

*Consciência e mecânica quântica:
uma abordagem filosófica*

Conselho Editorial LF Editorial

Almícar Pinto Martins - Universidade Aberta de Portugal, Portugal

Arthur Belford Powell - Rutgers University, EUA

Carlos Aldemir Farias da Silva - Universidade Federal do Pará

Emmánuel Lizcano Fernandes - Universidad Nacional de Educación a
Distancia, Espanha

Iran Abreu Mendes - Universidade Federal do Pará

José D'Assunção Barros - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Luis Radford - Université Laurentienne, Canadá

Manoel de Campos Almeida - Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Maria Aparecida Viggiani Bicudo - Universidade Estadual Paulista -
UNESP/Rio Claro

Maria da Conceição Xavier de Almeida - Universidade Federal do Rio
Grande do Norte

Maria do Socorro de Sousa - Universidade Federal do Ceará

María Luisa Jiménez Olivares - Universidad de Granada, Espanha

Maria Marly de Oliveira - Universidade Federal Rural de Pernambuco

Raquel Gonçalves-Maia - Universidade de Lisboa, Portugal

Teresa Vergani - Universidade Aberta de Portugal, Portugal

Raoni Arroyo

*Consciência e mecânica quântica:
uma abordagem filosófica*



LF Editorial
São Paulo – 2024

Copyright © 2024 o autor

1a Edição

2a Impressão

Direção editorial: JOSÉ ROBERTO MARINHO

Projeto gráfico e diagramação: RAONI ARROYO

Capa: MAJU CAPELATO

Edição revisada segundo o Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil

Arroyo, Raoni

Consciência e mecânica quântica : uma abordagem filosófica / Raoni Arroyo. -- São Paulo : LF Editorial, 2024.

Bibliografia

ISBN: 978-65-5563-430-3

1. Física - Filosofia. 2. Física quântica. 3. Filosofia. 4. Mecânica quântica. 5. Metafísica. I. Título.

24-195717

CDD-530.01

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Filosofia 530.01

Eliane de Freitas Leite – Bibliotecária – CRB 8/8415

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste obra poderá ser reproduzida sejam quais forem os meios empregados sem a permissão da Editora. Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107 da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1988.

Impresso no Brasil

Printed in Brazil



LF Editorial

(11) 2648-6666 | Loja do Instituto de Física da USP

(11) 3936-3413 | Editora

www.livrariadafisica.com.br

www.lfeditorial.com.br

Sobre o autor

Raoni Wohnrath Arroyo é pesquisador visitante na *Università degli Studi Roma Tre*, Roma, Itália e pesquisador pós-doutoral no Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (CLE) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brasil. É bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e membro do Grupo de Pesquisa em Lógica e Fundamentos da Ciência (CNPq). Trabalha com os aspectos metodológicos e epistemológicos da metafísica da mecânica quântica e sua relação com o realismo científico, com metametáfísica, e faz músicas barulhentas nas horas vagas.

Prefácio

Este livro de Raoni Arroyo é um ótimo ponto de partida para explorar questões de filosofia da física quântica. O autor apresenta didaticamente alguns dos temas principais desta área, como o problema da medição, o princípio de indeterminação, a noção de complementaridade, o argumento de EPR e as diversas interpretações da teoria. E explora um tema que costuma ser evitado nos livros de fundamentos da mecânica quântica, que é o papel da consciência na constituição do mundo quântico. Sem defender uma postura específica, explora pontos fortes e fracos das concepções subjetivistas de John von Neumann, Fritz London & Edmond Bauer, Erwin Schrödinger, Eugene Wigner, Ludwig Bass, Amit Goswami e Henry Stapp. Investiga também a filosofia de processos de Alfred Whitehead, aplicada especialmente à consciência, que Raoni considera um promissor caminho de aprofundamento para a filosofia da mecânica quântica. No final, apresenta uma introdução bastante didática ao formalismo da teoria quântica.

Ao abordar os problemas dos fundamentos da mecânica quântica, a perspectiva do autor é essencialmente filosófica, explorando questões ontológicas e metafísicas associadas ao conceito de “medição”, que considera o nó central a ser desatado. Salieta que a interpretação da consciência não deve ser descartada. Em outras palavras, na entrada do baile das interpretações da teoria quântica, se uma interpretação da consciência como a de London & Bauer apresentar suas credenciais para o porteiro, ela terá direito de entrar, pois não viola nenhum experimento já realizado. Por outro

lado, é barrada do baile uma interpretação como a de Jahn & Dunne e de Radin, segundo a qual a vontade humana, por si só, pode alterar de maneira significativa a estatística de resultados de um experimento quântico. A pluralidade de concepções no baile indica a “subdeterminação” das interpretações do formalismo mínimo da teoria quântica: talvez uma delas seja mais próxima da verdade, mas não temos como saber qual delas o é.

Com sua exploração da filosofia da física quântica e do papel da consciência humana nas medições quânticas, o autor conclui que profissionais da filosofia têm um bom motivo para atentar-se aos problemas da mecânica quântica. Isso se estende também para físicos, educadores e outros interessados. A obra de Raoni Arroyo é uma contribuição importante para esta área em expansão no Brasil que é a filosofia da física.

