

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Filosofia

Luiz Gustavo Villas Boas Givisiez

ALÉM DO RELÓGIO E DA PERCEPÇÃO:
o tempo como dimensão do mundo quadridimensional de Minkowski e Einstein

Belo Horizonte
2024

Luiz Gustavo Villas Boas Givisiez

**ALÉM DO RELÓGIO E DA PERCEPÇÃO:
o tempo como dimensão do mundo quadridimensional de Minkowski e Einstein**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Filosofia.

Orientador: Prof. Dr. Túlio Roberto Xavier de Aguiar

Belo Horizonte
2024

100 G539a 2024	<p>Givisiez, Luiz Gustavo Villas Boas. </p> <p>Além do relógio e da percepção [manuscrito] : o tempo como dimensão do mundo quadridimensional de Minkowski e Einstein / Luiz Gustavo Villas Boas Givisiez. - 2024.</p> <p>191 f. : il.</p> <p>Orientador: Túlio Roberto Xavier de Aguiar.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas.</p> <p>Inclui bibliografia.</p> <p>1. Filosofia – Teses. 2. Relatividade (Física) – Teses. 3. Tempo – Teses. I. Aguiar, Túlio Roberto Xavier de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas. III. Título.</p>
----------------------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ALÉM DO RELÓGIO E DA PERCEPÇÃO: O TEMPO COMO DIMENSÃO DO MUNDO QUADRIDIMENSIONAL DE MINKOWSKI E EINSTEIN

LUIZ GUSTAVO VILLAS BOAS GIVISIEZ

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Filosofia, como requisito para obtenção do grau de Mestre em FILOSOFIA, área de concentração FILOSOFIA, linha de pesquisa Lógica, Ciência, Mente e Linguagem.

Aprovada em 14 de novembro de 2024, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Túlio Roberto Xavier de Aguiar - Orientador (UFMG)

Prof. André Joffily Abath (UFMG)

Prof. Mauro Lucio Leitão Condé (UFMG)

Belo Horizonte, 14 de novembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Andre Joffily Abath, Professor do Magistério Superior**, em 18/11/2024, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tulio Roberto Xavier de Aguiar, Professor do Magistério Superior**, em 18/11/2024, às 20:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mauro Lucio Leitão Conde, Professor do Magistério Superior**, em 19/11/2024, às 09:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3723501** e o código CRC **163ABFA4**.

*Em memória de meus pais, Cecília Maria Villas
Boas Givisiez e Henrique Brum Givisiez.*

AGRADECIMENTOS

A Zoë Yungmi Blank, minha esposa, pelo incondicional apoio e companheirismo em toda a jornada desde minha descoberta do quadridimensionalismo, em 2020, até a conclusão desta dissertação, em 2024, assim como pelo inestimável auxílio na elaboração das ilustrações.

Ao Prof. Túlio Xavier, meu orientador, pela atenta leitura desta dissertação e as valiosas sugestões para o trabalho.

À Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), pela excelência do ensino público oferecido por meio de seu qualificado corpo docente.

Aos professores da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas (Fafich), da UFMG, em particular André Abath, Giuseppe Ferraro, Patrícia Kauark e Túlio Xavier, pela qualidade das respectivas disciplinas ministradas, em 2022, no curso de pós-graduação em Filosofia.

Ao Prof. Osvaldo Pessoa Jr. (USP); ao Prof. Emiliano Boccardi (UFOP); e ao astrônomo e filósofo do espaço Dr. Filipe Pamplona (Physikós/UFMS e Lógica, Linguagem e Ciência/UFT); pelo incentivo e inspiração na realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo fomento a esta pesquisa.

À Biblioteca Professor Antônio Luiz Paixão, da Fafich, pela oferta de espaço de estudos, bem como a seus funcionários, pela gentileza e a presteza.

À Secretaria da Fafich, pelo apoio administrativo prestado durante o curso.

Parece, logo, mais natural pensar na realidade física como uma existência quadridimensional, em vez de, como se pensou até agora, a evolução de uma existência tridimensional.

(Albert Einstein, *Relatividade: a Teoria Especial e a Geral*, p. 171) – Século XX d.C.

Que é, pois, o tempo? Haverá alguma resposta breve e clara para essa questão? Quem poderá apreender esse conceito para então traduzi-lo por palavras?

(Santo Agostinho, *Confissões*, Livro XI, capítulo 14) – Século IV d.C.

RESUMO

Entre 1905 e 1908, duas reformas profundas reconfiguraram nossa compreensão do tempo e da realidade física. A Teoria Especial da Relatividade de Albert Einstein descartou a noção clássica de tempo absoluto, revelando, contraintuitivamente, que conceitos temporais tais como “simultaneidade”, “duração” e “presente” dependem da perspectiva do observador. Interpretando a teoria einsteiniana, o matemático Hermann Minkowski descobriu, de modo igualmente contraintuitivo, que o tempo está fundido com o espaço em um *continuum* quadridimensional, chamado espaço-tempo. Ao tratar o tempo como dimensão semelhante ao espaço, a formulação geométrica minkowskiana influenciou decisivamente a Física contemporânea, lançando as bases para o desenvolvimento posterior da Teoria Geral da Relatividade por Einstein, que há mais de um século continua sendo paradigma da Mecânica macroscópica e da Cosmologia.

Esta dissertação explora as implicações ontológicas dessas revoluções do início do século XX, em particular a reformulação das ideias de passado, presente e futuro. O trabalho combina a análise histórica com a investigação filosófica, elucidando a evolução da Teoria Especial para a Teoria Geral da Relatividade e o papel crucial que a unificação geométrica de Minkowski desempenhou nessa transição. Os capítulos iniciais oferecem o contexto histórico e teórico do surgimento do novo paradigma científico. O último capítulo tem por objeto as ramificações filosóficas da inseparabilidade do espaço e do tempo, a qual não apenas revolucionou a Física, mas influenciou de modo duradouro a Metafísica. A descoberta do espaço-tempo enriqueceu o discurso filosófico sobre o tempo e a realidade, promovendo reavaliação de questões ontológicas fundamentais. O estudo destaca a importância de interpretar com propriedade as contribuições teóricas de Einstein e Minkowski, bem como de discernir os diferentes usos do conceito de “tempo” (ontológico, fenomenológico, quantitativo, subjetivo, entre outros). À luz da Física Relativística, são analisados dois debates ontológicos principais: eternismo *versus* presentismo e perdurantismo *versus* endurantismo. A pesquisa demonstra como a descoberta do *continuum* indissolúvel de quatro dimensões oferece forte argumento em favor do eternismo e do perdurantismo, contra as respectivas teses rivais.

Em conclusão, o trabalho assinala como a Teoria da Relatividade e a Geometria do Espaço-Tempo desafiaram a noção clássica de um mundo espacial tridimensional que flui no tempo e nos interpelaram a fazer a transição de uma visão tridimensional para uma visão quadridimensional da realidade. Com base nos postulados da relatividade do presente e da inseparabilidade do espaço e do tempo, assim como na descrição do universo como bloco espaço-temporal, esta dissertação visa a esclarecer o profundo significado filosófico da Física Relativística e sua relevância para as discussões contemporâneas em Metafísica, particularmente em Ontologia e Filosofia do Tempo.

Palavras-chave: Teoria da Relatividade; espaço-tempo; tempo; quadridimensionalismo; eternismo; perdurantismo.

ABSTRACT

Between 1905 and 1908, two profound changes reshaped our understanding of time and physical reality. Albert Einstein's Special Theory of Relativity discarded the classical notion of absolute time, by counterintuitively revealing that time-related concepts such as "simultaneity", "duration", and "present" depend on the observer's perspective. Interpreting Einstein's theory, mathematician Hermann Minkowski discovered, also counterintuitively, that time is merged with space in a four-dimensional *continuum* called spacetime. By treating time as a dimension similar to space, Minkowski's geometric formulation decisively influenced contemporary physics, laying the groundwork for the subsequent development of Einstein's General Theory of Relativity, which has remained a paradigm in macroscopic Mechanics and Cosmology for over a century.

This dissertation explores the ontological implications of these early 20th-century revolutions, particularly the reformulation of past, present, and future. The study integrates historical analysis with philosophical investigation, elucidating the evolution from the Special to the General Theory of Relativity and the crucial role Minkowski's geometric unification played in this transition. The initial chapters provide the historical and theoretical context for the emergence of the new scientific paradigm. The final chapter focuses on philosophical ramifications of the inseparability of space and time, which revolutionized not only physics but also had a lasting impact on metaphysics. The discovery of spacetime enriched the philosophical discourse on time and reality, promoting a reevaluation of fundamental ontological questions.

This research highlights the importance of properly interpreting the theoretical contributions of Einstein and Minkowski, as well as discerning the different uses of the concept of "time" (ontological, phenomenological, quantitative, and subjective, among others). In light of relativistic physics, two main ontological debates are analyzed: eternalism *versus* presentism, and perdurantism *versus* endurantism. The study demonstrates how the discovery of the indissoluble four-dimensional *continuum* strongly supports eternalism and perdurantism over their respective rival theories.

In conclusion, this dissertation underscores how the Theory of Relativity and the Geometry of Spacetime challenged the classical notion of a three-dimensional spatial world flowing through time and prompted us to transition from a three-dimensional to a four-dimensional understanding of reality. Based on the postulates of the relativity of the present and the inseparability of space and time, as well as the description of the universe as a spacetime block, this dissertation aims to clarify the profound philosophical significance of relativistic physics and its relevance to contemporary discussions in metaphysics, namely in ontology and the philosophy of time.

Keywords: Theory of Relativity; spacetime; time; four-dimensionalism; eternalism; perdurantism.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Trajeto da luz emitida em uma espaçonave, do ponto de vista do tripulante.
- Figura 2 – Trajeto da luz emitida em uma espaçonave, do ponto de vista do controlador.
- Figura 3 – Triângulo reto de vértices ABC.
- Figura 4 – Ilustração da relatividade da simultaneidade: relâmpagos à distância e locomotiva em movimento.
- Figura 5 – Ilustrações: Espaço+Tempo na Mecânica Clássica (3+1D) vs Espaço-Tempo minkowskiano (4D).
- Figura 6 – Ilustração: Espaço-Tempo pela Teoria Geral da Relatividade (4D).
- Figura 7 – Cone de luz.
- Figura 8 – Representação das Séries A, B e C de McTaggart.
- Figura 9 – Ilustração do perdurantismo: corpo distendido na dimensão do tempo (partes temporais / centopeia do espaço-tempo).
- Figura 10 – Representação do endurantismo e do perdurantismo.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características de cada tese metafísica sobre a ontologia dos eventos temporais.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO 1 – A REVOLUÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE: UM NOVO TEMPO COM ALBERT EINSTEIN.....	25
1.1 Teoria da Relatividade: aspectos epistemológicos e históricos.....	25
1.1.1 Teoria Especial vs. Teoria Geral	25
1.1.2 A transição da Teoria Especial para a Geral: necessidade epistemológica.....	27
1.1.3 Revolução na Física: a contraintuitividade da Teoria da Relatividade	28
1.1.4 Teoria Geral da Relatividade: a grande realização de Einstein.....	31
1.2 Teoria Especial da Relatividade (1905): a primeira revisão do tempo.....	32
1.2.1 O princípio da relatividade: explicação introdutória.....	34
1.2.2 O estranho comportamento da luz e das ondas eletromagnéticas	38
1.2.3 A solução do dilema: conciliação dos postulados mecânico/eletrodinâmico	40
1.2.4 A relativização da duração e a transformação lorentziana	44
1.2.5 Quantificando a dilatação do tempo e a contração do comprimento: Fator de Lorentz	46
1.2.6 A relativização da simultaneidade.....	50
1.2.7 Depuração epistemológica do conceito de “relatividade”	52
CAPÍTULO 2 – A FUSÃO DAS QUATRO DIMENSÕES FÍSICAS: UM NOVO TEMPO COM HERMANN MINKOWSKI.....	58
2.1 O entrelaçamento do espaço e do tempo: descoberta contraintuitiva	58
2.2 Teoria da Quarta Dimensão: precedentes e modalidades.....	61
2.2.1 Quadridimensionalidade espacial vs. Quadridimensionalidade espácio-temporal ..	61
2.2.2 Quadridimensionalidade minkowskiana vs. Quadridimensionalidade clássica	61
2.2.3 Dando crédito a Minkowski	67
2.2.4 Minkowski ou Poincaré: pioneirismo na fusão do tempo e do espaço	72
2.3 Familiarizando-nos com o mundo 4D	74
2.4 Breve comentário sobre a terminologia minkowskiana	80
2.5 Cone de luz e revisão classificatória (passado, futuro e “alhores”)	81
2.6 A distância espácio-temporal: concordância universal.....	83
2.7 O postulado do mundo absoluto	87
2.8 A quadridimensionalidade do mundo levada a sério: a Geometria na Física.....	90

CAPÍTULO 3 – QUADRIDIMENSIONALISMO: IMPLICAÇÕES ONTOLÓGICAS DA FÍSICA RELATIVÍSTICA	94
3.1 O tempo como dimensão do mundo 4D: a “especialização” do tempo.....	95
3.2 Cada tempo em seu lugar: as Séries-A, B e C de McTaggart.....	97
3.3 Teorias-A e B do Tempo.....	101
3.4 Quadridimensionalismo vs. Tridimensionalismo.....	104
3.5 Ontologia dos eventos temporais: passado, presente e futuro	108
3.5.1 Eternismo: o universo em bloco (“ <i>block view universe</i> ”).....	108
3.5.2 Presentismo (como tese ontológica, e não fenomenologia).....	112
3.5.3 Outras teses não eternistas: <i>bloco crescente, farol móvel, “grow-glow” e árvore minguante</i>	115
3.5.4 A incompatibilidade dos modelos não eternistas com a Física Relativística.....	121
3.5.5 Resistência presentista à Física Relativística	130
3.5.6 Fluxo e seta do tempo: interpelação ao eternismo	134
3.5.7 A cinemática da consciência: proposta de conciliação do eternismo e da seta do tempo.....	142
3.5.8 Entropia: principal desafio ao eternismo?.....	150
3.6 Ontologia da persistência	152
3.6.1 Perdurantismo: partes temporais	153
3.6.2 Endurantismo	158
3.6.3 O problema da mudança.....	162
CONCLUSÃO	164
REFERÊNCIAS.....	184

INTRODUÇÃO

No início do século XX, uma descrição inovadora e contraintuitiva da Natureza emergiu das teorias do físico teuto-suíço Albert Einstein (1879-1955) e do geômetra lituano-alemão Hermann Minkowski (1864-1909). A Relatividade einsteiniana e a geometria física minkowskiana – que designamos conjuntamente sob os nomes de *Física Relativística* ou *Geometria do Espaço-Tempo* – revelaram-nos um mundo quadridimensional (4D) estranho ao senso comum, que revolucionou nossa compreensão tanto do tempo quanto do espaço. Esta dissertação tem como objetivo principal discorrer sobre as reflexões metafísicas propiciadas, ou aprofundadas, pela nova imagem 4D da *Physis*. Fruto do casamento entre a Física e a Geometria, essa imagem representou, nas palavras de Minkowski (2020, p. 61), “remodelamento de nossa visão da natureza [com] consequências profundas”.

A novidade minkowskiana-einsteiniana não permaneceu restrita ao domínio da Ciência, mas repercutiu no campo da Filosofia, incrementando debates metafísicos milenares e inspirando reflexões inéditas em nichos como os da Filosofia do Tempo e da Ontologia. Nosso trabalho tem como objetivo geral sublinhar as áreas de interseção entre as investigações científicas e filosóficas nessa temática, assinalando a influência exercida pela Física Relativística na Metafísica.¹ Interessam-nos, sobretudo, as *inferências ontológicas* que podem ser logicamente feitas a partir dos postulados da Teoria da Relatividade e da analogia do tempo com o espaço. A essas inferências chamamos de *corolários ontológicos* da Física Relativística.

Mostraremos que tais corolários estão representados na Metafísica principalmente por duas teorias: o *eternismo* (ou teoria do universo em bloco) e o *perdurantismo* (ou teoria das partes temporais). A primeira é a ontologia que postula que os eventos a que chamamos “passados” e “futuros” são tão reais quanto os “presentes”. A segunda é a ontologia de acordo com a qual os objetos físicos são dotados de partes não apenas espaciais, mas também temporais, isto é, os corpos têm extensão física na dimensão do tempo (para trás, no passado; e para a frente, no futuro), da mesma forma como estão estendidos no espaço (comprimento, largura e profundidade). Embora não haja unanimidade entre os metafísicos sobre as implicações da Física Relativística, ambas as teorias são amplamente consideradas compatíveis

¹ No prefácio de *The Nature of the Physical World*, Arthur Eddington afirma que seu principal objetivo foi mostrar que as descobertas científicas fornecem novo material para o filósofo” (EDDINGTON, 2020, p. vi). Igualmente, Ryckman (2024) sublinha que “a relatividade geral se provou estímulo considerável para a novidade filosófica”.

com a Relatividade e com a descrição do Universo 4D (espaço-tempo). Nosso objetivo será explicitar as razões que fundamentam tal compatibilidade.

