- HAHN, Roger. *Le système du monde: Pierre Simon Laplace, un itinéraire dans la science*. Tradução: Patrick Hersant. Paris: Gallimard, 2004.
- JAMMER, Max. *The conceptual development of quantum mechanics*. 2. ed. New York, NY: McGraw Hill, 1989.
- JUNIPER, James. Deleuze and the calculus. *Society of Heterodox Economics*, dez. 2006, p. 239-248.
- KAISER, David. *How the hippies saved physics: Science, Counterculture, and the Quantum Revival*. New York: Norton, 2012.
- KATSUMORI, Makoto. *Niels Bohr complementarity: its structure, history and intersection with hermeneutics and deconstruction*. Berlin: Springer, 2011.
- KLEE, Paul. *Théorie de l'art moderne*. Tradução Pierre-Henri Gonthier. Paris: Gallimard, 1998 [1964].
- KLEE, Paul. *Teoria della forma e della figurazione*, v. 2. Tradução Carlo Mainoldi. Milano: Feltrinelli, 1970.
- KOYRÉ, Alexandre. *Do mundo fechado ao universo infinito*, 2. ed. Tradução Donaldson M. Garschagen. Rio de Janeiro: Forense, 1986 [1957].
- KUHN, Thomas. *A estrutura das revoluções científicas*. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.
- KUMAR, Manjit. *Einstein, Bohr, and the Great Debate About the Nature Of Reality*. New York: Norton, 2010.
- LINDLEY, David. *Uncertainty: Einstein, Heisenberg, Bohr, and the Struggle for the Soul of Science*. London: Anchor Books, 2008.

- MICHELSON, Albert A. *Annual register*, jul. 1895 – jul. 1896. Chicago: Chicago University Press, 1896.
- MITTELSTAEDT, Peter. *The interpretation Quantum Mechanics and the Measurement Process*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- NEWTON, Isaac. *Principia – Livros II e III: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural – O sistema do mundo*. São Paulo: EDUSP, 2008.
- PAULI, Wolfgang. *Niels Bohr and the development of physics: essays dedicated to Niels Bohr on the occasion of his seventieth birthday*. London: Pergamon Press, 1955.
- PETERSON, Aage. The philosophy of Niels Bohr. *Bulletin of the Atomic scientists*, v. 19, n. 7, 1963.
- PLOTNITSKY, Arkady. *Reading Bohr: Physics and philosophy*. Berlin: Springer, 2006.
- PLOTNITSKY, Arkady. *Niels Bohr and complementarity: An introduction*. Berlin: Springer, 2013.
- PLOTNITSKY, Arkady. *Reality without realism: Matter, thought and technology in quantum physics*. Berlin: Springer, 2021.
- ROVELLI, Carlo. *Helgoland*. Milan: Adelphi, 2020.
- SCHUSTER, John. *Descartes-agonistes: psycho-mathematics, method & corpuscular mechanism 1618-33*. Berlin: Springer, 2013.
- SCIAMA, Dennis. *La relatività generale: fondamenti fisici della teoria*. Torino: BMS, 1963.
- SERRES, Michel. *O nascimento da física no texto de Lucrecio; correntes e turbulências*. Tradução de Péricles Trevisan. São Paulo: Ed. UNESP, 2003.
- SMOLIN, Lee. *La rivoluzione incompiuta di Einstein: La ricerca di ciò che c'è al di là dei quanti*. Tradução de Simonetta Frediani. Torino: Einaudi, 2020.
- STENGER, Victor J. *The quantum uncounscious: Metaphysics in modern physics and cosmology*. New York: Prometheus, 1995.
- THOM, René. *Prédire n'est pas expliquer. Entretiens avec Emile Noël*. 2. ed. Paris: Flammarion, 1993.