REALISMO E ANTIRREALISMO

vertentes em relatividade e física quântica

Organizadores:
Maxwell Diógenes Bandeira de Melo
Gilson Pôrto Jr.

Observatório
Edições

Audiodescrição:

Capa do livro intitulado "Realismo e Antirrealismo: vertentes em relatividade e física quântica". A imagem de capa apresenta uma composição visual artística e simbólica. Em destaque, no lado esquerdo da capa, há a figura de um feto humano em posição fetal, iluminado por uma luz dourada que confere um aspecto etéreo, quase translúcido. O corpo do feto parece flutuar em um fundo escuro de cor azul-esverdeada, com pequenas partículas brilhantes ao redor, remetendo ao universo ou ao espaço interestelar. À direita da imagem, próximo ao centro, há a representação esquemática de um átomo: um núcleo central e órbitas elípticas douradas ao redor, sugerindo o movimento de partículas subatômicas. Acima da representação atômica, há uma linha ondulada amarela que lembra uma onda senoidal, aludindo ao comportamento dual da luz ou ao princípio da indeterminação quântica — elementos fundamentais da física moderna. A parte inferior da capa é preenchida por uma faixa escura, onde está inserido o título em letras brancas, grandes e em negrito: REALISMO E ANTIRREALISMO. Logo abaixo, em letras menores, também brancas: vertentes em relatividade e física quântica Abaixo do título, alinhados à esquerda, estão os nomes dos organizadores, em branco: Maxwell Diógenes Bandeira de Melo e Gilson Pôrto Jr. No canto inferior direito, encontra-se o logotipo da editora “Observatório Edições”, composto por três formas curvas sobrepostas nas cores amarela, verde e laranja, sugerindo páginas de um livro ou movimento de pensamento. Fim da audiodescrição.

Maxwell Diógenes Bandeira de Melo
Gilson Pôrto Jr.
(Orgs.)

REALISMO E ANTIRREALISMO: vertentes em relatividade e física quântica

Observatório Edições
2025

Diagramação/Projeto Gráfico: Gilson Porto Jr.
Arte de capa: Adriano Alves.
Publicado em: Setembro/2025

O padrão ortográfico e o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas de cada autor. Considerando as legislações nacionais e internacionais de ética em pesquisa, de propriedade intelectual e de uso de imagens, os autores de cada trabalho são plenamente responsáveis por todo seu conteúdo (inclusive pelos textos, figuras e fotos nele publicadas), isentando os organizadores de qualquer responsabilidade em todas as possíveis situações.

Todos os livros publicados pelo Selo Observatório/OPAJE estão sob os direitos da Creative Commons 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR

Dados Internacionais de Catalogação
Código de Catalogação Anglo-Americano AACR2

R288

REALISMO E ANTIRREALISMO: vertentes em relatividade e física quântica**.** [recurso eletrônico]. / Organização: Maxwell Diógenes Bandeira de Melo, Gilson Pôrto Jr. – Palmas, TO: Observatório Edições, 2025.
173 p.

Inclui bibliografia
ISBN 978-65-987788-4-2

1. Física quântica 2. Teoria da relatividade. 3. Epistemologia. 4. Realismo científico 5. Filosofia da ciência. 6. Ensino. I. Melo, Maxwell Diógenes Bandeira de. II. Pôrto Jr., Gilson..

CDD 530.12
CDU 530.1
LCC QC6

Marcelo Diniz – Bibliotecário – CRB 2/1533. Resolução CFB 184/2017.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Observatório Edições e/ou do OPAJE/UFT. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais. Todos os artigos passaram por avaliação dos pares.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS

REITOR
Prof. Dr. Luís Eduardo Bovolato

VICE-REITOR
Prof. Dr. Marcelo Leinerker Costa

Pró-Reitor de Graduação
Prof. Dr. Eduardo Cezari

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação
Profa. Dra. Karileila de Andrade Klinger

Pró-Reitor de Extensão e Cultura
Profa. Dra. Maria Santana Ferreira dos Santos

Núcleo de Pesquisa e Extensão Observatório de Pesquisas Aplicadas ao Jornalismo e ao Ensino (OPAJE-UFT)
Dra. Erika da Silva Maciel
Dr. Francisco Gilson Rebouças Pôrto Junior
Dr. Fernando Rodrigues Peixoto Quaresma
Dr. José Lauro Martins
Dr. Nelson Russo de Moraes
Dr. Rodrigo Barbosa e Silva
Dra. Marli Terezinha Vieira
Dra. Eliane Marques dos Santos

SELO EDITORIAL Observatório/OPAJE
CONSELHO EDITORIAL

PRESIDENTE
Prof. Dr. José Lauro Martins

Membros:

Prof. Dr. Nelson Russo de Moraes
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Brasil

Prof. Dr. Rodrigo Barbosa e Silva
Universidade do Tocantins (UNITINS), Brasil

Profa. Dra. Maria Luiza Cardinale Baptista
Universidade de Caxias do Sul; Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Profa Dra. Thais de mendonça Jorge
Universidade de Brasília (UnB), Brasil

Prof. Dr. Fagno da Silva Soares
Clio & MNEMÓSINE Centro de Estudos e Pesquisa em História Oral e Memória – Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Brasil

Prof. Dr. Luiz Francisco Munaro
Universidade Federal de Roraima (UFRR), Brasil

Prof. Dr. José Manuel Pelóez
Universidade do Minho, Portugal

Prof. Dr. Geraldo da Silva Gomes
Universidade Estadual do Tocantins, Brasil

Como Referenciar ABNT NBR 6023/2018

Documento no todo

MELO, Maxwell Diógenes Bandeira de; PÔRTO JR., Gilson; (Orgs.). **REALISMO E ANTIRREALISMO: vertentes em relatividade e física quântica**. Palmas, TO: Observatório Edições, 2025. 173 p. ISBN 978-65-987788-4-2.

Nos Capítulos

SOBRENOME, Nome; SOBRENOME, Nome. Título do capítulo. *In*: MELO, Maxwell Diógenes Bandeira de; PÔRTO JR., Gilson; (Orgs.). **REALISMO E ANTIRREALISMO: vertentes em relatividade e física quântica**. Palmas, TO: Observatório Edições, 2025, p. xx-xx.

SUMÁRIO

PREFÁCIO / 9

CAPÍTULO 1 - A COMPOSIÇÃO RELATIVÍSTICA DAS VELOCIDADES E A METAFÍSICA DO MOVIMENTO / 15
Maxwell Diógenes Bandeira de Melo

CAPÍTULO 2 - REALIDADE E TEORIA CIENTÍFICA: uma análise das vertentes realistas e antirrealistas na física moderna / 41
Carmes Ana da Rosa Batistella

CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O PENSAMENTO DE WERNER HEISENBERG: da Matemática à Filosofia / 53
Erickson C. dos Santos, Eduardo Simões e Maxwell Diógenes Bandeira de Melo

CAPÍTULO 4 - ANTIRREALISMO: das Raízes Filosóficas à Consolidação na Mecânica Quântica / 67
Eduardo Simões

CAPÍTULO 5 - A REALIDADE DAS ENTIDADES POSTULADAS PELAS TEORIAS FÍSICAS E A IMBRICAÇÃO ENTRE ONTOLOGIA E AXIOLOGIA / 95
Vinícius Carvalho da Silva e Antonio Augusto Passos Videira

CAPÍTULO 6 - EINSTEIN *VS* LORENTZ: a epistemologia de Lakatos aplicada por Zahar com considerações à Filosofia do Espaço / 115
Filipe Pamplona e Carlos B. G. Koehler

CAPÍTULO 7 - CRISE E DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO: notas para se (des)construir caminhos formativos / 141
Gilson Pôrto Jr.

CAPÍTULO 8 - FÍSICA TEÓRICA E PEDAGOGIA: como duas áreas diferentes podem conversar / 153
Samuel Gomes dos Santos

ÍNDICE REMISSIVO / 165

SOBRE OS AUTORES E ORGANIZADORES / 169

PREFÁCIO

Este livro apresenta uma exploração das intersecções entre a física e a filosofia, abordando desde os conceitos fundamentais da realidade até as implicações éticas das descobertas científicas. Organizado em seis capítulos, a obra conduz o leitor por um panorama histórico e conceitual que desafia noções arraigadas sobre o universo e o conhecimento humano.

O Capítulo 1, **A Composição Relativística das Velocidades e a Metafísica do Movimento**, de Maxwell Diógenes Bandeira de Melo, mergulha na Teoria da Relatividade de Einstein, destacando como ela revolucionou não apenas a física, mas também a metafísica, ao abolir as ideias de tempo e espaço absolutos. O capítulo explora a dilatação temporal e a relatividade da simultaneidade, mostrando como a realidade se tornou uma "tapeçaria de múltiplas realidades coexistentes. Além disso, discute a reabilitação da metafísica no século XX, impulsionada pela própria relatividade. O autor ilustra as implicações da dilatação do tempo com um estudo de caso sobre

uma viagem espacial, demonstrando como o tempo pode passar de forma drasticamente diferente para observadores em movimento relativo. O capítulo conclui que a relatividade especial não é apenas um avanço técnico, mas uma transformação ontológica que nos convida a repensar a natureza do ser e do movimento.

Em seguida, o Capítulo 2, **REALIDADE E TEORIA CIENTÍFICA: Uma Análise das Vertentes Realistas e Antirrealistas na Física Moderna**, de Carmes Ana da Rosa Batistella, aprofunda o debate filosófico entre realismo e antirrealismo científico. O realismo científico é apresentado como a crença de que as teorias descrevem uma realidade objetiva e independente da percepção humana, enquanto o antirrealismo as vê como ferramentas pragmáticas para organizar e prever fenômenos, sem necessariamente confirmar a existência de entidades inobserváveis. A autora explora como a física moderna, em especial a Relatividade e a Mecânica Quântica, se tornou um campo crucial para essa discussão. Na mecânica quântica, o realismo e o antirrealismo se manifestam em diferentes interpretações, como a de Copenhague, que sugere que as propriedades dos sistemas quânticos não são definidas antes da medição. O capítulo ressalta a importância desse debate para a compreensão do conhecimento científico e da natureza da realidade.

O Capítulo 3, **CONSIDERAÇÕES SOBRE O PENSAMENTO DE WERNER HEISENBERG: Da Matemática à Filosofia,** de Erickson C. dos Santos, Eduardo Simões Silva e Maxwell Diógenes Bandeira de Melo, explora a visão de Werner Heisenberg sobre a relação intrínseca entre física e filosofia. Os autores destacam a ascensão intelectual de Heisenberg e seu interesse em abordar os problemas da natureza tanto pela física quanto pela filosofia. O cerne do capítulo reside na análise do Princípio da Incerteza de Heisenberg, formulado em 1927, que estabelece uma limitação fundamental na precisão com que certas propriedades de uma partícula podem ser conhecidas

simultaneamente. O texto discute as implicações filosóficas desse princípio, especialmente as críticas de Karl Popper, que questionava se a incerteza era um limite inerente à natureza ou uma restrição à medição. O capítulo conclui que o pensamento de Heisenberg se destaca pela ousadia intelectual e pela capacidade de integrar a matemática e a física com reflexões filosóficas profundas.

O Capítulo 4, "**ANTIRREALISMO: das Raízes Filosóficas à Consolidação na Mecânica Quântica**" de Eduardo Simões, traça a evolução do antirrealismo desde suas origens na filosofia antiga até sua proeminência na física do século XX. O autor contextualiza o debate através da contraposição entre o materialismo de Epicuro, que defendia a existência de objetos físicos independentes da mente, e o idealismo de George Berkeley, para quem "ser é ser percebido. Simões mostra como essas posições se transmutaram em realismo e antirrealismo científico, respectivamente, na física moderna. O capítulo se concentra na Interpretação de Copenhague da mecânica quântica, associada a Bohr e Heisenberg [31], como um exemplo robusto de antirrealismo, onde a observação não apenas revela, mas constitui a realidade dos objetos quânticos. O autor argumenta que o antirrealismo na mecânica quântica não é uma fraqueza, mas uma estratégia sofisticada para lidar com os limites do mundo microscópico, desafiando a objetividade científica e a distinção entre sujeito e objeto.

No Capítulo 5, **A REALIDADE DAS ENTIDADES POSTULADAS PELAS TEORIAS FÍSICAS E A IMBRICAÇÃO ENTRE ONTOLOGIA E AXIOLOGIA**, de Vinícius Carvalho da Silva e Antonio Augusto Passos Videira, os autores abordam a questão da realidade das entidades postuladas pelas teorias físicas, partindo do pressuposto de que o realismo é a perspectiva dominante entre os físicos[37]. O capítulo distingue entre realismo de teorias e realismo de entidades [38], onde o primeiro defende que as teorias são verdadeiras descrições do

mundo [39393939], e o segundo, que certas entidades (como átomos e elétrons) realmente existem, independentemente da veracidade completa da teoria. Os autores argumentam que existe uma imbricação inevitável entre ontologia (a natureza da realidade) e axiologia (os valores) , sugerindo que o realismo não é apenas um pressuposto metafísico, mas também um "ethos" dos físicos. Eles defendem que a busca pela verdade é um valor cultural fundamental e uma "obrigação ética" para o cientista, especialmente em um cenário de "pós-verdade" e negacionismo.

Já no Capítulo 6, **EINSTEIN VS LORENTZ: a epistemologia de Lakatos aplicada por Zahar com considerações à Filosofia do Espaço**, de Filipe Pamplona e Carlos B. G. Koehler , examina a transição da teoria do éter de Lorentz para a Teoria da Relatividade Especial de Einstein, aplicando a metodologia de Imre Lakatos. Os autores detalham como, embora ambas as teorias previssem os mesmos resultados experimentais, o programa de Einstein superou o de Lorentz devido à sua heurística mais progressiva e à economia de hipóteses auxiliares. O capítulo contextualiza o debate no campo da Filosofia do Espaço, contrastando o substancialismo de Lorentz (que defendia a existência de um éter material como espaço absoluto) com o relacionismo de Einstein (que via a espacialidade como um atributo da matéria). Conclui-se que a análise de Lakatos permite uma compreensão mais nuançada da "revolução científica", destacando a importância da competição entre programas de pesquisa para o progresso da ciência.

No capítulo 7 intitulado **CRISE E DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO: notas para se (des)construir caminhos formativos,** de Gilson Pôrto Jr. discute uma possível crise de conceitos, de relações e de conversações em torno do que “é” e das “formas” que os processos científicos assumem na formação de profissionais.

E Finalmente, no capítulo 8 **FÍSICA TEÓRICA E PEDAGOGIA: como duas áreas diferentes podem conversar,** Samuel Gomes dos Santos traz uma série de apontamentos para se pensar as relações e proximidades entre a Física Teórica e a Pedagogia, tão distantes e, ao mesmo tempo, próximas.

Esperamos que as leituras disponibilizadas possam permitir novas rupturas e relações quanto as questões aqui problematizadas.

Palmas, Tocantins, verão de 2025.

Maxwell Diógenes Bandeira de Melo
Gilson Pôrto Jr.
Organizadores

1

A COMPOSIÇÃO RELATIVÍSTICA DAS VELOCIDADES E A METAFÍSICA DO MOVIMENTO

Maxwell Diógenes Bandeira de Melo

Introdução

Durante grande parte do século XX, especialmente nas décadas que precederam e sucederam a Segunda Guerra Mundial, a metafísica foi alvo de críticas severas dentro da tradição filosófica analítica. Contudo, houve um movimento de reabilitação da metafísica promovido por obras influentes do final da década de 1950 (Loux, 2006). A **Teoria da Relatividade de Einstein** nos transportou para o cerne de uma das maiores revoluções científicas e filosóficas da história: a **Relatividade Restrita**. Longe de ser apenas um debate técnico sobre velocidades e equações, nascida da mente de um físico com lápis e papel, desafiou e redefiniu conceitos metafísicos arraigados, provocando um renascimento do pensamento sobre a natureza do tempo, do espaço e da própria realidade.

As principais rupturas introduzidas pela relatividade foram a abolição da ideia de tempo e espaço absolutos e a ruptura com o

éter, substância jamais detectada que engendrava toda a física do século XIX, e eram pilares da física galileana e newtoniana. Antes de 1905, o universo era visto como um palco onde eventos ocorriam em um tempo universal e em um espaço independente dos observadores. A simplicidade aparente da soma de velocidades na mecânica clássica refletia essa intuição. Contudo, ao aproximar-se da velocidade da luz, essa simplicidade desmorona. A dilatação temporal e o aumento da massa se tornam efeitos reais, e a noção de **simultaneidade absoluta** é desmantelada. Dois eventos que acontecem ao mesmo tempo para um observador podem não ser simultâneos para outro em movimento relativo. Essa constatação, embora inicialmente contraintuitiva, não invalida a **causalidade**, pois a ordem dos eventos conectados por uma relação causal é preservada dentro de um "cone de luz", onde a velocidade da informação não excede a velocidade da luz. A realidade, portanto, deixa de ser monolítica e universalmente igual para todos, tornando-se uma tapeçaria de **múltiplas realidades coexistentes**, cada uma válida dentro do seu próprio referencial (Hawking, 2001).

A Relatividade Restrita também impulsionou uma profunda reavaliação da **metafísica**. O positivismo lógico do século XX havia tentado marginalizar o pensamento metafísico, considerando suas indagações sem sentido empírico. No entanto, a própria relatividade, ao questionar as categorias fundamentais de substância, tempo e espaço, demonstrou a necessidade de um retorno às **perguntas ontológicas** mais profundas. Einstein foi capaz de visualizar o que outros não viram, mesmo com o mesmo arcabouço científico disponível, ressalte-se o poder da imaginação como um verdadeiro exercício metafísico. A ciência, como destacado, não caminha sozinha; ela ganha sentido ao se integrar a outras áreas do saber, especialmente aquelas que buscam as questões mais fundamentais da existência humana, sabendo-se que qualquer ciência não pode prescindir da crítica (Kant, 1988, p.167).

As implicações da relatividade transcendem o campo teórico e tocam em questões éticas e sociais. A equação $E=mc^2$, que revela a equivalência entre massa e energia, exemplifica o poder transformador do conhecimento científico, levando tanto ao avanço tecnológico quanto a dilemas morais, como o desenvolvimento de armas atômicas. A responsabilidade da ciência em sua relação com a humanidade e o futuro do planeta é inegável.

A relatividade de Einstein foi um catalisador para uma considerável transformação ontológica. Ao despir o universo de seus absolutos e revelar a natureza relacional do espaço-tempo também transformou o ser, e assim nos convida a repensar nossas intuições mais profundas. A dicotomia entre a física clássica e a física moderna não é apenas uma mudança de paradigmas científicos, mas um espelho de um movimento filosófico que nos leva de um realismo substancialista a um estruturalismo dinâmico, onde o ser é definido por sua inserção em uma malha de relações e observações. Esse constante desafio às nossas certezas nos lembra que, embora tenhamos percorrido um longo caminho, ainda estamos na aurora da ciência, com muito a ser descoberto e compreendido sobre o vasto e complexo universo em que habitamos.

Ontologia do Espaço-Tempo — Entre Galileu e Einstein

A ontologia é a disciplina filosófica que investiga os fundamentos do ser, da existência e da realidade (Campbell, 2006). Ao longo da história, os filósofos buscaram identificar quais entidades compõem o mundo e quais categorias fundamentais permitem descrevê-lo. Contudo, não é apenas no campo da filosofia que essas questões emergem. A física, especialmente em momentos de ruptura teórica, toca em temas ontológicos de forma incisiva (Campbell, 2006). O contraste entre a Relatividade Galileana e a Relatividade Restrita de Einstein é um exemplo paradigmático dessa interface. Essas duas visões da física, além de representarem sistemas conceituais distintos, expressam diferentes ontologias do espaço e

do tempo. Enquanto a física clássica sustenta uma ontologia substancialista e objetiva, a física relativística propõe uma ontologia relacional e que dependente do observador. Essa transição representa não apenas um avanço empírico ou técnico, mas uma reformulação do próprio modo de conceber a realidade — em perfeita sintonia com as problematizações ontológicas da tradição filosófica.

A ontologia busca entender o que existe e de que maneira existe. Essa tarefa exige identificar categorias básicas como substância, propriedade, relação, evento, entre outras. Uma das maiores dificuldades dessa investigação, como apontado por Platão, Aristóteles, Kant, Frege, Quine e outros, é que o próprio verbo "existir" comporta ambiguidades. A frase "Pégaso não existe", por exemplo, parece atribuir uma propriedade negativa a algo que, por definição, não é (Campbell, 2006).

Essa complexidade está na raiz da proposta de Quine de substituir o verbo "existir" por quantificações formais: dizer que algo existe é dizer que há um valor que satisfaz determinada variável. Essa ideia — "ser é ser o valor de uma variável" — ganha relevância quando olhamos para teorias físicas (Campbell, 2006). Afinal, o que são as entidades descritas pela física? Partículas, campos, espaço, tempo, eventos, interações — qual o estatuto ontológico de cada uma dessas categorias?

A física de Galileu, expandida por Newton, parte de pressupostos ontológicos claros, ainda que não sempre explicitados: o espaço e o tempo são entidades absolutas, homogêneas e universais. Essa ontologia oferece um palco fixo onde os corpos se movem e interagem. O espaço é tridimensional e o tempo flui igualmente para todos os observadores, não importando suas condições de movimento. Ontologicamente, esse modelo pode ser visto como alinhado a uma metafísica substancialista, onde o ser é entendido como persistência e independência. Cada corpo é uma substância que mantém sua identidade ao longo do tempo, e esse

tempo é uniforme para o universo inteiro. Não há relatividade na estrutura do ser — apenas nas aparências ou nos sistemas de medida. É uma ontologia que, nas palavras de Aristóteles, confia no "isto-tal": cada corpo é uma unidade, ocupante exclusivo de um ponto no espaço e num momento do tempo (Campbell, 2006). Isso está em sintonia com a noção de ser enquanto ser como algo definido por sua posição no espaço-tempo absoluto. Mas essa segurança ontológica começa a ruir no início do século XX.

A Ontologia Relacional da Relatividade Restrita

Com a formulação da Relatividade Restrita, Einstein propõe uma mudança radical: não há mais tempo absoluto, nem espaço separado do tempo. Passa a existir uma única entidade — o espaço-tempo — cuja estrutura é determinada pela velocidade da luz e pelas relações entre observadores inerciais. Essa nova ontologia apresenta consequências profundas:

- O tempo de um evento não é o mesmo para todos os observadores.
- A simultaneidade torna-se relativa.
- A medição de distâncias depende do referencial.

O que isso significa ontologicamente? Que a realidade não é mais fixa e universal, mas sim estruturada de forma relacional. Um evento só é o que é dentro de um sistema de referência. Essa mudança aproxima a física da ontologia dos eventos, defendida por filósofos como Russell e Whitehead. Neste novo modelo, o ser não é mais definido por propriedades intrínsecas, mas por relações com outros seres. Isso reflete um movimento de ontologia substancial para uma ontologia estrutural ou relacional, semelhante àquela discutida na teoria dos feixes ou nos sistemas de tropos.

Mundos Possíveis e Pluralidade de Realidades

A física relativística, ao dissolver o tempo absoluto, aproxima-se da ideia de mundos possíveis. Para cada sistema de referência, há

uma "versão" do universo com sua própria rede de relações espaciotemporais. Isso é comparável à ontologia modal de David Lewis, que sustenta que todos os mundos possíveis são tão reais quanto o mundo atual — o que muda é sua acessibilidade causal (Campbell, 2006).

Embora Einstein não tenha formulado sua teoria em termos modais, sua estrutura implica uma pluralidade de "realidades locais". Não é apenas uma questão de ponto de vista, mas de fato ontológico: para um astronauta em alta velocidade, o tempo realmente passa mais devagar. Isso não é ilusão, é realidade em seu mundo-relacional. Além disso, a Relatividade abre caminho para o que podemos chamar de uma **ontologia dos observadores**: a realidade não existe independentemente da estrutura do observador, tal como o platonismo matemático sustenta que formas existem independentemente de sua instanciação.

Se a física clássica parecia nos oferecer seres necessários — leis eternas, espaço absoluto, tempo uniforme —, a física moderna relativiza até mesmo esses fundamentos. A ontologia do mundo revela-se contingente, mutável e relacional, não mais fixada em um único pano de fundo absoluto. Essa pluralidade de referenciais sugere que o mundo não se apresenta de maneira única, mas em configurações diversas, dependendo do observador. Não se trata de negar a realidade, mas de reconhecer que ela é estruturalmente plural. A ontologia implicada pela Relatividade pode ser lida, assim, não como a recusa da necessidade em si, mas como a substituição da metafisica do necessário absoluto por uma ontologia relacional dos possíveis efetivos — cada referencial descreve uma realização distinta do mesmo mundo.

Implicações Filosóficas

A transição entre as duas teorias da relatividade não apenas reconfigura a física, mas coloca a metafísica diante de novos desafios:

- Como pensar o ser se ele depende de um observador?
- É possível haver conhecimento objetivo num mundo relacional?
- A ontologia deve aceitar categorias variáveis conforme o domínio da ciência?

Essas questões mostram como o avanço da ciência, longe de esvaziar a filosofia, exige que ela se renove. O filósofo já não pode ignorar os modelos da física se quiser tratar seriamente do ser. Da mesma forma, o físico, ao teorizar sobre espaço, tempo e existência, pisa no território ontológico, quer o admita ou não.

A ontologia do espaço-tempo revela um diálogo profundo entre filosofia e física. A Relatividade Galileana representa uma metafísica do absoluto, das substâncias persistentes e das estruturas invariantes. A Relatividade Restrita, por sua vez, propõe uma metafísica do relacional, da variabilidade e da codependência dos entes. Esse contraste é mais que um exemplo histórico: é um laboratório conceitual para refletirmos sobre o que significa ser. A transição entre esses modelos desafia o filósofo a repensar categorias como substância, tempo, espaço e realidade. Ao mesmo tempo, a relatividade restrita mostra que o progresso científico é também um progresso ontológico — uma mudança na maneira como entendemos a própria estrutura do real. Einstein, ao unificar espaço e tempo, também unificou, de certa forma, o ser e o observar. E talvez esta seja a maior lição ontológica do século XX: não há ser sem estrutura, e não há estrutura sem relação.

As Críticas à Metafísica e a Reabilitação da Metafísica

Os positivistas lógicos, como membros do Círculo de Viena, defenderam um critério empirista de significado: uma proposição só é significativa se puder ser verificada empiricamente. Sob esse critério, as afirmações metafísicas — como aquelas sobre substância, existência ou essência — foram consideradas destituídas de sentido

literal, pois não podiam ser testadas empiricamente. Após a guerra, filósofos da linguagem comum, como Ludwig Wittgenstein, continuaram a crítica à metafísica. Segundo Wittgenstein, as proposições metafísicas são fruto de confusões no uso da linguagem. Mesmo os filósofos menos radicais dessa tradição consideravam os metafísicos tradicionais como ingênuos, ainda que bem-intencionados (Loux, 2006).

No final da década de 1950, dois livros desempenharam papel central na reabilitação da metafísica dentro do cenário analítico:

• P. F. Strawson – Individuals: An Essay in Descriptive Metaphysics (1959)

Strawson propôs uma 'metafísica descritiva', que busca explicitar as estruturas conceituais básicas do nosso pensamento sobre o mundo, sem recorrer a postulados abstratos. Sua abordagem tornou possível discutir metafísica com rigor e sem apelar a especulações infundadas (Loux, 2006).

• W. V. O. Quine – Word and Object (1960)

Mesmo vindo da tradição empirista, Quine (1960) desafiou a distinção entre verdades analíticas e sintéticas, abrindo espaço para debates ontológicos consistentes. Sua obra influenciou profundamente as discussões sobre o que existe e como lidamos com a linguagem em relação à realidade (Loux, 2006).

A metafísica, embora criticada e até mesmo rejeitada durante parte do século XX, mostrou-se resiliente e adaptável. Por meio de abordagens mais criteriosas e conscientes do papel da linguagem, ela voltou a ocupar um lugar considerável nas discussões inclusive entre pensadores analíticos que antes a rejeitavam. Hoje, questões metafísicas são vistas como inevitáveis e fundamentais para a compreensão da realidade e do pensamento humano. A física

moderna, especialmente a teoria da relatividade de Einstein, impôs profundas revisões às concepções tradicionais de espaço, tempo e movimento. Um exemplo emblemático dessa ruptura é a fórmula de composição relativística de velocidades, que substitui a adição clássica **(v = v' + u)** por uma relação não-linear que depende da velocidade da luz (Ramalho, Nicolau, & Toledo, 2009).

Na física clássica inspirada em Newton, o espaço e o tempo são entendidos como entidades absolutas. O espaço é um palco imóvel onde os objetos se movem, e o tempo flui igualmente para todos os observadores. Essa estrutura sustenta uma concepção segundo a qual o movimento é objetivo e universal: a soma das velocidades é uma operação simples e direta. Contudo, a fórmula relativística de composição de velocidades, dada por:

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{v.u}{c^2}}$$

introduz uma nova lógica. A velocidade resultante entre dois referenciais não é a mera soma das velocidades parciais, mas uma função que depende da constante **c** (a velocidade da luz). Essa dependência impõe um limite superior e revela que a adição de velocidades é sensível ao referencial, minando a ideia de movimento como algo puramente absoluto. A necessidade dessa nova fórmula decorre das transformações de Lorentz, que descrevem como o tempo e o espaço se comportam em referenciais em movimento relativo. O tempo sofre dilatação, o espaço se contrai. A partir disso, compreende-se que o movimento não é algo que se expressa da mesma maneira para todos os observadores. O que é simultâneo para um, não é para outro. O que é rápido para um, pode ser mais lento para outro. Essas descobertas indicam que tempo, espaço e movimento são propriedades relacionais. Elas não existem isoladamente, mas dependem do observador e de sua interação com

os fenômenos. O espaço-tempo se torna uma malha dinâmica, e não uma estrutura fixa.

A composição relativística de velocidades convida, portanto, a uma reflexão metafísica mais profunda: o que é o movimento, se ele não pode ser reduzido à soma de trajetórias? O que é o tempo, se ele pode se dilatar? A relatividade especial não nega a realidade do movimento, mas nos força a repensar seu estatuto ontológico. Ele deixa de ser uma propriedade absoluta dos corpos e se torna uma relação entre observadores, sistemas de referência e medidas físicas. Este deslocamento epistemológico e ontológico indica que o real não é um dado fixo, mas um sistema de relações em constante transformação. Assim, a física moderna não apenas reformula as equações da ciência, mas também reconfigura a própria fundação metafísica do mundo físico. O estudo da composição relativística de velocidades demonstra que a física e a metafísica não estão dissociadas. Muito pelo contrário, a inflexão relativística exige novas categorias de pensamento filosófico para lidar com as consequências ontológicas do espaço-tempo e do movimento. O movimento, longe de ser absoluto, revela-se uma expressão da estrutura relacional do universo — e isso é, em essência, uma lição metafísica.

A intuição cotidiana sobre movimento

No dia a dia, pensamos o movimento como algo simples. Por exemplo: se estou em um trem a 80 km/h e lanço uma bola para frente a 20 km/h, uma pessoa fora do trem verá a bola se mover a 100 km/h. Essa ideia faz parte do nosso **senso comum**, em que as velocidades simplesmente se somam. Essa regra funciona bem em velocidades comuns, como andar, correr ou dirigir. Mas, será que ela sempre vale? Na física de Galileu (e de Newton), o tempo e o espaço são considerados absolutos. Isso significa: o tempo passa da mesma forma para todos os observadores .(Young & Freedman, 2013). A

velocidade relativa é a velocidade de um objeto em relação a um observador Exemplo:

- Um carro anda a 60 km/h.
- Uma moto se move atrás dele a 80 km/h.
- Para o motorista do carro, a moto se aproxima a 20 km/h.