O filósofo Bertrand Russell assinalou, com justeza, que a mais importante das novidades da Física Relativística para a Filosofia foi a fusão da dimensão do tempo com as três do espaço em um *continuum* quadridimensional (RUSSELL, 1926). Entre 1906 e 1908, Minkowski interpretou matematicamente a Teoria Especial – ou Restrita – da Relatividade, concebida por Einstein em 1905. Ao fazê-lo, percebeu que as noções de espaço e de tempo deviam ser compreendidas como meras manifestações parciais de uma realidade mais fundamental, de quatro dimensões, designada *espaço-tempo*. Ao fundir as duas grandezas de nossa experiência ordinária, o geômetra revelou uma imagem ontológica do Universo da qual os físicos clássicos jamais haviam suspeitado, geometricamente muito distinta da do senso comum. A proposta minkowskiana era tão ousada que o próprio Einstein precisou de alguns anos para se render a ela; mas, depois de abraçá-la, incorporou-a como pedra fundamental da versão ampliada e acabada de sua Teoria (Teoria Geral, 1916), ainda que com adaptações da geometria riemanniana (não euclidiana). A descoberta do espaço-tempo por Minkowski pode ser considerada um dos pilares da Física contemporânea, ao servir como ingrediente essencial da nova teoria da gravidade, que vem sustentando, por mais de 100 anos, o *status* de paradigma na Mecânica macroscópica e Cosmologia, graças à sua resiliência a rigorosos crivos empíricos.

Antes de Minkowski e de Einstein, o espaço e o tempo eram pensados como dimensões desmembradas, que se relacionavam sem perder sua individualidade. Os físicos pré-relativísticos concebiam o Universo – onde as coisas e os fatos têm lugar – como o espaço tridimensional em evolução no tempo. Tal concepção pode ser geometricamente traduzida pelo *hiperplano da simultaneidade* (3+1D), isto é, um sólido 3D que se desloca ao longo da quarta dimensão, de modo que os pontos desse mundo se movem juntos, em sua totalidade, simultaneamente, à mesma taxa de passagem do tempo. Nessa geometria física tradicional, que continua sendo até hoje a representação do mundo do senso comum, já se concebiam quatro dimensões, mas a totalidade da existência – o mundo – estava concentrada no espaço (onde as coisas existem, estendidas em comprimento, largura e profundidade). Ao tempo não cabia papel senão coadjuvante: consistia em mera avenida para o desfile do mundo tridimensional. Daí por que afirmamos que, embora a Mecânica Clássica supusesse um Universo *quadridimensional* (3+1D), ela presumia uma *ontologia tridimensionalista*.

Na concepção minkowskiano-einsteiniana, a dimensão temporal adquire protagonismo ontológico, pois é elevada à condição de um dos quatro eixos constituintes do espaço-tempo,

ao lado de seus três pares espaciais. A tradicional geometria 3+1D é substituída pela geometria 4D; por isso, falamos convencionalmente de *espaço+tempo vs. espaço-tempo*, para nos referir, respectivamente, às duas espécies de *geometria física*. Ambas são “quadridimensionais”, mas suas dimensões estão organizadas de modo bem distinto. Na nova estrutura, as grandezas do espaço e do tempo deixam de ser pensadas como dimensões separadas e independentes; estão fundidas em um todo (*manifold*) quadridimensional indissolúvel cujos pontos – os eventos – podem ser determinados por quatro coordenadas. Falamos, portanto, de nova ontologia, em que o espaço e o tempo perdem seu caráter de grandezas fundamentais da realidade e passam a ser compreendidos como meras sombras – simplificações ou transposições – de figura superior e mais fundamental. Dessa perspectiva, pode-se dizer, com Einstein, que o tempo e o conjunto (*manifold*) tridimensional do espaço perderam sua independência. Aconteceu com o espaço e o tempo algo análogo ao que sucedera com a *massa* e a *energia*, duas quantidades físicas que a Teoria Restrita acabou revelando serem meras “manifestações distintas da mesma coisa”, na definição usada por Einstein.² Com Minkowski o tempo perde, por um lado, sua independência em relação ao espaço; mas, por outro, “equipara-se” a ele. “Como o espaço, [o tempo] é parte do palco fundamental no qual os eventos do mundo têm lugar” (CALLENDER, 2011, p. 1).

Na história da Ciência e da Filosofia, até o advento da Física Relativística, jamais se havia considerado seriamente unificar as quatro dimensões conhecidas, a não ser na literatura ficcional ou como pura especulação, fora de um arcabouço teórico-empírico. Esse foi o caso da pioneira sugestão de um conhecido (inominado) do enciclopedista francês D’Alembert, no século XVIII, mais de 150 anos antes da Teoria Especial. Com Minkowski e Einstein, a representação do Universo como *continuum* 4D não desmembrável é não apenas incorporada em um sistema teórico, como também se credencia como paradigma científico, com respaldo empírico, mesmo conflitando violentamente com nossa intuição. A Física Relativística mostrou que a compreensão físico-geométrica tradicional, baseada na ideia intuitiva do espaço 3D em evolução no tempo, está estruturalmente equivocada. A ontologia tridimensionalista não se presta, por exemplo, para explicar certos fenômenos: a relatividade da simultaneidade de eventos separados; e a divergência das medições do tempo em dois sistemas de coordenadas.

Tratar da Teoria da Relatividade implica necessariamente falar do *tempo*. A relação intrínseca entre esses dois debates explica por que o tema da quarta dimensão será recorrente

² Tal descrição, feita oralmente pelo próprio Einstein, está registrada em vídeo: <https://www.youtube.com/shorts/ecc8vfpm3C0>. Acesso em: 9 jan. 2024.

nesta dissertação. Boa parte do trabalho será dedicada ao esmiuçamento desse conceito ancestral, que, além de estar presente na imaginação popular, constitui um dos mistérios mais debatidos na história da Filosofia. Santo Agostinho (2015, p. 312) já havia feito, há mais de 1.600 anos, indagação sobre o tempo, que se tornou célebre:

Que outro assunto é mais familiar e batido em nossas discussões do que o tempo? Nós seguramente o compreendemos quando falamos dele. Também o compreendemos quando nos falam dele. O que é, então, o tempo? Se ninguém me perguntar, eu sei; mas, se eu tiver de explicá-lo a quem me pergunta, aí já não sei.

A natureza do tempo já intrigava os antigos, mesmo antes de Agostinho; contudo, como sublinhou o filósofo alemão Hans Reichenbach (2021, p. 3), o problema havia permanecido obscuro e não resolvido por dois mil anos. Somente no século XX, com o advento da Física Relativística, é que luzes foram lançadas sobre a temática. O fato de a nova Geometria do Espaço-Tempo ter destituído o tempo e o espaço de seus postos de grandezas fundamentais da Natureza não significa que eles tenham perdido a condição de elementos basilares de nossa experiência fenomenológica no mundo. O tempo, em particular, continua a suscitar enorme interesse, porque ele não é contemplado de fora e é sempre intuído como fluxo irreversível e irrefreável, em certa direção, em contraste com o espaço, percebido como algo externo, extenso e simétrico. “Nós experimentamos [o tempo] de dentro, com toda a emoção de vê-lo se desenrolar em tempo real [...]” (ISMAEL, 2021, p. 92).

A natureza dinâmica, assimétrica e não extensa do tempo em nossa percepção constitui peculiaridade da quarta dimensão, que não encontra analogia em nenhuma das dimensões espaciais. Embora a Física Relativística tenha, em certo sentido, “especializado” o tempo,³ dotando-o de propriedades análogas às do espaço, o tempo insiste em se comportar de modo peculiar, destoando de seus pares espaciais, onde temos liberdade de ir e vir. Esse atributo deve explicar, em boa parte, o fato de que o tempo tenha passado a merecer distinção nominal como subárea na Metafísica: Filosofia do Tempo. Esta dissertação tem como propósito específico contribuir para a discussão filosófica sobre a natureza do tempo, sobretudo sobre a discrepância entre o tempo da Física e o tempo da vida ordinária – um conflito que remete à filosofia pré-socrática, em particular ao debate ontológico entre Parmênides e Heráclito.

A natureza do tempo é, possivelmente, o tema a que o paradigma relativístico impôs a revisão mais profunda. Como assevera Callender (2011, p. 8): “Nenhuma teoria ofereceu lições

³ Reichenbach (2021, p. 17) critica o termo “especialização” do tempo, porque a Teoria da Relatividade não autoriza a equiparação plena entre o tempo e o espaço. A diferença entre as duas grandezas está mesmo representada em equações físicas fundamentais.

mais chocantes sobre o tempo do que a teoria da relatividade”. Explicitar quais foram essas lições substantivas é um dos objetivos específicos de nossa pesquisa. Identificamos duas revisões substantivas: (a) a empreendida por Einstein, em 1905, pela Teoria Especial, que relativizou as ideias de *simultaneidade*, *duração* e *presente* (todas vinculadas à noção de tempo); e (b) a realizada por Minkowski, poucos anos depois, ao traduzir a Teoria Especial em termos geométricos, fundindo o tempo e o espaço em um *continuum* 4D. Se compreendemos bem as duas revisões, estamos aptos a fazer bom juízo das reflexões filosóficas contemporâneas sobre o tempo. Compreendendo a natureza deste, podemos, então, fazer discussão frutífera sobre ontologia e, em particular, os corpos físicos.

A dissertação divide-se em três capítulos: o primeiro é dedicado à *desabsolutização* do tempo, por Einstein (Teoria Especial da Relatividade); o segundo, à fusão do tempo com o espaço em um *continuum* indissolúvel, por Minkowski (Geometria do Espaço-Tempo); e o terceiro, às implicações ontológicas dessas duas descobertas (Quadridimensionalismo).

No Capítulo 1, serão explicados elementos e aspectos fundamentais da Teoria Especial: sua gênese, postulados, alguns de seus principais aspectos matemáticos (*Fator de Lorentz*) e a revisão da ideia arraigada de *tempo absoluto*. Os físicos clássicos supunham, nas palavras do próprio pai da Relatividade, “que todos os relógios batem ao mesmo ritmo se são de fabricação idêntica” (EINSTEIN, 2015, p. 35). Acreditava-se que o tempo escoava uniformemente, segundo um relógio cósmico com o qual todos os observadores concordavam. A Física pré-relativística estava assentada, pois, na premissa inconsciente de que o tempo era absoluto. De tão internalizado, tal postulado não era sequer verbalizado. Aos 26 anos de idade, Einstein foi perspicaz em identificar essa premissa e refutá-la. Demonstrou que a taxa de passagem do tempo é relativa ao marco de referência (*frame-dependent*), de forma que não se pode falar em um tempo universal, mas apenas em tempos particulares. Foi-nos igualmente revelado por Einstein, na Teoria Especial, que a simultaneidade de dois eventos separados não é matéria de concordância absoluta entre observadores, ou seja, ela é dependente do marco: dois lampejos que, para alguém, aparecem simultaneamente podem ser vistos, por outrem, de maneira sucessiva, a depender de sua posição e movimento. Um terceiro poderá mesmo perceber os fatos em ordem invertida. Pelo apego à intuição do tempo absoluto, jamais se cogitara na Física Clássica que a simultaneidade fosse relativa.

O Capítulo 1 ainda será ocasião para assinalar a curiosidade de que a descoberta do espaço-tempo e a conseqüente reformulação de nossa concepção de tempo não resultaram de nenhuma suspeita ou pesquisa particular sobre a quarta dimensão. Na verdade, tais novidades

emergiram do êxito da Física teórica de compatibilizar o princípio da relatividade, da Mecânica, com a lei da constância da velocidade da luz no vácuo, da Eletrodinâmica. O mérito da Teoria Especial, ao abrir novas frentes de pesquisa, será aquilatado no contexto do desafio epistemológico de reconciliar dois departamentos na Física. No primeiro capítulo, será ainda discernido o significado do *princípio da relatividade*, basilar na Física e da Astronomia. Serão decantadas duas interpretações distintas dele: a “espúria”, que equivocadamente o associa ao *relativismo* (de que as quantidades físicas são relativas); e a “depurada”, que corretamente o associa à equivalência dos marcos de referência (todas as perspectivas estão em pé de igualdade, isto é, não há marcos de referência privilegiados perante as leis naturais). Tal discernimento é fundamental para entender a constatação de Einstein na Teoria Especial de que o conflito entre o princípio da relatividade e a lei da invariância da velocidade da luz era apenas aparente.

O Capítulo 2 explorará a segunda revisão substantiva do tempo: a iniciativa minkowskiana de fundir geometricamente a quarta dimensão às três dimensões do espaço. Minkowski descobriu que a fundição das quatro dimensões era a maneira como a Teoria Especial, proposta anos antes pelo ex-aluno Einstein, podia ser traduzida matematicamente. A conclusão einsteiniana, em 1905, de que o tempo era relativo podia ser naturalmente compreendida se o mundo físico fosse pensado como espaço-tempo 4D, onde as grandezas do espaço e do tempo, apesar de heterogêneas em nossa experiência, estivessem amalgamadas, e não separadas. Como Minkowski (2020, p. 57) afirmou em palestra em 1908, “o espaço e o tempo pensados em si mesmos desvanecem em meras sombras [de uma realidade quadridimensional], e apenas uma união dos dois é que preserva sua independência”.

Veremos, no Capítulo 2, como essa curta, mas profunda, afirmação do geômetra lituano-alemão revolucionou a ontologia do mundo (de tridimensionalista para quadridimensionalista) e serviu, na década seguinte, como insumo essencial da nova teoria da gravidade. Graças à unificação do espaço e do tempo por Minkowski, Einstein pôde conceber a hipótese de que o Universo é entidade espaço-temporal suscetível de ser fisicamente deformada na presença de grandes massas. Na literatura, não é raro que o nome de Minkowski seja omitido, mesmo por autores renomados, e que a concepção original da ideia de espaço-tempo seja, de modo equivocado, implícita ou explicitamente atribuída a Einstein. Por isso, não deixamos de reivindicar o crédito que, na história da Ciência, é por vezes negado ao matemático lituano-alemão. Não deixaremos de expor, ainda que de modo breve, a discussão sobre qual geômetra foi o pioneiro na concepção do espaço-tempo: Minkowski ou o francês Henri Poincaré (1854-1912).

O segundo capítulo será, ainda, ocasião para esclarecer a distinção fundamental – negligenciada na discussão metafísica – entre duas modalidades de *quadridimensionalidade*: a clássica e a minkowskiana. Ambas concebem o Universo em quatro dimensões (três do espaço e uma do tempo), mas elas diferem no modo como tais dimensões estão relacionadas: desmembradas (no modo clássico) ou fundidas (no modo minkowskiano). Além disso, ao explorar a pouco familiar noção geométrica do espaço-tempo, destacaremos duas questões relevantes: (i) a representação dos eventos na forma de *cone de luz*; e (ii) a nova quantidade física da *distância espaço-temporal*. A primeira facilita a compreensão da nova classificação postulada pela Física Relativística dos eventos temporais (relativa a um ponto arbitrário do espaço-tempo): passado, futuro e “*alhures*”, em substituição à tradicional dicotomia simples entre passado e futuro. A segunda oferece mais um contraexemplo (além da velocidade de propagação da luz no vácuo) para desbancar o mito de que as quantidades físicas seriam sempre relativas e, assim, reforça o argumento de que a Física também lida com valores absolutos, sobre os quais todos os observadores podem concordar.

Por fim, no Capítulo 3, à luz dos postulados da Física Relativística, serão examinados dois debates ontológicos da Filosofia do Tempo. Em primeiro lugar, será discutida a questão sobre a (im)possibilidade de distinguir de modo objetivo os eventos entre passados, presentes e futuros e, associada a ela, a questão sobre se os eventos não presentes existem (*ontologia dos eventos temporais*). Aí serão expostas as duas principais teses rivais: o *eternismo* (teoria do universo em bloco) e o *presentismo* (tese tradicional segundo a qual só os eventos presentes existem). Também se descreverão as teorias ontológicas intermediárias ou híbridas (*bloco crescente*, *farol móvel*, “*grow-glow*” e *árvore minguante*), concebidas como tentativas de conciliar a Física Relativística com as ideias de futuro aberto e de especialidade do presente. Em segundo lugar, investigaremos como os corpos físicos persistem e preservam sua identidade a despeito de suas alterações no tempo (*ontologia da persistência*). Aí serão apresentadas as teses rivais do *perdurantismo* (teoria das partes temporais) e do *endurantismo*.

