

Horizontes Quânticos

O campo quântico e seus impactos na cultura, nas artes, na
tecnociência e na filosofia do século XXI

Conselho Editorial da LF Editorial

Amílcar Pinto Martins — Universidade Aberta de Portugal

Arthur Belford Powell — Rutgers University, Newark, USA

Carlos Aldemir Farias da Silva — Universidade Federal do Pará

Emmánuel Lizcano Fernandes — UNED, Madri

Iran Abreu Mendes — Universidade Federal do Pará

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

Luis Radford — Universidade 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

Maria Luisa Oliveras — Universidade de Granada, Espanha

Maria Marly de Oliveira — Universidade Federal Rural de Pernambuco

Raquel Gonçalves-Maia — Universidade de Lisboa

Teresa Vergani — Universidade Aberta de Portugal

Rodrigo Petronio
(Organizador)

Horizontes Quânticos

O campo quântico e seus impactos na cultura, nas artes, na
tecnociência e na filosofia do século XXI



Copyright © 2025 Editora Livraria da Física

1a. Edição

Editores: VÍCTOR PEREIRA MARINHO e JOSÉ ROBERTO MARINHO
Projeto gráfico e diagramação: THIAGO AUGUSTO SILVA DOURADO
Capa: FABRÍCIO RIBEIRO

Texto em conformidade com as novas regras ortográficas do Acordo da Língua Portuguesa.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Horizontes quânticos : o campo quântico e seus impactos na cultura, nas artes, na tecnociência e na filosofia do Século XXI / Rodrigo Petronio (organizador). -- 1. ed. -- São Paulo : LF Editorial, 2025.

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-5563-639-0

1. Computação quântica 2. Física quântica 3. Teoria quântica de campos I. Petronio, Rodrigo.

25-295172.0

CDD-539

Índices para catálogo sistemático:

1. Física quântica 539

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta 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 1998.

Impresso no Brasil

Printed in Brazil



www.lfeditorial.com.br

Visite nossa livraria no Instituto de Física da USP

www.livrariadafisica.com.br

Telefones:

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

(11) 3936-3413 | Editora

Prefácio

Neste livro, o título *Horizontes Quânticos* — no plural — é um achado, um tiro na mosca do tempo. Sorrateiramente, a quântica está chegando. As batidas na porta do momento ainda soam como ressonâncias pouco discerníveis para os que permanecem desatentos aos chamados da ciência. Uma descoberta científica leva anos para se aprimorar e não entra de chofre nos meandros e nervuras da cultura.

Por vezes, pode levar muitas décadas para ser absorvida e incorporada, pois depende de ajustamentos às vezes bruscos nas expectativas do pensamento vigente. São demorados os caminhos da compreensão, absorção, tradução e transformação nos modos de pensar e de enxergar aquilo que se costuma chamar de realidade, dentro e fora do humano. Ou seja, exigem um passo a passo até chegar ao ponto da invisibilidade da naturalização, como explicou sabiamente McLuhan a respeito das tecnologias como extensões da humanidade.

Embora tenha sido muito criticado até por boas razões empíricas, há, todavia, algo a se extrair de interesse, contanto que apenas sirva de inspiração, da pirâmide de Maslow sobre a hierarquia das necessidades. Elas são vitais (quando se referem à garantia da sobrevivência), de segurança (relativas à ordem a ser mantida), de estabilidade e proteção (quanto à manutenção do equilíbrio), de filiação (quando implicam amor e pertencimento) e de reconhecimento (quando se relacionam à autoestima e ao respeito ao outro), e, por fim, de desenvolvimento interior.

Adaptados ao universo da tecnologia, esses passos ascendentes serviram de inspiração a um filósofo da tecnologia dinamarquês, Peter-Paul Verbeek. Etomo a liberdade de readaptá-los para o universo da ciência. O primeiro degrau da escala ascendente tem início com uma ideia materializada que, na ciência, segundo Peirce, evolui em função do amor criativo que os cientistas dedicam a um projeto. Esse estopim é seguido pela fase de operacionalização, então, da aplicação e, gradativamente, da aceitação, vitalidade, invisibilidade e naturalização.