Até o século XIX, pensava-se que a luz também obedecia à soma de velocidades. Mas experimentos mostraram que a luz tem sempre a mesma velocidade, mesmo para observadores em movimento e **c=299.792.458 m/s**. Essa descoberta foi feita por meio do famoso Experimento de Michelson-Morley (Urone et al., 2020), e levou a uma crise na física clássica .

Primeiros abalos metafísicos

A constância da velocidade da luz levanta questões profundas:

- Como o tempo pode ser o mesmo para todos, se a luz não "acelera" nem "desacelera"?
- O espaço e o tempo seriam realmente **absolutos**, ou são **relativos ao observador**?

Aqui, entramos na fronteira entre física e metafísica: o estudo da natureza fundamental da realidade.

Questão 1: O que significa "movimento" se não há um ponto de vista absoluto?

Questão 2: Se dois eventos parecem simultâneos para mim, serão também simultâneos para outra pessoa em movimento?

Questão 3: Se a velocidade da luz é constante, algo tem que "ceder": o tempo, o espaço, ou ambos?

Keith Campbell, 2006, nos apresenta a ontologia como a ciência ou estudo mais geral do Ser, Existência ou Realidade. De maneira informal, ela representa o conjunto de crenças de um filósofo sobre o que o mundo contém. Assim, podemos dizer que Descartes propunha uma ontologia dualista (mente e matéria), ou que um ateu tem uma ontologia sem deuses. Contudo, em seu sentido mais formal, a ontologia é o ramo da metafísica que busca caracterizar a Realidade, identificando suas categorias essenciais e estabelecendo as relações entre elas. A busca pelo "ser enquanto ser" é, talvez, a questão mais antiga e persistente da ontologia ocidental. Significa identificar um conteúdo substancial comum que esteja presente em absolutamente tudo que existe, apenas por existir. Campbell, no entanto, é cauteloso: a história dessas tentativas "não é encorajadora".

As características básicas exigidas para as substâncias incluem (Campbell, 2006):

- **Particularidade e Individualidade:** Uma substância não é "qualquer pato", mas "este pato". O problema surge porque as propriedades (ser pato) são universais e compartilhadas. Como, então, algo se torna particular e individual?
    - **Substrato (Locke):** Propôs um substrato como um "particular bruto", inerentemente individual, mas sem outras características. A dificuldade é como esses particulares brutos se distinguem.
    - **Localização:** A ideia de que a localização no espaço-tempo individualiza. Mas isso não funciona para campos de força ou entidades imateriais.
    - **Ecceidade/Istidade:** Uma propriedade especial que confere particularidade. Campbell remete a John Heil para a discussão aprofundada.

- **Indivisibilidade:** Para ser uma substância "única", deve ser indivisível, não tendo partes que sejam elas mesmas substâncias. Isso eliminaria objetos comuns (um carro de bombeiros pode ser desmontado). A persistência completa pertenceria apenas a substâncias fundamentais.

- **Persistência:** A capacidade de reter a identidade apesar de mudanças. Um carro pode mudar de cor e continuar o mesmo, mas não pode ser reduzido a sucata e ainda ser o carro.

- **Independência:** A ideia de que uma substância poderia ser a única coisa existente. Se interpretada causalmente, exclui objetos comuns (que dependem de suas causas). O espaço-tempo e seus campos poderiam ser substâncias, mas mesmo estes, em sistemas teístas, dependeriam de Deus. Espinosa, levado ao extremo, concluiu que só pode haver uma substância: a totalidade "Deus-ou-Natureza". Se interpretada logicamente ("poder subsistir sozinha"), é menos rigorosa e permite mais substâncias.

A ontologia se debruça sobre os seres necessários – aqueles que existem por necessidade e não contingentemente. Se as coisas comuns existem contingentemente (poderiam não existir), os seres necessários parecem imunes ao acaso. Exemplos históricos incluem:

- **Seres Infinitos (Aristóteles):** O que existe por tempo infinito é necessário.
- **Seres Divinos (Plotino, Tomás de Aquino, Espinosa):** Entidades divinas, por estarem fora do tempo, não mudam, não deixam de existir, sendo, portanto, necessárias. Para Espinosa, a única substância genuína, a totalidade Deus-ou-Natureza, é *causa sui* (causa de si mesma).

- **Seres cuja Inexistência é Contraditória (Duns Escoto, Descartes, Plantinga):** A ideia de que um ser necessário é aquele cuja inexistência implicaria uma autocontradição lógica. No entanto, é difícil encontrar exemplos que não sejam triviais (como "feijões reais não existem"). Alvin Plantinga é um dos principais defensores modernos da existência de seres necessários, argumentando que a "existência necessária" pode ser uma propriedade, mesmo que a "existência" em si não o seja.

Keith Campbell, desdobra a ontologia como uma disciplina que não apenas cataloga o que existe, mas que também reflete as profundas mudanças em nossa compreensão da **Realidade**. Desde as visões absolutistas de Galileu e Newton até a complexidade relacional do espaço-tempo de Einstein e as múltiplas realidades da física quântica, a ontologia tem se adaptado e evoluído, impulsionada pelos avanços científicos e pela incessante busca humana por significado. A jornada do "ser enquanto ser", a peculiaridade da existência como um quantificador e não uma propriedade, a vastidão dos mundos possíveis e a categorização meticulosa de substâncias, propriedades, relações e eventos – tudo isso nos convida a uma reflexão contínua. A ontologia não é um campo estático de respostas definitivas, mas um dinâmico espaço de questionamento, essencial para qualquer tentativa séria de compreender o universo e nosso próprio lugar nele.

Estudo de um caso

É interessante dar uma olhada nesta mudança de paradigma, imaginemos uma mulher, Lane, e que ela saia em um viagem, ela estava na terra, e ela viagem para um outro sistema solar, a 50 anos-luz daqui, lembrando que anos-luz é uma unidade de distância (aproximadamente **9.454.254.955.488.Km**), a velocidade da luz no vácuo é de **299.792.458 m/s** ou aproximadamente **300.000 km/s** e

ela irá e voltará, e ela gastará 5 anos de ida e 5 anos de volta, ela perceberá dez anos no referencial dela na nave espacial. Ela irá fazer sua viagem a 0,995c (Exemplo estendido e adaptado de Young & Freedman , 2013). Vamos supor aqui que estamos aqui no referencial da Terra, **X, Y e Z**. Note a Figura 1.

Figura 1 Lane e sua neta, Léa.

Fonte: Prompt do autor via ChatGPT.

Lane, que era uma mulher de 20 anos de idade, depois dessa odisseia, ela retornaria com 30 anos. Uma mulher absolutamente jovem nos dias atuais. Então, digamos que ela deixou um bebê aqui na terra, Lia. Lia teve um bebê e esse bebê teve a sua vida. E nós sabemos que pela dilatação temporal, teríamos uma situação aqui na Terra bem diferente. Caso façamos umas contas veríamos um fator de Lorentz de 10, que daria 100 anos, aproximadamente, 100 anos aqui na Terra. Então, ela, a filha de Lane teria tido uma neta, Léa. Então, Lane teve uma filha que vamos estamos chamando Lia. E que 100 anos teriam passado aqui na Terra. E digamos que Lia tenha tido uma vida plena, de 80 anos. E aos 20 anos de idade, Lia teve uma filha.. Aos 80 anos Lia faleceu. E a filha dela, de nome Léa continuou sua vida. E ao retorno da vó se encontrariam no tempo. E Léa teria, nesse caso, com 100 menos 20 anos, teria 80 anos. Lane estaria com 30 anos. É um paradoxo muito interessante. E aí nós teríamos uma avó muito jovem e a neta já, nos padrões atuais, que pode mudar nas próximas décadas, mas os padrões atuai, finalizando a sua vida. Veja a **Tabela 1**.

Tabela 1: A tabela mostra o tempo que se passaria na Terra e na nave, conforme Lane aumenta sua velocidade, expressa como uma fração da velocidade da luz (u/c).

	u/c	Tempo na Terra (anos)	Tempo na Nave (anos)
1	0.1	1000.0	994.98744
2	0.2	500.0	489.89795
3	0.3	333.33333	317.97973
4	0.4	250.0	229.12878
5	0.5	200.0	173.20508
6	0.6	166.66667	133.33333
7	0.7	142.85714	102.02041
8	0.8	125.0	75.0
9	0.9	111.11111	48.43221
10	0.995	100.50251	10.03768
11	0.99999	100.001	0.44722
12	0.99999999999	100.0	0.00045

Fonte: O Autor.

A Tabela 1 mostra o tempo que se passaria na Terra e na nave, conforme Lane aumenta sua velocidade, expressa como uma fração da velocidade da luz (u/c).

• Para u = 0,1c, o tempo na Terra seria 1000 anos, e na nave quase igual, cerca de 995 anos.

→ Ou seja, o efeito relativístico ainda é sutil.

Mas à medida que Lane aumenta sua velocidade, a diferença entre o tempo vivido na Terra e na nave cresce muito.

Por exemplo:

- A u = 0,5c, o tempo na Terra é 200 anos, mas na nave apenas 173 anos.

- A u = 0,95c, passam-se 100 anos na Terra, mas somente 10 anos para Lane.

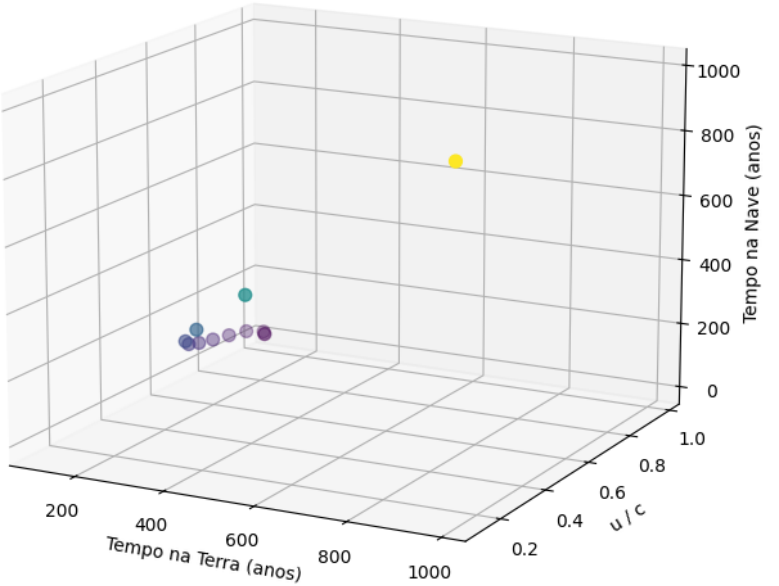
E se Lane viajasse a 99,999999999% da velocidade da luz?

- O tempo na Terra continuaria próximo de 100 anos,
- Mas para ela, apenas alguns segundos se passariam.

Esse fenômeno nos leva a um dos grandes paradoxos da relatividade que embora impossível na atualidade por diversos motivos, dentre eles o aumento da viagem a 0,995c, pode, alguém sabe, a vir a ser possível em um futuro extremamente remoto. Como duas pessoas podem viver durações tão diferentes de tempo dependendo do referencial? A resposta está na dilatação do tempo: quanto mais rápido alguém se move em relação a um observador, mais lentamente o tempo passa para esse viajante. Assim, se Lane saísse em uma viagem de ida e volta a uma estrela distante a altíssima velocidade, ela poderia retornar jovem, enquanto séculos teriam se passado na Terra — e talvez nenhum de seus descendentes estivesse mais vivo.

Na Figura 3 mostra-se o gráfico par a Tabela 1. E mostra todo o paradoxo das viagens no tempo. Um gráfico perturbador, que mostra o tempo da nave, a velocidade com a qual você faz a viagem, e a velocidade através de uma modelagem razoavelmente simples.
Figura 3. O gráfico tridimensional gerado a partir da Tabela 1 mostra uma superfície decrescente que relaciona o tempo medido na nave com a velocidade (u/c) e o tempo na Terra. À medida que a velocidade da nave se aproxima da velocidade da luz, a superfície colapsa na direção do eixo do tempo próprio: o tempo na nave

diminui drasticamente, mesmo quando o tempo na Terra permanece elevado.



Autoria: O Autor

Considerações Finais

A composição relativística das velocidades revela-se não apenas uma correção matemática à cinemática clássica, mas uma janela aberta para profundas transformações ontológicas. A substituição da adição simples de velocidades pela fórmula relativística nos força a abandonar uma visão ingênua de um universo regido por absolutos. O tempo, o espaço e o movimento, antes concebidos como entidades fixas e universais, tornam-se agora dimensões flexíveis, dependentes do observador e de sua inserção no espaço-tempo.

O estudo de casos como o de Lane, que retorna de uma jornada relativística décadas mais jovem do que sua neta, ilustra com força intuitiva o impacto filosófico da Relatividade Restrita. A

experiência do tempo deixa de ser universal e se fragmenta em múltiplas realidades locais, legitimando uma ontologia relacional em que o ser é sempre situado e perspectivado. Isso rompe com a metafísica clássica da substância isolada e reforça uma concepção estrutural do real, onde entidades só fazem sentido dentro das redes de relações que as constituem.

Esse cenário convida filósofos e cientistas a um esforço interdisciplinar. A física moderna não apenas reformula a matemática do universo, mas também reconfigura suas fundações metafísicas. Ao desafiar noções como simultaneidade, continuidade e identidade, a Relatividade nos obriga a repensar as categorias fundamentais do ser. Nesse sentido, a ciência torna-se um prolongamento rigoroso da metafísica — e a metafísica, uma reflexão indispensável para interpretar os limites e alcances do conhecimento científico.

Assim, a relatividade especial não representa apenas um avanço técnico da física, mas um ponto de inflexão no modo como compreendemos a realidade. Ela nos mostra que o movimento não é mais uma trajetória absoluta no espaço, mas um acontecimento que se manifesta diferentemente para cada observador. E, com isso, reafirma o papel insubstituível da ontologia como horizonte último de toda investigação sobre o que existe, como existe e por que existe.

As viagens em velocidades próximas à da luz, embora fascinantes do ponto de vista físico e metafísico, levantam dilemas profundos do ponto de vista psicológico e humano. No caso de Lane, o fenômeno da dilatação temporal a faz retornar apenas dez anos mais velha, enquanto mais de um século se passou na Terra. Ela reencontra sua neta com o dobro de sua idade biológica. Mas a pergunta que se impõe é: qual o impacto emocional e cognitivo dessa defasagem temporal?

Algumas implicações psicológicas possíveis:

- **Desconexão social e afetiva:** Lane retorna para um mundo em que todos os seus contemporâneos já morreram, inclusive sua filha. Ela é biologicamente jovem, mas completamente deslocada cultural, histórica e emocionalmente.
- **Solidão temporal:** viver em uma linha do tempo radicalmente diferente dos demais pode gerar um tipo de solidão existencial difícil de traduzir em palavras.
- **Desorientação identitária:** a disparidade entre o tempo interno (vivido) e o tempo externo (decorrido) pode causar crises de identidade. A viajante se sente jovem, mas o mundo que a rodeia a vê como uma relíquia de outro século.
- **Choque cultural e tecnológico:** o mundo evoluiu em sua ausência. Novos costumes, linguagens, tecnologias e valores podem provocar um sentimento profundo de inadequação.

A psique humana, estruturada para reconhecer padrões de continuidade e pertencimento, pode sofrer rupturas severas quando confrontada com essa dissonância temporal. É possível que uma síndrome de deslocamento temporal — uma condição ainda hipotética — se torne uma área emergente de uma psicologia futura.

Do ponto de vista ético, as viagens relativísticas levantam questões morais complexas, que vão muito além da física e da engenharia:

1. Direito à informação e consentimento intergeracional

Se alguém realiza uma viagem e retorna cem anos depois, sua decisão impacta diretamente seus descendentes e o futuro da sociedade.

- Essa pessoa tem o direito de interagir com o novo tempo?

- Seus contratos, propriedades, identidades ainda são válidos?

2. Responsabilidade sobre conhecimento
A viajante pode carregar consigo conhecimentos e valores obsoletos ou até perigosos para a nova sociedade.

- Deve-se impor limites ao que ela pode ensinar ou compartilhar?

- Como lidar com uma pessoa deslocada eticamente, por exemplo, em temas sociais, ambientais ou tecnológicos?

Caso tais viagens se tornarem realidade, quem poderá fazê-las? É possível imaginar um cenário onde elites escapem do tempo histórico (catástrofes, guerras, colapsos) e retornem quando conveniente.

- Isso agravaria desigualdades profundas entre os que têm acesso ao "tempo dilatado" e os que vivem no "tempo comum"?

As viagens relativísticas, se um dia forem tecnicamente viáveis, exigirão uma nova ética do tempo, bem como novas formas de cuidado psicológico. Elas não apenas desafiam nossas intuições físicas, mas colocam à prova os limites da empatia, da identidade e da justiça. Tal como a física precisou revisar seus fundamentos com Einstein, talvez também tenhamos de reinventar nossos conceitos de humanidade e responsabilidade diante das consequências desse tipo de deslocamento.

As implicações das viagens relativísticas não se restringem ao domínio da física teórica ou da metafísica do movimento. Ao considerar seriamente os efeitos da dilatação temporal descritos pela Relatividade Restrita, surgem consequências de ordem

psicológica e ética que não podem ser ignoradas. O exemplo narrativo de Maria, que retorna de uma jornada espacial décadas mais jovem do que sua neta, ilustra uma ruptura temporal cujas repercussões emocionais e sociais desafiam nossas concepções de identidade, pertencimento e responsabilidade.

Do ponto de vista psicológico, o primeiro impacto seria a desconexão afetiva e social. A viajante, embora biologicamente jovem, retorna a um mundo em que todos os seus vínculos interpessoais desapareceram. Familiares envelheceram ou morreram, e os referenciais culturais, tecnológicos e linguísticos foram transformados. O tempo vivido por Maria na nave é subjetivamente contínuo, mas o mundo à sua volta mudou radicalmente, gerando um tipo de deslocamento temporal ainda não concebido nas categorias tradicionais da psicologia clínica. É possível que essa condição exija, no futuro, uma abordagem própria: uma "síndrome de deslocamento relativístico", caracterizada por solidão cronológica, anacronismo identitário e desorientação histórica.

Além disso, as viagens relativísticas suscitam questões éticas de grande complexidade. Uma delas diz respeito ao consentimento intergeracional: uma decisão individual — viajar quase à velocidade da luz — tem efeitos profundos sobre descendentes, sobre o tecido social e sobre o futuro coletivo. Ao retornar, o viajante não é apenas um sujeito deslocado: é também um agente fora do tempo, cujas ideias, atitudes e conhecimentos podem estar obsoletos, ou mesmo em conflito com os valores vigentes. Isso levanta o problema do choque ético-cultural entre o tempo vivido pelo viajante e o tempo evoluído da sociedade.

Adicionalmente, há a questão da desigualdade temporal. Se, no futuro, tais viagens forem tecnologicamente viáveis, quem poderá realizá-las? A possibilidade de "escapar" do tempo histórico poderá se tornar um privilégio de elites, aprofundando ainda mais as disparidades sociais. Em um cenário distópico, grupos favorecidos poderiam realizar viagens relativísticas para evitar catástrofes ou

crises, retornando apenas quando o mundo se estabilizasse — um tipo de evasão temporal seletiva, eticamente problemática.

Do ponto de vista jurídico e institucional, surgem desafios igualmente inéditos. Um viajante que se ausenta por um século — embora tenha vivido apenas alguns anos — mantém seus direitos civis? Seus bens, contratos, identidade e responsabilidades legais ainda são válidos? Será necessário repensar novas formas de cidadania e continuidade jurídica que lidem com entes deslocados temporalmente, cujos vínculos com o passado não coincidem com o presente em que regressam.

Diante disso, conclui-se que a relatividade do tempo, embora formulada em termos matemáticos rigorosos, transborda o domínio da física e nos obriga a revisar concepções fundamentais sobre o que significa ser humano em um universo onde o tempo não é absoluto. As viagens relativísticas, ainda hipotéticas, já oferecem um campo fértil para reflexões sobre ética temporal, subjetividade intertemporal e responsabilidade ontológica. Tais questões reiteram que, mesmo nas fronteiras mais extremas da ciência, a filosofia permanece necessária — não como um suplemento especulativo, mas como um instrumento crítico essencial para compreender o alcance humano daquilo que a ciência torna possível.

Dedicatória

A meu pai, Cezar Bandeira, em eterna lembrança!

Referências

Bao, L., & Koenig, K. Physics education research for 21st century learning. **Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research,** 2019.

Campbell, K. Ontology. In D. M. Borchert (Ed.), **Encyclopedia of philosophy** (2nd ed., 2006, Vol. 7, pp. 21–27). Macmillan Reference. Acessível em 28/07/2025 em: https://criticanarede.com/ontologia.html.

Loux, M. J. Metaphysics. In D. M. Borchert (Ed.), **Encyclopedia of philosophy** (2nd ed., 2006, Vol. 6, pp. 197–200). Macmillan Reference. Acessível em 28/07/2025 em: https://criticanarede.com/metafisica.html.

Fitas, A. J. S. Os Principia de Newton, alguns comentários (Primeira parte, a Axiomática). ***Vértice,*** 1996, 72, 61–68.

Freire, P. **Pedagogia da autonomia: Saberes necessários à prática educativa.** São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. (s.d.). **Leituras de física: Mecânica para ler, fazer e pensar.** Instituto de Física da USP.

Hawking, S. **O universo numa casca de noz** (Tít. orig. *The Universe in a Nutshell*). Bantam Book, 2001.

Kant, I.. **Prolegômenos a toda a metafísica futura que queira apresentar-se como ciência.** Tradução de Artur Morão Capa de Jorge Machado Dias. EDIÇÕES 70, LDA, Setembro de 1988.

Ling, S. J., Sanny, J., & Moebs, W. **University Physics***, Vol. 1,* S/D..

Ramalho, F., Nicolau, N., & Toledo, A. **Os fundamentos da física:** *Volume 1*. Moderna Plus, 2009.

Urone, P. P., Hinrichs, R., Gozuacik, F., Pat tison, D., & Tabor, C. (s.d.). **Physics. OpenStax**, 2020 Texas Education Agency (TEA). Acessível em 28/07/2025 em: https://openstax.org

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2013). **Física universitária com física moderna** (Vol. 2, 13ª ed.). Pearson, 2013.

2

REALIDADE E TEORIA CIENTÍFICA: uma análise das vertentes realistas e antirrealistas na física moderna

Carmes Ana da Rosa Batistella

Introdução

O estudo acerca da natureza constitui elemento central da investigação científica. Ao longo da história humana, as sociedades desenvolveram não somente métodos de observação e catalogação dos eventos naturais, mas também sistemas explicativos destinados a elucidar os princípios que regem tais manifestações. Entretanto, o alcance dessa compreensão e a própria conceituação do que se entende por realidade no âmbito científico constituem tema de intenso debate filosófico: a controvérsia entre perspectivas realistas e antirrealistas na esfera da filosofia da ciência.

Esta discussão concentra-se na caracterização da realidade que as construções teóricas científicas pretendem representar e explicitar. O realismo científico, em suas diversas manifestações, defende que as teorias científicas ultrapassam a simples função de catalogação de propriedades empíricas, alcançando efetivamente a

descrição da realidade objetiva que subsiste independentemente da observação ou interação humana. Representa a convicção de que a investigação científica proporciona acesso, mesmo que limitado, à estrutura genuína do mundo, transcendendo nossas mediações perceptivas ou elaborações conceituais.

Em contrapartida, o antirrealismo manifesta abordagem mais restritiva. Os defensores desta corrente interpretam as teorias científicas primordialmente como elaborações intelectuais humanas que não necessariamente espelham uma realidade autônoma. Concebem-nas como instrumentos organizadores e preditivos da experiência, sem que isso implique a confirmação da existência das entidades teóricas propostas. Esta orientação instrumentalista questiona a capacidade das teorias de representar uma realidade ontologicamente independente. A interrogação permanece: em que medida é legítimo considerar que as teorias, inclusive as empiricamente exitosas, efetivamente descrevem a realidade?

Este estudo propõe-se a examinar detalhadamente esta polarização, investigando os alicerces conceituais de ambas as correntes e, particularmente, as manifestações complexas desta controvérsia no domínio da física, com ênfase na mecânica quântica. A análise interpretativa de uma construção teórica mais empiricamente bem-sucedidas da ciência moderna, a mecânica quântica, oferece um campo privilegiado para compreender a profundidade e a intensidade deste debate, no qual diferentes abordagens hermenêuticas apresentam concepções divergentes sobre o que a teoria revela acerca da estrutura da realidade.

Propõem-se ao leitor uma investigação critica dos pressupostos ontológicos e epistemológicos que fundamentam nossa concepção do real no contexto da investigação científica.

As Bases Filosóficas do Realismo e Antirrealismo Científico

A discussão sobre a natureza da realidade no contexto científico é historicamente fundamentada em duas vertentes

filosóficas distintas: o realismo científico e o antirrealismo científico. Cada uma oferece um arcabouço interpretativo único para a compreensão da atividade científica, impactando desde discussões metafísicas até as abordagens metodológicas da pesquisa empírica.

O Realismo Científico postula que as teorias científicas descrevem características de uma realidade que existe de forma autônoma, independentemente da percepção ou cognição humana. Para os realistas, a ciência não se limita ao observável, mas busca revelar o que efetivamente existe. Isso implica que entidades teóricas não diretamente acessíveis pela experiência sensorial ou instrumental, como elétrons, quarks, campos e a estrutura espaço-temporal, possuem uma existência objetiva legítima., prescindindo da nossa capacidade de detecção imediata. Filósofos como Hilary Putnam, Richard Boyd e Stathis Psillos defendem essa perspectiva, articulando-a através de múltiplas dimensões:

A. **Dimensões Ontológicas:** A convicção de que o mundo possui existência independente da consciência, isto é, a realidade não constitui uma elaboração subjetiva ou dependente da cognição humana, mas detém estrutura e propriedades inerentes.
B. **Dimensões Semânticas:** A concepção de que as teorias fazem referência literal à realidade. As proposições científicas concernentes a elétrons ou buracos negros não representam meras ficções instrumentais, mas constituem asserções destinadas a descrever entidades e processos objetivos no mundo.
C. **Dimensões Metodológicas:** A confiança de que os procedimentos científicos são eficazes na descoberta de verdades sobre a realidade. A experimentação, observação e elaboração teórica são concebidos como vias legítimas para revelar a estrutura do universo.

D. **Dimensões Epistêmicas:** A proposição de que o conhecimento científico é progressivo e cumulativo, A ciência, através do tempo, não apenas coleta dados, mas desenvolve uma compreensão progressivamente mais precisa e verídica da realidade subjacente. Existe uma convergência direcionada à verdade.

Um dos pilares do argumento realista é o êxito preditivo das teorias científicas. A notável capacidade de teorias como a mecânica quântica e a relatividade em gerar previsões precisas e impulsionar desenvolvimento tecnológicos é interpretada como forte evidência de sua conexão intrínseca com a realidade. É considerado um desafio explicar o sucesso empírico de uma teoria sem atribuir alguma forma de realidade às entidades que ela postula. Para os realistas, o aprimoramento das teorias não invalida a existência dessas entidades, mas sim nos aproxima de uma verdade objetiva.

Em contrapartida, o Antirrealismo Científico adota uma postura mais cautelosa em relação ao estatuto ontológico das construções teóricas. Para esta vertente, as teorias científicas são essencialmente ferramentas ou mecanismos pragmáticos para prognosticar e elucidar fenômenos empíricos, sem a pretensão de serem representações fidedignas de uma realidade objetiva. O foco reside na utilidade e na dimensão epistemológica da teoria. Antirrealistas reconhecem plenamente a eficácia das teorias em organizar a experiência e fazer predições acuradas, mas contestam que essa eficácia legitima a inferência de que as entidades inobserváveis postuladas pelas teorias possuam veracidade ontológica. Elas são vistas como elaborações humanas que facilitam a organização da experiência.

Um argumento central para o antirrealismo é a trajetória histórica da ciência. Muitas teorias outrora bem-sucedidas e que postulavam entidades reais (como o éter luminífero ou o flogístico) foram posteriormente refutadas ou substituídas. A substituição

histórica de modelos atômicos também serve como exemplo. A questão içada é: se teorias historicamente eficazes se revelaram ontologicamente inadequadas, qual seria a garantia de que as teorias contemporâneas são verídicas no sentido realista? Para os defensores desta vertente, o sucesso preditivo pode indicar a utilidade instrumental de uma teoria, mas não necessariamente sua verdade ontológica. Este confronto estabelece um dialogo fundamental sobre a essência do conhecimento científico: ele serve como uma janela para a realidade, ou como um guia para surfar por ela?

O Debate na Física Moderna: Implicações da Relatividade e da Mecânica Quântica

A física moderna, particularmente com as teorias revolucionárias do século X, como a Relatividade e a Mecânica Quântica, tornou-se um campo de prova relevante para o debate entre realismo e antirrealismo. Essas teorias desafiaram instituições consolidadas como tempo, espaço, matéria e causalidade, forçando uma reavaliação da própria descrição da realidade.

A Teoria da Relatividade, tanto a restrita como a geral, é um dos pilares da física contemporânea, reconhecida por sua capacidade preditiva e explicativa. Ela redefiniu conceitos como espaço e tempo, introduzindo o contínuo espaço-tempo e sua curvatura pela massa e energia. No contexto da disputa, a Relatividade é frequentemente citada pelos realistas como um exemplo paradigmático de sucesso. O sucesso das previsões da Relatividade Geral – como a deflexão da luz, a precessão do periélio de Mercúrio e a existência de ondas gravitacionais – é interpretado como um forte indicativo de que as entidades e interações descritas pela teoria (espaço-tempo, massa-energia) não são meras construções conceituais úteis, mas aspectos de uma realidade independente que a teoria conseguiu desvendar.

Embora a Relatividade seja determinística e descreva fenômenos macroscópicos, o que mitiga algumas das questões interpretativas presentes na mecânica quântica, uma leitura antirrealista ainda poderia argumentar que suas equações são formalismos matemáticos eficientes para organizar observações, sem necessariamente exigir o compromisso com a existência ontológica de um espaço-tempo curvo em si. Contudo, essa discussão é menos proeminente em comparação com os dilemas introduzidos pela mecânica quântica.

A Mecânica Quântica, por sua vez, é o cenário mais complexo e dramático para o embate entre realismo e antirrealismo. Ao explorar o reino do subatômico, ela revela um mundo onde a certeza é substituída pela probabilidade, a localidade é questionada e a natureza da realidade antes da observação[1] torna-se ambígua. É essa ambiguidade que serve de terreno fértil para as diversas interpretações e as vertentes realistas e antirrealistas.

No contexto quântico, o Realismo busca afirmar a existência de uma realidade subjacente e independente da observação. Para os realistas quânticos, um sistema ou objeto quântico possuí propriedades bem definidas, mesmo quando não está sendo observado. Isso se desdobra em dois aspectos cruciais:

[1] Na mecânica quântica, "observação" refere-se ao processo de medição que envolve uma interação irreversível entre o sistema quântico e um aparato de medição macroscópico, resultando no colapso da função de onda — isto é, na transição de uma superposição de estados para um único valor mensurável. Tal processo é estocástico: apenas probabilidades podem ser previstas, não resultados específicos. O Princípio da Incerteza de Heisenberg reforça que essa limitação não decorre de imperfeições técnicas, mas da própria estrutura da realidade quântica. Assim, a observação altera o sistema observado e é constitutiva dos fenômenos, implicando uma tensão com noções clássicas de objetividade. (FREIRE JR *et al.*, 2011, p. 229–250).