Mesmo cientes da ampla controvérsia entre metafísicos, sustentamos que o eternismo e o perdurantismo são *corolários ontológicos* da Física Relativística. Demonstraremos como o presentismo e o endurantismo – teses intuitivas representativas do senso comum – refletem a compreensão geométrica de mundo da Mecânica Clássica e, portanto, são incompatíveis com a Teoria da Relatividade e com a Geometria do Espaço-Tempo. A argumentação sobre a incompatibilidade do presentismo e do endurantismo com a Física Relativística pode-se dar de diferentes modos (MCGRATH, 2007, p. 732); mas, neste trabalho, nos valeremos dos

argumentos exclusivamente físicos e geométricos: seja os provenientes da Teoria da Relatividade (como, por exemplo, a relativização da simultaneidade e da “presentidade”), seja os decorrentes da geometria 4D minkowskiana-einsteiniana (analogia do tempo com o espaço). Assim, não serão abordados argumentos metafísicos de cunho analítico, como os problemas dos intrínsecos temporários (*temporary intrinsics*).

O terceiro e último capítulo compreende questões filosóficas relacionadas com a descrição relativística da Natureza: a concepção “espacializada” do tempo; as Séries-A, B e C do metafísico neo-hegeliano J. M. E. McTaggart (1866-1925); a oposição conceitual “quadridimensionalismo” *versus* “tridimensionalismo”; a impossibilidade de determinar objetivamente o presente ou de falar absolutamente no *devis*; a discussão sobre se a passagem do tempo é ilusão; a proposta de conciliação das características estática e dinâmica do tempo (*tempo ontológico vs. tempo fenomenológico*), baseada no dualismo mente-corpo da Filosofia da Mente; e breve exame dos problemas da mudança e da identidade, à luz da teoria das partes temporais, incluídas soluções aos paradoxos dos entes coincidentes, como o do *Navio de Teseu*.

Metodologicamente, nossa principal preocupação foi assegurar que a discussão metafísica sobre o tempo, objeto do Capítulo 3, fosse antecedida de clara exposição da Física Relativística. O maior erro epistemológico em que poderíamos incorrer, a nosso ver, seria nos engajar em discussões metafísicas sem embasamento científico e sem cuidadoso exame preliminar da Teoria da Relatividade e da Geometria do Espaço-Tempo. A explicação científica oferecida nos Capítulos 1 e 2 previne-nos contra o risco de argumentações metafísicas puramente especulativas e vazias. Ao definir tal dinâmica para os três capítulos, nosso intuito foi garantir que a leitura das teorias ontológicas estivesse firmemente ancorada nos postulados relativísticos e do mundo absoluto 4D de Minkowski. Tal estrutura metodológica reflete, a propósito, a ordem pela qual nós mesmos adquirimos familiaridade com a temática da pesquisa: primeiro, pelo entendimento do substrato físico; depois, pelo exame da discussão metafísica, que constitui prolongamento da Física e da Geometria.⁴

Neste trabalho, atribuímos, pois, importante peso ao caminho lógico que conduz às conclusões ontológicas. A ênfase na Ciência justifica-se, em parte, por nossas constatações de que não é pouco numeroso o grupo de metafísicos que se aventuram no debate sobre o tempo

⁴ É importante esclarecer que a Metafísica com que lidamos aqui, bem ao contrário de significar disciplina “anticientífica”, é um prolongamento da Física. Em nossa definição, ela tem por objeto temas físicos que podem ser abstraídos logicamente, mas não demonstrados empiricamente. Falamos, assim, da Metafísica da Ciência – ou da Filosofia da Física, definida por Pessoa Jr. (2014) como o estudo dos problemas físicos ainda não resolvidos ou dos conceitos e entes físicos inobserváveis (que não podem ser discernidos por meio de experimentos e cálculos).

sem clara compreensão da Teoria da Relatividade e de que é limitado o número de filósofos renomados do século XX familiarizados com a imagem de mundo minkowskiana-einsteiniana – nessa classe de pensadores podem ser incluídos Bertrand Russell (1872-1970), Rudolf Carnap (1891-1970), Hans Reichenbach (1891-1953), Karl Popper (1902-1994), Willard V. O. Quine (1908-2000), Hilary Putnam (1926-2016) e David Lewis (1941-2001).

Não é demais sublinhar o protagonismo da Ciência quando o assunto é a natureza do tempo. É preciso reconhecer, com Ismael (2021, p. xvi), que as descobertas da Física Relativística entre 1905 e 1916 dificilmente teriam sido alcançadas por meio da pesquisa filosófica. Reichenbach mesmo ponderou que “é um projeto inútil investigar a natureza do tempo sem estudar a física” (2021, p. 17) e que “precisamos recorrer à física se quisermos entender o tempo em si, e não meras apreensões psicológicas dele” (2021, p. 9). Concordam nisso metafísicos de distintas filiações. O tridimensionalista Zimmerman (2011, p. 238) argumenta, por exemplo, como Reichenbach, que “os metafísicos não podem ignorar os progressos alcançados na física, se quiserem levar a sério seu projeto filosófico”, pois ela “representa o melhor esforço humano para descrever a estrutura fundamental da natureza”. No mesmo diapasão, o quadridimensionalista Sider (2001, p. xiv) defende a deferência da Metafísica à Ciência, aduzindo que o melhor argumento que o rival de uma tese ontológica poderia desejar é a incompatibilidade dela com uma teoria científica estabelecida. É natural que invoquemos a autoridade da Relatividade para iluminar e solucionar controvérsias filosóficas. Os argumentos científicos são nosso penhor contra conclusões metafísicas clandestinas.

Compreendemos, de um lado, a asserção de Reichenbach (2021, p. 8) de que “o estudo do tempo é um problema da física”. A resposta à questão “o que é o tempo?” não pode ser emotiva e subjetiva, nem restrita às experiências psicológicas e fenomenológicas do fluxo do tempo. A própria Teoria Especial mostrou-nos que nosso julgamento sobre tal fluxo – no sentido de ritmo dos ponteiros do relógio – é matéria passível de engano e objeto de desacordo entre observadores. O tempo pode passar mais rápido ou mais devagar, a depender do sistema de coordenadas (posição de um corpo em relação a eixos perpendiculares), e não há meio de chegar a acordo universal e objetivo sobre a taxa de passagem do tempo. Foi preciso investigar o tempo além de sua expressão métrica, isto é, buscando sua característica ontológica fundamental, sobre a qual todos os observadores possam concordar, independentemente do sistema de coordenadas. Para isso, a contribuição geométrica de Minkowski foi valiosa.

De outro lado, também compreendemos que o fluxo do tempo é dado fundamental de nossa percepção da realidade. Logo, há ostensivo conflito entre a ideia estática do tempo,

proveniente da Física, e a dinâmica, procedente da Fenomenologia. Tal antagonismo, do tipo *estoque vs. fluxo* (dicotomia usada na Contabilidade), reclama pacificação, e estamos convictos de que a Filosofia – em particular, a Filosofia da Mente – tem algo a dizer nessa questão. Essa importante questão será enfrentada no Capítulo 3, quando expusermos a proposta conciliatória que denominamos convencionalmente como “cinemática da consciência”. Demonstraremos que, a despeito do prestígio da Ciência, a Filosofia tem muito a acrescentar na matéria.

Como salienta Sider (2001, p. xiv), “a ciência deixa invariavelmente muitas questões em aberto”, e uma delas é, por exemplo, em sua opinião, a questão sobre se as coisas têm partes temporais (*perdurantismo*, a ser explorado no Capítulo 3). A temática do tempo constitui, com efeito, uma das fronteiras a serem desbravadas pelos filósofos, sobretudo na dimensão conceitual. Sabemos do papel essencial que a Filosofia desempenha no estudo e na revisão dos conceitos; e, no campo especializado da Filosofia do Tempo, não é diferente. Esta dissertação propõe-se, assim, a discernir os principais usos e aspectos comportados sob o conceito de “tempo”: (i) *tempo físico* ou *ontológico*, que remete ao aspecto qualitativo primário da quarta dimensão do Universo, de caráter estático, “especializado” e simétrico; (ii) *tempo fenomenológico*, que remete ao aspecto qualitativo secundário do tempo, percebido pela consciência como fluxo assimétrico; (iii) *tempo-relógio*, *tempo-intervalo* ou *tempo-duração*, que designa o aspecto quantitativo ou métrico: a medição de um intervalo entre dois eventos; e (iv) *tempo psicológico*, associado às variações subjetivas na percepção da passagem do tempo.

Entre tais acepções do tempo, daremos destaque à primeira, pois, além de qualitativa e objetiva, é a concepção contraintuitiva que emergiu da Física Relativística, geradora de perplexidade para o senso comum. A segunda acepção também nos será de proveito na medida em que serve de contraponto ao tempo ontológico e expressa um paradoxo a ser filosoficamente solucionado. A terceira acepção mostrar-se-á útil na compreensão da Teoria Especial. A quarta merece menção apenas como contraponto ao tempo físico e objetivo (qualitativo ou quantitativo). Pela decantação conceitual, estaremos em condição de adotar discurso abrangente e coerente sobre o tempo, que leve em conta tanto nossa percepção quanto a descrição física.

Cabe esclarecer a concepção filosófica do espaço-tempo que adotamos como premissa fundamental desta dissertação. Assumimos posição *realista* e *substantivista*. Em primeiro lugar, aderimos ao realismo porque, como será exposto no Capítulo 2, não nos parece razoável negar significado físico-ontológico ao *continuum* quadridimensional e atribuir-lhe função apenas matemática. Com o respaldo de autores como o astrofísico britânico Arthur Eddington, entendemos que a unificação do espaço e do tempo em uma figura 4D não constitui mera

ilustração ou exercício matemático; é o mundo real da Física. Mas somos realistas também em um segundo sentido: no de negação do *idealismo* (a tese ontológica segundo a qual nada existiria além da experiência dos sujeitos). Cremos, com Russell (1926), que “é um erro supor que a relatividade adota uma imagem idealista do mundo”, pois o “observador” a que Einstein se refere em suas exposições não é necessariamente uma mente viva; pode ser, como bem assinala o filósofo britânico, mera chapa fotográfica ou qualquer instrumento de registro. Assim, o espaço-tempo é, para nós, hipótese *realista* em dois sentidos: não é simples ferramenta matemática, e sua existência não depende dos sujeitos conscientes.

Em segundo lugar, adotamos, além da premissa realista, a posição de que o *continuum* minkowskiano-einsteiniano tem existência independente de seu conteúdo, isto é, sua realidade não resulta apenas da relação entre os objetos contidos nele. Aderimos, pois, ao *substantivismo*, tese-padrão dentro do realismo, oposta ao *relacionismo* (BALASHOV, 2010, p. 1). Segundo Zimmerman (2011, p. 180), há fortes razões para presumir que a Teoria Geral da Relatividade requer o substantivismo. Essa Teoria postula um Universo que, embora não possa ser definido como “material” (no sentido científico de estar composto por matéria), é suscetível de deformações pelos entes materiais presentes nele e, portanto, é, em algum sentido, “físico”. A noção substantivista parece-nos a que melhor se conforma tanto à noção do espaço-tempo como palco onde as coisas e eventos têm lugar (imaterial, mas físico) quanto à ideia de campo gravitacional (deformação do tecido do Universo). Realismo e substantivismo são, pois, as duas premissas filosóficas de nosso trabalho relacionadas com o espaço-tempo.

Recorreremos à Matemática algumas (poucas) vezes na dissertação, seguindo o princípio de utilizá-la apenas quando for útil às explicações. Evitamos o formalismo porque prezamos pela clareza da argumentação e a fluidez do texto. Usamos, no máximo, raízes quadradas e o Teorema de Pitágoras, de modo que a compreensão das equações requer apenas conhecimentos básicos de álgebra. Vale, para nosso trabalho, a observação feita por Einstein no início do prefácio de *Relativity: The Special and General Theory* (ou “Livreto”, como o autor carinhosamente se referia à sua obra): “Este livro pretende, na medida do possível, dar vislumbre exato da Teoria da Relatividade àqueles leitores que estão interessados na teoria, do ponto de vista científico e filosófico geral, mas que não estão familiarizados com o aparato matemático da física teórica” (EINSTEIN, 2015, p. 10).

Como reflexo de nosso compromisso com a clareza, a seleção das fontes bibliográficas buscou valorizar autores que se notabilizaram não somente pelo domínio do tema, mas também pela capacidade de traduzir o conteúdo técnico para linguagem acessível ao público filosófico.

Entre eles, destaca-se Arthur Eddington (1882-1944), que, além de ter participado do primeiro teste empírico da Teoria Geral em 1919 (registros astrográficos do eclipse solar total de 29 de maio), exerceu importante papel histórico na popularização da Relatividade. Também mereceram destaque, na bibliografia, o próprio Einstein, cujo “Livreto” democratizou o acesso à sua teoria, e outros cientistas ou matemáticos como George Gamow (1904-1968), Richard Feynman (1918-1988), Roger Penrose (1931-) e Julian Barbour (1937). Entre os filósofos consultados, sobressaem Agostinho, Russell, Reichenbach e Popper. Fomos criteriosos na seleção ao dar preferência aos escritores mais influentes, sobre cuja autoridade não paira dúvida. É nas virtudes deles que nosso trabalho buscou, aliás, se inspirar.

A esmagadora maioria dos itens bibliográficos está em inglês, idioma em que esse debate é predominantemente feito. Todas as citações são traduções nossas para o vernáculo, regra que adotamos rigorosamente, com raras exceções, quando preferimos manter a versão original. Quanto às obras em português, quatro autores brasileiros são referenciados no trabalho: Ronaldo Rogério Mourão (1935-2014), Osvaldo Pessoa Jr. (1959-), Otto Lara Resende (1922-1992) e Otto Maria Carpeaux (1900-1978).

Quanto à terminologia, a expressão *Física Relativística* é empregada nesta dissertação em oposição ao conceito de *Física Clássica*, entendido como o arcabouço teórico que tem por pilares as obras de Galileu Galilei (1564-1642) e de Isaac Newton (1643-1727). Para evitar confusão ou ambiguidade, convém observar que o léxico “clássico” tem duplo valor semântico quando aplicado à Física fora desta dissertação. Além de designar a Física anterior à Relatividade, o adjetivo “clássico” também pode ser usado no contexto da Mecânica Quântica para se referir à modalidade da Física que não incorpora conceitos quânticos. A Relatividade pode ser qualificada como “clássica” apenas na segunda acepção. Neste trabalho, empregamos o termo “clássico” exclusivamente na primeira acepção, isto é, para designar a Física pré-relativística, que não incorpora as ideias de *tempo relativo* e de *fusão espaço-temporal*.

Cabe última observação introdutória. Como o objeto desta pesquisa remete a uma representação contraintuitiva da realidade, a familiarização com essa descrição supõe esforço para vencer a natural resistência inicial. O filósofo deve estar pronto a contemplar imagens não familiares e a questionar concepções ordinárias. Imaginar mentalmente uma figura geométrica com quatro eixos, todos perpendiculares entre si, não é tarefa nada fácil para nossa consciência tridimensional. Socorre-nos a analogia geométrica com as dimensões inferiores. Ao presumir a baixa assimilação do conhecimento relativístico pelo senso comum, o trabalho tem o objetivo secundário de disseminar a compreensão quadridimensionalista da realidade.

CAPÍTULO 1 – A REVOLUÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE: UM NOVO *TEMPO* COM ALBERT EINSTEIN

Entre 1905 e 1908, Einstein e Minkowski introduziram mudanças fundamentais em nossas ideias de tempo e espaço.

(Arthur S. Eddington, *A Natureza do Mundo Físico*, p. 1)

Neste Capítulo, nosso objetivo é duplo. Primeiro, caracterizaremos a Teoria da Relatividade, de Albert Einstein (1879-1955). A caracterização, naturalmente não exaustiva, incluirá aspectos epistemológicos e históricos, a saber: (i) distinção das versões Especial e Geral da Teoria e desafio epistemológico envolvido na transição de uma à outra; (ii) discussão sobre o caráter revolucionário e original da Relatividade, à luz de seu contexto histórico e do trabalho dos antecessores de Einstein; e (iii) relevância da Teoria Geral. Com a apresentação desses aspectos, pretendemos expor, desde o início, os traços mais importantes da *mudança paradigmática* que a teoria de Einstein representou na Física teórica.

Em segundo lugar, discorreremos sobre o que consideramos ser a primeira revisão fundamental a que foi submetido o *tempo*, operada pela Teoria Especial, em 1905. Nesse bloco, abordaremos: (i) o *princípio da relatividade*; (ii) a solução de Einstein para o dilema da Física teórica do século XIX; (iii) aspectos quantitativos da Teoria Especial (*Fator de Lorentz*); e (iv) a relativização das ideias de *duração* e de *simultaneidade*. A segunda revisão do conceito de *tempo*, operada por Hermann Minkowski e requintada por Einstein, será objeto do Capítulo 2.

