

***O Abismo Vertiginoso*, de Carlo Rovelli (São Paulo: Objetiva, 2021)**

André Fantin | Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências -
Universidade de São Paulo

andre.fantin@usp.br

<https://orcid.org/0000-0002-6621-6299>



Introdução

Publicado em 2021, o livro do físico italiano Carlo Rovelli, *O Abismo Vertiginoso*, seguindo seu predecessor “A Ordem do Tempo” (Rovelli, 2017), expõe a perspectiva do autor acerca das interpretações de diferentes resultados aceitos da física contemporânea, bem como das consequências que eles teriam para outros ramos das ciências, e mesmo para a cultura mais ampla. Enquanto no caso da obra anterior, o objeto de análise eram concepções de tempo, aqui, em “Helgoland” (ou, na tradução para o português de Silvana Cobucci, “O Abismo Vertiginoso”), o objeto é a física quântica, em particular seus fundamentos (Rovelli, 2021).

Este campo do conhecimento configura, há quase cem anos, o fundamento teórico de qualquer estudo científico acerca do comportamento da matéria em dimensões submicroscópicas. Apesar do consenso acerca de sua aplicabilidade à previsão de fenômenos naturais, há pouco acordo entre os físicos acerca do significado último da teoria - sua interpretação.

Assim, a discussão interpretativa acerca da teoria quântica é um campo vivo há quase cem anos, engajando cientistas, filósofos, historiadores e até entusiastas à margem da ciência acadêmica¹. O material publicado, tanto técnico quanto popular, sobre o assunto, já assoma às

1 Uma apresentação mais técnica e aprofundada dessa história pode ser encontrada em Freire Jr., 2015.

alturas e é comum que, especialmente no caso destes últimos, um leitor casual possa sentir-se perdido, uma vez que variam muito em estilo e em posicionamento.

O livro de Rovelli, que vem integrar essa longa tradição, não se furta de sustentar sua própria posição no debate - que é relativamente inovadora. Porém, ele também apresenta a história da teoria e do debate em torno de sua interpretação, considerando justamente a posição frágil do leitor casual nessa situação. Assim, o leitor tem ao seu dispor, com o livro, um texto honesto, que o informa que a posição ali defendida não é a única, e nem a palavra final sobre o assunto, mas uma perspectiva possível cujo valor será exposto ao longo da exposição.

Introduzindo seu público ao assunto através de uma exposição histórica das origens da teoria quântica², ressaltando os papéis de Albert Einstein, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger e Max Born, Rovelli destaca já de início a não-comutatividade dos observáveis de Heisenberg, codificada na relação $QP - PQ = i\hbar$, que é ressaltada como “o coração da teoria dos quanta” (Rovelli, 2021, p. 29), e a interpretação estatística do estado quântico ψ como as características mais fundamentais da teoria, e fonte de boa parte dos enigmas dela emergentes.

Em seguida, a importância da sobreposição na teoria e para os fenômenos que ela explica é sugerida através do exemplo de um experimento conhecido como “interferômetro de Mach-Zehnder”. Apresenta, então, as interpretações que poderíamos dizer “fiscalistas”³ da teoria quântica (em particular, da natureza do estado quântico ψ): a de Muitos Mundos, a classe de interpretações de “colapso espontâneo” e a de variáveis ocultas, destacando a dualista realista de David Bohm. Aponta que sua interpretação particular distancia-se dessas, aproximando-se mais do que figuras como Werner Heisenberg e Niels Bohr pensavam sobre a teoria.

A partir de então, Rovelli passa a apresentar a teoria a partir da perspectiva de sua interpretação e as potenciais consequências que ela sugere para a tomada de posição acerca de outras questões filosóficas importantes (como o problema mente-corpo) e também questões ético-políticas que nos afligem no mundo contemporâneo.

O primeiro tópico, neste caso de física, que apresenta é o emaranhamento, do qual retira uma moral: é um fenômeno que pode ser compreendido de um ponto de vista “relacional naturalista”⁴, e o argumento de Rovelli é o de que essa interpretação relacional do conhecimento disponível acerca de um sistema cujas partes estão emaranhadas pode ser estendida para todo o conhecimento físico informado pela teoria quântica. O emaranhamento serve então como um “modelo” para sua interpretação relacional da teoria quântica.