A. **Realismo Ontológico:** Sustenta que os sistemas ou objetos quânticos possuem propriedades definidas (como posição e momento) antes da medição. A superposição de estados não seria uma incerteza inerente à realidade, mas sim uma manifestação da ignorância humana sobre as propriedades preexistentes do sistema ou objeto. "Existe uma realidade física que independe do conhecimento e da percepção humana" (PESSOA JUNIOR, p. 102, 2005).
B. **Realismo Epistemológico:** Propõe que a realidade pode ser descrita objetivamente, mesmo que a capacidade de conhecê-la seja limitada pela natureza das medições (como no Princípio da Incerteza de Heisenberg). A objetividade da descrição não é negada; é o acesso exato e simultâneo a todas as propriedades que é restringido por princípios físicos, e não pela ausência de uma realidade subjacente.

Por outro lado, o Antirrealismo na Mecânica Quântica surge da perplexidade diante das peculiaridades do comportamento quântico. Esta vertente contesta a ideia de que as propriedades dos sistemas ou objetos quânticos existem de forma objetiva e independente da observação e, entendem que a Mecânica Quântica não descreve uma realidade preexistente, mas sim as probabilidades dos resultados de medição ou interações. A medição não revela uma propriedade já existente, mas, de alguma forma, a constitui. As principais interpretações antirrealistas são:

A. **Interpretação de Copenhague:** Representa a mais tradicional e influente perspectiva, associada a nomes como Niels Bohr e Werner Heisenberg. Essa interpretação propõe que os sistemas quânticos não têm realidade bem definida antes da medição. A famosa superposição de estados não é uma representação de ignorância sobre o estado subjacente, mas uma descrição completa da realidade do sistema antes da medição. É apenas no ato da observação ou medição que a realidade de um

sistema quântico se torna definida. O colapso da função de onda, nesse sentido, não é um problema a ser resolvido, mas uma característica intrínseca do processo de medição. O exemplo mais vívido é o experimento da dupla fenda, onde a partícula se comporta como onda ou partícula, dependendo de como se faz a medição, sugerindo que a natureza da realidade quântica não é independente do observador.

B. **Interpretação de Muitos Mundos (Everett):** Embora complexa e com facetas que podem ser vistas como realistas (pois postula uma realidade objetiva mais vasta) esta interpretação é identificada como antirrealista por um motivo intrigante: ela evita a ideia de uma realidade única, ao postular que todas as possibilidades existem simultaneamente em universos paralelos. Nesse cenário, a medição quântica não provoca um colapso de onda de probabilidades que seleciona um único resultado, mas sim a ramificação do universo em múltiplos universos paralelos, um para cada resultado possível da medição. Embora as propriedades de um sistema em um universo específico sejam reais (dentro desse universo), a própria noção de uma única realidade objetiva e independente que está sendo descoberta pela teoria é dissolvida em um multiverso de possibilidades, o que a torna antirrealista em sua negação de uma realidade única para o observador.

As implicações dessas vertentes na mecânica quântica são profundas. Se as propriedades das partículas não são reais antes da medição, qual o status ontológico do mundo quântico? Se a observação é constitutiva da realidade, qual o papel da consciência ou da interação macroscópica? Essas indagações ultrapassam os limites da física e adentram o campo da metafisica, evidenciando a inseparabilidade entre ciência e filosofia na busca por compreender a natureza da realidade.

Discussões e Considerações finais

A intensa e continua disputa entre realismo e antirrealismo na filosofia da ciência, exemplificada no campo da física, não é meramente um exercício acadêmico: ela influencia sutilmente, mas de forma determinante, a maneira como concebemos o progresso científico, a validade de nossas teorias e, em última instância, a nossa própria relação com o universo.

O realismo científico, em sua essência, abraça a convicção de que a ciência, com seu sucesso preditivo e sua capacidade de desvendar fenômenos antes ocultos, nos aproxima progressivamente de uma compreensão da realidade objetiva e independente. A postulação de entidades não observáveis, como elétrons ou a curvatura do espaço-tempo, não é vista como uma convenção útil, mas como um indicativo da existência dessas entidades no cerne do universo. Para o realista, a teoria é uma janela, por vezes embaçada, mas que revela uma paisagem genuína.

Em contraste, o antirrealismo, com sua postura ética, nos convida a uma interpretação mais instrumentalista das teorias científicas. Para os antirrealistas, o notável sucesso preditivo das teorias reside em sua eficácia como ferramentas para organizar e prever a experiência observável, sem necessariamente comprometer-se com a existência ontológica das entidades que elas postulam. As teorias são vistas como mapas extremamente úteis para navegar por um território, mas não são o território em si. A história da ciência, com suas teorias substituídas, serve de um alerta para a falibilidade de qualquer inferência sobre a verdade de entidades inobserváveis.

A principal controvérsia filosófica emerge com maior intensidade na mecânica quântica. Nesse domínio, a questão da natureza das propriedades físicas dos sistemas antes de sua medição constitui um foco central de debate. O realismo quântico sustenta a tese de que as partículas possuem características inerentes e bem definidas (o chamado realismo ontológico), e que a realidade pode

ser descrita de forma objetiva (realismo epistemológico), ainda que a capacidade humana de medição imponha restrições, como o princípio da incerteza. A busca por uma harmonização entre a realidade subjacente e o processo de medição, ilustrada por interpretações da Escola de Copenhague, destaca a complexidade inerente a essa busca.

Em contrapartida o antirrealismo quântico, especialmente evidenciado em interpretações como a de Copenhague de Bohr e Heisenberg ou a de Muitos Mundos de Everett, argumenta que as propriedades dos sistemas quânticos não têm uma realidade bem definida antes da observação. A medição não revela, mas a realidade, ou, no caso da Interpretação de Muitos Mundos, causa a ramificação em um multiverso de realidades. O cerne da observação e a probabilidade tornam-se elementos constitutivos da compreensão da realidade quântica, em vez de meras limitações epistêmicas.

Como pesquisadores em física, essa discussão é vital. Ela nos obriga a refletir não apenas os resultados de experimentos e as equações das teorias, mas também as premissas metafísicas que subjazem à interpretação desses resultados. O que significa entender uma teoria física? É apenas ser capaz de usá-la para fazer previsões precisas, ou é também ter um modelo mental coerente do mundo que ela descreve?

A Relatividade, com sua impressionante confirmação empírica, tende a fortalecer a visão realista para muitos físicos, sugerindo que a teoria de fato descreve a geometria real do espaço-tempo. No entanto, é na mecânica quântica que o debate se aprofunda, pois as implicações da teoria parecem desafiar noções básicas de objetividade e independência. Não há um consenso universal sobre qual interpretação da mecânica quântica é a correta, e essa falta de consenso é um testemunho da profundidade do dilema entre realismo e antirrealismo.

Em última análise, a filosofia da ciência não busca dar respostas definitivas no lugar da ciência, mas sim questionar e

esclarecer os fundamentos conceituais, metodológicos e ontológicos que sustentam a prática científica. O enfrentamento teórico entre realismo e antirrealismo continuará a ser uma força motriz para a reflexão crítica sobre o que é o conhecimento científico, até que ponto podemos confiar em suas alegações e qual a verdadeira natureza da realidade que a física moderna busca desvelar. A ciência avança através da experimentação e da formulação de novas teorias, mas a sua interpretação e o seu lugar na nossa compreensão do cosmos permanecem um campo aberto e fascinante de investigação filosófica.

Referências

ARROYO, RW. (2023). Felinos inseparáveis: considerações históricas e filosóficas acerca do problema da medição em mecânica quântica. **Revista Ética e Filosofia Política**, *1*(26), 209-238.

ASSIS, EF. **Realismo e racionalidade: o otimismo epistêmico em questão.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CHIBENI, SS. (2006). Afirming the consequent: a defense of scientific realism (?!). **Scientiae Studia**, *4*, 221-249.

DE OLIVEIRA GUIMARÃES, LF. (2023). A física da radiação cósmica de fundo em micro-ondas. **Cadernos de Astronomia**, *4*(2), 62-88.

DE SOUZA, EA (2023). REALISMO CIENTÍFICO E EMPIRISMO CONSTRUTIVO: UM DEBATE SOBRE O SUCESSO CIENTÍFICO. **Revista Instante,** *5* (3), 297-325.

FREIRE JR., O.; PESSOA JUNIOR, O.; BROMBERG, JL. (2011). **A Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Culturai***s.* Campina Grande: EDUEPB.

GRECA, IM; HERSCOVITZ, VE. **Introdução à Mecânica Quântica: notas de curso.** Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 2002.

FREIRE JR, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG, Joan Lisa. **Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Eduepb, 2011.

OLIVEIRA, TLT. (2020). *Filosofia da ciência*. Em R. Cid & L. H. Marques Segundo (Orgs.), **Problemas filosóficos**: Uma introdução à filosofia (Cap. 6). Editora UFPel.

PESSOA JUNIOR, O. (2004). **Conceito de Física Quântica**, São Paulo: Editora Livraria da Física.

RICCI, TF. (2000). *Teoria da Relatividade Especial*. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS.

RICCI, TF.; OSTERMANN, F. (2003). **Uma introdução conceitual à mecânica quântica para professores do ensino médio**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS.

VAN FRAASSEN, BC (1980). **A imagem científica**. Imprensa da Universidade de Oxford.

3

CONSIDERAÇÕES SOBRE O PENSAMENTO DE WERNER HEISENBERG: da Matemática à Filosofia

Erickson C. dos Santos
Eduardo Simões
Maxwell Diógenes Bandeira de Melo

Introdução

A filosofia frequentemente recebe ataques, em particular dos físicos, pela sua abordagem menos objetiva e mais plural acerca do conhecimento. De fato, não é o objetivo da filosofia ser a solucionadora de problemas, principalmente àqueles das ciências naturais. A ciência é orientada à natureza dos problemas e busca suas solucioná-los. Assim, considerando-se a forma e o conteúdo distintos dessas duas áreas, filosofia e ciência, há de se notar o caso de físicos como Steven Weinberg (1996), o qual argumentou ser um defensor da pouca preocupação que os físicos deveriam ter com a filosofia, ou, numa interpretação mais abreviada, a filosofia é para ele apenas uma consideração que desvia a física do seu verdadeiro foco das preocupações, ou seja, a filosofia apresenta aos cientistas questões que não são de natureza da pesquisa da física. Isto está em

consonância, por exemplo, com a célebre afirmação de Stephen Hawking (2011) de que "a filosofia está morta" ou com as conhecidas piadas que Richard Feynman fez sobre a filosofia.

Nada mais avesso a cooperação mútua entre a filosofia e a física do que esse tipo de posição intelectual apresentada por esses grandes físicos citados. Sabe-se que, quando se trata de unir essas duas áreas do conhecimento, deve-se admitir que as complexidades reservadas a cada uma delas torna a união entre ambas uma dificuldade. Tudo isso serve para dizer que a aversão à filosofia não é o caso aqui, pois ao se tratar do pensamento de Werner Heisenberg há a apreciação e o prestígio do diálogo entre essas duas disciplinas como algo importante e necessário de ser exercido. Heisenberg é um exemplo da interação entre as duas áreas intelectuais, pois, apesar do seu conhecido prestígio na física, conseguiu emitir sua visão de integração do conhecimento em ambas áreas como um pensador bastante singular.

Assim, na apresentação que se segue há uma interpretação de sua física com nuances do seu conhecimento sobre a filosofia, ou seja, suas influências filosóficas. Essas não são superficiais. Tratava-se para ele de uma profunda reflexão do pensamento científico com base na reflexão filosófica, algo natural na atividade intelectual humana.

É conhecido o fato de que a física clássica teve uma evolução conceitual e experimental que são temas de grandes debates até os dias de hoje. Pode-se analisar sob essas temáticas toda a trajetória da história da física. Todavia, há uma possibilidade de se investigar também como os conceitos evoluíram se feita uma análise mais perspicaz em cada autor que constituiu o cenário da física.

Sabe-se também que a hegemonia do pensamento da física clássica, a saber, desde Galileu e Newton, perdeu parte da autoridade sobre a explicação dos fenômenos físicos, pelo menos daqueles de escala atômica. O que se pode notar é que a visão de mundo, de fenômenos físicos, da matéria e, consequentemente, a

física adotada para explicar a natureza levou, desde o principal artigo de Planck (em 1900), os cientistas a utilizarem conteúdos menos interessantes ao senso comum e de menor poder explicativo da física clássica. Por outro lado, contribuiu para uma abordagem mais abstrata e matemática.

Diante de todo o avanço que a física cedeu ao surgimento da mecânica quântica, há um lugar especial no princípio de incerteza de Werner Heisenberg.

> A mecânica clássica antiga assumia que era possível atribuir a cada partícula uma posição e velocidade bem definidas: Em outras palavras, atribuía-se às coordenadas x, y, z de qualquer partícula, assim como à sua energia *E* e ao seu momento linear p = m.v, valores que são bem determinados a cada instante (De Broglie, 1990, p.18).

É certo que a mecânica clássica ainda era a principal referência para se pensar sobre física e, ela não estava completa. O advento do eletromagnetismo no século XIX e o aperfeiçoamento da termodinâmica, de forma mais elaborada na forma de mecânica estatística (de Boltzmann e Gibbs, por exemplo), forneceram tratamentos ainda ortodoxos, ou seja, clássicos no sentido de uma física que atendia aos sentidos, à observação, representação de fenômenos e causalidade. Mas, o fato é que a mecânica quântica ampliou o escopo da física. O que pode ser dito, então, é que Heisenberg viveu um período de formação, como estudante e pesquisador no início de sua carreira, dominado pela física clássica e participou da revolução da mecânica quântica. Sabe-se que, a partir de 1900 os conceitos da mecânica quântica surgiram no cenário da física europeia e foi um pouco após essa "velha mecânica

quântica" que Heisenberg apareceu efetivamente como pesquisador.

A ascensão intelectual de Werner Heisenberg

Heisenberg tinha interesse pela filosofia como uma forma de abordar os problemas da natureza, ou seja, tratava a filosofia como outro tipo de reflexão bastante necessária sobre os problemas da física. Ele buscou com a filosofia explicações para fundamentar seu pensamento, principalmente seu princípio de incerteza, pelo qual ele é comumente conhecido até os dias de hoje e é, de certo, seu conceito mais lembrado.

Todavia há na obra de Heisenberg muito a se explorar sob diversos prismas, ou níveis diferentes: a começar pela abordagem filosófica bastante sutil que ele imprimiu nas suas obras de cunho filosófico e nos seus trabalhos de natureza física. Para interpretarmos seu pensamento podemos considerar o caráter inovador de sua autenticidade e atrevimento investigativo ímpar. Há necessidade de se compreender um pouco mais os motivos de tal destaque atribuído a ele, ou seja, da sua marca impressa na ciência desde a década de vinte, do século XX, até os dias de hoje. Uma abordagem que ensinou a pensar os fenômenos atômicos e seus limites, e possibilita-nos perceber que sua leitura sobre filosofia foi além do genuíno uso da história da filosofia.

Assim, na preocupação pela busca dos fundamentos do pensamento desse físico que, como será visto, fez tantas especulações filosóficas audaciosas, deve-se considerar que as fez no melhor sentido da palavra teoria como especulação, hipótese, de forma bastante soberana, de caráter intelectual genuíno e avançado. Não se trata de investigar Heisenberg como um comentador de aspectos filosóficos, nem mesmo de um comentador de filosofia, mas como um pensador preocupado em ampliar o conhecimento humano, a partir daquilo que ele tinha como conhecimento certo, a

física e a matemática. A filosofia, nesse caso, foi para ele um parâmetro para guiá-lo no decorrer de suas indagações.

Sendo assim, aqui se deve levar em consideração suas obras mais secundárias[2], por um lado, onde ele tratou de discussões filosóficas (quiçá elas nem sejam tão secundárias como se pensa). Tais obras, aquelas de caráter filosófico, repletas de suas leituras e interpretações da filosofia, apresentaram também uma exposição bem mais ativa, cheia de originalidade e posturas assumidas para uma interpretação do mundo como ele o concebia, num diálogo constante com os grandes ícones da física e filosofia de sua época.

Para uma compreensão mais linear do trabalho de Heisenberg é interessante começarmos pelo seu modo de interpretar a filosofia. De certa forma, nessa estrutura de história da filosofia, metafísica, epistemologia e lógica, ele se movia bem em seus conceitos, pois tinha vastos conhecimentos de história da filosofia[3]. Isso pode coordenar um rastreamento importante do pensamento de Heisenberg. Certamente que seu trabalho dentro das "ciências duras" (a física) teve maior evidência, mas considera-se aqui os aspectos que fundamentam alguns conceitos filosóficos utilizados pelo físico alemão em questão.

A importância do pensamento antigo para Heisenberg.

Na obra, *Mas alla de la física* (1974), Heisenberg tratou de apresentar dois itens que formam um fundamento, ou, verdadeiro critério de raciocínio para as ciências. Nota-se que é de uma observação bastante sutil da parte dele afirmar quais critérios precisamos para construir os pilares da ciência. Ao dissertar sobre a filosofia grega antiga, analisa duas propriedades que os fenômenos

[2] Obras secundárias no sentido de que efetivamente Heisenberg escreveu obras que têm caráter filosófico e, portanto, não foram os principais trabalhos seus, visto que ele era um pesquisador de atuação em física.
[3] Ele mesmo diz em *A Parte e o Todo* (p. 15-16) que sua leitura dos *Diálogos* de Platão foi a partir do original em grego.

naturais devem apresentar para que possam ser capturados de maneira adequada por aquele que busca o conhecimento:

> Buscamos, por isso, compreender os fenômenos e sabemos que a única maneira de o conseguirmos é capturar as *semelhanças* e as *regularidades* dos fenômenos. Consideramos que as regularidades são consequência particular de algo que é comum aos distintos fenômenos e que, por isso mesmo, pode se designar por princípio básico subjacente. (Heisenberg, 1974, p. 171)

Esses dois princípios acima merecem um destaque, a saber, porque se constituem em verdadeiros apoios da observação direta ou não de fenômenos. De fato, é importante buscar semelhança entre os casos observados de natureza empírica. Além de semelhanças entre fenômenos, a regularidade se apresenta como outro pressuposto metafísico importante na composição de seu critério para o começo de uma investigação. Afinal, o que garante a regularidade do mundo? Certamente é um pressuposto a se fazer e aceitar para, dali em diante, inscrever no mundo que se apresenta como o passado dos fenômenos semelhantes.

Heisenberg apresentou com essa visão a maneira tácita de um físico pressupor o mundo: os fenômenos estão ali, mas, não é o caso de investigá-los todos como diferentes entre si. É uma condição necessária que eles sejam "bem comportados", como se diz sobre uma curva matemática de uma função linear, ou numa aproximação de uma expansão de termos de uma série. O que se quer dizer com isso é que ele capturou um princípio de razoabilidade para objetos observados na apresentação da física clássica.

A análise que Heisenberg fez a partir da filosofia grega clássica foi considerar que o "uno" e o "múltiplo" são as preocupações iniciais do conhecimento desde os primórdios. Assim, ele traçou o itinerário desde esses princípios clássicos, onde ele supôs que a busca por uma unificação deve pressupor a multiplicidade como problema a ser resolvido por meio da ordenação dos fenômenos e causa material.

O princípio da incerteza.

O princípio da incerteza é uma das facetas mais intrigantes e fundamentais da mecânica quântica, e descreve limitações inerentes à precisão com que certos pares de propriedades físicas, como a posição e o momento (ou velocidade) de uma partícula, podem ser conhecidas simultaneamente. Este princípio foi formulado por Heisenberg em 1927 e é uma consequência da dualidade onda-partícula que caracteriza todas as entidades quânticas.

De acordo com o princípio da incerteza, não é possível medir a posição e a velocidade de uma partícula com precisão arbitrária. Quanto mais precisamente tentamos determinar a posição de uma partícula, menos precisão temos para conhecer o seu momento, e vice-versa. Este não é um limite devido à imperfeição dos instrumentos de medida, mas sim uma propriedade fundamental da natureza, decorrente da forma como as partículas se comportam em níveis quânticos. Esse princípio tem implicações profundas para a compreensão do universo em escalas microscópicas. Ele mostra que, no nível quântico, a natureza não é determinística, como na física clássica; ao invés disso, ela é fundamentalmente probabilística. Isso significa que, em vez de prever resultados exatos, a mecânica quântica só pode prever a probabilidade de encontrar uma partícula em um determinado estado. A equação fundamental do princípio da incerteza de Heisenberg é a que se segue:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \qquad \text{Eq. 1}$$

Δx é a incerteza na posição, **Δp** é a incerteza no momento e "h cortado" é a constante de Planck.

No contexto mais amplo, o princípio da incerteza desafia nossa compreensão clássica do universo e força-nos a pensar de maneira diferente sobre o que significa conhecer algo na física. Ele também é fundamental para muitas tecnologias modernas, como lasers e transistores, e tem implicações filosóficas no que diz respeito ao livre-arbítrio e à natureza da realidade.

A filosofia da física do princípio de incerteza.

O limite sobre o conhecimento é uma questão epistemológica importante e, o quanto e como se conhece sobre um objeto fazem parte da busca filosófica. Tudo se passa como se apresentar o estado do ser fosse uma possibilidade da filosofia dentre outras áreas que possam proporcionar o "ser" no mundo. No caso da física, tal ato de conhecer se restringe às variáveis tratadas no problema abordado, ou seja, o "ser" da física se restringe aos fenômenos numa apresentação restrita, pois, a epistemologia da física pode tratar de modo mais particular que a filosófica, visto que se trata de uma abordagem para problemas dentro das descrições de objetos fisicamente descritos.

Aceitando-se essas peculiaridades de cada disciplina, o ponto fundamental da mecânica quântica que Heisenberg abordou foi criticado por Karl Popper em *A Lógica da Pesquisa Científica* (p. 237). Para ele há consequências que se deve assumir se aceito o princípio da incerteza. De forma resumida, aqui, pode-se apresentar a concepção de Popper.

1) A matemática na física quântica, como Heisenberg interpretou com seu princípio de incerteza, diz respeito aos limites da medida. Essa interpretação leva-nos às probabilidades que, de maneira clássica, podem ser tratadas estatisticamente.
2) As medidas, mesmo que precisas, não são incompatíveis com a mecânica quântica.
3) Os limites apresentados por Heisenberg não são, necessariamente, lógicos. Tais limites seriam pressupostos ou adicionais.
4) Porém, os limites apresentados por Heisenberg são um problema para medidas estatísticas. Se as medidas forem mais precisas (como acreditava Popper), há compatibilidade com a mecânica quântica.

Esses quatro itens apresentam de forma bastante reduzida, mas direta, a preocupação epistemológica de Popper sobre o princípio da incerteza. De fato, a consequência é que, tal como apresentado pelo físico alemão, o princípio da incerteza não seria apenas uma restrição à observação do microuniverso, ou algo como se fosse uma condição de existência dos objetos físicos para aceitá-los como entidades abstratas e depois dessa etapa teórica/ontológica se resolver matematicamente os problemas para buscar uma objetividade do tipo analítica que as equações podem assegurar.
O que Popper viu no resultado de Heisenberg foi "uma limitação na preparação de estado, não uma limitação da medição" (Redhead, p. 204). Para Redhead (p. 209) as críticas de Popper foram "um grande serviço à filosofia da mecânica quântica" e "uma compreensão mais nítida da verdadeira importância do princípio de incerteza.

A realidade do microcosmo parecia, assim, delimitada. De certa forma, o limite apresentado pela imprecisão na medida de grandezas como quantidade de movimento e posição diminui a condição de objetividade como compreendido pela noção de

realidade. O sistema considerado na medida de uma partícula no nível atômico tem a restrição de ħ (constante de Planck). Assim, pertence à interpretação padrão da mecânica quântica[4] essa característica de aceitação da capacidade humana ser limitada pelas variáveis apresentadas pelo princípio de Heisenberg.

Considerações finais

A física de Werner Heisenberg tem um conjunto de propriedades matemáticas que se seguiu à construção da mecânica quântica. Ao incorporar seus métodos matemáticos, sua física assumiu aspectos de interpretações que, como visto acima, foram de inovação e, portanto, exigiram-lhe ousadia intelectual. De fato, pode-se afirmar que há um modo "heisebergiano" de pensar e propor resoluções matemáticas e físicas. A criatividade de Heisenberg é clara quando ele se propôs a resolver a questão da dinâmica de partículas no universo microatômico. A mecânica matricial e o princípio de incerteza alavancaram a compreensão da "velha mecânica quântica" e sugeriu parte daquilo que se convencionou chamar de "interpretação de Copenhagen" pela história da mecânica quântica.

A trilha teórica, matemática e filosófica, percorrida leva também à reflexão de que alguma ousadia é sempre necessária na resolução de problemas da natureza, mas sobretudo uma reflexão densa e contaminada de aspectos intuitivos que, uma vez bem guiados pela estrutura matemática, pode trazer à tona um frutífero estado de ânimo para se compreender que a criação científica passa por processos de amadurecimento e confiabilidade.

[4] Não há uma interpretação unânime da mecânica quântica que possa ser aceita como um paradigma efetivamente mais utilizado entre os cientistas, mas a chamada "Interpretação de Copenhague" representada por Bohr se denomina a mais comum entre os físicos que a seguem por não se preocuparem com aspectos causais e realistas e, por sua vez a admitem como canônica no sentido de que os experimentos mais comuns tratam de explicar e representar essa interpretação.

Heisenberg amadureceu o conteúdo matemático de matrizes para uma visão ampla de funcionamento das variáveis conforme sua mecânica. Seu estilo foi inquieto e de especulação legítima. O mesmo se pode dizer para o princípio de incerteza: criatividade e ousadia. Traços marcantes na combinação de pensador de profunda reflexão sobre os meandros que a física deveria tomar, segundo ele. Afinal, criar termos tão consagrados até os dias de hoje indica mesmo que há uma perenidade no seu pensamento, mutante em algum sentido, pois está até os dias de hoje sujeito às críticas e interpretações, como aqui apresentado.

O que se pode tomar como lição intelectual desse físico é a capacidade de externar o pensamento na forma de visão de mundo. Essa capacidade fez de Heisenberg um estiloso pensador da natureza física do mundo, das suas sutilezas acompanhadas de matemática robusta e inventiva como modelo de cientista ousado, porém convicto de suas ideias para constituírem as bases físicas do mundo atual.

Referências

BACH, R. *et al*. Diffraction of electrons from a crystal: An example of wave–particle duality. **Physical Review**, 67(3), 2003, p. 333-403.

BASSALO, J. M. Curiosidades da Física. **Seara da Ciência**. Disponível em: https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/folclore76.pdf. Acesso em: 28 abr. 2023.

BUNGE, M. **Filosofia de la fisica**. Trad. José Luis García Molina. Barcelona: Editorial Ariel, 1982.

CHIBENI, S. S. Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 2, 2005, p. 181-192.

FEYNMAN, R.P. Stimulating physics with computers. **International Journal of Theoretical Physics**. 21(6/7), 1982, p. 467-488.

HAWKING, S.; MLODINOW, L. **O grande projeto**. Trad. de Mônica Gagliotti Fortunato. São Paulo: Nova Fronteira, 2011.

HEISENBERG, W. **Diálogos sobre física atómica**. Trad. José Cardoso Ferreira São Paulo: Verbo, 1971.

HEISENBERG, W. **Física e Filosofia**. 3. ed. Trad. Jorge Leal Ferreira. Brasília: Editora UnB, 1995.

HEISENBERG, W. **Physics And beyond**: encouter and conversations. 42. ed. New York: Harper & Row, 1971.

HEISENBERG, W. *The Representation of Nature in Contemporary Physics*. **Daedalus**, 87, 1958, p. 95-108.

JAMMER, M. **The Philosophy of Quantum Mechanics**: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective. Nova York: Wiley-Interscience Publication, 1974.

LATTES, C. **Descobrindo a estrutura do universo**. São Paulo: UNESP, 2000.

LING, S. J.; SANNY, J.; MOEBS, W. **University Physics III** - Optics and Modern Physics. Houston: Rice University Press, 2021. Disponível em: https://openstax.org. Acesso em: 06 nov. 2023.

MARGENAU, H. **The Nature of Physical Reality**. New York: McGraw-Hill, 1950.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Ensaios sobre História e Filosofia das Ciências I**. Extrema: Quamcumque Editum, 2021.

NEUMANN, J. VON. **Mathematical Foundations of Quantum Mechanics**. Princeton University Press, 1955.

PESSOA JR., O. **Conceitos de Física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

POPPER, Karl R. **A Teoria dos Quanta e o Cisma na Física**: pós-escrito à Lógica da Descoberta Científica. Vol. III. Trad. Nuno Ferreira da Fonseca. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1989.

POPPER, Karl R. **A lógica da pesquisa científica**. 3. ed. São Paulo: Cultrix, 1972.

PUTNAM, Hilary. A Philosopher Looks at Quantum Mechanics. *In*: COLODNY, Robert G (Ed.). **Beyond the Edge of Certainty**: Essays in Contemporary Science and Philosophy. Englewood Cliffs (N.J.): Prentice-Hall, 1965, p. 75-101.

RAMOS, T. *Introdução à mecânica dos quanta Parte IV*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, 2004, p. 75-78.

REDHEAD. M. Popper e a teoria quântica. *In*: **Karl Popper: filosofia e problemas**. Tradução de Luís Paulo Rouanet. São Paulo: Unesp, 1997.
SCHRÖDINGER, E. Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinem. **Annalen Der Physik**, 384(8), 1926, p. 734-756.

SIMÕES, Eduardo S. **A concepção física do mundo**: como os seres humanos criam o universo em que vivem. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2021.

TRUONG, TUONG T. **Panorama of Contemporary Quantum Mechanics**: Concepts and Applications. london, United Kingdom: IntechOpen, 2019.

WEINBERG, S. **Sonhos de uma teoria final**. Trad. de Carlos Irineu da Costa. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.

WEIDEMAN, T. **Wave Functions**. Open Education Resource (OER). Libre Texts Project, Davis: University of California. Disponível em: https://phys.libretexts.org/Courses/University_of_California_Davis/UCD%3A_Physics_9HE_-Modern_Physics/02%3A_Quantum_Mechanical_Formalism/2.1%3A_Wave_Functions. Acesso em: 12 jun. 2023.

4

ANTIRREALISMO: das Raízes Filosóficas à Consolidação na Mecânica Quântica[5]

Eduardo Simões

Introdução

A história do realismo e antirrealismo na física do século XX trata-se, na verdade, de desdobramentos de discussões mais antigas em filosofia que envolve um debate entre materialistas e idealistas acerca da natureza da realidade. Tal discussão acabou por promover desenvolvimentos de outras doutrinas sob a égide de nomenclaturas que fazem defesa de ideais diversos, tais como: naturalismo, determinismo, reducionismo, positivismo, empirismo, fideísmo, ceticismo, sensualismo, solipsismo, agnosticismo, etc. Todas essas doutrinas estão de certa forma envolvidas com a questão da natureza última da realidade e compõem o debate inicial fomentado pelas correntes *materialistas* e *idealistas* dentro da história da Filosofia.

[5] Este capítulo retoma e aprofunda tópicos já discutidos em trabalho anterior do mesmo autor, publicado sob o título *A Concepção Física do Mundo: como os Seres Humanos Criam o Universo em que Vivem* (Livraria da Física Editorial, 2021).

Em termos resumidos, o *materialismo* defende a ideia do reconhecimento da existência dos *objetos em si,* fora da mente, e de que as ideias e as sensações são cópias ou reflexos destes objetos. Por outro lado, o *idealismo* concebe a realidade como existindo dependentemente da mente humana. Os objetos não existem *fora da mente*, eles não são mais do que *combinações de sensações*. Vê-se, portanto, que para o idealista a ausência do observador consciente, que capta e reflete acerca da realidade, inviabiliza a existência da própria realidade.