1.1 Teoria da Relatividade: aspectos epistemológicos e históricos

1.1.1 Teoria Especial vs. Teoria Geral

Nesta dissertação, são utilizados corriqueiramente os conceitos de “Teoria Especial (ou Restrita)” e de “Teoria Geral” da Relatividade. Convém esclarecer, desde logo, o significado de cada um. Os qualificativos “Especial” e “Geral” servem para distinguir duas versões sucessivas da Teoria da Relatividade, respectivamente: a de escopo restrito, elaborada e publicada por Einstein em 1905, e a de escopo expandido, concluída por ele em 1915 e publicada em 1916. A designação “Especial” (ou “Restrita”) faz alusão à limitação da Teoria: a de que a aplicação do princípio da relatividade – um dos postulados teóricos – se restringia aos sistemas então considerados inerciais, isto é, em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. A qualificação “Geral” exprime a virtude da versão ulterior de generalizar o princípio, ou seja, de estendê-lo a todos os sistemas de coordenadas, mesmo os não inerciais

(movimentos não uniformes e curvos). Como observa Stannard (2017, prefácio), a teoria de 1905 constitui caso especial da teoria abrangente de 1915.

O próprio Einstein (2015, p. 74) faz a distinção das versões restrita e geral da Teoria:

A validade do princípio da relatividade foi presumida apenas para esses objetos de referência [movimento retilíneo uniforme e não rotatório], mas não para outros (isto é, aqueles com outro tipo de movimento). Nesse sentido, falamos do princípio especial da relatividade ou da teoria especial da relatividade. Em contraste, por “princípio geral da relatividade” queremos nos referir à seguinte afirmação: Todos os corpos de referência K , K' , etc. são equivalentes para a descrição dos fenômenos naturais (formulação das leis gerais da natureza), independentemente de seu movimento.

A generalização da relatividade permitiu incorporar a gravidade no arcabouço explicativo. É o que afirma sucintamente Mourão (1997, p. 48): “Ao estender, em 1915, sua teoria aos referenciais acelerados, Einstein criou a relatividade geral, onde a gravitação surge como propriedade geométrica do espaço-tempo”. Nesta definição ainda mais didática, publicada, em 28/11/1919, no jornal *The Times*, de Londres, a gravitação é apontada por Einstein (2015, p. 1-2) como elemento diferenciador das Teorias Especial e Geral:

A teoria da relatividade assemelha-se a edifício de dois andares separados: a teoria especial e a teoria geral. A teoria especial, sobre a qual a teoria geral repousa, aplica-se a todos os fenômenos com exceção da gravidade; a teoria geral apresenta a lei da gravidade e suas relações com outras forças da natureza.

Outra distinção das teorias, dada por Guntfreund & Renn (2015, p. 204), enfoca a presença da gravidade como elemento distintivo, mas agrega ao quadro outro aspecto: a *geometrização da gravidade*, isto é, a fusão das ideias de campo gravitacional, geometria espaço-temporal de Minkowski e geometria não plana:

Historicamente, as teorias especial e geral da relatividade foram elaboradas e apresentadas como duas teorias separadas. Hoje, são compreendidas como dois elementos de uma teoria da relatividade, distinguidos pela presença de um campo gravitacional. Essa percepção é ainda mais natural na descrição do espaço-tempo de Minkowski. A relatividade geral distingue-se da especial pela estrutura geométrica do ‘continuum’ quadridimensional de base. A teoria especial pode ser compreendida como a teoria geral em uma geometria plana.

Greene (2020), por sua vez, define a Teoria Especial e a Geral em termos de escalas do mundo físico. A Especial é, nessa acepção, a teoria da Física modernamente aplicável aos *extremos de velocidade* (p. ex., partículas subatômicas em aceleradores). Já a Geral é a teoria moderna aplicável a *grandes quantidades de massa* concentradas, como é o caso, por exemplo, dos buracos negros, estrelas e planetas.⁵

⁵ Segundo Greene (2020), ao extremamente pequeno a teoria moderna aplicável é a Mecânica Quântica.

Neste trabalho, cujo foco repousa no conceito relativístico de “tempo” e na ontologia quadridimensionalista decorrente dele, a Teoria Especial ser-nos-á de especial interesse. Ela não só revolucionou as noções de *simultaneidade* e de *duração*, tradicionalmente tidas como absolutas, mas preparou o terreno para o aparecimento da geometria quadridimensional espaço-temporal de Minkowski (*espaço-tempo*). A Teoria Geral, muito mais complexa, nos interessará na medida em que, ao incorporar a geometria não plana de Bernhard Riemann (1826-1966) aplicada ao espaço-tempo minkowskiano, reforçou a ideia do “tempo” como dimensão análoga a cada dimensão espacial e parte indissolúvel do tecido do universo, passível de deformação. A Geometria Minkowski e a Física de Einstein convergiram no sentido de abandonar a concepção tradicional do tempo como entidade independente e separada do espaço.

1.1.2 A transição da Teoria Especial para a Geral: necessidade epistemológica

Para Einstein, generalizar o princípio da relatividade, isto é, remover a restrição da Teoria Especial de 1905, era uma necessidade epistemológica. Incomodava-o que a teoria estivesse limitada aos marcos de referência inerciais, isto é, a sistemas de coordenadas em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. O incômodo do físico aparece, em forma expressiva, neste trecho (EINSTEIN, 2015, p. 85-86):

Nenhuma pessoa cujo modo de pensar seja lógico pode descansar satisfeito com essa condição das coisas. Ela perguntaria: como é que certos corpos de referência (ou seus estados de movimento) têm prioridade sobre outros corpos de referência (e seus estados de movimento)? Qual a razão para essa preferência?

A Teoria Especial previa, por exemplo, com precisão a divergência entre um relógio estacionado e outro situado dentro de um trem a velocidade constante (para usar o meio de transporte a que Einstein frequentemente aludia),⁶ mas falhava se a qualquer desses marcos fosse imprimida aceleração ou desaceleração. Ela padecia de uma deficiência, que Einstein não procurava esconder: “Na mecânica clássica, e não menos na teoria especial da relatividade, há um inerente defeito epistemológico, que foi, talvez pela primeira vez, claramente apontado por Ernst Mach” (EINSTEIN, 2020, p. 112).

Esse trecho atesta o crédito dado pelo pai da Relatividade a Ernst Mach (1838-1916).⁷ Einstein não fazia segredo de que sua missão epistemológica – a de, por meio da generalização

⁶ Hoje, para fazermos comparações, podemos recorrer a supersônicos, foguetes ou espaçonaves. No início do século XX, Einstein recorria a trens em seus exemplos.

⁷ Curiosamente, segundo Popper (2010, p. 233, rodapé, nota 8), Mach, que ainda viveu por 11 anos após a Teoria Especial da Relatividade, nunca deixou de se opor veementemente a ela.

do princípio da relatividade, corrigir o defeito que a Teoria Especial compartilhava com a Mecânica Clássica – se inspirava no trabalho do físico e filósofo austríaco. O reconhecimento a Mach também é encontrado nesta outra passagem da obra einsteiniana, em que o físico trata do problema, mencionado antes, da limitação da mecânica clássica e da Teoria Especial da Relatividade a certos tipos de movimentos cinéticos:

Newton viu essa objeção e tentou, sem sucesso, invalidá-la. Mas E. Mach foi quem mais claramente a reconheceu, e, por causa de sua objeção, reivindicou que a mecânica deveria receber nova fundamentação. Ela [a objeção] só pode ser removida por meio de uma física que concorde com o princípio geral da relatividade, visto que as equações dessa teoria valem para todo marco de referência, independentemente de seu estado de movimento. (EINSTEIN, 2015, p. 86-87).

Einstein estava, portanto, convicto – em suas próprias palavras – de que “as leis da física devem ser de tal natureza que sejam aplicáveis aos sistemas de referência em qualquer tipo de movimento” (EINSTEIN, 2020, p. 113). Como observam Huggett et al (2023), o desejo de Einstein, a partir de 1907, era substituir a Relatividade Restrita com uma teoria pela qual não apenas a velocidade, mas também a aceleração, fosse considerada relativa.

Poucos intelectuais ter-se-iam aventurado no desafiante projeto de generalização do princípio da relatividade, mas Einstein se dedicou a ele de corpo e alma de 1907 a 1915. A Teoria Geral pode ser vista, assim, como fruto da convicção e da persistência de Einstein por oito anos – os últimos quatro dos quais, aliás, foram marcados por “intenso e muitas vezes agonizante trabalho” (BARBOUR, 1999, p. 155). O esforço foi recompensado porque, em 1915, Einstein chegou, “de forma epistemologicamente satisfatória, à extensão do postulado da relatividade”, como ele próprio confirma (EINSTEIN, 2020, p. 113).

1.1.3 Revolução na Física: a contraintuitividade da Teoria da Relatividade

A nova descrição do Universo pela Física Relativística desafiou muitas de nossas intuições arraigadas sobre a realidade e revelou “preconceitos herdados sobre o tempo e o espaço” (EINSTEIN, 2015, p. 65). Além do tempo e do espaço, a Cosmologia e conceitos basilares da Física como gravidade, massa e energia foram substancialmente revistos pela Teoria da Relatividade. Esse conjunto de novidades obrigou-nos a submeter nossa compreensão habitual da Natureza a séria revisão. Como sublinhou Eddington (1987, p. xi), a nova concepção do universo revelou “um mundo estranhamente não familiar”, que requer “exercício mental incomum”. Russell salientou a necessidade de esforço imaginativo para superar a contraintuitividade dos postulados relativísticos:

O que é preciso é uma mudança de nossa representação imaginativa do mundo – uma representação que herdamos de ancestrais remotos, talvez pré-humanos, e que tem

sido aprendida por cada um de nós na primeira infância. Uma mudança em nossa imaginação é sempre difícil, especialmente quando não somos jovens. O mesmo tipo de mudança foi requerido por Copérnico, que ensinou que a Terra não era estacionária e que os céus não a orbitavam diariamente. Para nós, hoje, não há dificuldade nessa ideia, porque a aprendemos antes de que nossos hábitos mentais se tornassem fixos. De maneira análoga, as ideias de Einstein parecerão mais fáceis para as gerações que crescem com elas; mas, para nós, certo esforço de reconstrução imaginativa é inevitável (RUSSELL, 2009, p. 1-2).

Russell (2009, p. 3) assinala que a compreensão da Teoria da Relatividade depende, em grande medida, do abandono de noções úteis na vida ordinária. Pode-se falar, assim, em um problema de inadequação cotidiana (ou de inconveniência prática), que limita a assimilação de teorias científicas contraintuitivas. O que, do ponto de vista teórico, constitui necessidade da razão se revela frequentemente inadequado do ponto de vista prático. É o que o citado filósofo chama de o “sucesso do senso comum”. A ilustração de Russell é expressiva: “Você, portanto, afirma e pensa que viajou para Edimburgo, e não que Edimburgo viajou até você, embora a última afirmação seja [do ponto de vista físico] tão correta quanto a primeira” (2009, p. 4).⁸

A contraintuitividade relativamente acentuada da Teoria da Relatividade,⁹ isto é, sua capacidade de contradizer nossas expectativas habituais, é o que, para Russell (2009, p. 8), explicaria tanto seu baixo grau de assimilação quanto sua atratividade. “A teoria da relatividade alterou nossa visão da estrutura fundamental do mundo; essa é a fonte de sua dificuldade e de sua importância” (RUSSELL, 2009, p. 55).

A observação do filósofo britânico, feita por volta de 1925, conserva sua validade: se, de um lado, a Relatividade continua atraindo a atenção do público; de outro, tem sido difundida com lentidão desde que a Teoria Geral adquiriu fama em 1919. A representação da Natureza que, de maneira persistente, ainda predomina como senso comum é a tradicional, pré-relativística, mesmo que as teses postuladas pela Relatividade venham sendo empiricamente confirmadas por mais de 100 anos, com refinamento crescente. Segundo Mourão (1997, p. 17), o próprio Einstein afirmava que o adulto normal não se preocupa com os problemas da conceituação do espaço e do tempo, porque, desde a infância, foram inculcados em sua mente certos conceitos e interpretações sobre o que chamamos *realidade*.

Certamente, o hermetismo e a complexidade matemática dificultam a disseminação dos postulados da Física Relativística, mas o caráter contraintuitivo dos conceitos, em particular o da quadridimensionalidade espaço-temporal minkowskiana do Universo (a ser abordada no

⁸ Vide, adiante, nossa discussão sobre o *princípio da relatividade* (subseções 1.2.1 e 1.2.7).

⁹ A contraintuitividade da Teoria da Relatividade não é tão acentuada quanto a da Mecânica Quântica.

Capítulo 2), parece-nos ser a principal barreira de acesso ao novo conhecimento e à aceitação por alguns filósofos de teses metafísicas como as do eternismo e perdurantismo.

A literatura reconhece o caráter “revolucionário” da Teoria da Relatividade na história da Física, no sentido positivo de algo transformador e inovador, bem como seu caráter “intimidante”. Eddington sublinha que Einstein “provocou revolução do pensamento na ciência física” ao relegar o espaço e o tempo à perspectiva do observador (1987, Prefácio, p. xi). Muitos outros filósofos, físicos e astrônomos renomados concordam em que a Teoria revolucionou nossa compreensão da Natureza, mas, de outro lado, também reconhecem que ela impôs desafios de entendimento para os leigos. Na abertura de seu *ABC da Relatividade*, de 1925, afirma Russell (2009, p. 1): “Todo mundo sabe que Einstein fez algo de assombroso, mas apenas alguns sabem exatamente o que era. Em geral, reconhece-se que ele revolucionou nosso conceito do mundo físico, mas as novas concepções estavam envoltas em technicalidades matemáticas”. Einstein mesmo identificou a necessidade de popularizar a Relatividade ao preocupar-se em escrever um livro voltado ao público leigo, com argumentação não técnica: *Relatividade: a Teoria Especial e Geral* (EINSTEIN, 2015).

Foi, com efeito, como *revolucionária* que a Teoria Geral da Relatividade veio a lume no palco internacional. Ela foi apresentada ao público amplo, pela primeira vez, em novembro de 1919, quando foram anunciados os resultados das observações do eclipse solar de 29 de maio daquele ano. Essas haviam confirmado a predição de Einstein de que o trajeto da luz é desviado, em certa magnitude, ao passar pelo campo gravitacional de um astro maciço como o Sol, por causa da curvatura do espaço-tempo. Na edição histórica de 7/11/1919, o jornal *The Times*, de Londres, estampou em sua manchete: “*Revolution in Science, New Theory of the Universe, Newtonian Ideas Overthrown*”.

O termo *revolução* é, a nosso ver, adequado para qualificar o surgimento de um novo paradigma na Mecânica; por isso, a opinião de que a notícia teria sido “até certo ponto sensacionalista” (MOURÃO, 1997, p. 13) parece-nos fora de lugar. A substituição do paradigma newtoniano, que sustentara hegemonia por mais de 200 anos, representava proeza nada vulgar. Nesse sentido, compreende-se por que o noticiário, publicado quatro anos após a conclusão de sua Teoria Geral, fez de Einstein um “astro” internacional da Ciência.

A Teoria da Relatividade de Einstein demonstrou que as leis mecânicas e a teoria da gravitação de Newton, que haviam sido a firme base da Física por mais de dois séculos, estavam incompletas e imprecisas, sobretudo quando tais leis eram aplicadas a corpos a altas velocidades ou na presença de significativas massas (campos gravitacionais). Mais do que isso; como

frisamos antes, o físico teuto-suíço reinterpretou a Natureza, propondo nova compreensão de conceitos fundamentais como o tempo, o espaço e a gravidade. Além disso, graças a suas previsões e aplicações bem-sucedidas, a Teoria da Relatividade tornou-se emblemática da respeitabilidade da Ciência. O seguinte testemunho do filósofo Karl Popper (1902-1994), que em sua juventude sentiu de perto o fulgor da nascente Física moderna, ilustra o poder de atração da Teoria: “Entre as teorias que me interessavam, a da relatividade foi, sem dúvida, de longe, a mais importante” (POPPER, 2010, p. 44). Nesse sentido, parece-nos correta a seguinte afirmação subscrita pelo Instituto Minkowski: “Há várias décadas não se registra um avanço na física fundamental tão revolucionário quanto a teoria da relatividade e a mecânica quântica, apesar dos progressos sem precedentes na física aplicada e na tecnologia”.¹⁰

A revolução promovida pela Teoria da Relatividade impactou não somente a Física – nossa compreensão da matéria, da energia e do movimento –, mas também a Geometria, como veremos no Capítulo 2. Não foi nada banal que a Geometria de Euclides tenha sido destronada depois de milênios de soberania estável (CARPEAUX, 2014, p. 31) e que a Geometria não euclidiana tenha ocupado lugar de destaque e sido incorporada na Física contemporânea. Os ares revolucionários da Relatividade foram igualmente sentidos na Filosofia, em particular na Metafísica. Abraham Pais (1918-2000), autor da biografia de Einstein mais respeitada (em virtude de seu rigor científico), assinala que a relatividade especial levou a novos modos de reflexão filosófica (PAIS, 2015, p. 163).