Oswaldo Pessoa Jr.
Departamento de Filosofia
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH)
Universidade de São Paulo (USP)

Apresentação

Este livro de introdução à filosofia da mecânica quântica fornece uma base conceitual para os problemas centrais da mecânica quântica,¹ delineando o papel da filosofia na discussão e aspectos históricos das soluções já propostas. Tento suprir uma deficiência de materiais em português sobre o tema, pois se trata de uma discussão de ponta na contemporaneidade e com escasso material em nossa língua.² Esse é um motivo pelo qual traduzi livremente todas as citações para o português —exceto quando utilizei traduções já publicadas.

Meu maior enfoque é sobre uma interpretação particular da mecânica quântica, que chamo de “interpretação da consciência” e a divido em outras duas: a interpretação da consciência *causal* e a interpretação da consciência *mística*. Ainda que seja uma interpretação mal-aceita pela comunidade científica, o debate filosófico ao redor dela coloca em evidência grandes problemas dos fundamentos da mecânica quântica.

Divido o livro em seis capítulos. No primeiro capítulo, parto do ponto de vista da interpretação ortodoxa da mecânica quântica. Ainda que existam vários modos de formulá-la, sempre que utilizar a nomenclatura *mecânica quântica* neste livro, tenho em mente os pontos em comum entre os autores Bohr e Heisenberg, comumente referida como *interpretação de Copenhague*.

Nesse capítulo, procuro delinear definições precisas para os conceitos

¹ Trato apenas do caso não-relativístico.

² Pessoa Jr. (2016) reúne uma excelente lista de materiais disponíveis em português, tanto traduções quanto originais.

envolvidos nos fundamentos dessa interpretação, enfatizando o papel central da noção de medição, bem como alguns aspectos gerais de seus problemas filosóficos internos, a fim de prosseguirmos com o debate mais geral nos capítulos seguintes. Exponho separadamente as formulações de Heisenberg e Bohr, considerados os principais autores da interpretação ortodoxa e, em seguida, confronto os pontos de vista de ambos os autores, a fim de apresentar com maior precisão o posicionamento ontológico de cada um frente à noção de medição.

No segundo capítulo, enfatizo como a problemática em torno da medição se insere no debate filosófico, especificamente numa discussão ontológica. Para tanto, busco definições para o termo ontologia, que são utilizadas ao longo deste livro. Em seguida, analiso as críticas de Einstein à posição ortodoxa e o debate entre Einstein e Bohr, enfatizando o comprometimento ontológico dos autores no que tange à noção de medição. Com isso, poderei descrever com precisão ainda maior o ponto de vista de cada autor frente à interpretação da teoria quântica, bem como entender como o problema da medição se insere no debate filosófico.

No terceiro capítulo, exploro algumas diferenças no conceito de medição entre a física clássica e a teoria quântica. Procuro expor a teoria da medição von Neumann, de modo a delinear de forma clara o *problema da medição*. Enfatizo as interpretações lógicas e ontológicas de sua solução para o problema da medição, que marca a introdução do conceito dualista de consciência na medição quântica, explicitando de que modo a noção de consciência se insere na discussão filosófica como um problema ontológico. Em seguida, analiso brevemente algumas das propostas pouco abordadas na literatura especializada, que deram continuidade e extensão ontológica à formulação de von Neumann, como a formulação de Ludwig Bass e proposta de Amit Goswami, que utilizaram uma formulação monista para a noção de consciência.

No quarto capítulo, analiso brevemente algumas propostas alternativas e críticas em relação às formulações tanto de von Neumann quanto de Bohr (que representam, como veremos, a maneira padrão de interpretar a me-

cânica quântica). As propostas alternativas são analisadas de maneira bastante breve, e apenas a título de amostragem. Isso é feito para ilustrar a pluralidade de interpretações à noção de medição.

No quinto capítulo, destaco a possibilidade de investigar a metafísica da interpretação da consciência causal a partir de um novo horizonte —a saber, sob a perspectiva processual de Alfred North Whitehead. Isso é feito como uma espécie de continuidade de um projeto iniciado há alguns anos por outras pessoas que consideram que a ontologia whiteheadiana é apropriada para entender conceitos de interpretação da mecânica quântica (entre elas, o próprio Whitehead). No entanto, o projeto de interpretar a interpretação da consciência causal por um viés whiteheadiano é um projeto inacabado na história da filosofia da mecânica quântica. Por exemplo, Shimon Malin desenvolve uma concepção de *colapso* inspirada na metafísica dos processos de Whitehead, mas não aborda a questão da consciência. Henry Stapp usa a metafísica whiteheadiana para a compreensão da consciência em relação à mecânica quântica, mas o faz pressupondo o surgimento daquilo que chama de “cérebro quântico” —o que também acaba por descaracterizar a proposta de von Neumann.