Rovelli, então, destrincha a tradição relacional de filosofia da física, destacando os nomes de Ernst Mach e Aleksandr Bogdanov, e apresentando a crítica materialista de Lenin a essa tradição (mas especialmente a este último). Ele a avalia excessivamente presa a uma concepção limitada e dogmática de materialismo (essencialmente o mecanicismo setecentista), enquanto que a filosofia relacional apresentaria uma alternativa mais libertadora, estando mais aberta a

2 Da onde tira o título do livro: Helgoland é a ilha onde Werner Heisenberg estava se recuperando após um ataque de alergia quando chegou a uma primeira formulação do que viria a ser sua teoria quântica.

3 Chamo-as assim por procurarem em algum aspecto ainda desconhecido, porém “familiar” (no sentido de preservar nossas intuições metafísicas e físicas clássicas do mundo) do mundo físico a solução para as estranhezas quânticas.

4 Como será detalhado mais à frente, o relacionalismo de Rovelli, diferente de um mais tradicional, como o de Ernst Mach, que o fundava na fisiologia das percepções, não está relacionado apenas a maneira como o homem conhece, ou como ele interage com o mundo natural, mas a como o mundo natural interage consigo mesmo.

descobertas científicas que eventualmente colocassem em xeque as intuições metafísicas mais arraigadas, mesmo aquelas sugeridas pela própria ciência no passado (como a Mecânica sugeria o mecanicismo). Claro que Rovelli refere-se à teoria quântica como o exemplo de descoberta científica que viria destronar intuições metafísicas.

Em adição a filosofia relacional, Rovelli cita diversas correntes filosóficas que são articuladas por diferentes autores para produzir interpretações da teoria quântica que se aproximam da sua (particularmente por também se oporem às soluções fiscalistas do enigma quântico), como empirismo construtivo de Van Fraassen, o neokantismo de Michel Bitbol, dentre outros. Entretanto, ele prefere destacar um texto indiano antigo (por volta do século II EC), o *Mūlamadhyamakakārikā*, atribuído a Nāgārjuna, no qual ele lê paralelos com sua filosofia relacional, ao mesmo tempo em que não apenas reconhece que esse significado não apenas não estava presente quando ele foi inicialmente escrito⁵, mas que essa plasticidade do significado do texto e a emergência de “novidades” filosóficas quando tradições culturais diferentes, em diferentes tempos, interagem é um corolário de uma visão de mundo informada pelo seu relacionalismo.

Nos últimos capítulos, Rovelli volta-se ao problema da origem da consciência, em particular na sua formulação que faz referência explícita à diferença de qualidades entre a matéria (como comumente apreendida por uma metafísica fortemente influenciada pelo mecanicismo setecentista) e a mente - o problema mente-corpo - e em como a sua variedade de naturalismo, relacional, inspirada pela teoria quântica pode contribuir para uma perspectiva naturalista da consciência que não recaia nos problemas enfrentados por concepções naturalistas materialistas, como justamente explicar as qualidades distintas do mental (como intencionalidade, significado, conteúdo emocional, etc.) a partir da matéria.

Agora, nas próximas seções, exploraremos em detalhe os argumentos de cada parte do livro, e em seguida apresentaremos uma conclusão crítica do mesmo.

Primeira Parte

Rovelli introduz Heisenberg como o principal herói da sua narrativa histórica sobre o surgimento da teoria quântica. Das brumas misteriosas de Helgoland emerge a explicação para o que Rovelli chama as “incompreensíveis regras de Bohr”: uma nova mecânica para o átomo. O autor destaca o espírito arrojado das ideias de Heisenberg, que afirma inspirada pelo ambiente radical científico e filosófico alemão e austríaco preparado pela relatividade de Einstein e pelo fenomenalismo de Mach, identificando a obra dos “magos de Göttingen”; Heisenberg, de Pauli, Jordan e Born (apesar de este ser consideravelmente mais velho) como “Knabenphysik” - a física dos garotos.