1.1.4 Teoria Geral da Relatividade: a grande realização de Einstein

Vários fatores, alguns abordados acima, concorrem para respaldar a conclusão de que a Teoria Geral consiste na maior realização de Einstein. Entre as virtudes dessa criação intelectual, estão sua originalidade, sua realização epistemológica e sua capacidade de sobrevivência aos mais rigorosos testes empíricos de refutação ao longo de mais de 100 anos, sem falar na inestimável contribuição dada à cosmologia e à tecnologia. Segundo Eddington (1987, p. 200): “A teoria da Relatividade passou em revista o inteiro conteúdo da Física. Unificou grandes leis, que, pela precisão de sua formulação e a exatidão de sua aplicação, ganharam a honrosa posição que a ciência física ostenta hoje no conhecimento humano”.

¹⁰ O Instituto Minkowski é organização que tem entre seus objetivos o de contribuir com pesquisas voltadas à superação do atual impasse na Física fundamental. A citação está disponível em <https://minkowskiistitute.com/>. Acesso em: 21 ago. 2024. Vide Referências: INSTITUTO MINKOWSKI, 2024.

A Teoria Geral é o alicerce de “toda a cosmologia moderna” (MOURÃO, 1997, p. 70), ao oferecer hipóteses inovadoras sobre o universo, inclusive sobre a teoria dos buracos negros. Penrose (2005, p. xxvii) pontua que, antes da teoria einsteiniana, “quase nada confiável podia ser dito sobre a estrutura do universo como um todo, mas Einstein foi rápido em perceber que sua teoria geral podia realmente ser aplicada ao universo por inteiro”. “Até aquilo que o físico considerava ser seu ‘maior equívoco’, a saber a introdução da constante cosmológica em 1917 (que o havia impedido de prever a expansão do universo), provou-se ser ingrediente fundamental da cosmologia moderna desde 1998” (PENROSE, 2005, p. xxvi-xxvii).¹¹

A Relatividade Geral está na origem da cosmologia observacional, e não o contrário, pois as observações cosmológicas não exerceram papel relevante em sua gênese. As verdadeiras sementes da Teoria Geral foram a epistemologia e a filosofia do espaço/tempo, muito mais do que as observações empíricas disponíveis da época, o que revela seu caráter não indutivo.

Tendo sido feitas a caracterização e a contextualização histórica da Teoria da Relatividade, estamos aptos a explorar, a seguir, na Seção 1.2 deste Capítulo, a primeira modificação do conceito tradicional do *tempo*, efetuada por Einstein em 1905: a relativização da *duração* e da *simultaneidade*. Embora tais noções já tenham podido ser assimiladas pelos físicos, ainda continuam estranhas ao senso comum e admitem exploração pelos filósofos.

1.2 Teoria Especial da Relatividade (1905): a primeira revisão do *tempo*

O ano de 1905 é chamado o “Ano Milagroso” (*Annus Mirabilis*), porque, em questão de meses, o então jovem Einstein publicou vários textos que lançaram as bases da Física contemporânea (PAIS, 2015, p. 17-18): (i) artigo de 17/3 sobre o efeito fotoelétrico;¹² (ii) tese de doutorado, sobre determinação das dimensões moleculares (segundo Pais, o texto mais citado na literatura moderna); (iii) 1º artigo sobre movimento browniano, recebido pela revista *Annalen der Physik* em 11/5; (iv) 1º artigo sobre a relatividade especial, recebido em 30/6; (v) 2º artigo sobre a relatividade especial, com a célebre fórmula $E = mc^2$, recebido em 27/9; e

¹¹ Quanto à especulação sobre a estrutura do universo como um todo, Einstein ousou questionar, com certa segurança, a tese de que o espaço seria infinito. Segundo ele mesmo observou (2015, p. 125), “o desenvolvimento da geometria não euclidiana permitiu que lançássemos dúvida sobre a infinitude do nosso espaço sem entrar em contradição com as leis da razão ou com a experiência”. E, sobre a mesma questão, acrescentou: “Uma das questões mais interessantes que surge para os astrônomos e físicos é a de se o universo em que vivemos é infinito, ou se é finito da maneira do universo esférico. Nossa experiência está longe de ser suficiente para que estejamos habilitados a responder a essa questão. Mas a teoria geral da relatividade permite que respondamos a ela com moderado grau de certeza” (EINSTEIN, 2015, p. 129-130).

¹² O artigo sobre o efeito fotoelétrico angariaria ao autor o Nobel em Física. O prêmio era referente a 1921, mas foi atribuído a Einstein em 1922 (“por seus serviços à Física Teórica e, especialmente, por sua descoberta da lei do efeito fotoelétrico”).

(vi) 2º artigo sobre o movimento browniano, em 19/12. Essa produtividade e versatilidade valem a nota do biógrafo: “ninguém ampliou tanto os horizontes da Física, em tão curto espaço de tempo, quanto Einstein em 1905” (PAIS, 2015, p. 47).

Nesta Seção, exploraremos o item *iv*: a Teoria Especial da Relatividade. Por ela, Einstein realizou a façanha epistemológica de conciliar dois postulados da Física que, desde o século XIX, pareciam incompatíveis: (a) o “princípio da relatividade”, proveniente da Mecânica Clássica; e (b) a lei proveniente da Eletrodinâmica e da Óptica segundo a qual a luz e as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com velocidade constante c , independentemente do movimento do corpo emissor ou do observador (lei da invariância da velocidade da luz).

Para fazer a harmonização epistemológica há muito desejada pelos físicos teóricos, Einstein não precisou revogar nenhum dos postulados conflitantes. Ambos foram preservados. Tampouco precisou conceber uma terceira hipótese artificial e arbitrária como a da suposta existência do éter (ou marco de referência absoluto). Os dois postulados citados eram suficientes para formular uma teoria conciliadora da Eletrodinâmica com a Mecânica. No início do célebre artigo da Teoria Especial da Relatividade (“Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”), Einstein fez justamente estas observações: “Esses dois postulados bastam para alcançar uma teoria simples e consistente da eletrodinâmica de corpos em movimento [...]. A introdução de um ‘éter luminífero’ se provará supérflua na medida em que a visão a ser aqui desenvolvida não requererá um espaço absolutamente estacionário” (EINSTEIN, 2020, p. 38).¹³

A solução einsteiniana para o dilema, como se verá nas subseções 1.2.3, 1.2.4 e 1.2.6, envolverá a revisão contraintuitiva do conceito de *tempo*. As ideias de *duração* e de *simultaneidade* se tornarão ambíguas, isto é, relativas ao ponto de vista do observador. Isso permitiu a Einstein descobrir que o conflito epistemológico de sua época entre os dois postulados era apenas *aparente* e descartar como supérflua a hipótese do marco absoluto.

A seguir, mostraremos que a conclusão einsteiniana de que o conflito dos dois postulados físicos era meramente aparente supõe certa interpretação do primeiro, o *princípio da relatividade*. Compreender como a Teoria Especial logrou fazer a conciliação teórica requer, antes de tudo, mastigar o conceito de *relatividade*. Veremos que o significado da expressão não é unívoco, o que dá muita margem a confusão. A depender de como se interpreta o princípio, pode-se chegar à errada conclusão de que o conflito era real, e não aparente.

¹³ “Absolutamente estacionário”, isto é, em repouso absoluto.

1.2.1 O princípio da relatividade: explicação introdutória

A noção de *relatividade* vem comumente associada ao nome de Einstein, mas, como atesta Russell (2009, p. 5), o princípio da relatividade “já era reconhecido pelos físicos antes que a teoria da relatividade fosse inventada”. Segundo Huggett (2023), o princípio da relatividade da Teoria Especial “nada mais é do que o princípio da relatividade de Galileu, incorporado na física newtoniana”. O próprio Einstein (1919) faz a genealogia da relatividade neste trecho de artigo na edição de 28/11/1919 do *The Times* de Londres:¹⁴

Bem se sabe desde os tempos dos gregos antigos que, para descrever o movimento de um corpo, é necessário um segundo corpo, ao qual se refira o movimento do primeiro. O movimento de um veículo é considerado em referência à superfície da Terra; o de um planeta, à totalidade das estrelas fixas visíveis. Em física, o corpo ao qual os eventos são espacialmente referidos é chamado de sistema de coordenadas. As leis da mecânica de Galileu e Newton, por exemplo, somente podem ser formuladas com o auxílio de um sistema de coordenadas.

A conotação basilar do princípio da relatividade é, portanto, a de que o movimento de um corpo é determinado relativamente a um segundo, como pondera Einstein (2015, p. 19) neste trecho: “Não há trajetória com existência independente, mas apenas relativamente a um corpo de referência específico”. A mesma ideia é articulada por Russell (2009, p. 6): “O movimento é um fenômeno meramente relativo, ou seja, quando dois corpos mudam sua posição relativa, não podemos dizer que um está se movendo enquanto o outro está em repouso, visto que a ocorrência é apenas uma mudança de um em relação ao outro”.

Igualmente implicada no princípio da relatividade está a ideia de *indetectabilidade absoluta* do movimento retilíneo uniforme (marco inercial), apreciada por Galileu já no século XVII. Vários exemplos do cotidiano poderiam ser dados, mas nos limitaremos à sensação experimentada por quem já viajou de avião. Em trajetória retilínea e a velocidade constante (desconsiderando fatores como turbulência e outras perturbações do voo por atrito com o ar), somos incapazes de discernir se a aeronave está em movimento ou em repouso. Tudo se passa como se ela estivesse estacionada em solo.¹⁵ Do ponto de vista psicológico, a dúvida provavelmente não nos ocorreria (a menos que estivéssemos, por exemplo, confusos, despertando de um sono profundo); porém, do ponto de vista físico, só seríamos capazes de determinar o movimento olhando pela janela e recorrendo a corpo de referência externo, como as nuvens ou a terra abaixo. Ainda assim, essa determinação seria apenas relativa: o avião está

¹⁴ A publicação foi feita poucos dias depois de Einstein ganhar fama internacional, com a divulgação do resultado das observações astrográficas do eclipse solar total de 29 de maio de 1919.

¹⁵ O mesmo exemplo é encontrado em MOURÃO, 1997, p. 35.

em movimento, mas a Terra também está. Da mesma forma que a aeronave se move em relação à Terra, pode-se dizer que a Terra se move em relação à aeronave. Não se trata de determinação absoluta, porque o globo, apesar de ser boa referência prática, não é marco absoluto. Tudo isso é, por óbvio, irrelevante do ponto de vista prático; sabemos que, para os passageiros e tripulantes, o que importa é que o avião esteja em movimento em relação ao aeroporto de destino; mas a perspectiva importante para nós é a física.

O exemplo ilustrativo permite observar que o princípio da relatividade está intrinsecamente relacionado com a noção de *corpo de referência*, ou a de *marco de referência*, conceito mais amplo que engloba o corpo e seu *sistema de coordenadas* (posição do objeto em relação a eixos perpendiculares). Segundo DiSalle (2020), a expressão *marco referencial*, básica na Mecânica, foi cunhada no século XIX, mas o conceito a ela associado é antigo e pode ter surgido com a teoria copernicana. Na definição do autor, trata-se de qualquer conjunto de pontos ou objetos utilizado como padrão em relação ao qual o movimento de um corpo pode ser medido. É “dispositivo puramente cinemático, para a descrição geométrica do movimento” (DiSALLE, 2020). De acordo com a Mecânica Clássica, só faz sentido falar do movimento de um marco inercial em relação a um corpo de referência externo, convencionado.

Vejamos a ilustração de Russell (2009, p. 16) para o arbítrio de corpos de referência:

Dado que todo movimento é relativo, você pode tomar qualquer corpo que quiser como seu corpo padrão de referência e estimar todos os outros movimentos com referência a ele. Se você está em um trem caminhando para o vagão-restaurante, você naturalmente, naquele momento, trata o trem como fixo e considera seu movimento em relação a ele. Mas quando você pensa na viagem que está fazendo, pensa na Terra como fixa e diz que está se movendo a uma velocidade de 60 milhas/hora.

Velocidade é, a propósito, outro conceito cinético ao qual o princípio da relatividade tipicamente se aplica. Sabemos que o conceito de velocidade está estreitamente relacionado com o de *movimento* e pode ser definido como a *quantificação* dele. Na linguagem cotidiana, se dizemos que nos movemos, por exemplo, a 60 km/h, está implícito que a velocidade é relativa à Terra. Se temos outra referência em mente, precisamos explicitá-la. Intuitivamente sabemos que não faz sentido falar em “60 km/h” de forma absoluta: “60 km/h em relação a quê”? Supor um valor de velocidade sem especificar a referência, explícita ou implicitamente, é *nonsense*.

O princípio da relatividade não se restringe aos conceitos cinéticos de *movimento* e *velocidade*, mas permeia a Física. Exemplos óbvios são a *direção* e o *tamanho*. É intuitivo que “não há meio de julgar o tamanho de um objeto, a não ser comparando-o com o tamanho de outra coisa” (GARDNER, 2019, p. 3). Não só a Física, mas outras áreas do saber, operam ideias relativísticas. É o caso na Geografia, das estações do ano. Seriam incompletas formulações

linguísticas que utilizassem as expressões “solstício de verão” ou “solstício de inverno” sem a indicação explícita ou implícita do hemisfério da Terra de que se trata (norte ou sul?). Além das ciências, nossa linguagem também está impregnada da ideia da *relatividade*. O caso mais óbvio é dos adjetivos comparativos como *melhor* e *pior*. Seriam incompletas e sem sentido orações como “isso é melhor” sem indicar, ao menos implicitamente, o elemento com que se compara. Sem a indicação, o interlocutor teria razão em indagar: “melhor *em relação a* quê?”.

Na Física, alguém poderia, no entanto, contraditar a validade ou aplicabilidade do princípio da relatividade aventando a possibilidade de que o movimento e as quantidades físicas sejam determinados e medidos de modo absoluto. Vemos duas maneiras principais de fazer essa contestação: pela designação de um marco privilegiado; ou pela suposição de um marco absoluto. Por meio deles, pode-se definir, de modo convencional ou absoluto, tudo o que está “abaixo” ou “acima”, “à esquerda” ou “à direita”, “em movimento” ou “em repouso”; ou o que é “pequeno” e “grande”. Caso fosse possível determinar um marco especial do universo, ele poderia servir para definir a velocidade absoluta de um corpo, isto é, sua velocidade “real”, e não apenas a velocidade relativa (como a do avião em relação ao solo, a qual, como vimos em nossa ilustração acima, tem sentido puramente convencional ou prático).

Exemplo clássico do argumento do *marco de referência absoluto* é a suposição de Aristóteles do centro do universo, que serviria para arbitrar, definitivamente, o que está “perto” ou o que está “longe”. Outra possível suposição de marco absoluto é a que identifica no universo um *teto* e um *piso* com relação aos quais se poderia definir, absolutamente, o que está “abaixo” e o que está “acima”, ou que está “alto” e o que está “baixo”. Tais exemplos caricatos são tentativas de refutar o princípio da relatividade pela singularização de um marco especial.

Outro tipo de argumentação é o que recorre *ad hoc* a marcos referenciais privilegiados, se não para refutar o princípio da relatividade, para suspendê-lo em certos contextos. Como sublinham Hofer *et al* (2023), os marcos privilegiados são sistematicamente usados em nossa linguagem, ainda que de modo implícito. Na vida cotidiana, há pouca ou nenhuma dúvida sobre o que está “acima” e “abaixo”, porque o chão em que pisamos faz muito mais sentido como referência em nossa comunicação do que o teto. Nisso parece haver pouca discordância, a menos que estejamos dialogando, por videoconferência, com alguém do outro lado do planeta. Da mesma forma, é provável que haja acordo, ainda que tácito, entre interlocutores de que o avião se move em direção ao aeroporto, e não de que o aeroporto se move em direção ao avião. Nos dois exemplos, o princípio da relatividade é afastado não pela singularização absoluta de um marco fundamental do universo, mas pela hierarquização convencional de marcos, optando-

se por aqueles com mais *relevância* e *sentido prático* no contexto de comunicação (o chão e o aeroporto, em nossos exemplos). Nem todo contexto admitirá, porém, concordância sobre um marco privilegiado. Quando se trata de definir “esquerda” e “direita”, haverá muito menos disposição dos interlocutores a chegarem a acordo sobre o marco correto: “à minha direita ou à sua direita”? Em Astronomia, a chance de concordância será ainda menor, se não nula. Há, assim, contraposição entre *vida prática* e *ciência* bem assinalada por Russell (2009, p. 5-8):

Quando você viaja de um lugar a outro na Terra, você diz que o trem se move, e não as estações, porque as estações preservam suas relações topográficas entre si e com a paisagem circundante. Mas em astronomia é arbitrário qual você chama de trem e de estação: a questão será puramente decidida por conveniência e convenção.