A operacionalização corresponde aos testes de viabilidade do projeto, seguidos pelas aplicações, quando a ciência passa dos laboratórios para suas aplicações na sociedade. Não é difícil exemplificar com o andamento da Inteligência Artificial, que sendo bem-sucedida nas suas aplicações, passou, então, para a fase da

aceitação que conduz à sua vitalidade. Não é difícil perceber que já começamos a entrar, com os tropeços que são próprios de uma invenção disruptiva, na invisibilidade para atingir a naturalização. Diante disso, não é igualmente difícil perceber que a computação quântica está caminhando em sua fase de projetos e seus testes para seguir nos caminhos que são próprios de uma invenção científica com seus desdobramentos na sociedade.

Com essas premissas, chego ao meu argumento sobre a relevância *avant la lettre* deste livro organizado por Rodrigo Petronio. Ele será visto no futuro como um documento de época corajoso não só na sua ambição, mas, sobretudo, na sua antecipação. A obra é admirável pelo estado de alerta que revela na escuta dos pensadores especializados capazes de responder e revelar os mistérios que a quântica encerra.

Com conhecimento de causa, expresso na autoria da abertura do volume, o organizador avança e amplifica o campo para os horizontes em camadas interdisciplinares numa pluralidade polifônica de vozes que preparam o terreno para a fase que virá das aplicações da quântica na sociedade. Um livro, portanto, que abre o caminho do conhecimento social da quântica com atenção no olhar e energia no pensamento. Isso está longe de ser pouco. É muito e digno de aplausos, especialmente vindo daqueles que têm apreço pela ciência e por seus avanços sob o controle ético de suas consequências.

Lucia Santaella

Sumário

Prefácio

VII

Apresentação

O Campo Quântico e os Horizontes do Real

Rodrigo Petronio

1

1.	Horizontes Quânticos	1
2.	Quântica: Teoria e Campo	3
3.	Apropriações e Culturalizações	7
4.	Abordagem Deflacionada	8
5.	Computação, Sistemas e Complexidade	9
6.	Arte, Literatura e Audiovisual	10
7.	Ontologia, Cosmologia e Epistemologia	11
8.	Quantum, Complexidade e Emergência	15
9.	Resenhas	19
10.	Entrevistas	21

Parte I

Computação, Sistemas e Complexidade

Superposição e Paralelismo Quânticos: Possíveis Efeitos em Algoritmos

Marcos Cuzziol

25

1.	Computação quântica	25
2.	Algoritmos genéticos	26
3.	Superposição e paralelismo	28
4.	Algoritmos quânticos	29
5.	Além dos algoritmos genéticos	30
6.	O que esperar num futuro próximo?	32

Limites e Possibilidades da Complexidade Computacional Quântica <i>Reinaldo Augusto de Oliveira Ramos, Fabiana Raulino da Silva,</i> <i>Rafael Diogo Rossetti</i>	35
1. Introdução	35
2. Contextualização Histórica e Técnica da Teoria da Complexidade Computacional	37
3. O Surgimento das Classes de Complexidade	39
4. Análise Comparativa entre Computação Quântica e Clássica	44
5. Classes de Complexidade Probabilística e Verificação Quântica: <i>QMA</i> , <i>BPP</i> e <i>PP</i>	48
6. Conclusões	50

Parte II

Arte, Literatura e Audiovisual

Xenopaisagens Tecnológicas Vivas <i>Iliana Hernández-García e Raúl Niño-Bernal</i>	57
1. Introdução	57
2. Metodologia	59
3. Resultados	60
4. Xenopaisagens interativas	61
5. A protovida	63
6. Conclusões	64