No campo filosófico o debate materialismo *vs*. idealismo retroage às disputas na Antiguidade grega que envolvem nomes como os de Platão[6] e de Epicuro e que tratam da questão a respeito da relação entre o pensar e o ser ou sobre aquilo que seria originário: a natureza ou o espírito? Como se disse, essa questão ganhou relevância filosófica por séculos e de tempos em tempos ela se revela ora mais forte em tons materialistas (Epicuro, Lucrécio, la Mettrie, Holbach, Gassendi, Feuerbach, Marx, Engels, Lênin, etc.) ora em tons idealistas (Platão, Berkeley, Kant, Fichte, Schelling, Hegel, etc.).

[6] Grande parte dos intérpretes da filosofia de Platão convencionou que seu pensamento defende um tipo de realismo, a saber, o "realismo das ideias", isso porque, segundo eles, o "idealismo" platônico remete à Ideia, aos Eidos, e não à primazia da mente como fundamento último da realidade e essa leitura parece-me correta. Contudo, ainda assim, mantenho a leitura do pensamento platônico, em concordância com Heisenberg, como sendo um tipo de idealismo, idealismo das formas puras. Para tal, levo em consideração que "formas puras" ou "entes matemáticos" não são realidades que existem independente da mente sendo, portanto, reais. Em *Problemas da Física Moderna*, ao se referir às simetrias como as "formas puras" da matéria, Heisenberg chama tal posição de "idealismo platônico" por conceber as partículas elementares da matéria como expressões de princípios formais de simetria, que seriam os eidos da matéria. Para ele, a moderna física estaria mais próxima do idealismo platônico do que do atomismo materialista de Epicuro.

O materialismo de Epicuro *versus* o idealismo de Berkeley

Famoso por ter uma doutrina sempre confundida com o incentivo pela busca do gozo imoderado dos prazeres mundanos, como se sua doutrina não se distinguisse de um hedonismo puro e simples[7], Epicuro representa um marco na mudança da concepção atômica que o precedia, a saber, Leucipo e Demócrito. De sua obra conservou-se três cartas que costumam ser apontadas como a súmula do pensamento epicurista: a primeira, dirigida *A Heródoto*, trata da física; a segunda, dirigida *A Pítocles*, trata da meteorologia e da astronomia; a terceira, dirigida *A Meneceu*, trata das concepções sobre a vida humana. É mais especificamente na carta *A Heródoto* que se encontra o cerne do seu atomismo materialista. A física, também tida como a ciência do nascimento e da morte, abrange toda teoria da natureza de Epicuro.

Para Epicuro, da mesma forma que para Demócrito, não existe nada além das coisas físicas ou corpóreas e de sua ausência (do átomo e do vazio). Mas, engana-se quem porventura espera que seja Demócrito sua principal inspiração; na verdade, sua admiração é muito maior por Anaxágoras e os seus átomos assemelham-se mais às *homeomerias* anaxagorianas do que com o sistema democritiano, ao qual ele se opõe. A principal modificação que Epicuro introduz no mecanicismo atômico de Demócrito é que, se para o abderiano os átomos seriam simplesmente *ideias*, para Epicuro os mesmos são *corpos*, que possuem peso e outras qualidades materiais – e não existiria outro critério para o conhecimento que não a *sensação*. No entanto, Epicuro não parece se atentar para alguns problemas advindos dessa forma de pensar: como é que um filósofo, que fixa

[7] Essa interpretação da vida e doutrina de Epicuro contém muito mais um caráter anedótico do que real, pois, segundo Diógenes Laércio (*Vidas*, p. 286-288), no "Jardim de Epicuro" vicejava uma autêntica comunidade, onde o mestre e discípulos viviam de maneira quase ascética, consumindo apenas hortaliças que eles próprios cultivavam, às quais acrescentavam apenas pão e água, ou ainda queijo em ocasiões especiais.

tudo a partir dos sentidos, pode conceber "realidades" invisíveis como o átomo e o vazio? Outra coisa, como provar a existência do vazio que, por definição, não é sensível?

Outra modificação é introduzida por Epicuro no pensamento de Demócrito. Se o segundo explicava o movimento sem apontar nenhuma justificativa teleológica para o mesmo (tudo acontece ao acaso), Epicuro explica o movimento pelo peso dos átomos, que é responsável pela sua queda[8]. Mas, por esse tipo de movimento, os átomos cairiam paralelamente e jamais se chocariam para produzir a diversidade das coisas. Daí é que Epicuro introduz a ideia de um novo tipo de movimento, a declinação (*clinâmen*). Por meio dela os átomos se desviariam de sua trajetória retilínea para colidir com outros e produzir a diversidade do real. Contudo, mais um questionamento pode ser levantado sobre esse tipo de mecanicismo: e o que explica essa declinação? Existiria um fator externo atuando sobre ela? Para Epicuro não. A declinação não se explica porque é manifestação da liberdade do átomo. Dessa forma, ele cria uma espécie de teoria materialista da liberdade, onde, no lugar da necessidade, introduz-se uma indeterminação natural.

> Epicuro se opôs com grande aversão às concepções fundamentais dos platônicos e dos aristotélicos, tornando-se o primeiro materialista consciente do próprio materialismo, como clara e explícita negação do suprassensível, do incorpóreo e do imaterial, e, consequentemente, da imortalidade e imaterialidade da alma". (Rocha, 2007, p. 35)

[8] Diferentemente de Demócrito que indicava como atributos dos átomos o tamanho e a forma, Epicuro acreditava que o peso, também, é inerente ao átomo. Isso testemunha que sua concepção de átomo é de que se trata de algo material.

Por questões morais e não somente físicas, a introdução do *clinâmen* na teoria de Epicuro tinha um segundo propósito, a saber, abolir as imposições da necessidade, do destino e dos deuses e introduzir o homem na história como sendo o senhor de si, sem constrangimento e livre para ser feliz. A própria *ataraxia* (prazer em repouso) apregoada por Epicuro é expressão máxima dessa liberdade ou libertação (dos deuses, do destino, do medo da morte, etc.), e se resume em suas quatro máximas: "não há que temer aos deuses"; "morte significa ausência de sensações"; "é fácil procurar o bem"; e "é fácil suportar o mal". Com sua teoria, consegue suprir dois ideais que guiariam a história da humanidade: o de dar inteligibilidade à natureza formando um sistema de ideias coerente, lógico e necessário (da mesma forma que os seus antecessores o fizeram) e o de pensar em um ideal democrático da liberdade humana. Aqui a criação da realidade conjuga-se com a própria realidade.

Mas, retornando à questão do atomismo epicurista e do seu funcionamento que, excetuando o que foi supramencionado, parece-se muito ao de Demócrito (na questão do átomo e do vazio, do princípio de conservação, o caráter dos átomos, do infinito e do imutável e das propriedades do átomo), uma coisa chama a atenção e merece uma alínea: sua concepção de mundos possíveis. Retomando Diógenes Laércio (2008), temos a seguinte afirmação:

> Além disso, existe um número infinito de mundos, tanto semelhantes ao nosso como diferentes dele, pois os átomos, cujo número é infinito como acabamos de demonstrar, são levados em seu curso a uma distância cada vez maior. E os átomos dos quais poderia formar-se um mundo, ou dos quais poderia criar-se um mundo, não foram todos

> consumidos na formação de um mundo só, nem de um número limitado de mundos, nem de quantos mundos sejam semelhantes a este ou diferentes deste. Nada impede que se admita um número infinito de mundos. (Laêrtios, 2008, p. 293)

O que se vê aqui, desde a Antiguidade, é a defesa da possibilidade da existência de uma infinidade de mundos possíveis – ideia comumente atribuída a G. Leibniz. E isso é possibilitado pela postulação do átomo enquanto componente material constitutivo e básico de todas as coisas. O que em filosofia é chamado de um mundo possível é uma entidade hipotética que nos permite falar, ou conjecturar, sobre os vários aspectos em que o universo poderia ter sido diferente. Paralelo a cada aspecto ou combinação de aspectos no mundo real, existe um outro aspecto que num mundo possível poderia ter sido diferente. "Mas os mundos também são em número infinito, uns semelhantes a este aqui, outros diferentes. Pois os átomos sendo em número infinito, como acabou de ser demonstrado, são levados às maiores distâncias" (Epicuro, *Carta a Heródoto*, §45 *apud* Dumont, 2004, p. 520). Os diferentes mundos só são possíveis porque, em todos os casos, eles são constituídos de átomos, entidades materiais, que se agrupam, desagregam e reagrupam para formar os mais diversas constituições de mundos.

Esse materialismo de Epicuro, de uma forma ou de outra, reflete as posições materialistas ortodoxas da física clássica ou o realismo em física. Por outro lado, teorias como as do misticismo quântico e aquelas que dão ênfase à subjetividade no entendimento da realidade, podem também estar atreladas ao idealismo filosófico, ou do antirrealismo em física, quando da defesa de que a mente tem um papel essencial na constituição da realidade. Em filosofia, quem radicaliza esse tipo de ideia é o idealismo imaterialista de George Berkeley (1685-1753).

Berkeley no seu *Tratado sobre os Princípios do Conhecimento Humano* (1710) e em *Três Diálogos entre Hylas e Phylonous* (1712), defende seu imaterialismo sustentado na negação da realidade de qualquer objeto no mundo exterior que não fosse percebido pelo *espírito* ou pela *mente*. Para ele, *ser é ser percebido* (*esse percipiti*), isto é, as coisas só existem se, e enquanto, alguém as percebe. O ponto de partida de sua filosofia, portanto, é por demais conhecido: seu ideal é o da defesa da religião contra as ameaças da filosofia atomista (Gassendi, Galileu, Basson, Bérigard) e contra todas as ideias que pudessem conduzir ao materialismo e ao ceticismo. Uma filosofia corpuscular conflita com os princípios religiosos, pois se todos os eventos são determinados por condições físicas, somos forçados a assumir também uma concepção materialista do "espírito humano". Em virtude disso, na mente do bispo Berkeley, fazia-se necessário a destruição do ceticismo propiciado pela nova ciência materialista, visto que suas "verdades" são totalmente incompatíveis com a religião revelada. Diz o filósofo: "Como já mostramos, a doutrina da matéria ou substância corpórea foi o verdadeiro pilar ou suporte do ceticismo e sobre a mesma base assentaram os sistemas do ateísmo e da irreligião" (Berkeley, 1710, § 92).

Em suma, o que defende o imaterialismo de Berkeley é que as coisas são um *conjunto de ideias*. Os objetos não existem fora da mente e a realidade é aquilo que nós percebemos, isto é, *combinações de sensações*. Segundo Berkeley (1710, § 5), "o objeto e a sensação são a mesma coisa e não podem por isso ser abstraídos um do outro". O espaço e todas as coisas que nele existe (casas, montanhas, rios, vales, árvores, etc.) são em si impossíveis, simples imaginações.

> [...] Se a palavra substância for tomada no sentido filosófico – como a base de acidentes ou de qualidades (existentes) fora da consciência –, então, reconheço realmente

> que a elimino, se é que se pode falar de eliminação daquilo que nunca existiu, não existiu sequer na imaginação. (Berkeley, 1710, § 37)

Com essa postura, Berkeley inaugura a corrente do idealismo imaterialista dogmático, cujos reflexos hão de se apresentar, com nuances particulares, nas filosofias da ciência de Ernst Mach, Richard Avenarius, Karl Pearson, Pierre Duhem e Henri Poincaré e que, consequentemente, refletir-se-á em algumas interpretações da realidade na física do século XX. Por outro lado, o materialismo filosófico apresentar-se-á, sob forma de realismo científico, em toda vertente ortodoxa da física contemporânea[9]. Resta-nos, entretanto, apresentar o que se espera com tradução dos termos materialismo e idealismo que na física do século XX são traduzidos por *realismo* e *antirrealismo*.

O conflito entre realismo e antirrealismo na filosofia da física do Século XX

O que apresentamos acima por *materialismo* no campo da filosofia é traduzido para o campo da física como realismo. Tal realismo é típico, por exemplo, do atomismo químico pré-quântico que é traduzido por um tipo de realismo fisicalista[10]. Em geral, a tese

[9] Importante observar que não estamos falando da vertente ortodoxa da "física quântica".

[10] Em filosofia, principalmente nas correntes filosóficas que adotam o pensamento científico como ponto de partida, esse tipo de realismo ganha diversas denominações: realismo empírico (I. Kant), realismo natural (W. Hamilton), realismo ingênuo (G. Schuppe), realismo científico (O. Külpe), realismo crítico (J. Maritain) e materialismo (Lenin). Trata-se de um tipo de realismo que na filosofia contemporânea geralmente é encontrado no existencialismo, no instrumentalismo e no empirismo lógico. Tais realismos não serão tratados nesse capítulo de livro visto que a intenção aqui é dar uma apresentação bastante panorâmica sobre os usos e sentidos desse termo no âmbito da filosofia e da física moderna.

que lhe subjaz é a de que tudo o que existe pode ser reduzido a realidades físicas, como matéria, energia, entropia, campos, etc. e que as entidades atômicas são objetos reais que independem na nossa mente. Trata-se, portanto, de uma concepção epistemológica que se convencionou chamar de realismo de entidades, isso para diferenciar das dezenas de realismos encontrados na literatura pertinente da filosofia da física (realismo ontológico, epistemológico, objetivista, de potencialidades, relacionista, metafísico, harmônico, comunicável, desubstancializado, axiológico, simbólico, etc.)[11]. Tal abordagem realista fisicalista não pode ser confundida com positivismo, que se trata de concepção diversa. O positivismo, no pensamento científico, tem como tarefa fundamental a descrição positiva dos fenômenos naturais a partir dos dados da experiência. O positivista fixa-se nas observações, nos *dados positivos* obtidos pelos instrumentos científicos e declara como *metafísica* qualquer teoria que reconheça a existência e a cognoscibilidade da realidade objetiva fundada em premissas não observáveis. Há de se ressaltar, entretanto, que, diferentemente do positivismo, o realismo científico, no contexto da descoberta, pode manter uma perspectiva realista de entidades não observáveis.

[11] Reforça-se, entretanto, se todo materialismo é realismo, nem todo realismo é materialismo. É por isso que, para não nos metermos nas confusões conceituais da esotérica taxonomia dos realismos e antirrealismos propiciada pela filosofia da física, o que propiciaria, por exemplo, que um mesmo pensador pudesse muito bem ser realista em relação a "p, q, r" e um antirrealista em relação a "x, y, z"[*], restringiremos a nossa análise, ora em diante, apenas àquilo que diz respeito ao realismo de entidades ou de substâncias.

[*] "Heisenberg foi um anti-materialista, isto é, negou a partícula elementar de matéria como a realidade última a partir da qual todas as coisas são feitas, e assumiu um nível mais profundo de realidade, do qual a matéria seria o fenômeno. É, portanto, à ontologia do realismo de substância que o físico filósofo se contrapôs. Ele assume um realismo matemático nomológico, ou desubstancializado, mas nega o realismo materialista que postula as partículas elementares como constituintes da realidade física última" (Da Silva, Branco, 2019, p. 268).

O termo *idealismo*, por outro lado, pode ser substituído pelo term *antirrealismo* científico. Tal como no caso do realismo, existem diversas formas de antirrealismo as quais, dado o propósito restrito de exposição panorâmica dos usos e sentidos desse termo na física do Século XX, não aprofundaremos aqui. Mas, caso o leitor sinta-se encorajado em se aprofundar em cada um deles, a lista preliminar pode ser esta: antirrealismo subjetivista, epistemológico, subjetivista objetificado, parcial, transformador, criador, voluntarista, etc.). Vamos tratar aqui um pouquinho do que se conhece por antirrealismo de entidades e/ou substâncias, especialmente, na aurora da mecânica quântica.

No antirrealismo, tal como no idealismo, duas posturas se destacam: I) a de que não existe uma realidade que independe da mente; II) a de que a mente tem um papel essencial na constituição do mundo. Tais posturas são muito comuns, por exemplo, em teorias físicas em que o misticismo toma conta da teoria, deixando margem para asserções contraintuitivas e por demais esquisitas, como naquelas em que a mente desempenha um papel essencial no desdobramento dos fenômenos quânticos. Circunscreveremos também no campo das teorias antirrealistas, incluindo algumas teorias ortodoxas, aquelas que se fundam no ideal de que o formalismo matemático deve dar conta de uma suposta realidade, mas não assegura que tais equações digam respeito à própria realidade, isto é, não assume a perspectiva realista de entidades não observáveis. Esse tipo de teoria antirrealista acaba por funcionar muito mais como uma fabricação da realidade, uma vez que o formalismo fornece inteligibilidade e universalidade à teoria, mas, de maneira *ad hoc*, introduz acréscimos impossíveis de se testar, que servem para resolver aquilo que se evidencia problemático. O que se pergunta, entretanto, é se, nesses casos, um programa de pesquisa quando se depara com algumas dificuldades, ou com alguns fenômenos recalcitrantes, deveria ser abandonado? Ou se vale para a manutenção do programa a criação de elementos *ad hoc*, mesmo

que esses possam não dar conta do fenômeno real? Ou se, por fim, bastaria um ajuste no "cinturão de proteção"[12], mesmo a contragosto da realidade, para que os físicos pudessem "tocar a vida adiante"?

No lado das teorias realistas, mesmo sendo difícil de rotular um teórico qualquer – nem sempre eles deixam pistas sobre o que professam –, acreditamos estarem os nomes de Einstein, de Broglie, Schrödinger, David Bohm, John Bell, Taketani, Jordan, Zeh, Cramer, Everett, Zurek, Giraldhi, Landé; e no lado das teorias antirrealistas poderíamos levantar as interpretações de Bohr, Born, Heisenberg, von Neumann, London & Bauer, von Weizsäcker, Wheeler, Wigner, Heitler. Suas teorias compõem o desenvolvimento da física atômica no século XX e a maiorias das interpretações acerca da realidade encaixam-se no campo da física quântica. Cumpre-nos, portanto, apresentar os precedentes antirrealísticos que compõem a teoria ortodoxa da mecânica quântica envolta com uma interpretação cognominada de Interpretação de Copenhague da mecânica quântica. Seus representantes legaram-nos o que há de mais refinado em termos de atitude antirrealista na aurora da física moderna.

O Antirrealismo na mecânica quântica: a Interpretação de Copenhague

Viu-se surgir nos anos de 1926 e 1927 duas interpretações que eram compatíveis entre si em termos de descrição dos fenômenos quânticos, mas concorrentes em popularidade entre os físicos da época. A mecânica matricial de Heisenberg demorou ganhar impulso e levantou muitas controversas, pois se encontrava numa linguagem matemática com a qual os físicos não estavam habituados. Ela explicava muito bem fenômenos descontínuos, de movimentos

[12] Tese fundamental de Imre Lakatos (1922-1974) onde o cinturão protetor se refere a uma série de teorias auxiliares que protegem o núcleo firme e proíbe a falsidade (heurística negativa) do programa de pesquisa.

discretos de dimensão finita, e asseverava que tanto faz usar uma representação em termos de partículas quanto ondulatória, visto que ambas fornecem as mesmas previsões experimentais. Por outro lado, a mecânica ondulatória de Schrödinger justamente por ser ondulatória – baseada na noção de continuidade, de transição gradual –, ganhou rapidamente simpatia entre os físicos porque era baseada no recurso de equações diferenciais, muito comuns entre eles. Por ser semelhante à mecânica clássica dos fluidos, a imagem era facilmente visualizável e sugestiva.

> Aqueles que em seu desejo pela continuidade odiavam renunciar à máxima clássica *natura a non facit saltus* aclamaram Schrödinger como o mensageiro de uma nova aurora. De fato, em poucos meses, a teoria de Schrödinger cativou o mundo da física, pois parecia prometer a "realização daquele desejo irreprimível e por longo tempo malogrado" nas palavras de K. K. Darrow (...). Planck declarou: "Estou lendo-a com a sensação de uma criança que monta um quebra-cabeças", e Sommerfeld ficou exultante. Assim, naturalmente, estava Einstein que, em princípios de 1920, escrevera a Bohr, "Eu não acredito que alguém vai resolver os quanta abandonando o *continuum*". (Holton, 1984, p. 58)

Os próprios Heisenberg e Schrödinger marcaram suas posições quanto às impressões que tiveram a respeito das resultantes físicas e teóricas das interpretações uns dos outros.

> Em uma carta a Pauli, ele [Heisenberg] escreveu: "Quanto mais eu penso sobre a parte física da teoria de Schrödinger, mais detestável (*desto abscheulicher*) me parece". Schrödinger não foi menos franco sobre a teoria de Heisenberg quando disse: "... fiquei desencorajado (*abgeschreckt*), se não repugnado (*abgestoßen*) pelo que me pareceu um método bastante difícil de álgebra transcendental, desafiando qualquer visualização (*Anschaulichkeit*). (Jammer, 1966, p. 272 *apud* Holton, 1984, p. 58)

Bohr, por sua vez, gostou da teoria de Heisenberg, pois esta se relacionou bem com suas ideias sobre saltos quânticos discretos e com a sua noção de complementaridade.

As posições de Heisenberg e Schrödinger, bem como dos partidários que cada um havia de ganhar em apoio, na verdade, refletiam a realidade de uma época, onde a física quântica nascente debatia-se com os problemas da representação clássica e lutava para fixar uma identidade própria – a despeito dos seus muitos críticos, como era o caso de Einstein que também fora um dos seus fundadores. Holton (1984, p. 49-50) resume muito bem o estado de coisas que, naquela época, representava as diferenças básicas das descrições clássica e quântica da física:

1) Na física clássica o movimento dos planetas ou de objetos suficientemente grandes podem ser explicados, descritos e definidos com pequena interferência do observador e com pequena incerteza. Na física quântica, a descrição do *estado do sistema* não pode ser feita sem a influência do observador. "A razão de tal situação é simples: os átomos, tanto no sistema a ser observado quanto no instrumento utilizado para fazer a observação, nunca são

arbitrariamente precisos em suas reações" (Holton, 1984, p. 50). Vimos sobre isso quando tratamos do princípio da incerteza de Heisenberg;

2) Um sistema clássico pode ser considerado fechado, apesar de estar sendo observado, visto que o fluxo de energia para dentro e para fora é insignificante comparado com as trocas de energia durante as interações das partes do mesmo sistema. Na descrição quântica, por outro lado, não se pode negar a interação entre o sujeito da observação (operação ou equipamentos utilizados para a observação) com o próprio objeto (sistema a ser observado);
3) No sistema clássico, temos noções de causalidade e coordenação normal espaço-tempo que podem coexistir. No caso do sistema quântico, não existe corrente de causalidade, por se tratar de uma física indeterminista e probabilística. "Se submetermos o 'objeto' a observações de espaço-tempo, ele não mais realizará sua própria sequência de causalidade probabilisticamente" (Holton, 1984, p. 50).
4) Na física clássica, questões como a da natureza da luz, fenômenos de interferência no vácuo e as propriedades óticas nos meios materiais, são explicadas pela teoria eletromagnética e pelo princípio da superposição teórica da onda. Por outro lado, na física quântica, "a conservação de energia e movimentos realizados durante a interação entre radiação e matéria, como evidente nos efeitos fotoelétricos e de Compton, encontram sua expressão adequada exatamente à luz da ideia quântica difundida por Einstein" (Holton, 1984, p. 50).

Por trás dessas posições antagônicas, numa terminologia kuhniana, estava o questionamento a respeito da incomensurabilidade dos paradigmas. O paradigma quântico impôs uma revolução que requer a revogação do paradigma clássico? Ou

entre as posições paradoxais uma seria de alguma forma subordinada ou dissolvida na outra?

O ponto fulcral que marca a diferença entre essas duas representações da física e que requeria uma resposta – que ocupou longos anos da vida de Bohr –, são as antinomias existentes entre duas posições igualmente experenciáveis, lógicas ou coerentes, mas que chegam a conclusões diametralmente opostas: continuidade vs. descontinuidade, causalidade vs. indeterminação, localidade vs. não-localidade, ação por contato vs. ação à distância. Foi justamente tentando conciliar essas posições antitéticas que Bohr chegou na sua interpretação de complementaridade, também chamada de interpretação de Copenhague.

Foi em setembro de em 1927, em Como, na Itália, durante o *Congresso Internacional de Física* realizado em comemoração ao centenário da morte de Alessandro Volta (1745-1827), que Niels Bohr, pela primeira vez, apresentou ao público a sua formulação da complementaridade. Estava reunida a maioria dos fundadores da teoria quântica, exceto Einstein e Ehrenfest que se encontrariam com Bohr no *5º Congresso de Solvay*, em Bruxelas, no mês seguinte, onde sua palestra seria repetida. Em uma palestra intitulada *O Postulado Quântico e o Recente Desenvolvimento da Teoria Atômica*, Bohr faz, primeiramente, um apanhado do estado da arte da teoria quântica tratando dos seus problemas contemporâneos – a exemplo do Princípio da Incerteza. Trata também do desenvolvimento da mecânica matricial, da mecânica ondulatória, dos problemas da interpretação de Schrödinger, dos estados estacionários de um átomo e sobre as perspectivas futuras da teoria quântica.

Em segundo lugar, Bohr trata de todos os temas resumidos por Holton (1984) nos itens precedentes, enfatizando as diferenças básicas das descrições clássica e quântica da física: discorre sobre a característica de descontinuidade dos processos quânticos, estranha às teorias clássicas; trata da renúncia que o postulado quântico faz a respeito da coordenação espaço-temporal de processos atômicos;

aborda a interação entre o agente de observação e os fenômenos atômicos; expressa seu antirrealismo ao afirmar que não faz sentido atribuir realidade ao objeto físico independente de um observador: "(...) uma realidade independente no sentido físico ordinário não pode ser atribuída nem aos fenômenos, nem aos agentes da observação" (Bohr, 2000, p. 136); discute sobre a irracionalidade inerente ao postulado quântico quando da possibilidade do corte entre o sujeito e o objeto quântico em qualquer ponto da cadeia que une os dois; discorre sobre sistema físico que requer a eliminação de todos os distúrbios externos, nesse caso, sobre a equação de Schrödinger ou outro tipo de evolução unitária que se aplica a sistemas fechados; trata também do sistema em que há uma interação com o aparelho de medição, onde não se aplica uma equação determinista e sim um postulado de projeção: "(...) De modo a tornar possível uma observação, permitimos certas interações com agentes apropriados de medição que não pertencem ao sistema, então uma definição sem ambiguidades do estado do sistema naturalmente não é mais possível, e não se pode falar em causalidade no sentido ordinário da palavra" (Bohr, 2000, p. 137). No entanto, para os nossos propósitos, interessa-nos como ele introduz a sua noção de complementaridade. E é aqui Bohr introduz o seu primeiro enunciado da complementaridade:

> A própria natureza da teoria quântica nos força assim a considerar a coordenação espaço-temporal e a asserção da causalidade, cuja união caracteriza as teorias clássicas, como aspectos complementares, mas exclusivos da descrição, simbolizando a idealização da observação e da definição, respectivamente. (Bohr, 2000, p. 137)

Trata-se de um enunciado que envolve o primeiro tipo de complementaridade de Bohr entre um par de características que são consistentes na física clássica, a saber, *coordenação espaço-temporal e causalidade* – que nessa citação deve ser entendida como "determinismo" – ou entre a *observação* e a *definição*. "De fato, na descrição de fenômenos atômicos, o postulado quântico nos apresenta a tarefa de desenvolver uma teoria da 'complementaridade', cuja consistência pode ser avaliada apenas pesando-se as possibilidades de definição e observação" (Bohr, 2000, p. 137).

> Um sistema isolado conserva energia e momento, e portanto pode-se dizer que satisfaz a *causalidade*. Como, porém, ele não pode ser observado, não é possível associar uma posição espacial e um instante temporal a ele. Por outro lado, ao ser observado, um sistema passa a ter uma *coordenação espaço-temporal* (dada pelo resultado da medição), mas seu estado (após a redução) não evoluiu a partir do estado anterior de acordo com a lei da causalidade (ou seja, de maneira determinista). (Pessoa Jr., 2019, p. 94)

Essa primeira formulação da complementaridade, contudo, foi abandonada por Bohr, visto que para uma posição antirrealista tal como era a sua, essa noção fazia uma distinção entre um átomo enquanto existente e o mesmo átomo enquanto conhecido, o que não fazia sentido. "Apenas de um ponto de vista realista é possível dar sentido a este 1º tipo de complementaridade" (Pessoa Jr., 2019, p. 94), o que não era o caso da interpretação de Bohr.

Um segundo tipo de complementaridade é apresentado por Bohr e esse envolve a questão da *complementaridade entre partícula e onda*. Esse tipo de complementaridade ocorre a contragosto da física clássica onde onda e partícula são elementos mutuamente excludentes. Diz Bohr:

> O problema da natureza dos constituintes da matéria nos apresenta uma situação análoga. A individualidade dos corpúsculos elétricos elementares nos é imposta pela evidência geral. Contudo, experiência recente, sobretudo a descoberta da reflexão seletiva de elétrons por cristais metálicos, requer o uso do princípio de superposição da teoria ondulatória, em conformidade com as ideias originais de L. de Broglie. Exatamente como no caso da luz, temos consequentemente, no caso da natureza da matéria, enquanto aderirmos a conceitos clássicos, que enfrentar um dilema inevitável que tem que ser considerado como a própria expressão da evidência experimental. De fato, estamos aqui novamente tratando não de representações contraditórias dos fenômenos, mas representações complementares, que somente juntas oferecem uma generalização natural do modo clássico de descrição. (Bohr, 2000, p. 138)

Para Bohr, os aspectos ondulatórios (princípio de superposição na teoria ondulatória) e corpusculares (conservação de energia e momento) de um objeto quântico, embora mutuamente

excludentes, são complementares. A definição pelo aspecto onda ou partícula dependerá do tipo de experimento levado a cabo pelo observador: se ele optar pela experiência da dupla fenda, por exemplo, evidenciará a natureza ondulatória; se a experiência for a do efeito fotoelétrico, por outro lado, a natureza se evidenciará corpuscular. Essa dualidade constitui uma descrição "exaustiva" do objeto quântico, pois esgotam suas possibilidades de descrição, ou seja, não haveria uma maneira mais completa de representar uma entidade quântica. O que Bohr faz é associar o *aspecto ondulatório* à *definição* (a função de onda ao não observado). Posteriormente, ele passará a definir o *fenômeno ondulatório* no âmbito da observação (quando ocorre interferência), assim como o *fenômeno corpuscular* (quando é possível inferir trajetórias) (Pessoa Jr., 2000)[13]. O que ficará resolvido é que, para sistemas existentes na escala atômica, não existe um valor predeterminado para as grandezas físicas, são as medições que determinam o que deve aparecer durante eventos de observação.

O terceiro tipo de *complementaridade é entre os observáveis incompatíveis* como é o caso da posição e do movimento. Segundo Bohr (Bohr, 2000, p. 139):

> As dificuldades que a descrição espaço-temporal causal enfrenta na teoria quântica, e que têm sido assunto de repetidas discussões, estão agora colocadas em primeiro plano pelo recente desenvolvimento de métodos simbólicos. Uma contribuição importante para o problema de uma aplicação consistente

[13] Nota 10 da tradução de: BOHR, N. (1928) O Postulado Quântico e o Recente Desenvolvimento da Teoria Atômica. Trad. Osvaldo Pessoa Jr. *In*: *Fundamentos de Física I – Simpósio David Bohm*. Org. O. Pessoa Jr. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2000. p. 135-159.

> destes métodos foi recentemente feita por Heisenberg. Particularmente, ele salientou a peculiar incerteza recíproca que afeta todas as medições de quantidades atômicas. Antes de entrarmos em seus resultados, será vantajoso mostrar como a natureza complementar da descrição que aparece nesta incerteza é inevitável já em uma análise dos conceitos mais elementares usados na interpretação da experiência.