Uma vez que a Física e a Astronomia estão interessadas em leis universais, e não em pontos de vista particulares ou contextos específicos, nelas vigora plenamente o princípio da relatividade. Como bem observam Hoefler *et al* (2023), os marcos de referência privilegiados funcionam apenas em contextos específicos; quando, porém, se trata das leis físicas universais, tornam-se inadequados. Na Física, os objetos, marcos referenciais e pontos de vista cinéticos devem ser equivalentes em todos os sentidos, de modo que nenhum deles merece, nem em princípio, ser designado como “absoluto” ou “privilegiado”. Essa ideia é bem definida por Eddington (1987, p. 43): “O que queremos dizer com equivalência de todos os marcos é que eles não se diferenciam por nenhuma qualidade que anteriormente se supunha intrínseca aos próprios marcos – repouso, retangularidade, aceleração”. A *equivalência dos marcos* está, pois, intimamente relacionada com a *universalidade das leis naturais*. Como observou Einstein (2015, p. 25), as leis precisam ter a mesma validade para quaisquer sistemas de coordenadas; os sistemas K, K', K'' etc. precisam ser indiferentes para descrever os fenômenos naturais.

Podemos identificar quatro ideias mecânicas subjacentes ao princípio da relatividade: (i) a pluralidade de sistemas de coordenadas; (ii) a ausência de marcos referenciais absolutos ou privilegiados; (iii) a equivalência desses sistemas perante as leis naturais; e (iv) a universalidade das leis (para a Física, não há marcos melhores ou piores, certos ou errados).

Aplicando-se o princípio ao caso ilustrativo do voo de cruzeiro, o passageiro que precisou olhar pela janela para discernir se o avião estava em movimento poderia concluir, com a mesma convicção, que não era a aeronave que se movimentava em relação às nuvens e à Terra, mas as nuvens e a Terra é que se movimentavam em relação à aeronave. Não há a necessidade, nem mesmo a possibilidade, de especificar qual dos dois sistemas está “verdadeiramente” em movimento. Tal conclusão soa, sem dúvida, absurda do ponto de vista

prático e no contexto convencional, mas, do ponto de vista físico, é escorreita, pois, dada a ausência do marco absoluto, não pode haver determinação absoluta do movimento.

1.2.2 O estranho comportamento da luz e das ondas eletromagnéticas

Contra nossa ideia tradicional da velocidade como uma quantidade cinética regida pela relatividade ao marco referencial, os experimentos de James Clerk Maxwell (1831-1879) no século XIX constataram que as ondas eletromagnéticas – incluída a luz – se propagam no vácuo com velocidade constante c : 299.792,458 km/s, a despeito do movimento do observador ou da fonte da luz (STANNARD, 2017, p. 4).¹⁶ Em 1887, os físicos americanos Albert A. Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) demonstraram pelo experimento doravante chamado Michelson-Morley, que a velocidade da luz era a mesma em todas as direções.

Algo anômalo acontecia no mundo físico. Estranhamente, no caso das ondas eletromagnéticas, não era preciso perguntar “velocidade em relação a quê?”. Elas não observavam o *relativismo cinético*, pelo qual a velocidade é relativa ao marco referencial e constitui questão de perspectiva. Tal peculiaridade, subversiva do consenso da Mecânica da época, era naturalmente intrigante, tal como observa Eddington (2020, p. 54):

Um aspecto da teoria da relatividade que parece ter suscitado especial interesse entre os filósofos é a natureza absoluta da velocidade da luz. Em geral, a velocidade é relativa. Se falo de uma velocidade de 40km/s, devo acrescentar ‘relativamente à Terra’, [...] ou qualquer corpo de referência que eu tenha em mente. Ninguém entenderá nada de minha afirmação a menos que tal acréscimo seja feito ou esteja implícito. Mas é curioso que, se eu falar de uma velocidade de 299.796 km/s (sic),¹⁷ é desnecessário acrescentar a frase explicativa. Relativa ao quê? Relativa a toda e qualquer estrela ou partícula de matéria no universo.

Assim, entre o fim do século XIX e início do século XX, os físicos tinham diante de si sério dilema, semelhante ao que vemos, hoje, entre a Relatividade Geral e a Mecânica Quântica. A invariância da velocidade da luz no vácuo¹⁸ conflitava com a relatividade cinética. Urgia reconciliar a Mecânica e a Eletrodinâmica. Diante dessa encruzilhada, rachou a comunidade de físicos teóricos. Alguns presumiram que os fundamentos eletromagnéticos é que deveriam ser revisados. A razão era a alta contraintuitividade eletrodinâmica, difícil de aceitar, como é bem

¹⁶ Sobre a singular velocidade cósmica, cabe registrar este comentário de Eddington (2020, p. 55): “A peculiaridade de uma velocidade de 299.796 km/s é que ela coincide com o elemento granular do mundo. [...] A velocidade de 299.796 km/s, que ocupa posição singular em qualquer sistema de medida, é comumente chamada de velocidade da luz. Mas é mais do que isso; é a velocidade à qual a massa da matéria se torna infinita; comprimentos se contraem a zero; relógios param”. Note-se a divergência com o valor correto: 299.792.458 m/s.

¹⁷ O valor preciso da velocidade da luz é 299.792,458 km/s (ou 299.792.458 m/s).

¹⁸ A velocidade da luz é a mesma a que se propagam as ondas eletromagnéticas e as ondas gravitacionais.

observado por Feynman (2012, p. 98) em palestra em 1964: “o resultado [dos experimentos de Maxwell] é tão contraintuitivo que muitos não acreditam nele até hoje!”.

Outros físicos estavam, ao contrário, convencidos da validade das leis sistematizadas por Maxwell. Para esses, as pesquisas eletrodinâmicas e ópticas mostravam, de modo conclusivo, a constância da velocidade de propagação da luz no vácuo. Esse segundo grupo de teóricos estava inclinado, portanto, a abandonar o princípio da relatividade, ainda que esse não tivesse sido contradito por nenhum dado empírico. Nesse contexto, cogitou-se a existência de substância especial que permearia todo o espaço, inclusive o vácuo, e serviria como marco absoluto, ou privilegiado entre os sistemas de coordenadas: o *éter luminífero*.

Por analogia às ondas sonoras, cuja propagação se dá pelo anteparo do ar, e às ondulações de um lago, que só existem com a mediação da água, supôs-se que as ondas eletromagnéticas também requeriam meio material para se propagar. Tornou-se visão prevalecente entre a comunidade científica da época que a luz, como todas as ondas conhecidas, também se propagaria em algum tipo de *medium*. O grande apelo da hipótese do éter explicava-se pelo fato de que cumpria dupla função: uma material, a de prover anteparo físico para a propagação das ondas; e outra teórica, a de servir como marco de referência absoluto, em contradição com o princípio da relatividade.

Como sublinhou Einstein (2015, p. 65), “Por longo tempo, os esforços dos físicos foram dedicados a tentativas de detectar a existência de um movimento em relação ao éter na superfície da Terra”. Entre esses esforços, destaca-se o já mencionado experimento Michelson-Morley, talvez o mais importante resultado *negativo* da história da ciência. Apesar de engenhoso e preciso, o interferômetro criado pelos dois físicos americanos não detectou nenhuma diferença na velocidade da luz, independentemente da direção relativa da Terra em sua órbita anual em torno do Sol. Frustraram-se, assim, as expectativas de confirmar empiricamente o éter, o que teria permitido conciliar a Eletrodinâmica e a Mecânica.

A despeito do resultado do experimento, permanecia, contudo, a esperança de salvar a hipótese extravagante do éter. Entre as várias tentativas de 1887 a 1905 de explicar o resultado negativo, as que pareciam mais plausíveis eram as do irlandês George F. FitzGerald (1889) e do neerlandês Hendrik Lorentz (1892). Ambos especulavam, de modo independente, que a mesa de pedra maciça onde os espelhos do interferômetro estavam montados sofria leve contração na direção de seu deslocamento, como efeito puramente mecânico (GAMOW, 1988, p. 89). Tal efeito, postulava-se, independeria do material do qual a mesa era feita e, portanto, seria universal para todos os corpos em movimento. Nascia a contraintuitiva lei da *contração*

do comprimento (ou *contração Lorentz-FitzGerald*, em homenagem aos pioneiros na formulação da hipótese). Lorentz e Joseph Larmor (1857-1942) estenderam-na, posteriormente, para a coordenada do tempo, lançando as sementes da ideia de *dilatação do tempo*, desenvolvida em 1905 por Einstein (que exploraremos adiante).

As “transformações de Lorentz”¹⁹ consistem no conjunto de equações matemáticas utilizadas para determinar a discrepância de comprimento entre os dois sistemas de coordenadas (um em velocidade uniforme, e outro em repouso). Essa conversão era quantitativamente determinada pelo fator $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$, a ser explicado à frente. A solução mecânica e matemática proposta por Lorentz era bem fundamentada; porém, baseava-se na premissa da existência de um marco de referência privilegiado (o éter em repouso), em flagrante violação do princípio da relatividade. Como visto anteriormente, é um imperativo que as leis da física sejam as mesmas em todos os marcos inerciais. A indetectabilidade do movimento da Terra em relação ao éter, pelo experimento Michelson-Morley, estava em conformidade com o princípio da relatividade, mas a teoria de Lorentz insistia em explicar a não-detecção, em aparente contradição com ele. As inovações lorentzianas não provavam o éter, mas se tornaram modelo matemático basilar da Física contemporânea e peça fundamental da Teoria Especial da Relatividade, uma teoria que seria “descoberta de modo indutivo, depois que todas as tentativas de detectar o movimento absoluto falharam” (PAIS, 2005, p. 153).

1.2.3 A solução do dilema: conciliação dos postulados mecânico/eletrodinâmico

Foi nesse contexto de mobilização experimental e mental voltada à solução do dilema epistemológico que “a teoria da relatividade entrou em cena” (EINSTEIN, 2015, p. 30). O próprio título do artigo pelo qual o jovem físico apresentou a Teoria Especial (“Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”) deixa clara a circunstância de que ele lidava com um problema na fronteira de dois departamentos: a Eletrodinâmica e a Mecânica.

A saída encontrada por Einstein em 1905, aos 26 anos de idade, preservava os dois postulados aparentemente em conflito: o da invariância da velocidade da luz no vácuo (herdado da teoria eletromagnética de Maxwell) e o da relatividade (herdado da mecânica de Galileu e Newton). O físico estava seguro de que ambos constituíam princípios irrefutáveis da Natureza,

¹⁹ Em Mecânica, “transformação” significa o conjunto de regras matemáticas usadas para relacionar dois sistemas de coordenadas ou marcos inerciais de referência que se distingam em posição e velocidade.

mas ainda estava convicto de que, para resolver a equação, o lado mecânico, e não o eletrodinâmico, é que reclamava revisão, como o próprio Einstein (2015, p. 24) explica:

Em vista dos avanços mais recentes da eletrodinâmica e da óptica, tornou-se mais evidente que a mecânica clássica oferece fundamentação insuficiente para a descrição física de todos os fenômenos naturais. Nessa encruzilhada, a questão sobre a validade do princípio da relatividade ficou madura para a discussão.

Contra a crença geral dos físicos de sua época, Einstein estava convencido da inexistência do éter e obstinado em salvar o princípio da relatividade. Lê-se no segundo parágrafo de seu artigo seminal de 1905:

[...] as tentativas malsucedidas de detectar qualquer movimento da Terra relativamente ao 'medium da luz' [...] sugerem que os fenômenos da eletrodinâmica, bem como da mecânica, não possuem propriedades que correspondam à ideia de repouso absoluto. Indicam antes que [...] as mesmas leis da eletrodinâmica e da óptica serão válidas para todos os marcos de referência. (EINSTEIN, 2020, p. 37)

Duas outras afirmações do pai da Teoria da Relatividade nessa direção são resgatadas pelo biógrafo Abraham Pais (2015): “Os fenômenos da eletrodinâmica e da mecânica não possuem quaisquer propriedades que correspondam à ideia de repouso absoluto” (*apud* PAIS, 2005, p. 140). A segunda, Einstein a fez a apenas um ano de sua morte, em carta a um historiador, supostamente a última ocasião em que se expressou sobre a Relatividade Especial: “Eu estava, por razões gerais, firmemente convencido de que não existe movimento absoluto e meu problema era apenas como isso podia ser conciliado com nosso conhecimento de eletrodinâmica” (PAIS, 2005, p. 172).

Einstein percebeu que a resolução do paradoxo eletrodinâmico/mecânico não requeria a formulação de nova teoria na eletromagnética e na óptica. Sua ideia foi a de revisitar a Mecânica e o conceito tradicional de *tempo*, em particular as acepções de *duração* e de *simultaneidade*. Os físicos clássicos jamais haviam cogitado relativizar essas duas ideias. Nem Galileu e Newton, com suas genialidades, suspeitaram de que dois relógios, mesmo de fabricação idêntica e inicialmente sincronizados, poderiam ficar descompassados pela simples aplicação de velocidade a um deles. Nem sequer suspeitaram de que a simultaneidade de dois eventos afastados dependia do sistema de coordenadas do observador. Até então, acreditava-se que dois eventos separados eram simultâneos a partir de qualquer ponto de vista e que o ritmo de passagem ou contagem do tempo era equivalente para quaisquer observadores. “Duração” e “simultaneidade”, pensava-se, eram conceitos sobre os quais todos deveriam concordar. Einstein subverteu essa concepção absoluta. Eis o que o físico afirma: “Minha solução foi realmente pelo próprio conceito de tempo, isto é, que o tempo não é definido absolutamente,

mas há uma ligação inseparável entre o tempo e a velocidade do sinal” (*apud* PAIS, 2005, p. 139). No “Livreto” (EINSTEIN, 2015, p. 38), encontramos esta explicação do próprio físico:

Antes do advento da teoria da relatividade, sempre se supôs tacitamente em física que o conceito de tempo tinha um significado absoluto, isto é, que é independente do deslocamento do corpo de referência [...]; se descartamos tal suposição, desaparece o conflito entre a lei da propagação da luz no vácuo e o princípio da relatividade [...].

A relativização do tempo não foi providência isolada na Teoria Especial. Indissociável dela, a relativização da medida do espaço (na direção do movimento) era também preconizada pela Teoria, em conformidade com as regras matemáticas da transformação lorentziana. A velocidade aplicada ao sistema de coordenadas produzia dois efeitos cinemáticos inseparáveis, relativos ao sistema estacionário: a *dilatação do tempo* e a *contração do comprimento*, duas faces da mesma moeda. Os dois efeitos relativísticos também podem ser ditos “gêmeos”, pois variam à mesma razão (Fator de Lorentz).

A Teoria Especial postulou, portanto, que as medidas tanto do tempo quanto do espaço são maleáveis, em flagrante contraste com a visão clássica, que pressupunha o caráter absoluto tanto dos relógios quanto das réguas. Como sublinhou Einstein (1997, p. 25), a Física anterior repousava sobre dois postulados *inconscientes*, que, de tão arraigados, não eram sequer verbalizados, a saber: (i) o tempo é absoluto: o tempo de um evento t relativamente a K' é o mesmo do tempo t relativamente a K ; (ii) a extensão é absoluta: se um intervalo, em repouso relativamente a K , tem o comprimento s , então ele tem o mesmo comprimento s , relativamente a um sistema K' em movimento relativamente a K .

A Teoria da Relatividade, primeiro, tornou evidentes esses postulados mecânicos para, em seguida, os refutar. No lugar deles, propôs que a *duração temporal* e a *extensão espacial* são sempre relativas ao observador. Desse modo, podemos compreender o significado pleno da sucinta afirmação de Einstein (1997, p. 1) na abertura de sua obra *O Significado da Relatividade*: “A teoria da relatividade está intimamente ligada com a teoria do espaço e do tempo”. A Relatividade não é uma teoria exclusiva sobre o tempo, ainda que esse elemento tenha sido o foco principal da reforma por ela operada.