Traços Quânticos na Cultura: Incerteza Criadora <i>Diana Maria Gallicchio Domingues e Pedro Gabriel Ubatuba De Faria Denega</i>	67
1. Um pouco sobre horizontes da física quântica	67
2. Do contexto e contaminação transdisciplinar	70
2.1. Revolução Quântica: Da Compreensão da Matéria aos Avanços Tecnológicos	71
2.2. Arte como sistema humanizador da tecnociência: consciência reenquadrada	73
2.3. Sistemas enativos afetivos: uso de sensores e sistemas nos atos de existir	79
3. Considerações Finais	87

Trans:Humanismo (H-) e Audiovisual: Imagem, Mente e Teoria Quântica nas Fronteiras do Humano	
---	--

***Luca Scupino Oliveira, Eduardo Ferraz, Bianca Ayuri, Guto Escobar,
Maria Junqueira Netto de Sá e Benevides, Rodrigo Petronio*** **93**

1. Transumanismo (H+) e Trans:humanismo (H-) 93
2. André Bazin: Humanismo Trans:Humanista? 98
3. Corpo, Terror e Tecnologia 105
4. Corpo, Ciborgue e Cronenberg: o Paradigma CCC 109
5. A Teoria Quântica e o Estranho 115

O Recurso Quântico: Uma Estratégia Ficcional

Fabio Fernandes **129**

1. Introdução 129
2. Onde tudo começou: Schrödinger, Heisenberg e Everett 130
3. O Experimento do Gato de Schrödinger 130
4. Hugh Everett e a Interpretação de Muitos Mundos 131
5. A Aplicação da Teoria Quântica na Ficção Científica 133
6. Conclusão 136

Parte III

Cosmologia, Ontologia e Epistemologia

Universo Magnético

Mario Novello **141**

1. Introdução 141
2. Universo magnético 142
3. Universo magnético auto-regulador (cenário cíclico) 143
4. O cenário padrão (Friedmann) 144
5. Campos de longo alcance 146
6. O campo eletromagnético como energia da evolução cósmica:
universo magnético auto-regulador 146

As Possibilidades de Ontologia Presentes na Teoria da Física Quântica

Leandro Tibiriçá de Camargo Bastos **149**

**Orgulho Científico e Preconceito Metafísico: *Ens Quantum Ens*, Teoria
Quântica e Peirce**

Rosa Mayorga **169**

1. Introdução 169
2. Metafísica versus Ciência 170
3. Teoria Quântica e *Res* 172

4.	<i>Quantum ens</i> e Scotus	177
5.	Orgulho, Preconceito e Peirce	182
6.	Peirce e o universo quântico	185
7.	Conclusão	188

Metafísica Semiótica como Exelítica Heurística

***André De Tienne* 193**

1.	Introdução	193
2.	Metafísica e epistemologia	194
3.	A biossemiótica como limiar do semios	196
4.	A fisiossemiótica e a quântica	198
5.	A cosmologia e a origem do universo	201
6.	Da cosmogênese à cosmo-semiose	203
7.	O que se segue?	206

Horror do Vazio

***Mario Novello* 211**

1.	Quando a cosmologia identifica virtual e real	211
2.	Friedmann ou o mito científico da criação	211
3.	O cenário do universo eterno	212
4.	Modos de criação	213
5.	Instabilidade do Vazio	214
6.	Viscosidade primordial e o fenômeno da bifurcação	214
7.	Universo Viscoso	217
8.	Historicidade da ciência	218
9.	Conclusão	219

Feyerabend e a Mecânica Quântica: Um Terreno Fértil para Discussões Filosóficas

***Rafael Velloso e Antonio Augusto Passos Videira* 225**

1.	Introdução	225
2.	Do edifício físico à “casa mal assombrada” da Mecânica Quântica	227
3.	Considerações Finais	237
4.	Agradecimentos	238

Estruturas Fechada e Aberta... e Vice-Versa: Axiomas da Matemática no Debate entre a Ontologia de Deleuze e Badiou

***Leandro Tibiriçá de Camargo Bastos* 243**

Parte IV

Quantum, Complexidade e Emergência

Por uma Ética Quântica Combinada com um Direito Procedimentalizado: Para fazer face ao Avanço das Tecnologias de Inteligência Artificial <i>Willis Santiago Guerra Filho e Paola Cantarini</i>	263
---	-----