Toma um especial cuidado em apresentar as diferentes etapas do desenvolvimento da mecânica matricial sem perder de vista o leitor sem *background* técnico para compreender de imediato a novidade da introdução de grandezas matriciais na mecânica⁶, também indicando o quanto elas deviam e eram inspiradas pela metodologia de Bohr no trato do problema da

5 Evitando o erro muito atribuído a Fritjof Capra em seu “O Tao da Física” (Capra, 2013), em que era muito menos cauteloso com as analogias que procurava estabelecer entre o conhecimento físico e textos orientais antigos, incorrendo inclusive em ser acusado de “orientalismo”, no sentido explorado por Edward Said na sua obra homônima (Said, 2007).

6 A passagem dos “números-c” para os “números-q” (Darrigol, 1993).

estrutura atômica durante a década anterior, mesmo que tenha optado por não apresentar essa “pré-história” da teoria no texto.

É destacado o passo dado por Heisenberg do abandono da “trajetória” do elétron no átomo pelas grandezas «observáveis» da frequência e intensidade da luz emitida nos experimentos de espectroscopia atômica, relacionando-o com a natureza matricial que a formulação matemática dessas grandezas teria, e é particularmente destacada a importância da não-comutatividade dessas grandezas, codificada na condição $QP - PQ = i\hbar$ ⁷, apresentada como o coração da nova teoria.

É nesse momento que Rovelli introduz as ondas de de Broglie e a equação de ondas de Erwin Schrödinger, provavelmente a formulação mais conhecida da teoria na literatura de divulgação. Na narrativa do livro, a aparição da função de onda ψ e sua interpretação fisicalista como uma onda “real” (sem falar na maior aceitação de uma equação diferencial e funções como parte da estrutura matemática de uma teoria física em lugar das matrizes) são indicados como a vitória do bom senso sobre a “obscuridade” de Göttingen. Até que essa esperança é suprimida quando são apontados os problemas, no contexto do que Rovelli caracteriza como um debate levantado por Heisenberg acerca da noção de “visuabilidade”, dessa interpretação de ψ (ser um elemento do espaço de configurações e dispersar-se fora de poços de potencial).

Rovelli, então, indica como a história “resolveu-se sem se resolver” apresentando a interpretação estatística de Max Born de ψ , e acrescentando a uma certa formulação do problema da medição (“como a natureza sabe que a estamos observando?”) que para ele teria surgido com a introdução dos observáveis por Heisenberg, a noção de um mundo essencialmente *probabilístico* como um segundo mistério da teoria. O último elemento que completa sua narrativa de apresentação desses mistérios é a inclusão da “granularidade” como um último ingrediente quântico - para a qual ele retoma o trabalho de Max Planck com o problema da radiação do corpo negro, a hipótese granular da luz de Einstein e apresenta a centralidade da constante h (e \hbar) para a definição dessa granularidade.

Encerra sua narrativa histórica com a indicação dos seguintes marcos - a palestra de Como de 1927 de Bohr e a publicação dos livros de Paul Dirac e John von Neumann em 1930 e 1932, respectivamente, além dos prêmios Nobel que couberam a muitos dos atores mencionados pelas suas contribuições à teoria.

Segunda Parte

Após uma breve digressão autobiográfica que serve para criar uma relação com o leitor a partir do sentimento compartilhado de maravilhamento com os mistérios da natureza que a física apresenta, Rovelli apresenta um novo ator da história do mistério quântico – a sobreposição. Depois de apresentá-la brevemente do ponto de vista teórico e indicar que Dirac a achava “a base conceitual da teoria dos quanta”, e de que esta nunca é diretamente observada, apenas seus efeitos sutis em fenômenos de interferência, o autor descreve sua experiência marcante com um interferômetro de Mach-Zehnder montado pelo famoso físico Anton Zeilinger. Desse caso concreto, de um experimento de bancada de laboratório, o autor consegue chegar ao mais abstrato e imagético experimento mental do gato de Schrödinger - disseminado na literatura de divulgação científica – por analogia.