A relativização das ideias de duração e de simultaneidade causou perplexidade similar à provocada pela lei da inconstância da velocidade da luz no século XIX. Ambas as descrições físicas inovadoras “violavam” intuições arraigadas sobre o comportamento da Natureza: a luz estranhamente recusava-se a obedecer ao relativismo cinético tradicional; os relógios tampouco se comportavam como supúnhamos, ao divergirem sobre os intervalos entre eventos no universo. A Mecânica Clássica jamais havia questionado nem a propriedade relativa da

velocidade, nem a propriedade absoluta de outras quantidades cinéticas como o tempo, o comprimento e a massa. Com o advento das pesquisas eletromagnéticas, das transformações de Lorentz e da Teoria Especial da Relatividade, esse esquema conceitual foi subvertido ou, melhor, invertido. Acontecia na Física verdadeira troca de papéis: a velocidade luminífera e eletromagnética adquiriu caráter absoluto; o tempo e outras quantidades físicas se relativizaram. Pode-se, nesse sentido, dizer que a Teoria Especial encerrou transição iniciada pela Eletrodinâmica na qual o tempo adquire o *relativismo cinético* até então característico da velocidade e outras quantidades físicas. No modelo clássico, *duração*, *simultaneidade*, *comprimento* e *massa* eram invariáveis; seus valores não dependiam dos marcos. No relativístico, assim como no eletromagnético, o valor c é que independe do marco referencial.

Desse modo, podemos compreender as afirmações de Einstein de que a Teoria Especial da Relatividade “nasceu da eletrodinâmica e da óptica” e “se cristalizou a partir da teoria de Maxwell e Lorentz para os fenômenos eletromagnéticos” (EINSTEIN, 2015, pp. 56 e 62, respectivamente). Os “[numerosos] argumentos experimentais em favor da teoria de Maxwell-Lorentz são, ao mesmo tempo, argumentos em favor da teoria da relatividade” (EINSTEIN, 2015, p. 63). A partir do postulado eletrodinâmico, a Teoria Especial efetuou a revisão dos postulados mecânicos do tempo e do espaço, e essa operação gerou a necessidade de revisar o teorema de adição de velocidades.

Com o abandono dos conceitos absolutos clássicos de tempo e espaço, Einstein pôde finalmente harmonizar os postulados da relatividade e da constância da velocidade da luz: “Como resultado de uma análise dos conceitos físicos do tempo e do espaço, ficou evidente que, *na verdade, não há a menor incompatibilidade entre o princípio da relatividade e a lei da propagação da luz*” (EINSTEIN, 2015, p. 31). Ao decretar o fim da ideia de “tempo absoluto”, a Teoria Especial da Relatividade mostrou que o conflito eletrodinâmico e mecânico era meramente aparente, tornando redundante a hipótese do éter. Agora, era possível explicar a invariância da velocidade de propagação da luz, sem precisar abandonar o princípio da relatividade e sem ter de postular a hipótese extravagante de um sistema de coordenadas absoluto e privilegiado. Para harmonizar a lei eletrodinâmica e o princípio mecânico da relatividade, bastou relativizar o coeficiente t da equação básica da Mecânica: $v = d \div t$, ao fazer a transformação matemática entre dois sistemas de coordenadas (na próxima subseção, demonstraremos como é feita a transformação e a relativização do coeficiente t).²⁰ Dessa

²⁰ Vale notar que o “tempo” utilizado na fórmula tem o sentido de *duração* (*tempo-relógio* ou *tempo-intervalo*).

maneira, a Teoria Especial pôde tornar supérfluas imagens mecânicas, como a do éter, usadas como auxílio na interpretação dos fenômenos eletromagnéticos e ópticos (PAIS, 2005, p. 138).

É curioso notar que a formulação da Teoria Especial da Relatividade decorreu originariamente não de uma desconfiança sobre a natureza do *tempo*, mas da constatação da invariância da velocidade de propagação da luz e da necessidade de compatibilizá-la com o princípio da relatividade. Vislumbrar o *tempo-relógio* como uma quantidade que variava de acordo com a velocidade do sistema de coordenadas foi ideia posterior, que emergiu no contexto do esforço geracional em desatar o nó eletrodinâmico/mecânico.

É digno de nota que, em paralelo ao desenvolvimento da Teoria Especial, o matemático francês Poincaré chegou a conclusões similares a respeito das transformações de Lorentz, mas sua proposta tratava a questão como puramente matemática. Ela não tinha a pretensão física de Einstein de descrever a Natureza (o comportamento dos relógios e das réguas), nem descartava o éter. Voltaremos à questão da contribuição de Poincaré no Capítulo 2, mas vale, aqui, citar esta passagem de Pais (2015, p. 21):

Em 1905, Einstein e Poincaré anunciaram, de forma independente e quase simultânea (em questão de semanas), o conjunto de propriedades das transformações de Lorentz e o [novo] teorema de adição de velocidades. Porém, tanto Lorentz quanto Poincaré deixaram de descobrir a relatividade especial; ambos estavam profundamente mergulhados em reflexões sobre dinâmica. Somente Einstein viu o ponto crucial: o éter dinâmico deveria ser abandonado em favor da nova cinética. (PAIS, 2015, p. 21)

Com a Teoria Especial da Relatividade culmina-se o longo processo de reflexão dos físicos teóricos sobre a suposta “anomalia” apontada nas equações de Maxwell. É válido observar, contudo, que a reforma conceitual do tempo não apenas representou, para a Física teórica, o fim de um ciclo, mas também forneceu chave para uma nova era. Com a solução do impasse histórico, a energia dos pesquisadores e pensadores foi desbloqueada e pôde finalmente ser realocada em novas frentes de pesquisa e novas áreas, inclusive a Metafísica (Capítulo 3).

1.2.4 A relativização da duração e a transformação lorentziana

A maneira, a nosso ver, mais simples de compreender a relativização do *tempo-duração* é por meio do conceito mecânico familiar de *velocidade*. É notório que a velocidade, por definição, expressa uma relação intrínseca entre o espaço e o tempo, a qual pode ser representada pela seguinte operação básica de divisão:

$$\text{velocidade } (v) = \frac{\text{distância percorrida } (d)}{\text{intervalo de tempo gasto no percurso } (t)}$$

Aplicando a fórmula ao caso da luz, das ondas eletromagnéticas e das ondas gravitacionais, substituímos o símbolo v por c , indicando que a velocidade é constante: $c = \frac{d}{t}$. O valor c é fixo e não depende do marco de referência utilizado. A unidade adotada é secundária, determinada por conveniência: $299\,792\,458\text{ m/s}$; $\pm 300\,000\text{ km/s}$; $\pm 186\,000\text{ mps}$; $1,079 \times 10^9\text{ km/h}$; $\pm 671\text{ milhões mph}$; 1 ano-luz/ano; 365 dias-luz/ano...

Recorramos ao exemplo de um trem em movimento à velocidade v . Imaginemos um feixe de luz emitido por uma lanterna dentro da locomotiva percorrendo trajeto horizontal ao longo dos vagões, na direção do movimento do trem. Agora, tomemos os pontos de vista de dois observadores, isto é, dois sistemas de coordenadas: o de um passageiro sentado no trem (K'); e o de um pedestre à beira do caminho assistindo à passagem do comboio (K). A teoria eletrodinâmica prescreve que, independentemente do marco de referência, a velocidade da luz registrada no vácuo é sempre a mesma (c). Tanto K' quanto K registram, necessariamente, o valor c (desprezando o ar). A teoria mecânica, por sua vez, prescreve que as distâncias percorridas pela luz em cada sistema serão diferentes: d' (em K') e d (em K).

No marco referencial K , a luz percorre certa distância d em certo tempo t com velocidade c ; então: $c = \frac{d}{t}$. No marco referencial K' , teríamos a equação: $c' = \frac{d'}{t'}$. De acordo com as regras da transformação galileana, o valor de tempo permanece invariável ($t = t'$), pois é tido como absoluto, enquanto os valores de velocidade e distância se alteram ($c \neq c'$; $d \neq d'$). Na Física Clássica, havia a presunção intuitiva, ainda persistente no senso comum, de que os ponteiros dos relógios, se são de fabricação idêntica, devem andar no mesmo passo. Eis o que afirma o próprio Einstein (2015, p. 69): “De acordo com a mecânica clássica, o tempo é absoluto, ou seja, independente da posição e da condição de movimento do sistema de coordenadas. Vemos isso expresso na última equação da transformação galileana ($t = t'$)”.

A Mecânica Clássica igualmente supunha que, tal como a velocidade de qualquer outro objeto, onda ou partícula, a da luz deveria alterar-se segundo o teorema de adição de velocidades. Contudo, a variação $c \neq c'$, requerida pela Mecânica, jamais foi observada na Eletrodinâmica e na Óptica. Os experimentos eletromagnéticos e ópticos sempre indicaram a invariância $c = c'$, independentemente da diferença de movimento e velocidade dos sistemas inerciais de coordenadas. Eis, como vimos, a perturbadora contradição da época.

Foi então que Einstein percebeu que devia haver algo de errado com nossa compreensão do tempo. Como c tem valor fixo nos cálculos de qualquer observador ($c = \frac{d}{t}$), segue-se, por

necessidade algébrica, que qualquer variação no numerador ($d' \neq d$) deve ser acompanhada de variação proporcional no denominador ($t' \neq t$). Deviam-se, portanto, aplicar não as regras clássicas da transformação galileana, mas as da transformação lorentziana, que permitiam a variação matemática do coeficiente de tempo. Fisicamente, isso significava, como visto, “desabsolutizar” as ideias de *duração* e *contagem de tempo*. Instituiu-se a lei da divergência de comportamento de relógios de sistemas inerciais díspares. Aqui, com vistas a um melhor discernimento conceitual, o *tempo-duração* pode ser designado como *tempo-intervalo* ou *tempo-relógio*, pois diz respeito ao transcurso temporal entre dois eventos. Einstein (2015, p. 19) fala em *tempo-valor*, pois trata-se de magnitudes resultantes de mensurações.

No exemplo do trem, onde a luz se move na mesma direção da locomotiva, a distância percorrida pelo feixe luminoso no sistema do observador estacionário será maior do que no sistema do observador em movimento: $d > d'$ (mais precisamente: $d = d' + v \cdot t$). Logo, o intervalo de tempo mensurado no relógio estacionário em K (t) será maior que o tempo decorrido naquele em K' (t'): $t > t'$. Em outras palavras, os ponteiros do relógio do passageiro em movimento (K') andarão em ritmo mais lento do que os daquele do observador em repouso (K). Por derivação lógica, pode-se concluir que o descompasso relativo dos dois relógios será proporcional à velocidade do trem. Quanto mais veloz for a locomotiva, maior será a disparidade entre d e d' (e, portanto, da divergência entre t e t'). O cronômetro do sistema em deslocamento retardar-se-á relativamente ao do sistema em repouso, em função da velocidade.

A partir da lei da constância da velocidade da luz no vácuo, Einstein chegou, portanto, ao efeito físico da “dilatação do tempo” (*time dilation*). Cada observador passa a ter sua própria medida de duração; seus relógios não precisam concordar, como sublinha Russell (2009, p. 31): “O tempo cósmico universal, antes dado como certo, não é mais admissível. Para cada corpo, há uma ordem temporal definida para os eventos em sua vizinhança; isso pode ser chamado de *tempo próprio* [*proper time*] desse corpo”. O simples raciocínio matemático feito a partir da equação da velocidade demonstrou como o tempo de um sistema de coordenadas em movimento uniforme se retarda em relação a um sistema em repouso, à razão da velocidade de deslocamento, pela transformação lorentziana.

1.2.5 Quantificando a dilatação do tempo: Fator de Lorentz

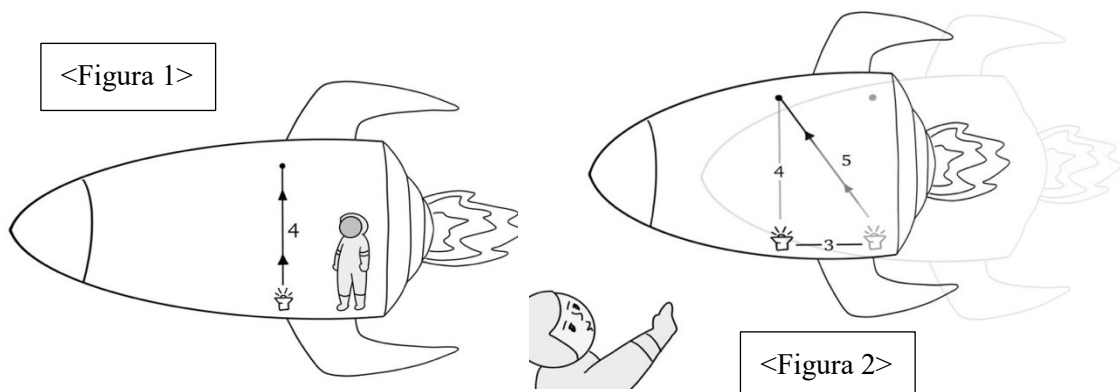
Esclarecida a relativização da *duração*, discorreremos sobre alguns aspectos quantitativos da Teoria Especial. É possível quantificar o efeito da dilatação do tempo, assim como o da contração do comprimento. A magnitude da discrepância dos relógios (e das réguas)

de dois sistemas de coordenadas inerciais entre si obedece ao modelo matemático de Lorentz, anterior à Teoria Especial da Relatividade. Einstein não precisou, portanto, inventar a matemática que permite a transformação de um sistema inercial a outro. Como assinalaram Gutfreund & Renn (2015, p. 236), a formulação da Teoria Especial estava amplamente respaldada no marco técnico de teoria anterior que serviu de quadro para os novos conceitos.

Não são precisos mais que o Teorema de Pitágoras e operações básicas de álgebra para descobrir o fator (a taxa) que possibilita converter um sistema de coordenadas em outro e, assim, encontrar a discrepância dos respectivos relógios. Para descobri-lo, usaremos ilustração semelhante à usada acima para explicar a dilatação do tempo. Imaginemos uma espaçonave em altíssima velocidade uniforme, em relação a observador externo situado na estação espacial internacional, convencionando que essa estação seja estacionária. Similarmente ao exemplo do trem acima, o trajeto do veículo é horizontal em relação ao observador estacionário. Agora, contudo, em vez de um feixe de luz percorrendo a extensão horizontal dos vagões, suponhamos um pulso de luz emitido no sentido vertical, do chão da nave em direção ao teto. Como no exemplo do trem, temos dois sistemas de coordenadas: K e K' , que designam, respectivamente, as perspectivas do observador estacionário e de uma astronauta na espaçonave.

Já sabemos, pela Teoria Especial, que haverá discordância, entre as personagens da história, na contagem do tempo decorrido nos sistemas K e K' , ainda que os relógios utilizados por uma e outra sejam de fabricação idêntica. Nosso propósito, agora, é quantificar essa discrepância. Para tanto, atribuímos certos valores que facilitam o cálculo: 4 metros para a altura da espaçonave (do chão ao teto) e 3 metros para a distância percorrida pela nave (entre o momento em que o pulso de luz é emitido e o momento que esse pulso atinge o teto). A distância percorrida é, por óbvio, proporcional à velocidade da espaçonave.

Da perspectiva da astronauta, o pulso de luz fará trajeto em linha reta vertical de quatro metros, correspondente à altura da nave (Figura 1). Da perspectiva do controlador, o trajeto do mesmo pulso será diagonal, pois a espaçonave está em movimento e é preciso levar em conta

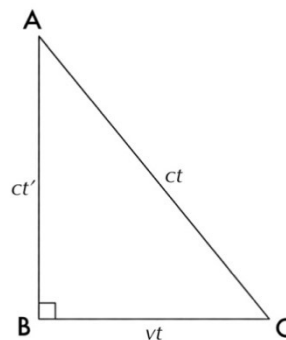


o deslocamento horizontal de três metros. Pelo Teorema de Pitágoras, é fácil demonstrar que a linha diagonal percorrida pela luz, tal como vista pelo controlador, será de cinco metros, pois corresponde à hipotenusa de um triângulo reto: $3^2 + 4^2 = 5^2$ (Figura 2).

Como sabemos que a luz viaja à velocidade c , a astronauta facilmente calcula o tempo de trajeto do pulso luminoso dentro da nave pela seguinte equação: $t' = \frac{4}{c}$.²¹ Por sua vez, o observador na estação calcula o tempo pela equação: $t = \frac{5}{c}$. Verifica-se, pois, discrepância à taxa de $\frac{4}{5}$ (ou 0,8): o tempo calculado pela astronauta é 20% mais lento que o calculado pelo controlador. Inversamente, também se pode dizer que a discrepância é de $\frac{5}{4}$ ou 1,25: o tempo próprio do observador é 25% mais rápido do que o da astronauta. Cumpre lembrar que a divergência é definida em função da velocidade (v) do sistema K' , que, no caso em tela, pode ser obtida por simples divisão: a distância percorrida pela nave (3m), sobre o tempo que o pulso de luz leva para percorrer a trajetória diagonal (5m). Assim, temos que $v = \frac{3}{5}$ ou 0,6, isto é, a espaçonave viaja à velocidade correspondente a 60% da velocidade da luz.