A Consciência Quântica: Uma Análise a partir da Irreversibilidade <i>Marcelo Moreira Santos</i>	283
--	-----

1. Introdução	283
2. O Tempo dos Conceitos: Sistema, Organização e Complexidade .	284
3. A Espiral da Consciência: Duplicidade, Ressonância e Contemplação	288
4. Conclusão	293

Física Quântica e Cultura: Influências Mútuas <i>Oswaldo Pessoa Jr.</i>	297
--	-----

1. Introdução à Física Quântica	297
2. Uma interpretação didática da Teoria Quântica	299
3. O impacto da Física Quântica na sociedade	301
4. A tese de Forman	304
5. Breve exploração da relatividade das interpretações	306
6. Conclusão	309

“Tudo é Vibração?": Emaranhando a Mecânica Quântica em um mundo sem objetos <i>Nelson Job</i>	311
--	-----

Há Mundo depois da Quântica? <i>Bruno Cava Rodrigues</i>	321
---	-----

Introdução à Teoria Gerativa: Replicabilidade, mutação, emergência e dados no horizonte do Capital <i>Rodrigo Petronio</i>	337
---	-----

1. Gerativismo	337
2. Genos, Meson, Topos, Trans	338
3. Teorias de Tudo	339
4. Reducionismo e Holismo	340
5. Empirismo e Indutivismo	344
6. Instrumentalismo e Positivismo	347
7. Conhecimento	348
8. Emergência	350

9.	Universos e Esferas	355
10.	Necessitarismo e Ocasionalismo	359
11.	Vazio, Zero e Infinito	360
12.	Mutação, Replicação e Dados	364
13.	O Capital	369
14.	Inteligência Artificial (IA): Generativa e Gerativa	376
15.	Filosofia Hacker	379

Parte V

Resenhas

<i>Mind, matter and quantum mechanics</i> de Henry Stapp <i>Leandro Tibiriçá de Camargo Bastos</i>	399
<i>Schrödinger's Universe</i> de Milo Wolff <i>Nelson Job</i>	403
<i>O Abismo Vertiginoso</i> de Carlo Rovelli <i>Maria Junqueira Netto De Sá Benevides, Julia Stritzinger De Cassias, Luiz Gustavo Queiroz Escobar, Rodrigo Petronio</i>	407
1. Adentrar o Abismo	407
2. Mosaico do Conhecimento	408
3. Naturalismo sem Substância	410

Parte VI

Entrevistas

<i>O Começo da Eternidade — Entrevista com Mario Novello</i> <i>Rodrigo Petronio</i>	415
<i>Quantum e Qualia: Entre a Teoria Quântica e a Filosofia da Mente — Entrevista com Osvaldo Pessoa Junior</i> <i>Rodrigo Petronio</i>	425

Resumos	435
---------	-----

Sobre os Autores	445
------------------	-----

APRESENTAÇÃO

O CAMPO QUÂNTICO E OS HORIZONTES DO REAL

Rodrigo Petronio

1. Horizontes Quânticos

Este livro surgiu como desdobramento dos três números da revista de Tecnologias Cognitivas (Teccogs) que eu editei e organizei, todos dedicados ao tema da teoria quântica. A revista Teccogs é vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Inteligência e Design Digital da PUC-SP (TIDD | PUC-SP). Conta com a supervisão científica dos semioticistas Lucia Santaella (Brasil) e Winfried Nöth (Alemanha). Tornou-se um dos principais veículos científicos para a circulação de autores, ideias, conceitos e problemas relacionados a aspectos disruptivos do mundo contemporâneo, em especial aqueles oriundos da tecnociência. Tendo em vista a complexidade e a vastidão do tema, convidei os colaboradores a expandirmos essas reflexões, organizando-as nos eixos deste livro. Nesse sentido, este livro é extremamente singular. Não existe nenhuma publicação em língua portuguesa que reúna tantos especialistas de tantas áreas diferentes para abordar a teoria quântica em tantas frentes, aspectos e implicações¹.