Vimos que o princípio da incerteza de Heisenberg preconizava a impossibilidade de conhecimento preciso e concomitante da posição e da quantidade de movimento de uma partícula no ato de uma medição e que, para Heisenberg, tanto faz usar a representação corpuscular ou ondulatória, pois ambas fornecem as mesmas previsões experimentais. O terceiro tipo de complementaridade proposto por Bohr incorporou a física de Heisenberg à sua como sinônimo de incerteza. Aqui a complementaridade se dá por meio da tese de que duas quantidades conjugadas são complementares entre si no sentido de que ambas são mutuamente exclusivas, uma vez que a determinação mais precisa do valor de uma delas resulta em maior incerteza com respeito à quantidade complementar, mas juntas exaurem a descrição do objeto atômico. Somente de acordo com o experimento, podemos usar ou uma descrição corpuscular, ou uma ondulatória, mas nunca ambas ao mesmo tempo. Segundo Bohr, o uso de um quadro corpuscular ou ondulatório depende do experimento em questão e um "fenômeno" é a descrição daquilo que deve ser observado e do equipamento usado para obter a observação, já que são complementares. O desmembramento das representações é meramente um sinal do fato de que, na linguagem normal a nós disponível para comunicarmos os resultados dos

nossos experimentos, só é possível expressar a unidade da natureza através de um modelo complementar de descrição.

> O que Bohr estava mostrando, em 1927, era a descoberta curiosa de que no domínio atômico, a única maneira pela qual o observador (incluindo seu equipamento) podia não ser envolvido era se ele não observasse nada. Tão logo monta seu equipamento de observação, o sistema que escolheu para a observação e os instrumentos de medida para realizar o trabalho formam um todo inseparável. Por isso, os resultados dependem em grande parte do equipamento. (Holton, 1984, p. 51)

Resumidamente, essa noção de complementaridade afirma que, em certo sentido, o átomo não medido não é real: seus atributos são criados ou definidos no ato da medição.

> Quando você pergunta: "O que é a luz?" a resposta é: o observador, suas variadas peças e tipos de equipamento, seus experimentos, suas teorias e modelos de interpretação, e tudo o mais que encha uma sala que, de outra forma, estaria vazia quando se faz com que a lâmpada se mantenha acesa. Tudo isso, junto, é luz. (Holton, 1984, p. 52)

Esse tipo de interpretação é característica de um típico antirrealismo professado por Bohr[14] e Heisenberg que sustentam que o objeto não tem qualquer existência independente do sujeito que o observa. O caso da luz é um exemplo típico do que aqui se afirma: mesmo que existam a sala, o equipamento – com as suas várias peças e tipos –, teorias, modelos e tudo mais que pudesse encher a sala, ainda assim, sem a existência do sujeito que observa, que é complementar a tudo o mais, a existência do objeto luz, definitivamente, estaria comprometida.

Os desdobramentos filosóficos dessa noção de complementaridade, portanto, encaminham-se por três vias: 1º) professa um tipo de antirrealismo onde palavras como "partícula" ou "onda" não designam nada a respeito de objetos materiais ou propriedades materiais de tais objetos, isto é, não têm *status* ontológico, são apenas descrições de certos experimentos; 2º) sacraliza os instrumentos de medição a ponto de fazer com que o ato de observação e a figura do observador se tornem parte integral do próprio instrumento, isto é, perverte a concepção dita científica da dissociação entre sujeito, objeto e instrumentos científicos, além de tornar a medição o alfa e o ômega do conhecimento, já que não há nada observado além da própria observação; 3º) compromete a noção de "objetividade científica", já que o fundamento do conhecimento científico se desloca do protagonismo do "objeto" para aquele do "sujeito". Aliás, a distinção obsoleta entre sujeito e objeto já não é mais válida na visão dos complementaristas[15].

[14] No caso de Bohr o antirrealismo vem seguido de um fundo positivista por depositar no instrumento de medida a inteira confiança no decifra mento da realidade, isto é, por sacralizar os instrumentos de medida.
[15] Mais tarde, já em 1955, quando Bohr profere um discurso numa reunião da Real Academia Dinamarquesa de Ciência, em Copenhague, ele tenta se defender de tal acusação. Segundo ele, "em vista da influência da concepção mecanicista da natureza no pensamento filosófico, é compreensível que às vezes se tenha visto na noção de complementariedade uma referência ao observador subjetivo, incompatível

Segundo Schrödinger (1996, p. 131), o que Bohr e Heisenberg "querem dizer é que as descobertas recentes na física fizeram avançar o limite misterioso entre o *sujeito* e o *objeto*, e que assim verificou que esse limite não era, de todo, um limite preciso". Bohr, por outro lado, salienta sua esperança de que "a ideia de complementaridade seja adequada para caracterizar a situação, que traz uma analogia profunda com a dificuldade geral na formação de ideias humanas, inerente na distinção entre sujeito e objeto" (Bohr, 2000, p. 159). Contudo, a ideia de complementaridade, apesar de constituir fundamento para a linha ortodoxa da teoria quântica, ainda assim, não deixou de constituir-se em objeto de crítica de muitos dos seus contemporâneos, bem como de estudiosos recentes.

> [...] Pode-se dizer que o conceito de complementaridade, introduzido por Bohr na interpretação da teoria quântica, veio encorajar os físicos a utilizar uma linguagem ambígua ao invés de desprovida de ambiguidades, a fazer uso de conceitos clássicos, de maneira muito vaga, em conformidade com o princípio de indeterminação, a aplicar em alternância conceitos clássicos distintos que, usados

com a objetividade da descrição científica (...). Na física quântica, como vimos, a explicação do funcionamento dos instrumentos de medida é indispensável à definição dos fenômenos, e devemos distinguir entre o sujeito e o objeto, por assim dizer, de tal maneira que cada caso isolado assegure a aplicação inambígua dos conceitos físicos elementares empregados da descrição. Longe de conter qualquer misticismo alheio ao espírito da ciência, a noção de complementariedade aponta para as condições lógicas da descrição e da compreensão da experiência na física atômica" (Bohr, 1995, p. 114-115).

> simultaneamente, levariam a contradições. (Heisenberg, 1995, p. 135)

Segundo Bunge (2000, p. 237), ao olharmos para a concepção de complementaridade vemos que ela "não é uma doutrina física, mas filosófica, porque não se refere à matéria em movimento, mas aos conceitos e suas verbalizações". Ainda assim, o mérito de Bohr está, ao nosso ver, em conseguir aplicar também os princípios da complementaridade em âmbitos que extrapolam as fronteiras da física atômica. Para uma boa dica de como isso se deu, que por razões objetivas não será tratado aqui, sugerimos a leitura de Holton (1984). Lá o leitor encontrará um histórico de como Bohr aplica seu princípio de complementaridade em outras áreas do saber como: biologia, medicina, antropologia, etnologia, sociologia, ética e política, com a qual envolveu-se até os seus últimos dias, dedicando-se à luta pelo uso pacífico da energia nuclear e pelo controle de armas.

Considerações finais

O percurso traçado neste capítulo nos conduziu a uma reflexão abrangente sobre o antirrealismo, desde suas origens filosóficas até seu papel central nas formulações teóricas da mecânica quântica moderna. Partindo do debate clássico entre materialismo e idealismo – notadamente representado por Epicuro e Berkeley –, foi possível reconhecer como essas concepções metafísicas influenciaram profundamente os rumos da filosofia da ciência e, em especial, as interpretações da física do século XX.

Ao apresentar o materialismo epicurista, sustentado na ideia de uma realidade constituída por átomos e vazio e contrastá-lo com o idealismo imaterialista de Berkeley, no qual ser é ser percebido, vislumbramos duas posturas antagônicas quanto à existência independente da realidade. Essa polaridade ontológica foi transposta ao vocabulário da ciência moderna, em que tais

perspectivas passaram a ser denominadas, respectivamente, como realismo e antirrealismo científicos.

O antirrealismo, enquanto postura filosófica, sustenta que os objetos da ciência não existem independentemente da mente e que o conhecimento científico é, antes de tudo, uma construção mediada por práticas experimentais, instrumentos e linguagem. Tais ideias encontram expressão robusta nas interpretações da mecânica quântica – especialmente na Interpretação de Copenhague, formulada por Bohr – que rejeita a possibilidade de se atribuir uma realidade objetiva e independente aos objetos quânticos fora do contexto da observação.

O conceito de complementaridade, marca o abandono de uma ontologia física unificada e a adoção de uma epistemologia que reconhece a inseparabilidade entre observador e sistema observado. A medição não apenas revela, mas define os atributos físicos do sistema, dissolvendo a antiga distinção entre sujeito e objeto. A ontologia clássica é substituída por uma fenomenologia instrumental e operacional que relativiza a própria ideia de realidade.

Por fim, conclui-se que o antirrealismo, longe de ser um mero ceticismo, representa uma virada epistemológica profunda na compreensão da ciência, desafiando os pressupostos do realismo clássico e apontando para a centralidade da linguagem, da experiência e da prática científica na constituição do conhecimento. Na física quântica, o antirrealismo se impôs não como fraqueza, mas como estratégia teórica sofisticada diante dos limites impostos pela natureza do mundo microscópico. Ele representa, portanto, um marco fundamental na história da ciência e continua a instigar debates cruciais sobre os fundamentos do real e do conhecer.

Referências

BERKELEY, George. **Tratado sobre os Princípios do Conhecimento Humano.** *In*: FRASER, A. *Obras*. Oxford, 1871. vol. 1

BERKELEY, George. **Três Diálogos entre Hylas e Philonous***.* Trad. Gil Pinheiro. São Paulo: Ícone, 2005. (Coleção Fundamentos de Filosofia)

BOHR, N. (1928) O Postulado Quântico e o Recente Desenvolvimento da Teoria Atômica. Trad. Osvaldo Pessoa Jr. *In*: **Fundamentos de Física I – Simpósio David Bohm.** Org. O. Pessoa Jr. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2000. p. 135-159.

BOHR, N. O Debate com Einstein. *In*: ____. **Física Atômica e Conhecimento Humano:** Ensaios 1932-1957. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

BUNGE, M. **Física e Filosofia.** Trad. Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2000. (Coleção Debates – Filosofia da Ciência)

DA SILVA, V. C.; BRANCO, J. C. A recepção de Kant na filosofia da física de Heisenberg. *Griot:* **Revista de Filosofia**, v. 19, n. 3, 2019, p. 266-279

DUMONT, Jean-Paul. **Elementos de história da filosofia antiga**. Trad. Georgete M. Rodrigues. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2004.

HEISENBERG, Werner. **Física e filosofia.** Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1995.

HOLTON, Gerald. As raízes da complementaridade. Trad. Dinorah de Oliveira Mendes. *In*: **Humanidades,** vol. 2, nº 9, out./dez., 1984. p. 49-71.

JAMMER, M. **The Conceptual Development of Quantum Mechanics**. New York: McGraw-Hill, 1966.

LAÊRTIOS, Diôgenes. **Vidas e Doutrinas dos Filósofos Ilustres**. Trad. Mário da Gama Kury. 2. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008.

PESSOA JR., Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica**. 4. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2019. Vols. I e II

ROCHA, Gustavo Rodrigues. **História do atomismo**: como chegamos a conceber o mundo como o concebemos. Belo Horizonte: Argvmentvm, 2007.

5

A REALIDADE DAS ENTIDADES POSTULADAS PELAS TEORIAS FÍSICAS E A IMBRICAÇÃO ENTRE ONTOLOGIA E AXIOLOGIA[16]

Vinícius Carvalho da Silva
Antonio Augusto Passos Videira

Introdução

No presente trabalho assumimos que o realismo[17] é o pressuposto metafísico dominante entre os físicos e nos debruçamos sobre a questão da realidade das entidades postuladas pelas teorias físicas. Nos dedicamos a analisar o que é o realismo, e com isso foi

[16] O presente capítulo é fruto do ciclo de estudos da obra "Representar e Intervir" de Ian Hacking, promovido pelo Grupo de Pesquisa Physikós – Estudos em História e Filosofia da Física e da Cosmologia, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul entre 2021 e 2022. Trata-se de uma versão revisada e sintetizada do artigo "As relações entre física e metafísica a partir do realismo científico", Silva e Videira in: **Perspectivas**, *7*(2), 233–264, 2023.

[17] Empregamos o termo "realismo científico" no título desse trabalho em sentido diverso daquele definido (e atacado) por van Frassen em *A imagem Científica*: "O realismo científico é a posição de que a construção de teorias científicas visa nos dar um relato literalmente verdadeiro de como o mundo é e de que a aceitação de uma teoria científica envolve a crença de que ela é verdadeira". (FRAASSEN. 2007, p. 30). Por realismo científico, em sentido muito amplo, entendemos a posição filosófica, via de regra defendida pelos próprios cientistas, de que há uma realidade objetiva independente de nós, e de que todo o trabalho científico, teórico e experimental, é orientado por tal realidade, ainda que ela seja inalcançável e que as teorias, portanto, possam ser, no máximo, aproximadamente verdadeiras. Discutiremos essa posição ao longo do texto.

inescapável chegar a um quadro bastante plural de diversos tipos de realismo. A constatação de que em filosofia da ciência não existe nada como "O Realismo" nos obrigou a buscar alguma definição de realismo que fosse capaz de englobar algumas teses básicas capazes de ao menos pretender serem comuns, se não a "Todos", em sentido lógico estrito, ao menos à maioria dos tipos de realismo que apresentamos aqui.

Tratando as relações entre física e metafísica, mostrando como a metafísica dos físicos é realista, analisando as diferentes formas de realismo, preparamos o campo para avançar a tese que nos é cara: há uma imbricação entre ontologia e axiologia, uma relação entre pressupostos metafísicos e princípios axiológicos, logo, o realismo provê simultânea e correlatamente tanto uma ontologia da física quanto um *ethos* dos físicos. Para um físico, assumir-se realista traz consequências ontológicas e axiológicas, pois se defendemos a existência objetiva do real, nos comprometemos, por consequência, A recorrer e empregar conceitos coerentes com a nossa opção, como "objetividade", "fato", "verdade" – conceitos que não são axiologicamente neutros, como pretendemos mostrar.

A realidade das entidades postuladas pelas teorias físicas

Se no final do século XIX e no início do século passado havia um intenso debate sobre a existência dos átomos, mobilizando personagens como Mach e Einstein, hoje qualquer pessoa que tenha sido "doutrinada" pela "teoria dos átomos" em sua fase de estudante na educação básica, pode resolver em uma frase, e com toda a convicção que cabe àqueles cujo saber não está maculado por nenhuma sombra de dúvida, um dos maiores problemas filosóficos de todos os tempos: "Do que todas as coisas são feitas?". "De átomos!", a resposta vem tão mais rápida, quanto mais aplicado tenha sido – ou seja – o estudante. A "ingenuidade" desse realismo não provém da crença na existência dos átomos – crença que, em si,

é epistemologicamente muito razoável, e operacionalmente bastante justificável – podendo ser justificada de muitos modos – mas do quanto tão crença é tácita, irrefletida e naturalizada.

Em *Representar e Intervir* Hacking (2012) aborda as diferenças entre o realismo de teorias e o realismo de entidades. Para Hacking, "o realismo científico diz que entidades, estados e processos descritos por teorias corretas realmente existem" (HACKING. 2012, p. 81). O realismo de teorias defende que teorias são verdadeiras se refletem ((a) correspondem, (b) se aproximam, (c) se adequam, etc.) ao mundo tal como ele é (p. 89). O realismo de entidades defende que determinadas entidades postuladas pelas teorias científicas "realmente existem" (p. 88). Podemos aceitar a existência de entidades tais como átomos, elétrons e prótons e *quarks* ainda assim rejeitar que o modelo padrão da física de partículas seja um modelo teórico verdadeiro. Se somos um teórico das cordas, até podemos (tentar) deduzir o modelo padrão como um caso limite de um modelo de *strings.* Mas isso tem mais a dizer sobre a nossa capacidade de acomodar o modelo padrão ao modelo de cordas que propomos, do que sobre a "verdade" do modelo padrão.

No modelo padrão de física de partículas, *strictu senso*, não existem entidades ainda mais básicas como cordas ou supercordas. Poderíamos, portanto, imaginar um quadro da natureza subatômica em que existem entidades como prótons e elétrons, mas elas decorrem do padrão de vibração de cordas em espaços de n-dimensões. Nesse caso teríamos razão em ser realistas de entidades (de átomos, prótons, *quarks* etc.), mas não em ser realista de teorias (quanto ao modelo padrão), pois embora átomos, prótons e *quarks* existam, o modelo padrão não seria o melhor modelo sobre as entidades mais básicas do mundo.

Conforme Hacking, para o realismo de teorias a finalidade da ciência é elaborar teorias verdadeiras. As teorias são verdadeiras na medida em que, de algum modo, se aproximam do real. O realismo de teorias, portanto, é "uma doutrina acerca dos objetivos da

ciência". Defendemos um "princípio de adequação" entre pressupostos metafísicos e princípios axiológicos. Isto é, a metafísica nunca é axiologicamente neutra. Toda teoria sobre a natureza da realidade, a estrutura do mundo e os objetivos da ciência possui uma dimensão axiológica. Para Hacking, o realismo de teorias é uma doutrina "carregada de certos tipos de valores" (HACKING. 2012, p. 371). "O fato é que o realismo científico de teorias precisa adotar os princípios peircianos de fé, esperança e caridade. O realismo científico de entidades não precisa de tais virtudes, ele advém daquilo que podemos realizar no presente" (HACKING. 2012, p. 372).

Já o realismo de entidades é menos carregado axiologicamente, isto é, seu compromisso com determinados valores é mais tênue e flexível. Enquanto o realista de teorias (que também pode ser realista de entidades) vincula-se fortemente a determinados valores, sem os quais ele não poderia conceber que o objetivo de uma teoria é descrever o real de forma verdadeira, o realista de entidades pressupõe a realidade objetiva de entidades físicas sem assumir uma concepção clara acerca dos objetivos da ciência.

Hacking está entre aqueles que defendem que "a experimentação tem muitas vidas próprias" (HACKING. 2012, p. 254). Ele não nega que existem formas complexas de interação entre teoria e experimento, tampouco que os experimentos sejam independentes das teorias, mas enfatiza a necessidade de entendermos que em certos casos históricos, certos experimentos e observações anteciparam a teoria, e que o mundo da experimentação tem suas próprias "regras", coloca problemas, enseja questões e pressupõe valores.

Hacking defende a importância de investigarmos o mundo da experimentação sem cair no erro de "hipertrofiar" a dimensão do experimento e "atrofiar" à da teoria. Ao dar essa "guinada experimental", Hacking se afasta do realismo de teorias, pois tal perspectiva é justamente aquela que coloca a teoria no centro da

vida científica. Centro que, não visão de Hacking, não há. Teoria e experimento são elementos igualmente importantes, que embora interajam fortemente, guardam alguma independência. A filosofia de Hacking reúne essas três características: (a) atenção ao nível da experimentação, (b) defesa de um realismo de entidades e (c) apresentação de uma ontologia histórica. Para Hacking, se quisermos entender o que significa dizer que uma entidade física é real, devemos nos perguntar pela constituição histórica de sua ontologia:

> Um estudo de caso histórico amplamente explorado ao longo dos capítulos diz respeito à medição da carga elétrica (o elétron) em gotas de óleo pelo físico Robert Andrews Milikan (1868-1953) em 1908. Hacking narra que em 1977, com base no princípio de que Milikan fora experimentalmente bem-sucedido, o físico norte-americano William Fairbank (1917-1989) e seus orientandos Arthur Hebard e George LaRue, utilizaram esferas de nióbio para verificar se quarks possuem carga fracionada. O exame da "produção do elétron" discorre sobre como experimentos projetados no início do século XX contribuíram para que certas entidades antes pressupostas como respostas conceituais a desafios científicos tornaram-se "reais". A discussão subsidiou a formulação de seu realismo de entidades na medida em que objetiva eliminar a cardinalidade teoria-experimento ao propor que entes ou eventos não "existem" como produto final de uma

> teorização bem articulada (HACKING, 1983, p. 22-4) (VAZ; VIDEIRA. 2019, p. 119).

Conforme Mathias Egg em *Entity Realism,* o realismo de entidades tem sido alvo de críticas. Por exemplo, para Hacking tais entidades são manipuláveis (*Se você pode bombardeá-las, então são reais*). Egg, no entanto, lembra que podem haver "entidades que nunca seremos capazes de manipular", de modo que o "critério de manipulação" permite críticas e problematizações (EGG. 2018, p. 122). *Richard Dawid* em *Scientific realism and high-energy physics* comenta as críticas de Hones (1991) e Massimi (2004) ao realismo de entidades de Hacking. No rastro das críticas de Massimi, Dawid enfatiza que "o realismo de entidades é incapaz de provar uma base para uma compreensão realista dos quarks" (DAWID. 2018, p. 282). De fato, não podemos manipular *quarks* isoladamente. Mesmo no mais alto nível experimental em colisores, como no LHC, estamos sempre a lidar não diretamente com "entidades", mas com "coisas" como detectores acionados e níveis de energia de entrada e saída, reconstituição de traços e jatos pelos softwares utilizados no ALICE, ATLAS, CMS e LHCb.

Poderíamos dizer que, da mesma forma, nunca observamos um méson-π. O que César Lattes observou em laboratório a partir da análise das chapas expostas em Chacaltaya foi um rastro nas placas com as emulsões nucleares – rastro cujo comportamento atendia ao padrão previsto pelo modelo teórico de Yukawa. Mas a analogia não deve ser levada tão a sério e ir longe. Nos parece que estamos menos distantes dos méson-π do que dos *quarks*[18]*.* Em ambos os casos só temos acesso a uma "fenomenologia" dos efeitos previstos, mas somente no segundo isso se dá a um custo incalculável de recursos físicos e humanos. É preciso o maior

[18] No caso dos *quarks* é preciso um modelo de *Big Science* com colisores enormes, operando em altas energias, bilhões de dólares e milhares de cientistas e engenheiros para conseguir realizar as observações.

conjunto de experimentos da história da física de partículas para fazer vir à superfície, operando nos mais altos níveis de energia, após baterias de simulações sofisticadas, não para ver um rastro físico em uma placa quase artesanal, mas para reconstruir computacionalmente os rastros (sem trajetórias específicas em sentido físico estrito) a partir das informações obtidas com a leitura dos detectores em experimentos tão gigantescos quanto prédios de vários andares.

Tal complexidade pode ser lida em *A descoberta do J/ψ e do Charm*, de Marcia Begalli, ao tratar da "Reconstrução do ψ":

> Cada detector que forma o experimento (independente de qual seja) registra os pulsos eletrônicos gerados pela passagem das partículas. Esses pulsos são digitalizados e enviados a um computador, que controla o registro de toda essa informação, que é então gravada em discos rígidos ou em fitas magnéticas. Quando fazemos um gráfico com essa informação obtemos o lugar onde cada pulso foi gerado. Um programa sofisticado de software combina esses pontos, reconstruindo a trajetória das partículas, determinando o momento das partículas carregadas e a energia depositada nos calorímetros (BEGALLI. 2012, p. 196).

Ou seja, inferir a existência de partículas como *quarks* a partir de eventos ocorridos em experimentos como o ATLAS ou o CMS, envolve uma complexa cadeia de procedimentos físicos e computacionais. O caminho é longo, indireto, muito custoso. As reconstruções pictóricas também podem, se interpretadas literalmente, nos oferecer uma falsa imagem da natureza. Ora,

partículas elementares são entidades quânticas, sujeitas ao princípio de incerteza. Logo, não possuem trajetórias bem definidas, posição, momento, etc. As belas imagens dos eventos do CERN não podem ser tomadas como retratos do que se passou realmente durante o evento. Se o traço colorido da reconstrução pictórica fosse de fato real, teríamos observado momento e posição simultaneamente, o que não é possível. O realismo de entidades exige, pois, altíssimas doses de abstração, e é, de modo líquido e certo, um realismo metafísico, ou seja, uma tese de ontologia das partículas elementares. Apostar nossas fichas no realismo de entidades no caso da Física de Altas Energias é, de fato, bem menos seguro do que quando lidamos com outras entidades menos "fugidias".

O realismo de entidades é comum entre experimentadores comprometidos operacionalmente com a existência das entidades físicas com que devem lidar em experimentos. Ele consiste em tomar as entidades físicas como dotadas de realidade objetiva. Assim, elétron não é somente um "instrumento de cálculo" ou um conceito que se refere a um tipo de experiência, mas o nome de uma entidade física que realmente existe no mundo, independente de nós. Assim, a parte de convenção ou construção desse tipo de realismo se restringe à dimensão linguística. Falamos em elétron, mas poderíamos falar em qualquer outro nome, caso tivéssemos escolhido outro; no entanto, o elétron não é a palavra, mas a coisa que ela nomeia, e tal coisa existe de modo objetivo, independente de nós.

Como acelerar dois prótons até que colidam frontalmente, gerando quarks, elétrons, glúons e múons, se prótons não existem, se não são entidades físicas objetivas? Não há impossibilidade, a não ser filosófica, de fazê-lo. Positivistas não falariam em prótons, mas em feixes de sensações que se seguem condicionalmente de determinadas condições experimentais, para os quais damos o nome "próton", pragmatistas não tratariam das entidades em si, mas dos resultados práticos dos eventos de colisão, ou seja, de quais

detectores foram acionados, e de como acomodar tais resultados a um modelo teórico. Que esse modelo trate de entidades pré-existentes, e não somente dos resultados verificáveis, seria uma questão metafísica.

O tipo de realismo pragmatista proposto por Chang (VAZ, VIDEIRA. 2019, p. 98-111) se baseia no postulado de James, de que o pragmatismo é um modo de encerrar disputas metafísicas que sem a devida análise operacional do problema, se prolongariam indefinidamente. Poderíamos dizer, nesse sentido, que a questão "são os prótons fisicamente reais?", ou seja, "são entidades objetivas?" seria, nessa abordagem, uma dessas questões metafísicas que não podem ser decididas. Os realistas de entidades não sabem e nem podem demonstrar, mas pressupõem que sim, ao passo que toda sorte de antirrealistas de entidades não sabe e nem pode demonstrar, mas pressupõe que não.

E como age o pragmatista? Ele abandona a disputa que julga estéril e recoloca o problema. Sobre quais condições operacionais podemos averiguar se a "teoria do próton" produz resultados? Em determinadas condições experimentais muito especiais (como aquelas produzidas e controladas em um acelerador de partículas como o LHC), se faz sentido falar em prótons, então uma série de eventos poderá ser observada (Como a ativação de determinados detectores, indicando que certas "partículas" passaram por eles). Se realizarmos essa série de eventos e obtemos os resultados esperados caso os prótons sejam reais, então faz sentido falar em prótons porque, de fato, operacionalmente, estamos interagindo com eles.

A questão metafísica não é nem negada, nem fica indefinidamente em aberto, mas é decidida de modo pragmático não no nível linguístico, mas no operacional. A pergunta chave é: "O que significa dizer que prótons sejam reais?". Se dizer que os prótons são reais significa afirmar que, sob determinadas condições experimentais, de um evento A (colisão entre prótons) se segue um evento B (ativação de detectores dos produtos de tal colisão), e se

operacionalmente somos capazes de confirmar o prognóstico, então prótons são reais.

Devemos reconhecer que, para a discussão metafísica e epistemológica sobre a natureza das entidades físicas as diferenças entre realismo, positivismo e pragmatismo são relevantes e constituem importante campo de investigação filosófica, mas em sentido histórico e sociológico é razoável supor que a disputa possivelmente carece de real significação, isto por que, se estivermos certos, será muito difícil encontrar positivistas e pragmatistas entre os físicos, teóricos e experimentais, da atualidade. Apesar de muitos físicos serem instrumentalistas, isto não significa que não sejam realistas de entidades; o realismo de entidades parece ser uma metafísica naturalizada no meio. Quando os físicos, de um modo geral, falam em prótons e elétrons, não querem se referir a feixes de sensações ou resultados observados a partir de um critério operacional, mas de "coisas", "entes", entidades objetivas, que eles pressupõem que realmente estão "lá".

O instrumentalismo utilitarista poderia combinar com o realismo de entidades, axiologicamente flexível (embora nunca plenamente "neutro"). Conquanto o realismo de entidades possa assumir a existência objetiva de entidades físicas – como prótons, elétrons ou bósons de Higgs –, ele não adere à doutrina do realismo de teorias que defende que o objetivo da ciência é a "busca da verdade", e, portanto, não se submete aos valores que tal doutrina exige. É nesta medida em que um realista de entidades pode ser um instrumentalista. Ele pressupõe estar lidando com entidades físicas objetivas, mas pode considerar que a ciência é uma espécie de instrumento capaz de se utilizar de tais entidades e outros fenômenos, eventos e forças naturais, para propósitos utilitários que não são delimitados ou constrangidos pela "busca da verdade".

O realismo e a imbricação entre ontologia e axiologia.

Devemos acrescentar outra dimensão ao realismo, além das dimensões implícitas na lista de Teller (ontológica, epistemológica, lógica). A essas somamos a dimensão axiológica. Acrescentamos que a busca pela verdade no sentido de tentarmos ir o mais próximo que pudermos do real, deve ser tomada como um componente fundamental do *ethos* científico, e, mais do que isso, como um valor cultural em sentido mais amplo. Isso é, o realismo, justamente por ser uma doutrina metafísico-axiológica, pois, tal como Putnam (2008), pensamos que entre juízos de fato (acerca da natureza da realidade, ou daquilo que *é*, e juízos de valor (acerca daquilo como *deve ser*), há uma imbricação inevitável. Conforme Putnam, "fica claro que a ciência pressupõe, sim, valores – ela pressupõe valores *epistêmicos*" (PUTNAM. 2008, p. 50).

O realismo tal como o defendemos aqui, não somente é um pressuposto ontológico do tipo "Há uma realidade externa objetiva", mas, também, um princípio axiológico do tipo "Devemos buscar nos aproximar, ainda que assintoticamente, do real"[19]. A busca por estar

[19] Por aproximação assintótica designamos o movimento de buscarmos continuamente estar mais próximos da realidade, ainda que ela permaneça sempre além do nosso alcance. Essa noção nos remete àquela chamada de *Truthlikeness* ou verossimilhança. No entanto, não aderimos, aqui, de modo estrito, a nenhuma definição rigorosa de *truthlikeness.* E por duas razões. Primeiro por que os debates sobre o assunto permanecem fortes e duros. Em *Truthlikeness: old and new debates* Niiniluoto expressa o quanto esse debate tem sido intenso e permanece aberto: "The notion of truthlikeness or verisimilitude has been a topic of intensive discussion ever since the definition proposed by Karl Popper was refuted in 1974" (NIINILUOTO. 2018, p. 1598). A primeira razão para não aderirmos aqui a nenhuma definição de "proximidade da verdade" se deve, pois, ao fato, de que há uma profusão de definições conflitantes de *"verisimilitude or truthlikeness*" e que não nos parece necessário participar dessa discussão. A segunda razão (e ela explica o "por que" da primeira) é que estamos mais interessados nas reflexões filosóficas de físicos como Planck, Einstein, Heisenberg e Schrödinger, quando afirmam que o objetivo da ciência é buscar se aproximar da realidade sem pretender jamais alcançá-la de modo

cada vez mais próximos do real possui, a um só tempo, fortes repercussões epistêmicas e éticas. Assumir a "proximidade do real" como valor é assumir que, tanto na ciência de modo específico, como na cultura de modo geral, a busca da verdade permanece sendo um ideal, e, portanto, uma força de orientação. Eliminar a verdade de nosso horizonte axiológico é abrir o flanco para as ideologias obscurantistas que visam negar a existência de fatos, desestabilizar nossa crença coletiva na objetividade, na verdade, e enfim, na própria realidade. Em tempos de pós-verdade, negacionismo, relativismo extremo, o realismo permanece sendo fonte não apenas da mais sensata ontologia, mas também de valores que são imprescindíveis para a preservação da cultura, e, portanto, da própria ciência. Deste modo, estamos de acordo com Cohen e Niiniluoto, quando o primeiro afirma, e o segundo o reforça, que o realismo é, além de uma tese ontológica, uma "obrigação ética":

> Para estudar mais sistematicamente o valor cultural da ciência, é desejável começar pela questão posta por L. J. Cohen's (1997)[20] que pergunta se ser realista é um dever moral do cientista. De acordo com Cohen, esta conclusão pode ser defendida pelos argumentos que se seguem: (i) se o

pleno e definitivo, do que no debate duro entre filósofos da ciência sobre as definições de verossimilhança, por exemplo. Em linhas gerais, concordamos com Chakravartty em *Metaphysics for Scientific Realism: knowing the unobservable* quando afirma que a maior parte dos debates sobre "verdade aproximada" é de natureza formal, demandando pesquisa avançada em lógica e gerando verdadeiros *puzzles*. Mas, prossegue o autor, "I believe that most realists operate with the view that an adequately articulated informal account of the concept of approximate truth would serve the project of establishing the overall coherence of realism perfectly well" (CHAKRAVARTTY. 2007, p. 2019).