7 Da qual deriva-se a mais conhecida das relações de incerteza de Heisenberg: $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$.

O texto entra no que seu autor destaca claramente como uma digressão - pois afasta-se do ponto de vista defendido no livro - apontando as mais diferentes soluções apresentadas para os mistérios quânticos, representados pela dramática questão "o gato está dormindo ou acordado no interior do caixa?"⁸, ou seja, as diferentes interpretações da teoria, que ele separa em três (uma interpretação autônoma e duas classes de interpretações): Muitos Mundos, Variáveis Ocultas e Colapso Físico. Não entraremos em detalhes da apresentação que Rovelli faz delas, basta dizer que elas são agrupadas por levarem a realidade de ψ a sério (são interpretações ônticas) e não o convencem por uma série de motivos (ampliação excessiva da metafísica, hipóteses *ad hoc*, distanciamento da experiência cotidiana) que precisamente o movem em direção a uma interpretação relacional.

Antes de entrar na sua interpretação propriamente falando, Rovelli prepara o terreno desta-cando o "abismo" dentre as interpretações que não tomam ψ como uma entidade concreta (como o fazem as interpretações anteriormente apresentadas), mas como um retrato do nosso conhecimento sobre um sistema. Ele indica os paralelos explícitos desse nome com o cubismo e todo o movimento de contestação à representação fiel da realidade pela arte no início do século XX (não escapa a ele a analogia entre o campo artístico e científico no mesmo período), destacando inclusive uma obra de Pirandello sobre a fragmentação das perspectivas ("Um, nenhum e cem mil") que serve muito bem de ilustração a sua própria interpretação.

Entretanto, o qbismo lhe desagrade precisamente no quanto de "subjetivo" ele lhe parece - o sentido de "conhecimento" por trás dessa interpretação epistêmica de ψ está, para ele, demasiado ligado a uma epistemologia fundada no sujeito do conhecimento (como toda epistemologia "clássica", incluindo Descartes, Hume, Kant, etc.) em lugar de dar mais espaço à "natureza". Se as interpretações ônticas e epistêmicas de ψ parecem reproduzir, em outros termos, o mesmo velho debate entre a física quântica "objetivista" (os entes da teoria são ondas no espaço) de Schrödinger e a "subjetivista" de Heisenberg (temos os "observáveis" e os resultados das observações), é em uma superação do debate que Rovelli está interessado, e que ele acredita que sua interpretação relacional pode produzir.

"A teoria dos quanta é a teoria de como as coisas se influenciam" (Rovelli, 2021, p. 62-63) - É assim que Rovelli conclui sua leitura da novidade da teoria da perspectiva de sua interpretação. Abandonando a concepção de "observável" e "observação" como tendo qualquer associação com o sujeito que observa ("que conhece", em termos mais epistemológicos), mas sendo uma expressão da "interação" entre dois quaisquer entes "naturais", a quântica deixa de ser uma gramática (usando a terminologia de Rovelli) do que é acessível da natureza ao homem (como Bohr, por exemplo, parecia entender a questão), mas uma gramática universal do que é acessível de um ente a outro, pois tudo que existe (em algum sentido relevante) para um ente, é o que é acessível a este ente por meio de uma interação, de uma relação - o mundo como uma "densa rede de interações".

Dessa maneira, Rovelli procura "naturalizar" as consequências epistemológicas que vinham sendo tiradas da teoria pelos alinhados a Bohr sem recair na "ontologização" da teoria (de ψ , em particular). A principal consequência que Rovelli destaca dessa interpretação é o abandono da metafísica de "substância e propriedades" - aboli-se a ideia de qualquer substância independente que comporte propriedades absolutas - toda propriedade é relativa a algum ente,

8 Vale destacar que, como John Bell antes dele (para quem o gato estava gordo ou magro no interior da caixa), Rovelli humaniza o experimento mental de Schrödinger evitando incluir a potencial morte do imaginário felino.

e derivada de alguma interação entre os entes do mundo. ψ é um estado relativo de coisas tomado de uma certa perspectiva⁹. Emerge a imagem de um mundo “rarefeito”, em que a antiga solidez das certezas metafísicas e físicas se desfaz frente à realidade mosaica composta por diferentes perspectivas.