Para tanto, propus aos autores que partissem dos impactos mais importantes da teoria quântica em diversos setores do conhecimento e da tecnologia, da computação quântica, da cosmologia e das novas tecnologias, passando por

¹Talvez o único livro similar no Brasil seja o livro organizado por Osvaldo Pessoa Junior, Olival Freire Junior e Joan Bromberg: PESSOA JUNIOR, Osvaldo, FREIRE JUNIOR, Olival, BROMBERG, Joan Lisa (Organizador). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande: EdUEPB, 2011. Entretanto, esse livro possui uma abordagem mais específica da ciência, em suas extensões culturalizadas. O livro que o leitor tem em mãos expande essa abordagem para as artes e para questões mais amplas das tecnologias emergentes e das tecnociências.

questões culturais, epistemológicas, ontológicas e chegando à divulgação científica. O intuito não era detalhar um ou outro aspecto mais específicos da teoria quântica, embora o livro contenha artigos que o façam. Tampouco havia a expectativa de esgotar nenhum ponto de vista de um tema tão complexo. O objetivo deste livro foi simplesmente explorar diversos impactos e desdobramentos produtivos que a teoria quântica exerceu, continua exercendo e deve exercer ainda mais em quase todas as áreas das ciências naturais, das ciências humanas e das tecnociências.

Organizado a partir de abordagens transdisciplinares e por autores das mais variadas áreas de atuação e de especialização, pretendemos aqui analisar os impactos da teoria quântica nos mais diversos setores da ciência, da filosofia, da arte, da tecnologia e da sociedade contemporâneas. A teoria quântica não se restringe à ciência. Representa uma das maiores revoluções cognitivas da humanidade. Tendo em vista suas interfaces com as novas tecnologias, sobretudo com a computação, a quântica adquire uma centralidade e uma urgência ainda maiores. Vê-se então a pertinência de mapear as alterações que essa revolução tem produzido no âmbito das Tecnologias da Inteligência e das Tecnologias Cognitivas. E quais as principais alterações que essa revolução deve produzir nas próximas décadas.

Embora seja uma pesquisa de imensa complexidade na área de Física, a teoria quântica não se restringe a esses domínios e tampouco pode ser pensada a partir apenas da ciência. Não se trata de legitimar a apropriação da quântica pelas chamadas pseudociências². A teoria quântica exorbita os domínios da Física porque alterou drasticamente algumas categorias e axiomas fundamentais que norteiam a filosofia, a ciência e o pensamento de modo geral, há mais de dois mil anos. Nesse sentido, todos os ramos do conhecimento tendem a ganhar consistência e complexidade ao interagir com a quântica e ao desenvolver, em suas respectivas áreas, as implicações propostas por ela.

Além disso, há um processo de culturalização da teoria quântica. O que seria isso? Seria o conjunto de todos os desdobramentos dessa teoria, independente de serem mais ou menos legítimos do ponto de vista estrito da ciência. O ponto mais agudo dessa culturalização ocorre nas tecnologias digitais, sobretudo na computação. Nesse processo de culturalização, a ciência se torna cada vez mais uma tecnociência. E a tecnociência cada vez mais se subordina aos domínios do capitalismo. Nesse sentido, compreender a quântica como um vetor de novos dispositivos de saber-poder não é facultativo. É urgente e imperativo. Não se trata portanto aqui de denunciar as derivações da quântica em pseudociências. Trata-se de compreender como sua capitalização tem determinado e deve determinar cada

²Esta apropriação foi investigada minuciosamente por Gustavo Rick e Ronaldo Marin nos números 25 e 26 da revista Teccogs, acerca da demarcação das fronteiras entre ciência e não-ciência.

vez mais a cientificidade de uma ciência cada vez mais convertida em tecnociência. Este livro pretende assim rastrear os impactos positivos e negativos da quântica em ciências e vertentes distintas do pensamento, explicitando seus avanços para o conhecimento, bem como as suas ambivalências e perplexidades.