[20] As indicações dos anos, páginas e obras foram mantidas conforme o original.

> conhecimento é um fim em si mesmo e (ii) se o realismo é parte da melhor metodologia para obtenção do conhecimento, então (iii) o cientista possui a obrigação ética de ser realista. (...) Estou de acordo que esta é uma inferência válida e uma forma de silogismo prático que conecta os fins com os melhores meios para obtê-los. Também tenho exposto razões para sustentar a premissa (ii)[21] em um sentido forte em que o sucesso empírico da ciência nos indica a proximidade com a verdade[22] de suas melhores teorias. (Neste sentido, alguns anti-realistas metodológicos podem ser realistas sem que conheçam isso (ou se reconheçam enquanto tal)) (NIINILUOTO. 2002, p. 288)[23]

[21] O que faz no capítulo 6 da referida obra.

[22] Niiniluoto fala em *truthlikeness*, termo que preferimos traduzir por "proximidade com a verdade". *Truthlikeness* é a propriedade de uma teoria estar, de acordo com alguns critérios e parâmetros rigorosamente elencados, mais ou menos "*closer to truth*".

[23] Conforme Niiniluoto, o anti-realismo metodológico pode alcançar diversas áreas do conhecimento, como por exemplo a Economia: "Milton Friedman regards such theories as false statements, but the theory may still be useful and accepted for prediction (methodological anti-realism)" (NIINILUOTO. 2002, p. 158). Assim, uma posição afeita ao anti-realismo metodológico consideraria que embora as teorias não possam ser consideradas verdadeiras, no sentido de corresponderem ou se aproximaram da realidade tal como é, elas poderiam, ainda assim, fornecer previsões úteis. Em filosofia da ciência Niiniluoto considera anti-realistas metodológicos nomes como Bas fran Fraassen e Larry Laudan, por defenderem que o sucesso da ciência não se deve ao fato das teorias serem mais ou menos verdadeiras, mas sim ao fato de serem bem-sucedidas em fazerem previsões observacionais e solucionarem problemas empíricos. Para tais autores, o sucesso da ciência não necessitaria de nenhuma explicação em termos de verdade (*truth*) e *truthlikeness* (p. 197-198).

O realismo tal como pensamos não provê somente a metafísica fundamental das teorias físicas, mas sua "axiologia". A crença na existência do real é como o cultivo de um ideal. Ideal e real, postos face a face, como os lados da mesma moeda. O cultivo do ideal, na física, a torna portadora de um valor cultural de suma importância: conhecer o mundo é, pois, conhecer a nós mesmos, e ao nosso lugar, nesse grande teatro cósmico.

A teoria física resulta da prática científica, e esta tem a nos oferecer *mais* do que conhecimento do mundo, ela *é* um modo de *ser* no mundo, de pertencer a uma comunidade[24], partilhar uma tradição e comungar uma fé comum na possibilidade de "evasão do cotidiano"[25] ao descobrirmos realidades objetivas e duradouras para além das aparências efêmeras. Nossos pressupostos metafísicos não apenas estão presentes nas teorias. Eles também se encarnam nas práticas científicas. No *ethos* dos praticantes de ciências.

O conhecimento físico não nos fornece apenas saberes utilitários e aplicações práticas. Vai muito além: insufla-nos ânimo e espírito, fornecendo-nos uma força de orientação. Podemos divergir, debater, nos contrapor, mas se a busca do real é nossa vocação comum, também nos revelamos capazes do diálogo e da construção de consensos. Aqui, mais uma vez, lembramos de Einstein: "Foram ideais que me permitiram viver. Chamam-se o bem, a beleza, a verdade". Sem a busca incansável desse "ideal eternamente

[24] Certamente os conceitos de "coletivo de pensamento" e "estilo de pensamento", que Fleck apresenta em *Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico*, são interessantes para pensarmos o quão profundo pode ser o sentimento de pertencimento a uma tradição intelectual experimentado por um indivíduo.

[25] "(...) com Schopenhauer, imagino que uma das mais fortes motivações para uma obra artística ou científica consiste na vontade de evasão do cotidiano com seu cruel rigor e monotonia desesperadora, na necessidade de escapar das cadeias dos desejos pessoais eternamente instáveis" (EINSTEIN,1981, p. 59).

inatingível na arte e na ciência", confessava o físico filósofo, "a vida perde todo o sentido para mim" (EINSTEIN. 2017, p. 9-10).

Sem o cultivo do ideal, a vida perde sentido. A física, idem. O senso comum pensa a ciência como obra fria, desapaixonada, mas sem "paixão por compreensão" "não haveria matemática, nem ciências naturais" (EINSTEIN. 2010, p. 12). Que exista uma realidade objetiva independente de nós, da qual fazemos parte e podemos compreender ainda que parcialmente, é algo digno de nosso assombro e admiração, de nosso espanto filosófico. O trabalho científico está, para Planck, imerso nesse espírito filosófico. Ainda que nosso entendimento do real jamais seja absoluto, "este é para nós um objetivo ideal; nós o temos sempre diante dos olhos, mas nunca o atingiremos". Isso, no entanto, não é motivo para abatimento. "Não é a posse da verdade que faz o cientista feliz", mas o esforço de sua busca (PLANCK. 2014, p. 186-187).

Referências

BEGALLI, M. *A descoberta do J/ψ e do charme*. In **Partículas elementares:** 100 anos de descobertas. Francisco Caruso, Vitor Oguri e Alberto Santoro (Orgs). São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

BUNGE, M. **Física e Filosofia**. Trad. Gita. K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2012.

CHAKRAVARTTY, A. **A Metaphysics for scientific realism: Knowing the Unobservable.** *Cambridge*: Cambridge University Press, 2007.

DAWID, R. **Scientific realism and high-energy physics** In. The Routledge Handbook of scientific realism. Ed. Juha Saatsi. New York: Routledge, 2018.

EDDINGTON, A. **The Philosophy of Physical Science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1939.

EGG, M. **Entity realism** In. The Routledge Handbook of scientific realism. Ed. Juha Saatsi. New York: Routledge, 2018.

EINSTEIN, A. **Como eu vejo o mundo**. Trad. H. P. de Andrade. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

EINSTEIN, A. Física e Realidade. **Rev. Bras. Ensino Física**,v. 28, n. 1,2006, p.9-22.

EINSTEIN, A. **Meus últimos escritos**. Trad. Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2017.

EINSTEIN, A. **Sobre a Teoria Geral da Gravitação**. In: Prêmios Nobel na Scientific American. Duetto: São Paulo, 2010.

FRAASSEN, B, V. **A Imagem Científica**. Trad. Luiz Henrique de Araújo Dutra. São Paulo: Editora UNESP/Discurso Editorial, 2007.

HACKING, I. **Representar e Intervir**. Rio de Janeiro: Eduerj, 2012.

HERTZ, H. **Física Mecânica e Filosofia**. Antonio Augusto Passos Videira e Ricardo Lopes Coelho (Org.); Gabriel Dirma Leão (Trad.). Rio de Janeiro: Eduerj, 2012.

KIRKHAM, R, L. **Theories of Truth: A Critical Introduction**. Massachusetts: MIT Press, 1995.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Trad. Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Editora Perspectiva, 1987.

LATOUR, B; WOOLGAR, S. **A Vida de Laboratório**: a produção dos fatos científicos. Rio de Janeiro, **Relume Dumará**. 1997.

MASSIMI, M. **Perspectvism** In. The Routledge Handbook of scientific realism. Ed. Juha Saatsi. New York: Routledge, 2018.

MAXWELL, J.C. **Textos Selecionados**. Org. A. Passos Videira. Trad.C. Puig. Rio de Janeiro: Eduerj, 2017.

NEUBER, M. **Realism and logical empiricism** In. The Routledge Handbook of scientific realism. Ed. Juha Saatsi. New York: Routledge, 2018.

NIINILUOTO, I. **Critical Scientific Realism**. Oxford: Oxford University Press, 2002.

NIINILUOTO, I. Truthlikeness: old and new debates. **Synthese** 197:1581–1599, 2020.

OLIVEIRA, T, L, T. Uma solução baseada no realismo experimental para dois argumentos pessimistas. **Veritas** (Porto Alegre), 62(3), 595-623, 2017.

OTTO-APEL, Karl. **Estudos de Moral Moderna**. Benno Dischinger (trad). Petrópolis: Editora Vozes, 1994.

PLANCK, M. **Adonde vá la ciência?**. Buenos Aires: Busquets, 1947.

PLANCK, M. **Autobiografia científica e outros ensaios.**Trad.E.Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012.

POPPER, K. **O mundo de Parmênides**. Trad. Roberto Leão Ferreira. São Paulo: Ed. Unesp, 2014.

PSILLOS, S. **The realist turn in Philosophy of Science** In. The Routledge Handbook of scientific realism. Ed. Juha Saatsi. New York: Routledge, 2018.

PUTNAM, H. **O Colapso da Verdade.** Trad. Pablo Rubén Mariconda e Sylvia G. Garcia. Aparecida-SP: Ideias e Letras, 2008.

REDHEAD, M. **From physics to metaphysics.** Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

ROVELLI, C. Physics Needs Philosophy/Philosophy Needs Physics. **Scientific American**, July 18, 2018.

RUETSCHE, L. **Gettin real about quantum mechanics** In. The Routledge Handbook of scientific realism. Ed. Juha Saatsi. New York: Routledge, 2018.

SCHRÖDINGER, E. **A Natureza e os Gregos seguido de Ciência e Humanismo. L**isboa: Edições 70, 1996.

SILVA, V. C.; VICENTINI, R. S.; MATSUMOTO, H.; SOUZA, B. S. L. O laboratório como espaço da produção dos fatos científicos no pensamento de Latour e Woolgar. **Revista Ideação**, v. 1, p. 220-236, 2019.

SILVA, V. Teoria quântica, Física Nuclear e Filosofia Grega. **Griot**, v.15, n.1, 2017, p. 2233-250.

SILVA, V. C., & PASSOS VIDEIRA, A. A. As relações entre física e metafísica a partir do realismo científico. **Perspectivas**, *7*(2), 233–264, 2023.

SIMÕES, E. **A concepção física do mundo**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2021.

SKLAR, L. **A Filosofia da Física**. Trad. Paulo Galvão, Paula Mateus e Desidério Murcho. Rio de Janeiro: Contraponto, 2021.

TEGMARK, M. **Our mathematical universe: my quest for the ultimate nature of reality.** New York: Alfred A. Knopf, 2014.

TELLER, P. **What Is Perspectivism, and Does It Count as Realism?** In. Understanding Perspectivism. Eds. Michela Massimi, Casey D. McCoy. New York: Routledge, 2019.

VAZ, R. O.; Videira, A. A. P. **As teses de Hacking e Chang em favor do realismo: uma breve introdução** In. Lógica e racionalidade científica.1 ed. Seropédica: Editora do PPGFIL-UFRRJ Núcleo de Lógica e Filosofia da Ciência, 2019, v.1, p. 98-111.

VIDEIRA, A. **A inevitabilidade da Filosofia na Ciência Natural do século 19: O caso da física teórica**. Ijuí: Ed. da Unijuí, 2013.

VIDEIRA, A. **Por que os físicos acreditam que as coisas existem: Breves comentários acerca das relações entre ciência e metafísica**. Braga: Axioma, 2018.

WEIZSÄCKER, C, F. **La imagem física del mundo.** Madri: Editorial Católica, S. A., 1974.

WEIZSÄCKER, C, F. **Para Uma Concepção Física do Universo.** Coimbra: Editora Nova Atlântida, 1945.

6

EINSTEIN *VS* LORENTZ: a epistemologia de Lakatos aplicada por Zahar com considerações à Filosofia do Espaço

Filipe Pamplona
Carlos B. G. Koehler

A *teoria da relatividade especial*, apresentada em 1905, confrontou um dos mais célebres períodos de "ciência extraordinária" na história da física, competindo com a chamada *teoria do éter* de Lorentz, que sustentava todo o cânone das teorias em vigência (a mecânica clássica e o eletromagnetismo), enquanto a teoria da relatividade propunha uma "inversão" de princípios fundamentais, alcançando resultados análogos de maneira mais simples. As duas teorias previam os mesmos resultados experimentais, mas sob pontos de vista completamente diferentes; quando duas teorias competem sob a mesma base empírica, quais critérios científicos e epistemológicos determinam qual teoria deve prevalecer? – Este capítulo apresenta uma aplicação da

epistemologia de Imre Lakatos por Elie Zahar (1973a,b) na análise deste momento crítico de transição na física do início do século XX, colocando a seguinte questão em dois artigos consecutivos: "*Por que o programa de Einstein superou o de Lorentz?*"

A análise de Zahar, à luz da metodologia de Lakatos, demonstra que o programa de Lorentz foi muito à frente do ano de 1905, tendo sido "superado" somente após a teoria da relatividade geral ter se afirmado, em 1915. Ao final, contextualizaremos o estudo de Zahar com a temática da Filosofia do Espaço, acrescentando uma breve análise de como o embate entre Einstein e Lorentz pode ser lido também como um confronto entre as duas perspectivas ontológicas do espaço, diametralmente opostas: o relacionismo de Einstein em contraposição ao substancialismo (do espaço "absoluto" e "etéreo") de Lorentz.

Introdução histórica: *do eletromagnetismo à relatividade*

As incomparáveis descobertas precedentes ao século XX enriqueceram bastante o conhecimento humano sobre a natureza física da matéria (da mecânica clássica, no século XVIII, ao advento da termodinâmica e do eletromagnetismo no século XIX); tecnicamente, os esforços dos físicos da época estavam mais voltados a entender o substrato que "ocupa" o espaço e o tempo do que indagar a natureza destes conceitos fundamentais, *em si*. Seus trabalhos conduziram ao entendimento, de forma cada vez mais acurada, da constituição da matéria e das leis dos eventos que ocorrem no suposto *vácuo*, ou como se pensava, no *éter*. Espaço e tempo eram considerados como "receptáculos" contendo este substrato e fornecendo sistemas fixos de referência, com o auxílio dos quais as relações mútuas entre os corpos e os eventos deveriam ser determinadas.

James C. Maxwell, após formular as equações básicas do campo eletromagnético, deduziu delas a existência de ondas eletromagnéticas, propagando-se com a velocidade da luz, levando-

o a inferir que a luz é uma onda eletromagnética. Provavelmente este seja o mais belo resultado de unificação na história da física – a união da ótica com a eletricidade e o magnetismo, expresso principalmente no "Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo" de Maxwell [1873]. A confirmação experimental da *teoria eletromagnética da luz* resultou das experiências de Heinrich Hertz, em 1888, em que produziu ondas eletromagnéticas (de rádio) e mostrou que tinham propriedades análogas às da luz.

Houve tentativas de detectar um "suporte material" onde tais ondas se propagassem e de identificar movimentos com relação ao "referencial absoluto", que culminaram na experiência de Michelson e Morley, em 1887, cujo resultado "negativo"[26] desencadeou um fértil período de transição na física: por um lado, defendia-se a existência do éter, e por outro, abria-se mão da necessidade de tal conceito. Um exemplo do primeiro procedimento foi a hipótese apontada qualitativamente por G. F. FitzGerald, em 1889, e quantitativamente por Hendrik Lorentz, em 1892, que todo corpo que se move com relação ao éter é submetido a uma determinada contração espacial ao longo da direção do movimento (a chamada *contração de Lorentz-FitzGerald*): $L = L_0 \,/\, \gamma(v)$, sendo L_0 o seu "comprimento próprio" (ou seja, no suposto referencial estacionário do "éter") e L o comprimento observado no referencial em movimento relativo ao "éter" com velocidade v, assim calcula-se a contração através do importante *fator de Lorentz* (γ):

[26] O experimento pretendia detectar o movimento relativo da matéria (no caso, do planeta Terra) através do éter estacionário, o que não se verificou. A rigor, o que o experimento demonstra é que a *lei clássica de composição de velocidades*, de Galileu, não é adequada. Seus resultados são geralmente considerados as primeiras evidências fortes contra a teoria do éter, e iniciaram uma linha de pesquisa que eventualmente levou à relatividade especial, na qual o conceito de "éter estacionário" não teria qualquer função.

$$\gamma\,(v) \;=\; \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \;=\; \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

[1.1]

A contração espacial sofrida pelo corpo na direção do movimento é inversamente proporcional ao fator γ (que equivale à razão inversa de $\sqrt{1-\beta^2}$, sendo $\beta = v/c$ a razão entre a velocidade v do referencial em movimento e a velocidade da luz no vácuo c). Esta hipótese auxiliar foi colocada com o objetivo de explicar porque parecia impossível detectar movimentos retilíneos "absolutos" no experimento proposto por Michelson e Morley, no qual isto deveria ser possível, de acordo com as ideias físicas prevalecentes na época. Deste modo, até o artigo "A Experiência Interferencial de Michelson" escrito por Lorentz [1895], a hipótese da contração espacial permanecia sendo *ad hoc*, não derivável de nenhum componente teórico fundamental. O caminhar das descobertas físicas tornou evidente que esta hipótese não seria permanentemente satisfatória.

Novas considerações acerca do movimento físico teriam que ser fundadas com base em reflexões acerca dos princípios fundamentais de espaço e tempo.

Coube a Einstein reconhecer que há um modo muito mais simples de explicar os resultados do experimento de Michelson-Morley. Nenhuma hipótese física auxiliar seria requerida, bastando-se reavaliar o princípio da relatividade, de acordo com o qual nenhum movimento retilíneo uniforme "absoluto" poderia ser detectado[27], e o fato de que a concepção de movimento só tem significado físico quando referido a um corpo material de referência. Percebera que um exame crítico acerca dos fundamentos de nossas concepções de espaço e de tempo era necessário. Sendo isto feito,

[27] O *princípio da relatividade* foi proposto inicialmente por Galileu Galilei [1632]. Anos mais tarde, Newton [1687] observou que as leis da mecânica, bem como a Lei da Gravitação Universal, não sofrem qualquer alteração ao se substituir um referencial inercial por outro.

os próprios resultados do experimento de Michelson-Morley se apresentariam como autoevidentes, e neste patamar de clareamento passa a ser construída uma teoria física de forte coesão, que desenvolve as consequências de um princípio fundamental; esta foi a chamada *teoria da relatividade especial*, porque, de acordo com ela, as leis da física são as mesmas para todos os referenciais inerciais. O princípio da relatividade especial, certamente, dá um considerável passo adiante dos conceitos newtonianos de espaço e de tempo, mas não satisfaz plenamente a "mente filosófica", visto ser a teoria ainda restrita – é válida para movimentos acelerados, mas não quando se considera a gravitação.

Do ponto de vista filosófico, era desejável generalizar tal princípio para *todo* tipo de movimento, não somente para uma classe particular. De acordo com a relatividade especial, movimentos irregulares, acelerados, ainda preservam algum caráter "absoluto", com relação a eles não estaríamos aptos a considerar as relações espaciais e temporais totalmente relativas. Mas desde o ano de 1905, quando Einstein elevou tal princípio a todo o domínio da física, e não somente para a mecânica – sob a influência de Henri Poincaré, que desde 1895 já publicava suas reflexões sobre o assunto, afirmando ser o princípio válido para qualquer tipo de fenômeno e não somente aos de natureza mecânica – Einstein se empenhou em formular um princípio generalizado que é válido para qualquer movimento arbitrário que seja. Tais esforços levaram a uma proeminente conclusão no ano de 1915, quando Einstein apresentou a *teoria da relatividade geral*. As determinações de espaço e tempo, dali por diante, foram intimamente conectadas com a matéria. Elas conduziram a uma nova teoria do fenômeno gravitacional; espaço, tempo e gravitação desempenham papéis na física de Einstein fundamentalmente diferentes daqueles assinalados na mecânica clássica.

Os artigos de Zahar (1973a,b) apontam a importância dos esforços de Lorentz em sua "teoria do éter" (ou *teoria do elétron*),

com o apoio de Poincaré, demonstrando como o "programa de pesquisa" de Lorentz se estendeu desde o ano de 1892 até meados de 1915, rivalizando com a teoria da relatividade especial de Einstein, onde ambas possuíam o mesmo patamar de descrição dos resultados experimentais da época, apesar da teoria de Einstein possuir uma "inversão de princípios" que permitia alcançar os mesmos resultados de maneira mais simples. A teoria do éter de Lorentz correspondia ao núcleo duro da física canônica da época (seu *hard core*, na terminologia de Lakatos); que eram as Equações de Maxwell para o campo eletromagnético, as Leis de Newton para o movimento e as transformações de Galileu. Além disso, sua teoria já havia tido sucesso na descrição do "efeito Zeeman"[28] e também descrevia os resultados negativos do experimento de Michelson-Morley como autoevidentes. Após o artigo de 1895, onde a contração espacial aparece como uma hipótese auxiliar, Lorentz depois a deriva de uma hipótese mais fundamental – a *hipótese das forças moleculares* – onde a contração aparente é derivada das relações estruturais da matéria em pequena escala ao se propagar em altas velocidades, próximas à da luz; deixando de ser em todos os sentidos uma hipótese *ad hoc*, segundo Elie Zahar, provendo do que Lorentz chamou de as "oscilações dos elétrons" em pequenas escalas, responsáveis por efeitos macroscópicos observáveis.

O chamado "teorema dos estados correspondentes" de Lorentz [1895], já atestava a generalidade da invariância das leis da eletrodinâmica independente do movimento do observador, onde

[28] Em 1896, o aluno de Lorentz, Pieter Zeeman, detectou o efeito de espalhamento das linhas espectrais em diversos componentes na presença de um campo magnético estático (análogo ao "efeito Stark", em que o espalhamento ocorre na presença de um campo elétrico). Como a distância entre cada região do espalhamento é uma função do campo magnético, o efeito serve para medir campos magnéticos à distância, possuindo uma série de aplicações (inclusive na Astrofísica). Lorentz forneceu a interpretação teórica do "efeito Zeeman" e, em 1902, ambos receberam o Prêmio Nobel de Física pelo trabalho.

qualquer observador em movimento uniforme com relação ao éter poderia aplicar as mesmas equações da eletrodinâmica, assim como um observador no referencial do éter. Lorentz desenvolveu o conceito de *tempo próprio* (ou "tempo local"), sem dar uma interpretação realista a ele, mas como um aparato matemático da teoria que, anos mais tarde, Poincaré apontou como a ideia mais engenhosa e contribuidora da teoria de Lorentz. Para explicar efeitos de 2ª ordem, chegou às suas famosas transformações – em seu procedimento, as transformações de Galileu não são invalidadas teoricamente (são válidas para efeitos de "1ª ordem"), assim elas se mantêm como o ponto de partida, que somado aos efeitos da propagação eletromagnética a partir das interações entre as forças moleculares, permitiu que Lorentz deduzisse as suas transformações, sendo estas interpretadas apenas como um efeito "fenomenológico" a ser constatado nas observações:

Transformações de Galileu	*Transformações de Lorentz*
$t' = t$	$t' = \gamma(t - v.x/c^2)$
$x' = x - v.t$	$x' = \gamma(x - v.t)$
$y' = y$	$y' = y$
$z' = z$	$z' = z$

Obs.: considera-se dois referenciais em movimento retilíneo e uniforme na direção do eixo x, com velocidade relativa v; o fator de Lorentz $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$, no qual $\beta = v/c$, para velocidades muito inferiores à da luz c, $\beta \to 0$ e $\gamma \to 1$. Assim, quando v é muito menor que c, as transformações de Lorentz se reduzem às de Galileu.

Na análise aprofundada de Zahar (1973a), é possível perceber como o princípio da relatividade especial e o da constância da velocidade da luz no vácuo, além do conceito de tempo próprio e grande parte do aparato matemático, todos esses aspectos amplamente explorados por Einstein na teoria da relatividade especial, já estavam embrionariamente presentes na teoria de Lorentz. O que era deduzido de hipóteses fundamentais na teoria de Lorentz, com denso revestimento matemático com base na física canônica da época, chegando aos resultados através dos seus teoremas e relações secundárias, Einstein consegue deduzir de maneira simplificada. O que na teoria de Lorentz é um resultado arduamente alcançado, na teoria de Einstein é admitido como um ponto de partida.

Tal inversão de princípios sob a luz de uma nova interpretação consistiu no êxito da teoria de Einstein, deduzindo os mesmos aspectos quantitativos da teoria de Lorentz de forma mais simples (sucesso perante a "navalha de Ockham"); a teoria da relatividade especial parecia consistir em uma "reformulação axiomática" da eletrodinâmica em vigência. Porém, até o ano de 1905, a teoria de Einstein não promovia nenhum êxito de previsão empírica adicional; as duas teorias se rivalizaram e por Lorentz já ser um físico renomado e sua teoria sustentar toda a física canônica em voga, o momento de ciência extraordinária mantinha um cenário heterogêneo, com diferentes convicções entre os físicos. No prefácio da importante coletânea de artigos históricos – "Textos Fundamentais da Física Moderna, vol. I – O Princípio da Relatividade" – o Prof. Manuel dos Reis (que foi físico e historiador da ciência da Universidade de Coimbra), explica-nos:

> "O segundo trabalho de Lorentz [1904] contém uma teoria complicada, destinada a explicar o resultado negativo dessa [*exp. Michelson-Morley*] e das outras experiências

realizadas com o mesmo objetivo, teoria obtida (um tanto imperfeitamente) mediante hipóteses apropriadas relativas à influência do vento de éter sobre a forma e dimensões dos electrões e sobre as forças moleculares, donde proveriam deformações nos corpos em movimento de que resultaria apresentarem-se os fenómenos electro-magnéticos, observados em qualquer sistema animado de translação uniforme, a obedecer às mesmas leis que num sistema imóvel. As imperfeições foram corrigidas por Poincaré, num trabalho elaborado dentro das ideias de Lorentz. Figura no trabalho de Lorentz a célebre transformação que tem o seu nome, e a demonstração de que ela deixa invariante a forma das equações de Maxwell para o vácuo; Poincaré estendeu a demonstração ao caso geral, e pôde enunciar o seu postulado da relatividade. **Porém esta relatividade era só fenomenológica**; segundo a teoria, continuava a existir um corpo de referência privilegiado (embora se furtasse necessariamente a ser detectado), de que não se prescindia por ser considerado suporte necessário do campo eletromagnético. Independentemente desta teoria, que *só veio a conhecer mais tarde*, Einstein rompeu com tal preconceito, considerando como perfeitamente equivalentes todos aqueles sistemas de referência e substituindo ao princípio

> newtoniano do tempo absoluto o princípio da constância da velocidade da luz, contido nas equações de Maxwell, para obter a transformação cinemática perante a qual essas equações deviam ser covariantes, como efetivamente verificou que sucedia, ficando assim fundada a teoria da relatividade especial." (Manuel Reis *in* LORENTZ *et al.*, 2014, p.IX-X)

Para compreendermos melhor o percalço enfrentado na rivalização das duas teorias, apresentaremos a abordagem de Zahar e as diferenças entre os núcleos e cinturões aplicativos dos dois programas de investigação, tornando assim mais claro o fator de superação entre as teorias, fazendo jus também aos méritos e contributos de ambas.

Zahar: *por que o programa de Einstein superou o de Lorentz?*

A heurística positiva de um programa de investigação científica é uma "política de desenvolvimento" do programa, isto é, uma seleção e ordenação de problemas, um plano que conduz à sofisticação progressiva dos modelos explicativos. Enquanto o cientista se ocupa dessa tarefa de construção de modelos, tende a ignorar os contraexemplos reais, os "dados" desfavoráveis disponíveis. Com irreverência, Lakatos comenta em nota: "*Afunda-se na sua cadeira, fecha os olhos e esquece os dados.* [...] *Ocasionalmente, é claro, ele* [*o cientista*] *faz à Natureza uma pergunta manhosa: ele será encorajado pelo sim da Natureza, mas não será desencorajado pelo não.*" (LAKATOS, 1989, p.50) – A avaliação de um programa de investigação é feita em termos da tendência que a série de teorias (ou modelos) apresenta na direção do *progresso* ou da *degeneração*:

> "Diz-se que um programa de investigação é *progressivo* enquanto seu desenvolvimento teórico antecipar seu desenvolvimento empírico, ou seja, enquanto seguir predizendo com êxito fatos novos (*mudança progressiva de problemas*); é *paralisante* se o seu desenvolvimento teórico se atrasa em relação a seu desenvolvimento empírico, isto é, sempre que não oferece senão explicações *post hoc*, seja de descobrimentos casuais, seja de fatos previstos, e descobertos, por um programa rival (*mudança degenerativa de problemas*)." (LAKATOS, 1989, p.112)

É dentro desta distinção entre um *programa progressivo* perante outro *degenerativo* que Zahar justifica a superação do programa de Einstein sobre o de Lorentz. Na metodologia de Lakatos, alterações das hipóteses auxiliares (no "cinturão protetor") preservam o programa, mas basta uma pequena alteração do núcleo rígido para se consolidar um novo programa – quando este supera o seu concorrente, ocorre o análogo a uma "revolução científica" de Thomas Kuhn. Nos dois artigos de Zahar são abordados com minúcia os grandes contributos da teoria do éter. Um primeiro argumento favorável, deve-se ao fato de a contração de Lorentz-FitzGerald inicialmente ter sido proposta como uma conjectura *ad hoc*, mas posteriormente Lorentz a derivou de hipóteses mais fundamentais, sendo a usual crítica *ad hoc* dirigida contra si infundada: "... *proponho refutarmos todas as críticas de caráter ad hoc que têm sido levantadas ao papel da contração de Lorentz-FitzGerald, para então mostrar que o programa de Lorentz progrediu mais adiante, além do ano de 1905*." (ZAHAR, 1973a, p.99)

O programa de Lorentz foi desenvolvido principalmente entre 1892 e 1906, por ele e Poincaré, sustentando a mecânica

clássica (as leis de Newton), o eletromagnetismo (de Maxwell) e as transformações de Galileu, através dos conceitos de éter e elétron. Nele, Lorentz estabelece a diferenciação entre a matéria (formada por elétrons[29]) e o éter estacionário (meio de propagação das ondas eletromagnéticas). O campo eletromagnético do éter aparece como um mediador entre os elétrons, e variações no campo não podem se propagar com velocidades acima da velocidade da luz. Entre 1895 e 1904, Lorentz trabalhou em descrever os fenômenos eletromagnéticos (a propagação da luz) em referenciais que se movem com relação ao éter luminífero, desenvolvendo a *hipótese das forças moleculares* e o *teorema dos estados correspondentes*, que se unem na chamada teoria do elétron. A hipótese das forças moleculares sustentava que todo corpo que se move com relação ao éter sofreria em suas dimensões microscópicas uma espécie de contração, desaceleração, cada vez maior quão mais se aproximasse da velocidade da luz.