Rovelli apresenta, encerrando a segunda parte do livro, o fenômeno do emaranhamento - de popularidade crescente na literatura popular e mesmo na mídia, devido ao interesse tecnológico na área de informação e computação quântica - destacando-o como uma leitura relacional dele evapora todo o seu enigma. Reforça a “naturalização” da noção de informação que já havia esboçado ao mencionar o qbismo e reformula, à maneira relacional, os fundamentos da teoria quântica:

- a) a informação é finita (relação de incerteza de Heisenberg);
- b) a informação é inesgotável (não-comutatividade).

Terceira Parte

Nesta parte do livro, Rovelli procura situar sua interpretação relacional com certas tradições filosóficas, particularmente a filosofia de Ernst Mach, e os comentários de Aleksandr Bogdanov sobre ela, e o texto indiano antigo *Mūlamadhyamakakārikā*.

Rovelli explicita as influências do pensamento de Ernst Mach na ciência, no pensamento filosófico envolvendo a ciência, e mesmo na literatura germânica no início do século XX, especialmente entre os fundadores da teoria quântica. A “anti-metafísica” de Mach, que Rovelli associa particularmente ao mecanicismo setecentista, é o ponto com o qual o autor mais converge com o filósofo. Também a postura mais naturalista de Mach em aproximar-se de uma epistemologia empirista sem levar junto hipóteses extra-científicas (poderíamos dizer modelos filosóficos) sobre a constituição do sujeito do conhecimento (como podemos identificar na apercepção originária kantiana, por exemplo).

Entretanto, como antecipado, a insistência de Mach em procurar fundar essa epistemologia em uma fisiologia das percepções limita o naturalismo mais amplo que Rovelli procura com o seu relacionalismo. Rovelli ainda dedica um bom espaço para a polêmica levantada por Lênin contra o pensamento machiano, por ser aparentemente anti-materialista, e portanto supostamente anti-marxista. É Aleksandr Bogdanov, a cuja biografia Rovelli dedica boas palavras, que vai defender as ideias machianas na polêmica, identificando um caráter dialético na filosofia da ciência de Mach e um dogmatismo no materialismo de Lênin, o qual levaria, segundo ele, a um potencial dogmatismo político.

Reconhecendo o limite de Mach como um ponto de apoio filosófico para a concepção de mundo que defende, Rovelli volta-se então a explorar os paralelos entre o *Mūlamadhyamakakārikā* e seu relacionalismo, tomando cuidado em não exagerá-los e em mesmo fazer do reconhecimento das limitações dessa analogia uma qualidade decorrente da adoção da visão de mundo que seu relacionalismo sugere, indicando valores ético-políticos considerados desejáveis que são apoiados por essa perspectiva, como a tolerância e o multiculturalismo.

9 Rovelli cita a influência da tese de Hugh Everett III, “A formulação da mecânica quântica baseada nos estados relativos”, na sua interpretação (Everett, 1957).

Finalmente, o livro é concluído após uma extensa revisão do problema mente-corpo, incluindo experimentos mentais e sugestões de importantes filósofos da mente, como David Chalmers e Thomas Nagel, apontando as consequências que a adoção do relacionalismo defendido para essas questões.

O coração dessa proposta é a de que assim como certas propriedades físicas são relativas a certos sistemas específicos em interação, as propriedades mentais - como intencionalidade, conteúdo emocional e significado - que diferenciam-se qualitativamente das propriedades físicas (ou materiais), também são relativas a certas relações entre configurações dos entes da natureza, - o que ele chama de "informação relativa de origem física" - mas essas relações que fazem emergir as propriedades mentais são muito mais complexas (no sentido articulado pelo conjunto de abordagens científicas chamado de Complexidade) que aquelas nas quais apenas as propriedades qualitativamente diferentes, que dizemos físicas, aparecem. O aparecimento paulatino de configurações tão complexas de relações no mundo teria se dado em decorrência do processo evolutivo darwiniano.