2. Quântica: Teoria e Campo

Como compreender a disrupção produzida pela teoria quântica e que transpôs as fronteiras da física? Quais os principais impasses colocados por esse campo? Um dos primeiros dilemas postos pela quântica é o fato dela não ser *uma* teoria. A teoria Teoria da Relatividade é uma teoria unificada, coesa e funcional em todos os contextos da física que envolvam gravitação, espaço e tempo. Por mais que tenha aplicabilidades e interpretações diversas, pode ser unificada em diversos contextos, experimentais e conceituais. A quântica por sua vez é um conjunto de teorias, experimentos, observações, interpretações e descrições da natureza bastante divergentes entre si. Em alguns casos, chegam mesmo a ser antagônicas e excludentes, umas em relação às outras. Mesmo nos domínios estritos da física e da matemática, a quântica não configura uma teoria unificada. Constitui um campo de disputa de diversas teorias, experimentos, hipóteses, filiações, grupos, modelos, cientistas, interpretações e critérios de verificabilidade e de validade. Essas disputas em torno da quântica acabaram sendo assimiladas de *n*-formas por outras ciências e saberes. E, além disso, foram apropriadas e disseminadas pela cultura e pelo imaginário coletivo.

Diante disso, em vez de teoria quântica, optei aqui por chamar de *campo quântico* esse conjunto de controvérsias que apontam para o denominador comum *quântico*. O campo quântico seria a arena em que se travam todas as disputas epistemológicas e ontológicas, culturais e cognitivas, científicas e culturais, física se metafísicas que tenham como parâmetro o termo *quanta*, independente das valências e validações institucionais que esse termo possua. Os horizontes quânticos seriam nesse sentido o cojunto das possibilidades e virtualidades imanentes ao campo quântico e, ao mesmo tempo, as aberturas que o termo *horizontes* nos apresenta, sendo essas virtualidades e possibilidades tanto hermenêuticas e experimentais quanto conceituais e tecnológicas. Seguindo assim os postulados do conceito quântico de colapso, o campo quântico seria essa esfera de investigações da natureza que ainda não foi colapsada. E que não pode ser aplicada de modo indiscriminado em contextos distintivos sem que resultados diferentes sejam obtidos.

Como se sabe, desde seu surgimento no século XX, a mecânica quântica tem sido uma das propostas mais disruptivas da história do conhecimento. Esses abalos

começaram com a aparente incompatibilidade dos modelos quânticos com a teoria que há mais de um século serve de modelo-padrão para a física: a Teoria da Relatividade de Einstein. Se a Teoria da Relatividade representa uma revolução da ciência, as interpretações quânticas representariam uma revolução dentro da revolução: uma revolução ao quadrado. Além disso, a compreensão da natureza apresentada pela mecânica quântica nos levou a rever alguns conceitos nucleares estabilizados ao longo de milênios pelas ciências, pela filosofia, pelos saberes e pelas religiões. O cerne dessa revolução decorre de uma mudança profunda dos padrões, modelos, compreensões e intuições que se tinha sobre a natureza, as leis e o universo, coforme concebidos tanto pela ciência clássica quanto moderna.

Como se sabe, há duas grandes vertentes interpretativas da teoria quântica. A primeira acredita que as dificuldades de descrição da aleatoriedade dos fenômenos quânticos não decorre de algo que seja imanente aos processos da natureza. Decorre apenas de limitações da linguagem, das medidas e dos modelos que empregamos para compreender esses fenômenos. A segunda acredita que essa ruptura radical com os processos causais convencionais diz respeito ao funcionamento mesmo da natureza e do mundo, não apenas aos padrões descritivos das ciências. A primeira pode ser chamada de vertente mais nominalista, analítica e antirrealista. A segunda pode ser definida como uma vertente mais ontológica e realista. Qual o problema? Quer concebamos o mundo quântico como meros jogos de linguagem, performances e enunciações imanentes aos instrumentos da ciência, quer entendamos o mundo quântico como uma efetividade extensa, interna aos processos da natureza e ao modo de ser universo, em ambos os casos as explicações fracassam. E não conseguimos fornecer parâmetros explicativos universais para esses fenômenos em suas diversas ocorrências, condições, variações, valências e singularidades.