O teorema dos estados correspondentes, apresentado em 1895, atestava a invariância das leis da eletrodinâmica independente do movimento do observador: qualquer observador em movimento com relação ao éter poderia aplicar as mesmas equações da eletrodinâmica, assim como um observador no referencial do éter (estacionário). No artigo "Fenômenos Eletromagnéticos num Sistema que se Move com Velocidade inferior à da Luz", Lorentz [1904] consegue, com base nesta hipótese e no teorema, demonstrar a partir das transformações de Galileu que era possível alcançar transformações para efeitos de 2ª ordem que correspondiam aos resultados dos experimentos anteriores, onde a contração espacial aparecia como um efeito fenomenológico diretamente derivável das

[29] Na teoria de Lorentz, o elétron era concebido como uma pequena esfera de carga distribuída no éter, com estrutura interna e sujeito a forças eletromagnéticas. Já na concepção atual, o elétron é tratado como uma partícula fundamental sem estrutura interna, pontual, descrita pela mecânica quântica e pelo modelo padrão.

leis básicas da mecânica, no entanto, para isso necessitou de denso ferramental matemático. Já Einstein [1905], no artigo "Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento", apresentou a sua teoria com dois princípios:

(a) Princípio da relatividade especial: *as leis físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais*.
(b) Princípio de constância da velocidade da luz: *a velocidade da luz no vácuo c é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais, e é independente do movimento da fonte.*

Os dois princípios são incompatíveis com a mecânica newtoniana, necessitando modificá-la. O primeiro atesta não haver um único referencial inercial "absoluto" e privilegiado; o segundo princípio exige que sejam modificadas as transformações de Galileu e sua *lei de composição de velocidades*[30], já que a luz não altera sua velocidade no vácuo, independente do movimento da fonte. Partindo desses dois postulados, deduz-se as transformações de Lorentz; seus efeitos cinemáticos imediatos são os da *contração espacial* e da *dilatação temporal*. Destas relações também se extrai a correlação entre massa e energia ($E = m.c^2$) de forma direta, enquanto na teoria de Lorentz este resultado foi determinado

[30] A *lei clássica de composição de velocidades*, de Galileu, considerava que se houvesse uma fonte (S) deslocando com velocidade v em relação a um observador "parado" (S'), ao emitir um sinal de luz este observador deveria medir uma velocidade do sinal maior ou menor do que c, acrescida do movimento da fonte: $c' = c - v$. A velocidade da luz seria menor do que c quando os dois se afastam e maior quando se aproximam, o que de fato não se verificou no experimento de Michelson-Morley. Por outro lado, existe o interferômetro de Sagnac, rotativo ou na versão moderna linear, onde neste caso a lei de adição de velocidades é adequada, obtendo assim velocidades superiores a c. Até hoje, eis um debate não encerrado! (Consultar: Rui Moreira *in* CROCA & ARAÚJO, 2010, p.261-5; e CROCA, 2015, p.287-9.)

posteriormente e com sérias complicações matemáticas. Ao comparar os dois programas de pesquisa, Zahar sistematiza um em relação ao outro com base nos seus núcleos rígidos e respectivos "cinturões protetores" de hipóteses auxiliares (Fig.1):

PROGRAMA DE LORENTZ PROGRAMA DE EINSTEIN

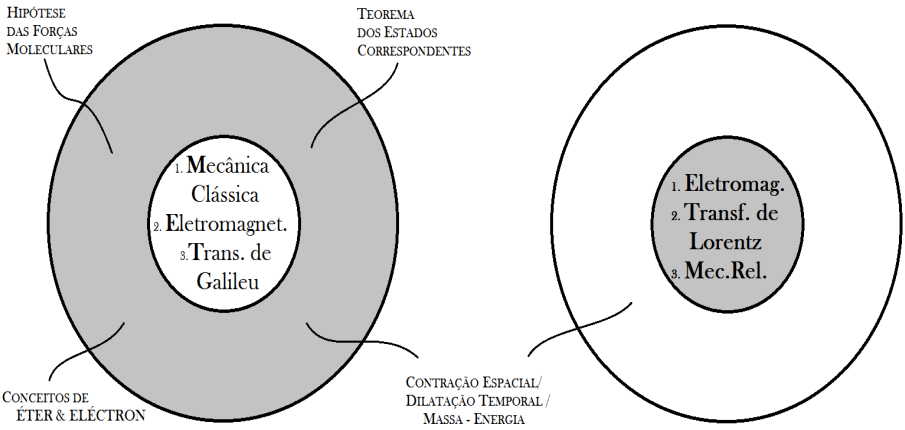


Figura 1 – *Núcleos dos programas de Lorentz e Einstein*

O núcleo do programa de Lorentz é formado pelas leis da mecânica clássica, pelo eletromagnetismo e pelas transformações de Galileu – perante o núcleo, portanto, atua a heurística negativa, de forma que esta base teórica é tida como irrefutável; como consequência, no programa de Lorentz os conceitos de espaço e tempo absolutos devem ser sustentados independente dos resultados negativos, além das transformações de Galileu serem preservadas como fundamentais. Constata-se que o programa necessita de um número maior de hipóteses auxiliares para sustentar seu núcleo teórico. Ao se comparar com o programa de Einstein, percebe-se que o núcleo rígido da relatividade especial proporciona

uma economia total de hipóteses auxiliares, prescinde delas para se alcançar os mesmos resultados; a diferença fundamental reside no fato de que Einstein dá primazia às leis do Eletromagnetismo e o seu ponto de partida são postulados que já conduzem diretamente às transformações de Lorentz, alterando as leis básicas da mecânica em prol da relatividade.

A heurística positiva no programa de Einstein permitiu uma "política de desenvolvimento" extremamente progressiva, pois além de aprofundar a compreensão da famosa relação entre massa e energia (a qual Poincaré já havia demonstrado), Hermann Minkowski, em 1908, apresentou seu elegante trabalho matemático sobre o espaço-tempo quadridimensional; e o problema da gravitação colocado perante a teoria da relatividade especial motivou a investigação conducente ao *princípio de equivalência* e à posterior generalização do princípio da relatividade, para todos os referenciais (sejam inerciais ou acelerados). Em 1915, Einstein descreveu com inigualável precisão o problema da precessão do periélio de Mercúrio (que era predito pela física clássica, considerando o sistema de *n* corpos, mas com um desvio de 43"/século das observações astronômicas; com a teoria da gravitação de Einstein, tal desvio foi precisamente calculado sem recorrer a hipóteses auxiliares, *ad hoc* – ver: SCHUTZ, 2009, p.288). A este resultado, a teoria de Lorentz não era capaz de se equiparar, representando assim um primeiro êxito empírico do programa de Einstein sobre o de Lorentz, seguido por outros, como a deflexão da luz em campos gravitacionais fortes: "*Einstein inventou não uma teoria, mas um programa de pesquisa com uma heurística imensamente poderosa*." (ZAHAR, 1973b, p.249)

A heurística do programa de Lorentz foi progressiva até 1904, mas a partir do advento da relatividade especial e a série de descobertas que a teoria de Einstein proporcionou, instaurou-se no programa de Lorentz uma fase degenerativa; conseguia se equiparar em certas explicações *a posteriori*, a custo de muito esforço teórico e densamente carregada pelo excesso de hipóteses auxiliares, mas

não conseguia mais antecipar o desenvolvimento empírico ou predizer com êxito fatos novos. O programa de Einstein demonstrou desde o início ter uma heurística progressiva, porém, para Zahar, é o critério empírico que marca a definitiva superioridade entre um programa e outro; é neste sentido que o programa de Einstein só superou o de Lorentz a partir de 1915:

> "Já em 1905 o programa da Relatividade provou ser *heuristicamente superior* ao seu rival clássico; a partir de certo período a noção de um éter quase-material foi se tornando heuristicamente estéril, Einstein forneceu uma poderosa ferramenta nova para a construção da covariância de Lorentz costurando a correspondência com as teorias clássicas como casos limites. Entretanto, o poder heurístico dá uma medida apenas da descoberta intelectual e não do progresso científico. **Afinal, a ciência é empírica**. A Relatividade Especial por si só não superou empiricamente o programa de Lorentz. [...] Somente quando o programa de Einstein consolidou a Relatividade Geral que ele superou empiricamente o de Lorentz, explicando a anomalia na precessão do periélio de Mercúrio." (ZAHAR, 1973b, p.259)

Zahar afirma o critério empírico como fator decisivo na avaliação entre teorias científicas concorrentes, mas também demonstra que às vezes tal critério é insuficiente para se decidir entre uma teoria e outra, principalmente quando elas se equiparam na descrição quantitativa dos fenômenos; assim, um programa de pesquisa pode prevalecer nesta instância por possuir uma heurística

mais adequada que prolifere e fomente a prática científica vindoura. No caso do programa de Einstein, o critério empírico só prevaleceu posteriormente, mas a teoria da relatividade especial já apresentava atributos favoráveis com relação à teoria de Lorentz; foi a sua heurística progressiva que prevaleceu e conduziu ao desenvolvimento de novos alicerces teóricos, enfim superantes.

Considerações finais: *um confronto de perspectivas*

Enquanto na análise de Thomas Kuhn a transição entre Lorentz e Einstein é avaliada como uma mudança de "paradigma" durante um período de ciência extraordinária, gerando assim uma "revolução científica"; constata-se que a epistemologia de Lakatos proporciona uma estrutura de análise mais detalhada e valorativa do processo. O que seria uma revolução científica para Kuhn, para Lakatos consiste na superação de um programa por outro que altere o seu núcleo rígido – deste modo, contempla-se tanto a continuidade de certos aspectos teóricos (no caso de Lorentz e Einstein, ambos compartilhavam da teoria eletromagnética em vigência), quanto se realça também os aspectos de ruptura (em Lorentz, o primado é dado às leis da mecânica clássica; em Einstein, aos princípios da relatividade). Na epistemologia de Lakatos, a questão da *incomensurabilidade* colocada por Kuhn "cai por terra" – em primeiro lugar, o núcleo de um programa não é caracterizado por um único "paradigma" em vigência, mas por um conjunto de teorias e pressupostos metafísicos respaldados pela heurística negativa do programa; quando um outro programa competitivo o supera, ele não substitui completamente o "paradigma anterior", pelo contrário, preserva muitas características.

Há superação entre os programas concorrentes devido ao desenvolvimento empírico, com o aprimoramento de resultados experimentais e antecipação de novas previsões. Lakatos defende um ideal de ciência plural e competitivo, em detrimento do que Kuhn designou por períodos de ciência normal (permitido pelo monopólio

de uma teoria em vigência), o que para Lakatos é prejudicial para o progresso científico. É desejável que a prática científica seja continuamente "extraordinária"; quão mais programas distintos competirem e proporcionarem visões alternativas, melhor será para a superação dos problemas e impasses que emergem em cada época.

O conservadorismo de Lorentz com os fundamentos da física clássica, defendendo acima de tudo os conceitos de espaço e tempo absolutos, é um exemplo de posicionamento teórico que estabelece uma heurística negativa perante uma "mudança degenerativa de problemas". O interessante, no âmbito da Filosofia do Espaço, é que podemos encontrar na teoria do éter de Lorentz a mais precisa defesa de uma perspectiva *verdadeiramente substancialista* do espaço – sem escusas ou moderações, como as caracterizações de "pseudo-substancial" do espaço absoluto de Newton[31], e antirrelacional ou *substantival* de Lawrence Sklar (1974), além de não apelar para justificativas teológicas (como o "atributo de Deus" e "sensório divino" de Clarke-Newton). O que Lorentz propôs foi a plena unificação da teoria do espaço absoluto com o "suporte material" de propagação das ondas eletromagnéticas; o espaço, portanto, ganha propriedades "materiais", substanciais e efetivas na sua teoria – eis o "éter de Lorentz". De certo modo, nega-se a concepção de "espaço vazio" (sem negar a concepção de "vácuo", entendido como região de baixíssima densidade de matéria, ou

[31] Em *De Gravitatione*, Newton defendeu que o espaço absoluto não é uma substância, pois carece de poderes causais, e também não é um atributo ou relação, já que existiria mesmo em um vácuo. Propõe que o espaço é aquilo que poderíamos chamar de uma "pseudo-substância": mais semelhante a uma substância do que a uma propriedade, mas ainda assim não exatamente uma substância. Aceitava o princípio de que tudo o que existe, existe em algum lugar – ou seja, no espaço absoluto (ver: HOEFER *et al.*, 2021, §4.2.2). Já o termo "substantivismo", denotativo de que o espaço tem o status ontológico de uma realidade independente, "como uma espécie de substância", foi posto em uso corrente por L. Sklar (1974).

melhor, de "elétrons", cuja relação é dada pela distribuição de "massa" e "carga" por volume).

O éter é o suporte das ondas eletromagnéticas, assim como o oceano é o meio de propagação das ondas marítimas e o ar é o meio do som – no éter se propaga a luz, as ondas eletromagnéticas de todas as frequências, e mais do que isso, este éter é o próprio "espaço absoluto" na compreensão de Lorentz – referencial estacionário e universal, privilegiado e intransponível (limitado pela velocidade da luz). Assim, consagra-se o éter de Lorentz como uma autêntica interpretação substancialista do espaço, sem ressalvas.

Deste modo, podemos avaliar a competição entre os dois programas de pesquisa também como um "confronto de perspectivas", pois Einstein, influenciado por Ernst Mach, era claramente um relacionista[32]. Retomemos algumas de suas declarações mais propícias – "*Objetos físicos não estão no espaço. Estes objetos são espacialmente estendidos. Assim, o conceito de 'espaço vazio' perde seu significado.*" (EINSTEIN, 1999 [1916], p.06) – Há duas acepções que podem ser divididas nesta declaração; a primeira revela a sua interpretação relacional – objetos físicos não estão *no* espaço, mas são espacialmente estendidos – ou seja, a espacialidade como atributo da matéria; a segunda acepção consiste da sua refutação ao "vazio". Quanto à primeira, Einstein e Lorentz se antagonizam completamente, mas quanto à segunda nem tanto, pois na teoria do éter o conceito de "espaço vazio" também "perde seu significado", pelo mesmo motivo que Einstein afirmou na

[32] Einstein foi um relacionista convicto na juventude, mas silenciou-se neste debate por muitos anos após a famosa solução cosmológica de Willem de Sitter (1917), na qual se demonstrou a possibilidade teórica de um universo vazio de matéria, com base nas equações de campo da teoria da relatividade geral, sendo uma solução puramente geométrica para o vazio espacial. Em 1953, na sua apresentação da obra histórica de Jammer (2010 [1ª ed.: 1954]), Einstein tornou a se expressar em favor da perspectiva relacional, porém de modo mais comedido e consciente de que a sua teoria não favorecia necessariamente o relacionismo.

Apresentação à obra de Jammer – "*Não há espaço "vazio", ou seja, não existe espaço sem campo.*" (Einstein [1953] *in* JAMMER, 2010, p.20)

Este denominador comum entre eles se deve ao primado que dão à teoria eletromagnética, daí a universalização da ideia de "campo de forças" de Faraday – uma vez que estes campos ondulatórios se propagam entre os corpos, não há possibilidade entre eles de haver "espaço vazio", tudo está preenchido por "campos", que emanam das interações físicas fundamentais da matéria. Entretanto, a perspectiva relacional de Einstein vai além, e assim refuta o "vazio" também por razões ontológicas: "*Quis mostrar que o espaço-tempo não é necessariamente algo a que possamos atribuir uma existência separada e independente dos objetos da realidade física.*" (EINSTEIN, 1999 [1916], p.06) – Apesar disso, anos depois, Einstein reconhecia que o conceito de "espaço absoluto" não havia sido eliminado totalmente da sua teoria:

> "Foi necessária uma árdua luta para se chegar ao conceito de espaço independente e absoluto, indispensável ao desenvolvimento da teoria [*newtoniana*]. Depois, exigiram-se esforços não menos exaustivos para superar esse conceito – um processo que, provavelmente, não foi concluído até hoje." (Einstein [1953] *in* JAMMER, 2010, p.19)

Einstein ofereceu a solução cosmológica de um "universo finito e ilimitado", "eterno" e "estático", no artigo: "Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade Geral" [1917]. Este modelo seria capaz de satisfazer o *princípio de Mach* (que atribuía a inércia à distribuição de massas do universo) e outros requisitos da perspectiva relacional: a distribuição de massas do universo seria

suficiente para causar a sua curvatura positiva (fechada) e todo o espaço-tempo curvado seria permeado pelo campo gravítico e pela propagação de campos eletromagnéticos; não haveria mais sentido em se considerar o "espaço independente da matéria". Porém, uma década depois tal modelo foi contestado pelos dados observacionais de Edwin Hubble, propondo a expansão universal pelo afastamento das galáxias; logo, as outras soluções cosmológicas das equações de Friedmann[33] se revelaram mais fecundas.

É importante saber separar a teoria da relatividade de Einstein da sua perspectiva relacional; a teoria atesta que todo movimento é relativo – não há movimento absoluto – mas por incrível que pareça, isto não é suficiente para provar que o "espaço *em si*" não existe, ou que o conceito de "espaço absoluto" pode ser totalmente eliminado do quadro conceitual da teoria. Na relatividade especial, embora o "espaço-tempo de Minkowski" associe o tempo ao espaço, a união de ambos ainda preserva um caráter absoluto. No seu célebre artigo, Minkowski [1908] propôs a estrutura do espaço-tempo 4D como um novo formalismo para a teoria especial, o que Einstein julgou na época como um mero aprimoramento matemático, mas depois reconheceu que sem este contributo não teria alcançado a formalização necessária à teoria da relatividade geral. Eis a famosa abertura:

> "Meus Senhores: as considerações sobre espaço e tempo que desejo expor-vos brotaram do terreno da física experimental. Aí reside a sua força. A sua tendência é radical. Daqui em diante os conceitos de

[33] Conjunto de equações cosmológicas que ditam a expansão métrica do espaço em modelos homogêneos e isotrópicos do Universo. Foram apresentadas por Alexander Friedman, em 1922; suas soluções fornecem os "modelos de *Friedmann*", ou modelos FLRW (D'INVERNO, 1992, p.322-3).

> espaço e de tempo, considerados como autónomos, vão desvanecer-se como sombras e somente se reconhecerá existência independente a uma espécie de união entre os dois". (Minkowski *in* LORENTZ *et al.*, 2014, p.93)

Portanto, ao "espaço-tempo" se reconhece existência *una* e independente; isto rompe com as antigas noções de espaço e tempo absolutos, separadamente, mas reivindica-se o mesmo caráter absoluto à união entre os dois: o que lhe caracteriza como "antirrelacional", pois a estrutura é independente da matéria. Analogamente, na teoria da relatividade geral também há soluções em que o espaço-tempo não é totalmente curvado (positivamente) nem determinado em sua totalidade pelas relações materiais. Em uma curvatura aproximadamente nula, por exemplo, os objetos massivos são capazes de alterar a estrutura local do espaço-tempo sob ação do seu campo gravitacional, mas a macroestrutura do espaço, cosmológica, permanece aproximadamente "euclidiana" e os objetos simplesmente "se situam" nele. Não é difícil perceber que a teoria da relatividade geral, a rigor, não corrobora necessariamente com nenhuma das duas perspectivas.

O importante é reconhecer o papel que o relacionismo teve no contexto da descoberta e do desenvolvimento desta teoria, e neste contexto sim, quando defrontamos Einstein e Lorentz, estamos diante de um embate também de perspectivas ontológicas. Isto aponta sobretudo para a relevância dos pressupostos metafísicos na construção teórica da ciência. Independente de tais divergências, Einstein nutria uma maior admiração pelo físico de Leiden e o reconhecia como o grande cientista de sua época. Encerramos este trabalho com um dos seus memoráveis tributos à Lorentz:

> "*Tudo quanto vinha deste espírito superior era claro e belo como uma obra de arte e tinha-se a impressão de que seu pensamento se expressava com facilidade e clareza. Jamais tornei a viver semelhante experiência. Se nós, os jovens, não houvéssemos conhecido H. A. Lorentz a não ser como um espírito particularmente lúcido, nossa admiração e estima já seriam extremas. Mas o que eu sinto ao pensar em Lorentz é coisa totalmente diferente. Para mim, pessoalmente, valia mais do que todos os outros que encontrei em minha vida*." (EINSTEIN, 1953, p.39-40)

Agradecimentos: ao *Grupo dos Etéreos* (que promovia encontros de história e filosofia da ciência no Rio de Janeiro), onde aflorou boa parte dessas discussões; à Profª. Olga Pombo, pela sua edificante disciplina de Epistemologia (PhD-FCTAS, ULisboa), na qual se aprimorou este texto; por fim, em memória do querido Prof. Oscar Matsuura, brilhante astrônomo e historiador da ciência, que influenciou tanto quanto nos cativou à pesquisa.

Referências

CROCA, J. R. & ARAÚJO, J. E. F. (eds.) **A New Vision on Physis. Eurhythmy, Emergence and Nonlinearity.** Lisboa: Centro de Filosofia das Ciências da Universidade de Lisboa (CFCUL), 2010.

CROCA, J. R. **Eurhythmic Physics or Hyperphysics, the Unification of Physics.** Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2015.

D'INVERNO, Ray. **Introducing Einstein's Relativity**. Oxford: Clarendon Press, 1992.

EINSTEIN, A. **Como Vejo o Mundo**. Trad.: H. P. Andrade. São Paulo: Círculo do Livro, 1953.

_____ . **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**. Trad.: C. A. Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999 [1916].

GALILEI, Galileu. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo: ptolemaico e copernicano**. Trad.: C. Wantuil. Rio de Janeiro: Contraponto, Ed. Fiocruz, 2011 [1632].

HOEFER, C., HUGGETT, N. and READ, J. Absolute and Relational Space and Motion: Classical Theories. In: E. N. Zalta (ed.), **The Stanford Encyclopedia of Philosophy.** Stanford: Metaphysics Res. Lab., 2021. Available at: plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/spacetime-theories-classical/

JAMMER, Max. **Conceitos de Espaço: A História das Teorias do Espaço na Física.** Trad.: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto e Ed. PUC-Rio, 2010 [1993].

KUHN, Thomas. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 9ª Ed., trad.: B. Boeira e N. Boeira. São Paulo: Ed. Perspectiva, 2006 [1962].

LAKATOS, Imre. **The Methodology of Scientific Research Programmes. Philosophical Pappers***,* Vol. I. New York: Cambridge University Press, 1989 [1978].

LORENTZ, H. A., EINSTEIN, A. e MINKOWSKI, H. **Textos Fundamentais da Física Moderna,** Vol. I – O Princípio da Relatividade. B. G. Teubner (ed.), 6ª Ed., trad.: M. J. Saraiva. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014 [1958].

MAXWELL, James Clerk. **A Treatise on Electricity and Magnetism**. Vol.1 / Vol.2, republication of the 3ª edition [1891]. New York: Dover, 1954 [1873].

NETO, José Borges. **Imre Lakatos e a Metodologia dos Programas de Investigação Científica.** UFPR / CNPq, 2008. Disponível em: docs.ufpr.br/~borges/publicacoes/para_download/Lakatos.pdf

NEWTON, Isaac (auth.), CAJORI, Florian (ed.). **Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World.** Vol.1: The Motion of Bodies. Vol.2: The System of the World. Trans.: Andrew Motte [1726]. Berkeley: University of California Press, 1934 [1687].

PAMPLONA, Filipe. **Espaço & Meio Subquântico: A Filosofia do Espaço físico à luz da Hyperphysis [**Orientador: Prof. José Croca *et al.*]. Tese Doutoral em Lógica e Filosofia da Ciência, Universidade de Lisboa, 2023. Disponível em: http://hdl.handle.net/10451/64194

SCHUTZ, B. **A First Course in General Relativity**. 2nd ed., NY: Cambridge Univ. Press, 2009.

SITTER, Willem de. On the relativity of inertia. Remarks concerning Einstein's latest hypothesis. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,** vol.78, p.3-28, 1917.

SKLAR, Lawrence. **Space, Time and Spacetime**. Berkeley, L.A.: Univ. of California Press, 1974. .

ZAHAR, Elie, Why did Einstein's Programme supersede Lorentz's? (I). **The British Journal for the Philosophy of Science,** 24, n.2, 1973a pp.95-123.

_____, Why did Einstein's Programme supersede Lorentz's? (II). **The British Journal for the Philosophy of Science** 24, 1973b, n.3, pp.223-262.
_____, Mach, Einstein, and the Rise of Modern Science. **The British Journal for the Philosophy of Science** 28, 1977, n.3, pp.195-213.

7

CRISE E DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO: notas para se (des)construir caminhos formativos

Gilson Pôrto Jr.

Introdução

Quando falamos em crise, dificilmente não nos lembramos de nossa própria existência e de possíveis dificuldades vivenciadas. É como Shakespeare faria sabiamente Hamlet se expressar:

> "Ser ou não ser - eis a questão; será maior nobreza da alma sofrer a funda e as flechas da fortuna ultrajante ou pegar em armas contra um mar de infortúnios opondo-lhes um fim? Morrer, dormir... nada mais... É belo como dizer que pomos fim ao desgosto e aos mil males naturais que são a herança da carne. É esse um fim a desejar ardentemente. Morrer, dormir... dormir... e talvez sonhar.
>
> [...] Pois quem suportaria as chicotadas e mofas do mundo, a tirania do opressor, a

> insolência do orgulhoso, as dores do amor desprezado, as delongas da lei, a arrogância do poder, desdém que mérito paciente recebe dos indignos, quando podia buscar a própria quietude com um simples estilete? Quem suportaria tais fardos, protestando e suando numa vida dura, se não fosse o receio de qualquer coisa após a morte, dessa região não descoberta e de cuja fronteira nenhum viajante regressa, que lhe quebranta a vontade e faz que antes queira sofrer os males da Terra que voar para outros de que nada se sabe?

Longe do sofrimento shakesperiano próprio das crises sociais e políticas dos séculos XVI e XVII, mas igualmente delirante, tem sido a crise vivenciada em fins do século XX/início do século XXI. Essa crise, tão ardente quanto "as heranças da carne", também gera angústia, disputas e relações de poder no campo discursivo, transcendendo barreiras sociais e, encontrando no campo da cientificidade, seu espaço privilegiado de construção e complexificação.

Trata-se de uma crise de conceitos, de relações e de conversações em torno do que "é" e das "formas" que os processos científicos assumem. Nesse capítulo, passeamos por entre alguns indícios de uma possível crise.

Crise? Mas que crise?

Thomas Kuhn publicou, em 1962, um livro intitulado "A Estrutura das Revoluções Científicas". Nesse trabalho, cunhou um termo "paradigma" para analisar as matrizes modelares ou modelos existentes, considerando a questão das rupturas que ocorreriam no conhecimento.

Para Kuhn (1980), a ciência é marcada, alternadamente, por períodos de normalidade, com a aceitação generalizada de determinados modelos teóricos explicativos, ou seja, de paradigmas consolidados pela tradição. Ela também é marcada por crises, quando ocorrem rupturas não cumulativas, as chamadas revoluções, geradas pela presença insuportável de anomalias que acabam por colocar em crise o(s) paradigma(s) conformado(s) pela tradição.

Uma *crise de paradigmas* engendra, portanto, uma mudança conceitual, ou uma mudança na visão de mundo, como consequência do esgotamento dos modelos predominantes de explicação. A crise de paradigmas geralmente leva a uma mudança de paradigmas. As mudanças mais radicais se configuram como *revoluções científicas*.

Para Kuhn (1980)

> A emergência de novas teorias é geralmente precedida por um período de insegurança profissional pronunciada, pois exige a destruição em larga escala de paradigmas e grandes alterações nos problemas e técnicas [...] essa insegurança é gerada pelo fracasso [...] em produzir os resultados esperados. O fracasso das regras existentes é o prelúdio para uma busca de novas regras. [...] O significado das crises consiste exatamente no fato de que indicam que é chegada a ocasião para renovar os instrumentos (p.95,105).

Ainda segundo Kuhn (1980), existem causas internas e externas que determinam as mudanças paradigmáticas. Entre as primeiras, situam-se o desenvolvimento teórico e metodológico no contexto da teoria e o esgotamento dos modelos tradicionais de explicação oferecidos pela própria teoria. Isso leva à busca de novas

explicações ou a novas alternativas. No que tange às causas externas, destacam-se as mudanças socioculturais que tornam as teorias insuficientes em seu poder explicativo. De ruptura em ruptura (ou, de crise em crise), a ciência progride.

Por que retomamos essa perspectiva kuhniana para falar de processos formativos? Por que estamos no ápice da crise paradigmática de modelos de formação (que inspira inclusive a discussão nesta obra, Realismo e Antirealismo). Não foi sem motivo que Bunge (1995) traz a problemática sobre a formação:

> Hasta hace poco casi todos los científicos sociales eran realistas: daban por sentada la realidad del mundo exterior y asumían tácitamente que su tarea era describir y quizás también explicar el mundo social de forma tan objetiva como fuera posible. Estaban limpios de subjetivismo, convencionalismo, ficcionismo, constructivismo, relativismo y hermenéutica, que eran doctrinas o ignoradas o consideradas como juegos filosóficos inconsecuentes (p. 21)

Bunge (1995) toca no ponto nevrálgico quando a questão evoca conceitos: como produzir ciência sem subjetivismos, convencionalismos, ficcionismos e relativismos? Está aqui uma questão que abre muitas possibilidades e "crises". Como isso se desenvolveu? É importante lembramos que a emergência nos anos 1990 de uma chamada "teoria pós-moderna" do pensar, desencadeou uma crise que estava "adormecida" desde o final dos anos 1970: a de que a ciência (entenda-se aqui o conjunto Ciências Humanas e Sociais Aplicadas) necessita estabelecer diálogos reais,

mais do que meras transposições nos modelos de formação de profissionais. Dito de outra forma, nas palavras de Resende (1996):

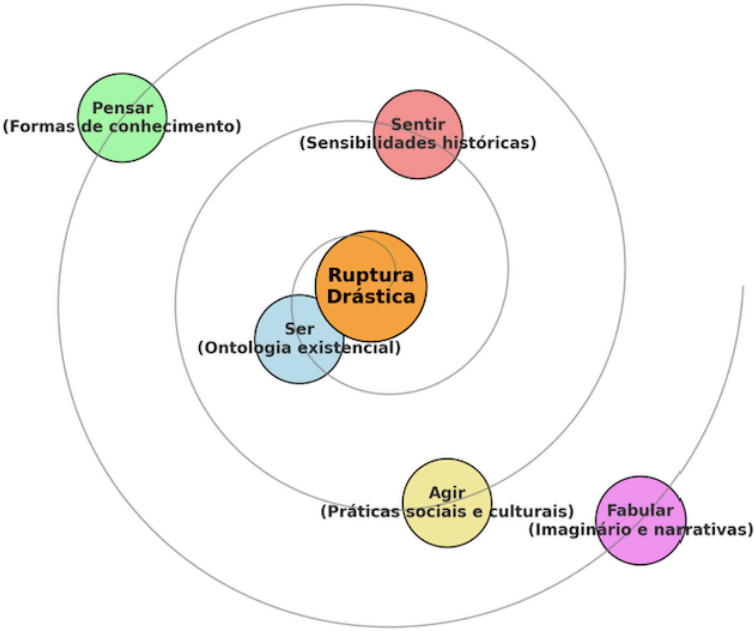
> Estamos, basicamente, entre dois blocos paradigmáticos trincados pelo próprio processo histórico, o conservador e o emergente. Mas, como toda crise, esta também traz em si o germe de sua própria superação, que aponta para uma outra inspiração paradigmática rumo a novos conceitos... (p.62)

A evolução natural do processo científico engendrou cisões que não são fáceis de articular. Essas separam pesquisadores em dois ou mais blocos de pensamento que acabam por antagonizar-se entre "o que é" ou "o que não é" ciência. É apenas uma questão de retórica então? Longe disso. É como Ianni (2001) resume a crise:

> Trata-se de uma ruptura drástica nos modos de **ser, sentir, agir, pensar e fabular**. Um evento heurístico de amplas proporções, abalando não só as convicções, mas também as visões de mundo (p.13) (grifo meu)

Como compreender os elementos **ser, sentir, agir, pensar e fabular?** Comecemos pela própria afirmação de Ianni (2001) de ruptura. No campo científico esperaríamos uma certa transformação gradual, de avanço em avanço, com Kunh (1980) afirmaria e historicizou em sua obra. Mas não se tratou disso. Ao contrário, a quebra foi *radical*, com descontinuidade histórica, filosófica e até mesmo cultural. Esse outro caminho, por si só, também não vem de forma inequívoca: ele se transforma em uma pluralidade de percepções sobre o ser, o sentir, o agir, o pensar e o fabular.