Rovelli ainda procura dar uma razão para a aparente "desunidade" das ciências (o porquê elas estariam divididas em diferentes disciplinas) quando ele defende uma unidade do mundo através das relações. A ideia é a de que diferentes domínios de complexidade do mundo formam hierarquias limitadamente autônomas que podem ser estudadas de maneira independente para que conhecimento mais direto - e útil - sobre elas possa ser obtido (segundo um exemplo do próprio Rovelli, não há o porquê apelarmos para a coesão das forças intranucleares para entendermos o funcionamento do motor de um carro), mas que essa aparente hierarquia ainda assim é só a aparência da imagem de mundo mais integrada e unificada que podemos imaginar a partir da concepção de relação.

Conclusões Críticas

O livro apresenta a física quântica de maneira bastante acessível a leitores sem formação técnica em física, optando inclusive por abordagens bastante inovadoras em alguns momentos, como a opção por começar a história da teoria quântica a partir da mecânica matricial, que raramente é mencionada na literatura de divulgação científica, e por levar a sério os problemas interpretativos dela. Ao mesmo tempo que reconhece que a teoria tem problemas interpretativos em aberto, o texto de Rovelli produz uma defesa de uma certa versão, definitivamente mais naturalista, do que se convencionou chamar de interpretação ortodoxa da teoria quântica, a qual geralmente é apresentada como a palavra final, em outros materiais, sobre o assunto. Essa combinação de reconhecer que as estranhezas quânticas ainda não são bem entendidas, mas ao mesmo tempo não defender uma das interpretações mais heterodoxas, como o livro "Something Deeply Hidden" recentemente publicado por Sean Carroll (Carroll, 2019), destaca "Helgoland" como um livro único no mercado, atualmente.

A própria posição do livro em não apenas procurar informar o leitor sobre os avanços e resultados aceitos da física contemporânea, mas usá-lo de plataforma para divulgar a discussão ativa de problemas em aberto, e ainda apresentar a posição particular do autor, também o destacam entre a literatura. O uso de paralelos literários e filosóficos (a exemplo da referência ao *Mūlamadhyamakakārikā*) foi equilibrado e não trivializa nem a ciência, nem as referências

extra-científicas utilizadas. É um sopro de ar fresco, também, o uso inteligente e respeitoso de filosofia em um texto deste tema.

No todo, o livro é muito feliz em suas pretensões e na sua execução. Carlo Rovelli vêm conseguindo um merecido espaço nesse campo da literatura de ciências, e o frescor que ele traz para esse gênero é bem-vindo.

Referências bibliográficas

- CARROL, S. *Something Deeply Hidden: Quantum Worlds and The Emergence of Space-Time*. London: Oneworld Publications. 2019.
- CAPRA, F. *O Tao da Física: Uma análise dos paralelos entre a Física Moderna e o Misticismo Oriental*. Tradução de José Fernandes Dias. 2ª edição. São Paulo: Cultrix, 2013.
- DARRIGOL, O. *From c-numbers to q-numbers: The Classical Analogy in The History of Quantum Theory*. Oakland: University of California Press, 1993.
- EVERETT III, H. *"Relative State" Formulation of Quantum Mechanics*. Tese de Doutorado. Princeton: Princeton University, 1957. Disponível em: <http://www.weylmann.com/relative_state.pdf>. Acesso em: 02/02/2022.
- FREIRE Jr., O. *The Quantum Dissidents: Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*. Berlin: Springer, 2015.
- ROVELLI, C. *A Ordem do Tempo*. Tradução de Silvana Cobucci. Rio de Janeiro: Objetiva, 2017.
- ROVELLI, C. *O Abismo Vertiginoso: Um Mergulho nas Ideias e nos Efeitos da Física Quântica*. Tradução de Silvana Cobucci. Rio de Janeiro: Objetiva, 2021.
- SAID, E. *Orientalismos: O Oriente como Invenção do Ocidente*. Tradução de Rosaura Eichenberg. São Paulo: Companhia de Bolso, 2007.

Recebido e aceito em novembro de 2023