Uma maneira de compreender essas contradições é tomar o modelo antirrealista e analítico da chamada Escola de Copenhague, justamente por ter se tornado uma das interpretações-padrão da teoria quântica. Surgiu dos esforços pioneiros de Niels Bohr, Werner Heisenberg e de uma rede de alguns dos maiores físicos do século XX para transformar a quântica em uma teoria consistente. Essa consistência foi confirmada e não para de se reafirmar, tantos em termos empíricos e observacionais quanto em termos lógicos e matemáticos. A quântica conseguiu dirimir e refutar as objeções que mesmo Einstein, um de seus fundadores, lhe havia feito, acusando-a de ser um modelo inacabado, de se apoiar em variáveis ocultas e de recorrer às famosas ações fantasmagóricas à distância. Esse sucesso da teoria quântica se deve em grande parte à abordagem antirrealista e analítica dada por Bohr. Por meio da teoria da complementaridade, Bohr demonstrou que não era preciso afirmar o acaso, a aleatoriedade e a incerteza como elementos

reais, imanentes à natureza. Bastaria que os concebêssemos como propriedades instauradas pelas medições e pelas descrições, entendidas como interatores que também alteravam essa mesma realidade. Ao incorporar os processos descritos para o interior dos processos de descrição, Bohr rompeu os finos liames que nos prendiam ao real.

Ora, a despeito de seu sucesso como conjunto de teorias, do êxito matemático e da aplicabilidade tecnológica cada vez maior, muitos dos fenômenos quânticos continuam sem uma explicação à altura da instrumentalização a que são submetidos. Tudo se passa como se estivéssemos lidando com processos matematicamente perfeitos, mas cujas valência de cada equação nos escapasse. Isso ocorre porque a investigação quântica não alterou apenas aspectos regionais do nosso conhecimento do universo: colocou em cheque os procedimentos de estabilização das próprias leis do universo. E talvez a melhor explicação para essa assimetria entre a eficiência da quântica em termos matemáticos e a sua obscuridade em termos racionais e explicativos deva ser buscada fora da ciência. Em outras palavras: a quântica não criou dimensões místicas, ocultas ou espirituais para o real. Talvez a quântica esteja nos obrigando apenas a reposicionar o estatuto mesmo da subjetividade na produção da ciência. E tenha explicitado os limites da objetividade da ciência, exigindo que levemos em conta toda uma rede de processos exteriores às ciências que precisam ser mobilizados para que a ciência faça sentido. Ou seja: para que a ciência seja racional.

Por isso, há mais de um século o campo quântico tem produzido visões contraintuitivas e produtivas sobre as propriedades fundamentais da natureza, do humano e da mente. A substância, a causalidade, o tempo, o espaço, a matéria, o vazio, o problema do discreto e do *continuum*: todas essas macrocategorias estratificadas antigas e modernas foram abaladas ou pelo menos profundamente transformadas desde o advento da quântica. Para agravar essa situação, o campo quântico é um dos campos da física que apresenta os resultados matemáticos mais precisos, independente da variabilidade desses contextos observacionais e experimentais. Diferente dos modelos mecanicistas, deterministas e reducionistas, que se preservam inclusive na cosmologia de Einstein, o campo quântico inseriu no coração do universo alguns dos problemas centrais da complexidade: a probabilidade, a incerteza, a irredutibilidade, a aleatoriedade, a irreversibilidade, a recursividade, a não-linearidade, dentre outros. E redefiniu de modo inusitado o papel desempenhado pela informação, pelas interações relacionais e pela mente em nosso conhecimento da natureza. Diante disso, podemos dizer que o enigma quântico não se encontra nem em esferas ocultas da realidade. Nem em uma mera insuficiência da linguagem descritiva da ciência. Repousa sim na radical relacionalidade e na profunda translogia que os processos quânticos pressupõem