Imagem 1: Relação de modos que tendem a ruptura drástica.



Fonte: Autor, 2025.

O anterior modo de **ser**, isto é, a ontologia existencial, onde os sujeitos se constituíram ao longo da história e da construção científica sofreram alterações profundas na forma de vivenciar a realidade, que deixou de ser *una* para se tornar *múltipla*. Essa mudança desencadeou uma percepção crítica e uma tensão no modo de **sentir**, isto é, de perceber a própria constituição histórica e afetiva, gerando um de desiquilíbrio "paradigmático", por assim dizer, na forma como a sociedade se percebe na coletividade, na estética e até nas questões morais que se propagam e geram a "cola social". É neste contexto complexo que os modos de **agir** acabam sendo afetados e, aquilo que parecia estável e até cristalizado no campo das práticas sociais e culturais, passa a ser transformado, num

clima de ruptura. E que dizer dos planos epistemológico e simbólico? Bem, num primeiro momento o modo de **pensar**, isto é, as categorias até então aceitas para se interpretar o mundo, são trincadas e até dilaceradas por novos conhecimentos, raciocínios e explicações, que tendem a mudar as perspectivas sociais. Todas essas possíveis instabilidades juntas geram narrativas simbólicas individuais que tendem a coletivização, isto é, o que o indivíduo **fabulava** na sua intimidade, passa a tensionar o coletivo gerando narrativas outras eivadas de mitos, ficções e narratividades identitárias, projetando um futuro incerto (desejável ou não), mas que tende a mudar o sentido coletivo de ser,

Pensando nisso e extrapolando para o campo formativo: as 'palavras do dia' ou 'palavras de ordem' para a superação de uma possível crise nos processos de formação de profissionais, tem transitado também por momentos de instabilidade pós-moderna. É o próprio movimento dessa "pós-modernidade formativa" que nos leva a problematizar se a *profissionalidade*, o *profissionalismo* e a própria noção de *profissionalização* são elementos teóricos estáveis para avaliar a saída 'do mundo paralelo' entre *o que desejamos* fazer e *o que fazemos* na questão da formação de profissionais. Reconhecemos que todos os modelos têm suas fragilidades e, apesar de transitarem na vivencialidade temporal do *locus* em que ocorrem, não são, em si, elementos universais. É como afirma Prigogine (1996):

> Se nosso mundo devesse ser compreendido através de modelos de sistemas dinâmicos estáveis, não teria nada em comum com o mundo que nos cerca: seria um mundo estático e predizível, mas não estaríamos lá para formular predições. No mundo em que é o nosso, descobrimos em todos os níveis

> flutuações, bifurcações, instabilidades." (p.57)

Não queremos com isso dizer que devemos direcionar nosso olhar para o particular, apenas, 'de algumas formações', mas que, em muitos casos não podemos 'generalizar' sem incorrer no pecado de transformamos o 'nosso mundo' no 'mundo de todo mundo'. Temos de reconhecer a *instabilidade*, as *flutuações* e as *bifurcações* que se depara à formação de professores e, compreender que, face do que estamos vivenciando nesse início de século XXI, nossas perspectivas devem ser repensadas urgentemente num tom global (MORIN, 2002), que permita agregar, estar aberto ao novo e, acima de tudo, ao múltiplo, mediado ou não, por tecnologias.

É claro que se deve reconhecer que a própria pós-modernidade passa por momentos de instabilidade e problematização. Na verdade, ela também sofre os mesmos efeitos da fragmentação valorativa aplicada às Ciências Humanas e Sociais Aplicadas. Uma reflexão antiga, mas muito apropriada no campo da discussão que fazemos agora foi feita por Pinkney (1996), que asseverava com muita propriedade essa relação

> Essa mudança do **Um** para o **Muitos** dentro do próprio capitalismo, portanto, coloca novas questões a respeito das tendências ao pluralismo e à diferença que observamos na cultura pós-moderna. Serão passos autênticos no sentido de uma democratização do absolutismo inaceitável de algumas formas de modernismo, ou serão antes, talvez, apenas os mais recentes ardis de um sistema econômico global que, tendo se livrado de seu antagonismo comunista,

> agora nos tem em seu poder mais firmemente do que nunca? (p.477)

A questão levantada por Pinkney (1996) pode ser ajustada à formação de professores, face às questões da pós-modernidade. Não temos resposta a elas, mas somos induzidos a pensar que, a atual formação de formadores deve passar por transformações, não pontuais, visando um "neo" reordenamento.

Mas algo temos certeza que não deveria ser esquecido. Ela aparece expressa por SANTOS (2003, p.278), quando afirma que devemos "revaloriza[r] o princípio da comunidade e, com ele, a ideia de igualdade sem mesmice, a ideia de autonomia e a ideia de solidariedade". Em outras palavras: fala-se sobre autonomia e emancipação nos processos formativos, mas via de regra, tem-se resistido a quebrar 'as amarras' discursivas em torno de velhas temáticas de formação, insistindo numa visão pluridimensional, mas vivendo uma única dimensão.

Antes, precisamos avançar em prol de uma profissionalização do docente formador que o alinhe nas tarefas de intelectual transformador, porém não o deixe alienado face às inovações pedagógicas e tecnológicas disruptivas, como as ocorridas com as tecnologias da informação e comunicação (CASTELLS, 2000), Inteligência Artificial e HumanWare, dentre outras, que marcam a sociedade do século XXI nesse início e que estão apenas arranhando o início desta crise.

Para não concluir....

Como concluir uma "crise" ou um reconhecimento que causa estranheza e nos faz pensar? Obviamente nos encontramos em um campo minado de possibilidades, onde cada 'nova explosão' de conhecimento, gera competências que deverão ser construídas no processo formativo.

Essas competências devem agregar à formação – seja na área das Ciências Sociais Aplicadas, nas Ciências Humanas ou mesmo nas chamadas Ciências Duras – habilidades que permitam ao egresso conhecimentos, valores e atitudes próprios, mas ao mesmo tempo abrangentes, tais como as exigidas no campo da virtualidade.

Com certeza essa é uma discussão que envolverá a própria cultura universitária e a forma como os processos acadêmicos são geridos, perpassando o próprio jogo de interesses de cada área formativa.

Referências

BUNGE, M. Realismo y antirrealismo en las Ciencias Sociales. **Mientras Tanto,** *61*, 1995, p. 21–47.

CASTELLS, Manuel. **Fim de Milênio**: a era da informação – economia, sociedade e cultura. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.

IANNI, Octavio. **Teorias da Globalização**. Rio de Janeiro: Editora Civilização Brasileira, 2001.

KUHN, Thomas. **A Estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1980.

MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo: Cortez, 2002.

PINKEY, Tony. Modernismo e Pós-modernismo. In: OUTHWAITE, W. & BOTTOMORE, T. **Dicionário do pensamento social do século XX**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1996.

PRIGOGINE, Ilya. **O fim das certezas**. São Paulo: editora da UNESP, 1996.

RESENDE, Lúcia M. G. Paradigma – relações de poder – Projeto Político-Pedagógico: dimensões indissociáveis do fazer educativo. In: VEIGA, Ilma P.A. **Projeto político-pedagógico da escola**: uma construção possível. Campinas, SP: Papirus, 1996, p. 53-94.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **Pela Mão de Alice**: o social e o político na pós-modernidade. São Paulo: Cortez, 2003.

8

FÍSICA TEÓRICA E PEDAGOGIA: como duas áreas diferentes podem conversar

Samuel Gomes dos Santos

Introdução

A física teórica e a pedagogia, mesmo sendo áreas muito diferentes, podem se aproximar. A física teórica busca entender as leis que regem o universo, ou como diria Popper (2007, p. 61), "A lógica do conhecimento científico pode, portanto, ser apresentada como uma teoria de teorias", enquanto a pedagogia se preocupa em como ensinar e formar pessoas.

Apesar das diferenças, as duas áreas têm pontos em comum: ambas trabalham com a construção de conhecimento, usam modelos e abstrações para explicar a realidade, lidam com a complexidade, dependem da criatividade e têm uma responsabilidade ética com a sociedade (BACHELARD, 1996).

Este capítulo tem como foco colocar essas áreas em diálogo, tentando captar e perceber novas formas de pensar tanto a educação quanto a ciência.

Epistemologia e Fundamentos do Conhecimento

Quando falamos de **epistemologia**, estamos basicamente perguntando: como o conhecimento é construído*?* Na física teórica, isso aparece na forma de teorias e hipóteses que tentam explicar o universo ou como POPPER (2007, p. 40) disse:

> Formular uma definição aceitável de "ciência empírica" é tarefa que encerra dificuldades. Algumas dessas dificuldades decorrem do fato de que devem existir muitos sistemas teóricos cuja estrutura lógica é similar à estrutura lógica do sistema aceito, em um particular instante da História, como sistema de ciência empírica. Esse fato é descrito, algumas vezes, afirmando-se que há grande número - presumivelmente infinito de "mundos logicamente possíveis". Entretanto, o sistema que se denomina "ciência empírica" pretende representar apenas um mundo: o "mundo real", ou o "mundo de nossa experiência"

Em outras palavras, é possível gerar inúmeros modelos que tentam explicar a chamada "realidade", que se parecem com a ciência. De fato, mesmo na infinidade de teorias possíveis, nem todas corresponderiam a ciência. Daí a relação que Popper (2007) agrega, a de representar o mundo real, o mundo da experiência que poderia ser submetida à observação e a testagem. Este seria o critério distintivo. Pense, por exemplo, na teoria da relatividade de Einstein ou na mecânica quântica. Elas não nasceram de observações simplórias, mas de perguntas profundas sobre como o mundo funciona.

Na pedagogia, o processo é parecido: também existem teorias que explicam como as pessoas aprendem, como Piaget, Vygotsky e Paulo Freire. Assim como na física, essas ideias não são verdades absolutas, mas pontos de partida que ajudam a interpretar a realidade ou como reforça BACHELARD (1996, p. 22)

> Muitas vezes, a preocupação com a objetividade, que leva o historiador da ciência a arrolar todos os textos, não chega até o ponto de medir as variações psicológicas na interpretação de um determinado texto. Numa mesma época, sob uma mesma palavra, coexistem conceitos tão diferentes! O que engana é que a mesma palavra tanto designa quanto explica. A designação é a mesma; a explicação é diferente.

O ponto em comum é que tanto cientistas quanto educadores sabem que o conhecimento está sempre mudando. O que hoje parece verdade, amanhã pode ser revisto. Essa visão de que o saber é uma **construção coletiva, aberta e em constante transformação** pode ser um elo entre a física e a pedagogia.

Modelagem, Abstração e Ensino

A física trabalha muito com **modelos**. Quando você aprende sobre o átomo, por exemplo, vê aquele desenho com elétrons girando como planetas ao redor do núcleo. Esse modelo não é a realidade, mas uma forma simplificada de entender algo muito mais complexo.

Na pedagogia, acontece algo parecido. Quando um professor cria uma atividade, uma metodologia ou até mesmo um currículo, ele está "modelando" a realidade da aprendizagem. Ele

pega algo que é complexo (o processo de aprender, que envolve emoção, cultura, conhecimento prévio, dificuldades, etc.) e cria uma versão simplificada para poder ensinar melhor. Sobre o aprendizado e seus obstáculos BACHELARD (1996, p. 23) lembrou:

> Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão. (...) Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.

BACHELARD (1996) foi certeiro: a eficácia pedagógica é modulável dependendo do tipo de metodologia utilizada. Seus efeitos potencializados ou minimizados. Essa comparação, mostra como tanto a física quanto a pedagogia precisam de **abstração**: é impossível trabalhar com a realidade inteira, então é preciso criar representações que ajudem a entendê-la. O desafio está em não confundir o modelo com a realidade.

Complexidade e Pensamento Sistêmico

O universo não funciona de maneira simples e linear. A física teórica já mostrou que tudo está interligado: uma pequena mudança em uma partícula pode afetar sistemas enormes. Essa é a chamada visão da **complexidade** (MORIN, 2005).

Na pedagogia, o aprendizado também não é linear. Não dá para dizer que uma criança aprende só porque escutou o professor. Ela aprende a partir de vários fatores: sua curiosidade, o contexto social, o apoio da família, a cultura onde vive, e até mesmo seu estado emocional.

Essa semelhança mostra que tanto a física quanto a pedagogia precisam de um **pensamento sistêmico**, ou seja, olhar para os fenômenos considerando as múltiplas conexões (MORIN, 2005). Quando um professor entende isso, ele passa a olhar seus alunos não só como "cabeças para encher de conteúdo", mas como seres complexos, cheios de influências externas e internas que afetam a aprendizagem.

Imaginação e Criatividade como Ferramentas

Muita gente acha que a física é uma ciência "dura", cheia de fórmulas e cálculos. Mas, na verdade, a física teórica só avançou porque cientistas tiveram coragem de **imaginar coisas que ainda não existiam**. BACHELARD (1996, p. 24) reforça:

> Logo, toda cultura científica deve começar, como será longamente explicado, por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir.

Einstein, por exemplo, fazia experimentos mentais, como imaginar-se viajando em cima de um raio de luz.

Imagem 1: Einstein imaginando-se viajar em cima de um raio de luz.

Fonte: Elaborada com auxilio de IA, com prompt autoral, 2025.

Na educação, acontece a mesma coisa: um professor que não é criativo dificilmente consegue motivar seus alunos. Para ensinar de forma significativa, ele precisa inventar jogos, projetos, histórias,

metáforas e novas formas de explicar os conteúdos. FREIRE (1996, p. 18) diria:

> A curiosidade como inquietação indagadora, como inclinação ao desvelamento de algo, como pergunta verbalizada ou não, como procura de esclarecimento, como sinal de atenção que sugere alerta faz parte integrante do fenômeno vital. Não haveria criatividade sem a curiosidade que nos move e que nos põe pacientemente impacientes diante do mundo que não fizemos, acrescentando a ele algo que fazemos.

Assim, tanto a física quanto a pedagogia dependem da **imaginação**, da curiosidade e da **criatividade**. Elas não são "enfeites", mas motores do avanço do conhecimento.

Ética, Sociedade e Responsabilidade

Toda descoberta científica tem impacto na sociedade. A física já nos trouxe tanto avanços incríveis, como a energia elétrica e as telecomunicações, quanto problemas sérios, como as bombas nucleares. Isso mostra que o conhecimento científico sempre traz junto uma **responsabilidade ética**.

Na pedagogia, o mesmo acontece: ensinar não é só passar conteúdo, mas formar cidadãos. Como bem reforça FREIRE (1996, p. 53):

> Não posso ser professor se não percebo cada vez melhor que, por não poder ser neutra, minha prática exige de mim uma definição. Uma tomada de posição. Decisão. Ruptura. Exige de mim que escolha entre isto e aquilo. Não posso ser professor a favor de quem

> quer que seja e a favor de não importa o quê. Não posso ser professor a favor simplesmente do Homem ou da Humanidade, frase de uma vaguidade demasiado contrastante com a concretude da prática educativa.

Se a educação for mal direcionada, pode reproduzir desigualdades, preconceitos e injustiças (YOUNG, 2007). Mas, se for feita com consciência, pode transformar vidas e tornar a sociedade mais justa.

Esse paralelo mostra que tanto o físico quanto o professor precisam pensar além de suas áreas: eles têm que refletir sobre os impactos sociais do que fazem.

Conexão Entre Física, Pedagogia e Transformação Social

Por fim, o grande elo entre a física teórica e a pedagogia está no papel de **transformar a forma como vemos o mundo**. A física amplia nossa visão do universo, mostrando que não estamos sozinhos em um espaço simples, mas dentro de uma rede gigantesca de relações. A pedagogia amplia nossa visão da sociedade, mostrando que a educação pode ser instrumento de libertação ou de opressão. FREIRE (1996, p. 53) diria:

> Sou professor a favor da decência contra o despudor, a favor da liberdade contra o autoritarismo, da autoridade contra a licenciosidade, da democracia contra a ditadura de direita ou de esquerda. Sou professor a favor da luta constante contra qualquer forma de discriminação, contra a dominação econômica dos indivíduos ou das classes sociais.

Quando colocamos essas duas áreas em diálogo, percebemos que ambas querem, no fundo, a mesma coisa: **entender melhor a realidade e transformá-la para o bem da humanidade.**

Conclusão

A análise realizada ao longo deste estudo mostra que, embora a física teórica e a pedagogia pertençam a campos distintos, há uma profunda interconexão entre ambas quando consideramos o conhecimento como um processo dinâmico, criativo e socialmente responsável. A física teórica não se limita à aplicação de fórmulas e cálculos; ela exige imaginação, modelagem abstrata, raciocínio lógico e capacidade de lidar com a complexidade do universo. De forma análoga, a pedagogia não se limita à transmissão de conteúdo: ela envolve a compreensão do contexto do aluno, a construção de modelos de aprendizagem e o estímulo ao pensamento crítico e à criatividade.

Essa aproximação evidencia que tanto cientistas quanto educadores compartilham um objetivo comum: tornar compreensível algo que, à primeira vista, parece inacessível ou complexo. A epistemologia da física, com suas teorias sobre a relatividade, a mecânica quântica e os sistemas complexos, oferece exemplos concretos de como a construção do conhecimento depende de abstrações, hipóteses e revisões constantes. A pedagogia, por sua vez, oferece ferramentas metodológicas para tornar essas abstrações acessíveis, transformando conceitos desafiadores em experiências significativas de aprendizagem.

Outro ponto central é o **pensamento sistêmico e interdisciplinar**, que aparece tanto na física quanto na educação. O conhecimento não deve ser isolado; ele se conecta com múltiplos contextos, influências e implicações sociais. Ao observar essas relações, o educador se torna capaz de enxergar cada aluno em sua complexidade, assim como o cientista observa fenômenos naturais

dentro de sistemas interdependentes. Esse olhar integrado é essencial para formar cidadãos críticos, criativos e conscientes de seu papel na sociedade.

Além disso, a dimensão ética se mostra intrínseca a ambas as áreas. A física, ao gerar tecnologias e descobertas, tem impacto direto na sociedade, trazendo benefícios e desafios. Ou, nas palavras de BACHELARD (1996, p. 10): "a ciência é a estética da inteligência".

A pedagogia também é uma atividade ética, na medida em que a educação pode promover inclusão, cidadania e transformação social, ou reforçar desigualdades se malconduzida. Em outras palavras: "Uma pedagogia fundada na ética, no respeito à dignidade e à própria autonomia do educando" (FREIRE, 1996, p.7). O diálogo entre ciência e educação, portanto, enfatiza a necessidade de consciência e responsabilidade no uso do conhecimento.

Em síntese, aproximar física teórica e pedagogia não é apenas um exercício acadêmico, mas uma oportunidade de repensar o ensino de ciência, valorizando a construção ativa do conhecimento, a criatividade, o pensamento crítico e a ética. Essa interseção revela que aprender ciência e ensinar são processos que se complementam: ambos buscam explicar, compreender e transformar a realidade. Ao explorar essa relação, abre-se espaço para uma educação mais significativa, capaz de formar indivíduos preparados para os desafios complexos do mundo contemporâneo, conscientes da importância da ciência e da educação na construção de uma sociedade justa e sustentável.

Referências

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa.** São Paulo: Paz e Terra, 1996.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 2005.

POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 2007.
YOUNG, M. **Knowledge and curriculum: studies in the sociology of education**. London: Routledge, 2007.

A

- Antirrealismo – 5, 12–14, 20–22, 35–42, 60–65
- Argumentos epistêmicos – 38–40, 70–72
- Autoridade da ciência – 25–27
- Axiologia da ciência – 74–76

B

- Bas van Fraassen – 41–44, 70–73
- Berkeley, George – 12–13
- Boyd, Richard – 55–57

C

- Carnap, Rudolf – 9–12, 25–27
- Ceticismo – 41–44, 77–79
- Cientificismo – 65–68
- Comte, Auguste – 8–9
- Conhecimento científico – 15–19, 33–37, 56–59
- Construção social da ciência – 68–72
- Critério de demarcação – 17–19, 28–30, 44–46

D

- Determinismo – 55–57, 73–75
- Duhem, Pierre – 18–20, 40–42

E

- Empirismo – 10–12, 29–32
- Empirismo construtivo – 41–44, 70–73
- Epistemologia – 14–16, 35–36, 74–77
- Explicação científica – 22–24, 53–55

F

- Feyerabend, Paul – 48–50, 62–64
- Filosofia analítica – 9–11, 34–35
- Filosofia da ciência – 7–9, 12–18, 25–26
- Formação de teorias – 32–34, 55–56
- Fundacionalismo – 74–75

G

- Galileu Galilei – 19–21, 47–49
- Goodman, Nelson – 39–41

H

- Hacking, Ian – 58–60
- Historicismo – 48–50, 62–64
- Hipóteses científicas – 19–21, 34–36
- Holismo confirmacional – 40–42

I

- Idealismo – 11–13, 71–72
- Indução – 29–32, 56–57
- Instrumentalismo – 12, 38–41, 70–72

K

- Kuhn, Thomas – 27–29, 46–49, 61–63

L

- Lakatos, Imre – 46–48, 60–62
- Laudan, Larry – 59–61, 71–73
- Leis científicas – 20–22, 55–57
- Linguagem científica – 36–39, 65–67
- Logicismo – 9–11

M

- Marxismo e ciência – 66–68
- Materialismo – 13, 74
- Metafísica – 11–13, 71–74
- Métodos científicos – 15–18, 32–34, 58–61
- Modelos científicos – 23–26, 40–42, 68–70

N

- Naturalismo – 72–74
- Newton, Isaac – 18–19, 46–47
- Nominalismo – 13, 73

P

- Paradigmas (Kuhn) – 27–29, 46–48, 61–63
- Piaget, Jean – 64–65
- Poincaré, Henri – 20, 42
- Popper, Karl – 17–19, 28–30, 44–46
- Positivismo lógico – 9–12, 25–27
- Pragmática da ciência – 66–68

- Putnam, Hilary – 36–39, 72–75

R

- Racionalidade científica – 16–19, 56–59
- Realismo científico – 5–7, 18–21, 35–42, 50–55, 73–78
- Realismo interno – 36–39, 72–74
- Realismo semântico – 38–40, 74–75
- Revoluções científicas – 27–29, 47–49, 61–63
- Relativismo – 62–64, 70

S

- Searle, John – 73–74
- Sociologia da ciência – 65–69
- Subdeterminação de teorias – 40–42, 71–73

T

- Teorias científicas – 15–18, 32–36, 54–57
- Testabilidade – 17–19, 28–30, 44–46
- Thomas Kuhn – 27–29, 46–49, 61–63
- Tradicionalismo versus ruptura – 48–50, 62–64
- Tarski, Alfred – 74–75

V

- Van Fraassen, Bas – 41–44, 70–73
- Verdade científica – 36–39, 72–75
    - Visão de mundo científica – 21–24, 58–61

ANTONIO AUGUSTO PASSOS VIDEIRA

Estudos de Física (1982-1983) e Filosofia (1984-1986). Possui graduação em Filosofia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1986) e doutorado em Filosofia - Université de Paris VII - Universitée Denis Diderot (1992). É professor titular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, além de professor no Programa de Ensino e História da Matemática (UFRJ), professor convidado no Instituo de Biofísica (UFRJ) e pesquisador colaborador no CBPF. Atuou como docente no Mestrado em Divulgação da Ciência, Tecnologia e Saúde a Casa de Oswaldo Cruz/Fiocruz. Foi pesquisador do Observatório Nacional de 1994 a 1999. Atua nos seguintes domínios: filosofia da natureza, filosofia da ciência, história da física e da astronomia, biografias científicas e divulgação da ciência. É membro correspondente da Academia Paraense de Ciências desde 2011. É membro fundador e foi Editor-chefe da revista eletrônica Em Construção: arquivos de epistemologia histórica e estudos de ciências até o seu término em 2024.

CARLOS B. G. KOEHLER

Engenheiro e historiador da ciência, Doutor em Engenharia de Produção pela UFRJ e Professor do Programa de Pós-Graduação em História das Ciências, das Técnicas e Epistemologia (HCTE) da UFRJ. CV Lattes: http://lattes.cnpq.br/4492967781406054

CARMES ANA DA ROSA BATISTELLA

Graduada em Ciências - habilitação em Física pela Universidade de Ijuí , Mestrado em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Doutorado em Educação pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Atualmente é professora de Física e

Matemática no curso de Agronomia da Universidade Federal do Tocantins. Atua também no curso de Licenciatura em Física, modalidade EAD na UFT.

EDUARDO SIMÕES

Doutor em Filosofia (UFSCar). Professor do curso de Filosofia da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Coordenador do Programa de Pós-graduação em Filosofia (PPGFIL), líder do grupo de pesquisa *Lógica, Linguagem e Ciência* da UFT e coordenador do *GT Filosofia das Ciências Físicas* da ANPOF. eduardosimoes@uft.edu.br

ERICKSON C. DOS SANTOS

Possui graduação em Física pela Universidade Federal de São Carlos (1996), graduação em Filosofia pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (2009), mestrado em Filosofia pela Universidade de São Paulo (2004) e doutorado em Filosofia pela Universidade de São Paulo (2011). Professor adjunto de filosofia da UNESPAR/FAFIUV (2012-2013) e, a partir de fevereiro de 2014, da UFMS/CCHS - Campo Grande.

FILIPE PAMPLONA

Astrônomo, Doutor em Lógica e Filosofia da Ciência pela Universidade de Lisboa (2023). Pesquisador *pós-doc* do Grupo de Filosofia das Ciências Físicas (USP). CV Lattes: http://lattes.cnpq.br/5449487832216456

FRANCISCO GILSON REBOUÇAS PORTO JÚNIOR (GILSON PÔRTO JR.)

Doutor em Comunicação e Cultura Contemporâneas pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestre em Educação pela Universidade de Brasília (UnB). Graduado em Jornalismo, Pedagogia, História e Letras. Realizou estudos de pós-doutoramento nas Universidades de Coimbra (Portugal), Cádiz (Espanha), Brasília (UnB,

Brasil) e Estadual Paulista (Unesp, Brasil). Professor na Universidade Federal do Tocantins (UFT), no Programa de Pós-Graduação em Ciências, Tecnologias e Inclusão, da Universidade Federal Fluminense (Doutorado-PGCTIn-UFF), no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Saúde (Mestrado-PPGECS-UFT) e no Programa de Pós-Graduação em Museologia (Mestrado-PPGMuseu-UFBA). Coordenador do Observatório de Pesquisas Aplicadas ao Jornalismo e ao Ensino (Opaje) da Universidade Federal do Tocantins (UFT).

MAXWELL DIÓGENES BANDEIRA DE MELO

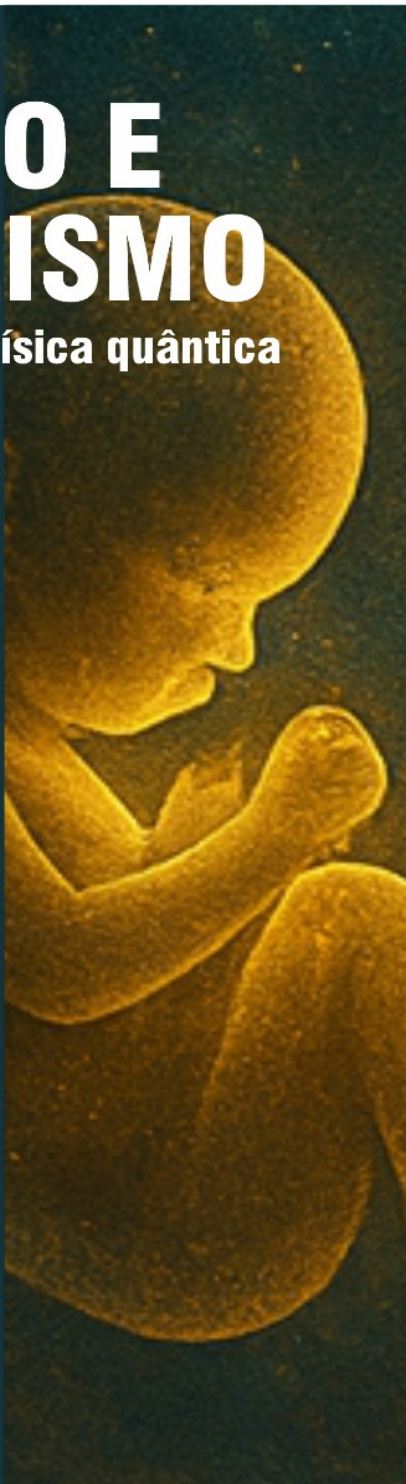
Professor do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Trabalha com Convolução de Sinais com foco em respostas de sistemas eletromecânicos, sistemas Lineares e Invariantes no Tempo (LTIs) e Máquinas Elétricas, em especial com o motor de indução. Atua em IoT em plataformas de microcontroladores tais como: MSP430G2553, TIVA, Arduíno e ESP32, no campo de Ensino em Arquitetura de Computadores. Possui trabalhos em Sistemas de Potência e, ultimamente, em Geração Distribuída. É líder do grupo de pesquisa Física Aplicada onde trabalha com QFT e simulação simétrica de motores de indução trifásicos. Nos últimos anos dedica-se também ao campo de estudo do Antirrealismo na Metafísica. É coordenador do programa de Pós-Graduação Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT), mestrado stricto-sensu profissional em rede, ponto focal UFT, sendo docente credenciado para o biênio 2025-2026 no PROFNIT. Ministra disciplinas como Sinais e Sistemas no Curso de Engenharia Elétrica da UFT e Transferência de Tecnologia no ponto focal UFT do PROFNIT, em Palmas, Tocantins, Brasil.

SAMUEL GOMES DOS SANTOS
Graduando em Pedagogia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Membro do Observatório de Pesquisas Aplicadas ao Jornalismo e ao Ensino (Opaje) da Universidade Federal do Tocantins (UFT).

VINÍCIUS CARVALHO DA SILVA
Doutor e mestre em Filosofia da Ciência e Teoria do Conhecimento pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Pós-doc pelo IMS-UERJ. Estudou História da Ciência no COC-Fiocruz. É professor de Filosofia na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (FACH-UFMS), do PPGECI do Instituto de Física da UFMS, do PPgFIL-UFMS e do PPGFIL-UFT. Finalista do Jabuti Acadêmico 2025 com a obra "Filosofia da Física: Problemas de Ontologia e Epistemologia da Física Moderna". Coordena o Grupo de Pesquisa "Physikós - Estudos em História e Filosofia da Física e da Cosmologia" e é co-responsável de pesquisa da cooperação internacional entre o GP-Physikós/UFMS e o Departamento de Filosofía y Lógica e Filosofía de la Ciencia da Universidad de Sevilla (Espanha). É membro fundador do GT de Filosofia das Ciências Físicas da ANPOF, membro do Grupo de Pesquisa "Estudos Sociais e Conceituais de Ciência, Tecnologia e Sociedade" (UERJ), do "TeHCo - Grupo de Teoria e História dos Conhecimentos" do Instituto de Física da USP e do "LLC - Grupo de Pesquisa Lógica, Linguagem e Ciência" da UFT. É colaborador do Hands on CERN do Departamento de Física Nuclear e Altas Energias do Instituto de Física da UERJ.

REALISMO E ANTIRREALISMO

vertentes em relatividade e física quântica



Organizadores:
Maxwell Diógenes Bandeira de Melo
Gilson Pôrto Jr.

Observatório
Edições

ISBN: 978-6-59877-884-2
9 786598 778842