A metafísica de Whitehead admitidamente evita os problemas do dualismo e, como Anderson Weekes aponta, oferece uma visão monista inovadora do problema filosófico clássico da relação mente-corpo (além do monismo reducionista, como a metafísica materialista ou idealista). Investigo, então, uma proposta do desenvolvimento de uma metafísica para o conceito de consciência, inspirada na filosofia de Whitehead, que poderia ser considerada uma leitura mais frutífera para o problema ontológico da consciência na mecânica quântica. Esse capítulo tem um tom mais autoral e menos expositivo do que os demais. Nele, trago minhas próprias ideias para o debate.

Por fim, apresento no sexto capítulo algumas notas introdutórias para o formalismo da mecânica quântica que é utilizado tacitamente ao longo de todo o livro, a fim de especificar melhor as questões que percorrem o debate feito aqui.

Muitos mal-entendidos foram cometidos devido à escassez de discus-

sões acerca da interpretação da consciência. Desde sua utilização para fins litigiosos e não-científicos, até a sua invisibilidade por parte de uma comunidade que não se preocupou em debatê-la seriamente nos fundamentos da física —e plausivelmente essas duas coisas estão intimamente relacionadas.

Escrevo este livro na esperança de que tais lacunas sejam preenchidas.

Raoni W. Arroyo
Roma, 2024

Agradecimentos



finalização deste livro tornou-se possível devido às diversas contribuições recebidas (ainda que isso não signifique que o presente material seja *endossado* por elas), pelas quais expresse meus sinceros agradecimentos a seguir.

- À Maju Capelato pela arte da capa.
- À Caroline Murr, ao Décio Krause, ao Helcio Felipe Jr., ao Jonas Arenhart e ao Osvaldo Pessoa Jr. pela cuidadosa leitura e comentários feitos a uma versão anterior do texto. Em especial, agradeço ao Jonas por ter utilizado uma versão anterior deste material na disciplina de Filosofia da Física de 2022, do Departamento de Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina, bem como à turma dessa disciplina pela leitura do material. Agradeço também ao Osvaldo pela gentileza de ter escrito o Prefácio deste livro.
- À “Margem 2 Revisões” pela revisão textual (gramatical e ortográfica) do manuscrito.
- À turma de Tópicos Especiais em Filosofia da Ciência: Introdução à filosofia da mecânica quântica de 2022, do Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência da Universidade Estadual de Campinas pela oportunidade de testar em sala de aula parte das ideias contidas neste livro. Em especial: Alan Antezana, Felipe Abrahão, Ga-

briel Eugênio, Gabriel Maruchi, Gustavo Serra, Heitor Moreno, Itala D'Ottaviano, Renato Valvassori e Sofia Meirelles.

- Às equipes do Grupo de Pesquisa em Lógica e Fundamentos da Ciências (CNPq) e do *International Network on Foundations of Quantum Mechanics and Quantum Information* pelas intrigantes conversas sobre filosofia da mecânica quântica.
- Ao Gilson Olegario da Silva pelo auxílio com o código \LaTeX .
- Ao José Roberto Marinho pelo diligente trabalho editorial.
- Aos meus coautores, Frederik Moreira dos Santos, Lauro de Matos Nunes Filho e William Davidans Sversutti, por permitirem que eu reutilizasse neste livro parte do material que escrevi em nossos artigos.
- Ao apoio dos processos nº 2021/11381-1 e 2022/15992-8, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Sumário

INTRODUÇÃO: UM PROBLEMA FILOSÓFICO NA FÍSICA	19
1 QUESTÕES DE FUNDAMENTO	25
1.1 O princípio da indeterminação	27
1.2 A complementaridade	40
1.3 Uma interpretação fragmentada	57
2 VISÕES DE MUNDO EM CONFLITO	65
2.1 As ontologias da ciência e a ontologia do mundo	68
2.2 A realidade da mecânica quântica	71
2.3 Realidade, separabilidade e indeterminação	81
2.3.1 Realidade	81
2.3.2 Separabilidade	83
2.3.3 Indeterminação	95
3 A CONSCIÊNCIA COLAPSA	105
3.1 Medição: clássica e quântica	106
3.2 O problema da medição	109
3.3 A interpretação da consciência causal	113
3.3.1 O problema ontológico	132
3.3.2 O problema metafísico	133
3.3.3 O problema místico	136
3.4 Interpretando a interpretação da consciência	149
4 A PAISAGEM AO REDOR	155

4.1	A interpretação estatística	158
4.2	A interpretação das variáveis ocultas	161
4.3	A interpretação dos estados latentes	165
4.4	A interpretação dos estados relativos	167
4.5	A interpretação do colapso espontâneo	177
4.6	Uma escolha filosófica	180
5	NOVOS HORIZONTES	183
5.1	Antiga abordagem: consciência como substância	185
5.2	Novas direções: consciência como processo	188
6	QUESTÕES DE FORMALISMO	203
6.1	A interpretação mínima	206
6.1.1	A Equação de Schrödinger	209
6.1.2	O colapso	211
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	215
	ÍNDICE REMISSIVO	245