Agora, derivaremos a fórmula que permitirá o cálculo da taxa de conversão de dois sistemas de coordenadas para qualquer valor v . Para tanto, usaremos novamente o Teorema de Pitágoras para o triângulo reto de vértices ABC (Figura 3, abaixo), sendo: AB (cateto 1 – linha vertical: distância percorrida pelo pulso de luz de acordo com a astronauta), AC (hipotenusa – linha diagonal: distância percorrida pelo pulso de luz de acordo com o controlador) e BC (cateto 2 – linha horizontal: distância percorrida pela nave). Temos, pois: $AC^2 = AB^2 + BC^2$.

<Figura 3>



Continuando a derivação, a distância percorrida pela nave (BC) equivale à multiplicação da velocidade pelo tempo decorrido; portanto: $BC = v \cdot t$. A altura da nave (AB) equivale à

²¹ Se $v = d/t$, então $t = d/v$.

velocidade da luz multiplicada pelo tempo no sistema K', logo $AB = c \cdot t'$. A diagonal (AC) equivale à velocidade da luz multiplicada pelo tempo do sistema K, logo $AC = c \cdot t$. Assim:

$$\begin{aligned}(ct)^2 &= (ct')^2 + (vt)^2 \\ (ct')^2 &= (ct)^2 - (vt)^2 \\ c^2 t'^2 &= c^2 t^2 - v^2 t^2 \\ c^2 t'^2 &= t^2 (c^2 - v^2) \\ t'^2 &= t^2 (c^2 - v^2) / c^2 \\ t'^2 &= t^2 (1 - v^2/c^2) \\ t' &= t \sqrt{(1 - v^2/c^2)}; \text{ ou } t' = t \sqrt{(1 - (v/c)^2)}\end{aligned}$$

Utilizando a fórmula, podemos confirmar a taxa do tempo contado no relógio da astronauta no exemplo acima (sistema de coordenadas K'):

$$\begin{aligned}t' &= 5 \sqrt{[1 - (0,6)^2]} \\ t' &= 5 \sqrt{(1 - 0,36)} \\ t' &= 5 \sqrt{(0,64)} \\ t' &= 5 \cdot 0,8 \\ t' &= 4\end{aligned}$$

Também podemos, por derivação, obter a taxa de dilatação do tempo, como razão entre os sistemas K' e K, ou inversamente K e K':

$$t'/t = \sqrt{(1 - (v/c)^2)} \text{ (ou } t/t' = 1/\sqrt{(1 - (v/c)^2)})$$

Assim, conseguimos chegar ao *Fator de Lorentz*, que permite converter, um em outro, dois sistemas de coordenadas em movimento relativo: $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ou $\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$. Trata-se da taxa pela qual o sistema inercial em repouso (K) é transformado no sistema inercial em movimento (K'). O fator serve para quantificar a discrepância tanto dos relógios quanto das réguas (tempo e espaço), de maneira similar à taxa de conversão entre moedas no mercado cambial. No exemplo acima da espaçonave, o fator é de 0,8. O valor significa que os ponteiros do relógio do sistema K' andam a 80% do ritmo dos do relógio do sistema estacionário K.

O Fator pode ser invertido, na forma de uma fração unitária do tipo $\frac{1}{x} : \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$. Nesse caso, calculamos a taxa pela qual K' é transformado em K (a conversão é inversa). O resultado da fração unitária é convencionalmente representado pela letra grega gama (γ). Para o exemplo acima da espaçonave, temos: $\gamma = 1,25 \left(\frac{1}{0,8}\right)$. O valor significa que o relógio do sistema estacionário K é 25% mais rápido do que o de K'.

Podemos simplificar o Fator de Lorentz substituindo a razão $\frac{v}{c}$ pela letra grega “beta” (β): $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$. Nesse caso, β expressa a proporção da velocidade do sistema K’ em relação à velocidade da luz (c). Na Física Relativística, β deve ser menor ou igual a 1 ($\beta \leq 1$), pois não pode haver velocidade maior que a da luz (limite cósmico de velocidade).

Como se pode deduzir das equações, a taxa γ variará diretamente em função da velocidade (v) do sistema K’ (em relação a seu par estacionário K). Quanto maior a velocidade empregada em K’, maior o resultado *gama*, isto é, maiores os efeitos relativísticos de dilatação temporal e de contração espacial (e também de aumento de massa).

Este raciocínio simples em três passos ajuda-nos a chegar à mesma conclusão: (i) quanto maior a velocidade, maior a razão β ; (ii) quanto maior β , menor o resultado da subtração ($1 - \beta^2$) e, por extensão, também menor o resultado total do denominador ($\sqrt{1 - \beta^2}$); (iii) quanto menor o denominador, maior será γ . Por transitividade de (i) a (iii), conclui-se que, quanto mais veloz for um corpo M em relação ao corpo estacionário E , mais devagar correrá o cronômetro de M em relação ao de E . Por força lógica, também será verdadeiro afirmar: quanto menor a diferença de velocidade do corpo M em relação a seu marco de referência E , menor a discrepância de passagem do tempo nos dois sistemas. Se a diferença relativa de velocidades se reduzir a zero, os dois relógios baterão perfeitamente ritmados. Para qualquer v , γ será sempre igual ou maior do que 1 ($\gamma \geq 1$), visto que v será sempre menor ou igual a c ($v \leq c$). Em suma, o Fator de Lorentz expressa a magnitude com que as quantidades físicas de um sistema em movimento discrepam de um estacionário, à proporção de sua velocidade.

1.2.6 A relativização da simultaneidade

As noções de *duração* e de *simultaneidade* são aparentadas. Ambas remetem à ideia de tempo. No entanto, não são equivalentes. Enquanto a primeira exprime o intervalo decorrido entre dois eventos, a segunda expressa a ordem no tempo desses eventos. A Teoria Especial da Relatividade contestou o caráter absoluto de ambas: não apenas o da duração, mas também o da simultaneidade. Einstein revelou que dois acontecimentos separados à distância podem ser qualificados como simultâneos apenas em relação a um marco de referência. Eis o que ele afirmou em seu artigo seminal da Relatividade, de 1905 (EINSTEIN, 2020, p. 42-43):

Então vemos que não podemos atribuir qualquer significado absoluto ao conceito de simultaneidade, mas que dois eventos que, vistos de um sistema de coordenadas, são simultâneos não podem mais ser vistos como simultâneos quando vislumbrados de um sistema que está em movimento em relação àquele sistema.

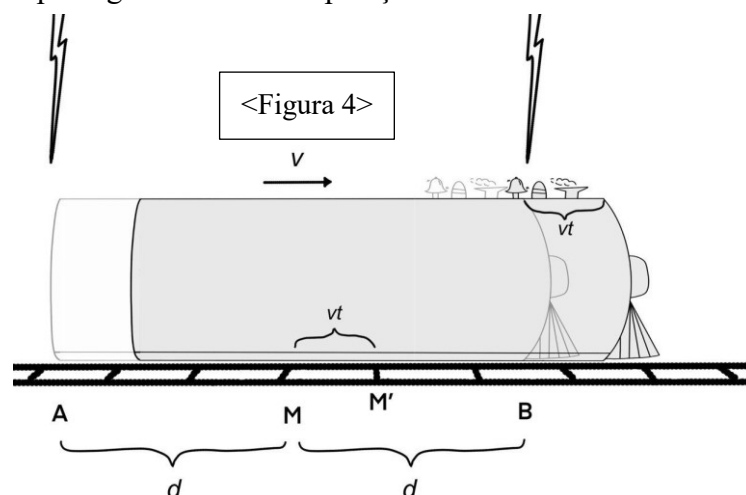
A mesma ideia aparece, mais tarde, no “Livreto”: “Com vistas a harmonizar esse princípio [da constância da velocidade da luz no espaço vazio] com a equivalência dos sistemas inerciais (princípio especial da relatividade), a ideia do caráter absoluto da simultaneidade deve ser abandonada” (EINSTEIN, 2015, p. 169).

A partir da Teoria Especial, o caráter absoluto atribuído pelo senso comum à simultaneidade perdeu sua sustentação na Física. Einstein demonstrou que se tratava de mera questão de perspectiva, assim como reconhecidamente já o eram as quantidades cinéticas, como, por exemplo, o movimento, a direção e a velocidade (nesse caso, exceto a da luz e das ondas eletromagnéticas). Apesar de a relativização da simultaneidade ter sido contraintuitiva, Eddington (1987) argumenta que ela foi revolucionária somente para o senso comum, não para a Física:

A negação da simultaneidade absoluta é um complemento natural da negação do movimento absoluto. (...) É curioso que a negação filosófica do movimento absoluto é prontamente aceita, enquanto a negação da simultaneidade absoluta parece a muitas pessoas como revolucionária. (EDDINGTON, 1987, p. 51)

Para explicar a relatividade da simultaneidade, o modal de transporte ferroviário é o recurso ilustrativo utilizado por Einstein, com o acréscimo, nesse caso, de dois eventos luminosos. Suponhamos que dois relâmpagos aconteçam nos pontos A e B de uma linha férrea e que tais fenômenos sejam simultâneos em relação a M, ponto médio entre A e B. Os dois clarões emitidos encontram-se em M (isto é, chegam a esse ponto dos trilhos no mesmo instante, porque M é equidistante de A e B: $\underline{AM} = \underline{MB}$). Logo, são simultâneos para M.

Agora, suponhamos um ponto M' no trem, situado exatamente no meio entre os pontos A e B dos trilhos. Inicialmente, os pontos M e M' coincidem, mas, visto que o trem nesse caso hipotético está em movimento (digamos, no sentido $A \Rightarrow B$), M' se afasta de M a certa velocidade (v). Um passageiro sentado na posição inicial M' não estará mais no ponto M após



decorrido certo tempo de viagem; estará cada vez mais próximo de B e mais longe de A. Em M', os relâmpagos serão vistos de modo sucessivo, e não simultâneo: o clarão em B chegará a M' antes daquele em A. Logo, tais eventos não serão simultâneos da perspectiva M' (Figura 4).

Como no caso da relativização do *tempo-duração* (Figuras 1 e 2, acima), temos aqui dois sistemas de coordenadas: um em repouso (K), outro em movimento (K'), que discordam sobre a *ordem* dos eventos. A conclusão de Einstein é inequívoca: “Eventos que são simultâneos em relação aos trilhos não o são em relação ao trem, e vice-versa. Cada corpo de referência (sistema de coordenadas) tem seu próprio tempo particular” (EINSTEIN, 2015, p. 37-38).

Terminando a discussão sobre a relativização da simultaneidade, Russell (2009) pondera que, se a simultaneidade não é absoluta, é concebível que a própria sequência dos eventos possa ser invertida: “A ordem temporal dos eventos é, em parte, dependente do observador; não é sempre e totalmente uma relação intrínseca dos próprios eventos” (RUSSELL, 2009, p. 27). A depender da direção do movimento, poderia haver, em tese, alteração da sequência dos eventos, o que violaria a concepção ordinária de *causalidade*. A questão é, porém, mais complexa do que Russell faz parecer, pois a violação do princípio da causalidade é evitada por Einstein. Por limite de escopo, a questão não será aprofundada aqui. Voltaremos a ela no Capítulo 3.

1.2.7 Depuração epistemológica do conceito de “relatividade”

Antes de concluir este capítulo, um exercício cuidadoso de discernimento conceitual faz-se imprescindível. Vimos, na subseção 1.2.3, que a Teoria Especial, de 1905, solucionou o dilema existente, na Física da época, entre a Mecânica e a Eletrodinâmica. Einstein revelou que o conflito era, na verdade, apenas *aparente* e que, portanto, o princípio da relatividade é perfeitamente compatível com a lei da constância da velocidade da luz. Para entender adequadamente a conclusão einsteiniana, é crucial compreender o significado de “princípio da relatividade”. A tarefa não é simples. Ao analisar o conceito, constatamos que ele padece de ambiguidade e imprecisão, não abordadas devidamente na literatura. O problema não é menor, pois, sem a devida depuração conceitual, são fatalmente feitos silogismos defeituosos e tiradas falsas conclusões, e tampouco é possível entender a solução einsteiniana para o dilema teórico.

Quando observamos os usos e interpretações do conceito de *relatividade*, constatamos que a ele é ordinariamente associada a ideia relativista de que “as quantidades físicas são relativas”, ou, em outras palavras, de que “não é possível falar em quantidades absolutas”, uma vez que os valores “sempre dependem do marco de referência do observador” (*frame-dependent*). Não é difícil rastrear a origem do cacoete que associa *relatividade* a *relativismo*.

Decerto está relacionado com a vocação da Física para o que Eddington (1987) chama de “conhecimento relativo do mundo”. Com efeito, boa parte das quantidades físicas é relativa ao observador, de modo que a divergência das medidas é não apenas admitida, mas até esperada:

Todos os termos familiares da física – comprimento, duração do tempo, movimento, força, massa, energia e assim por diante – referem-se primariamente a esse conhecimento relativo do mundo; e ainda está para existir uma, assimilada em uma descrição do mundo, que não seja relativa a um observador específico (p. 33). Um campo de força, como o comprimento e a duração, não é senão um vínculo entre a natureza e o observador. (EDDINGTON, 1987, p. 43)

Neste trecho, Eddington (2020, p. 21) sublinha o relativismo do *espaço* na Relatividade:

[Na teoria de Einstein,] a questão de um referencial singular e correto do espaço não vem ao caso. Há um marco espacial relativo ao observador terrestre; outro marco relativo aos observadores nebulares; outros relativos às estrelas. Marcos espaciais são relativos. Distâncias, comprimentos, volumes – todas as quantidades de medida do espaço pertencentes aos marcos – são igualmente relativos. Uma distância medida por um observador em uma estrela é tão boa quanto a distância medida por um observador em outra estrela. Não devemos esperar que elas concordem. Uma é a distância relativa a um marco; a outra é uma distância relativa a outro marco. Uma distância absoluta, não relativa a nenhum marco, não tem sentido. [...] Outras quantidades da física acompanham o marco espacial, portanto são também relativas.

Sabemos que, com a Teoria Especial, o *tempo* também foi relativizado, seja no sentido de medida da duração, seja no de simultaneidade de dois eventos separados. Podemos, assim, afirmar que em 1905 Einstein ampliou o estoque das quantidades relativas ao marco referencial (*frame-dependent*) e que, ao fazê-lo, acabou contribuindo, ainda que involuntariamente, para a percepção comezinha da Física como ciência “relativista”. Esse foi certamente fator adicional para induzir muitos a concluírem, precipitadamente, que em Física tudo seria “questão de perspectiva”. Mostraremos que tal inferência é defeituosa e carece de reparo.

Como Eddington adverte (2020, p. 22): “Não é verdade que todas as quantidades físicas sejam relativas”. Sabemos que na Física também se registram quantidades absolutas. O caso mais óbvio é o da velocidade de propagação da luz no vácuo, cujo valor é o mesmo em qualquer marco referencial. A existência dessa lei eletrodinâmica, recepcionada em sua inteireza pela Teoria da Relatividade sem a necessidade de ajuste, já é suficiente para invalidar a associação entre *relatividade* e *relativismo* e para provar que, na Física, nem tudo é questão de perspectiva. Mas esse não é o único exemplo. No Capítulo 2, é apresentada mais uma quantidade física absoluta: a distância espaço-temporal entre dois eventos, que nos dá valores sobre os quais quaisquer observadores, independentemente do movimento e posição, podem concordar.²²

Nesta passagem, Eddington sublinha o equívoco de associar relatividade e relativismo:

²² A qualificação das quantidades em absolutas ou relativas é, segundo Hofer (2023), endêmica na Mecânica.

A física da relatividade está particularmente interessada em invariantes, e descobriu e nomeou mais algumas. É um erro comum supor que a teoria da relatividade de Einstein declara que tudo é relativo. Na verdade, ela diz: “Existem coisas absolutas no mundo, mas você deve procurá-las mais a fundo. As coisas que primeiro se fazem conhecer são, na maioria das vezes, relativas”. (EDDINGTON, 2020, p. 23)

Embora permeada pelo relativismo de quantidades, a Física é ciência natural interessada em formulações gerais e universais da Natureza. O compromisso *não relativista* da Física é assinalado pelo astrofísico em dois trechos: “A busca do absoluto é a melhor forma de entender as aparências relativas” (EDDINGTON, 2020, p. 122); “É necessário mergulhar nesse mundo absoluto para buscar a verdade sobre a natureza” (EDDINGTON, 1987, p. 43).

Ora, se o princípio da relatividade fosse entendido de maneira relativista, teria sido impossível para Einstein, em 1905, conciliá-lo com a lei da constância da velocidade da luz, cujo valor é absoluto. Teríamos, fatalmente, de concluir que o dilema entre o postulado mecânico e a lei eletrodinâmica, solucionado pela Teoria Especial, era na verdade insuperável e que Einstein teria se enganado ao classificar o conflito como apenas “aparente”. Se na Física tudo fosse de fato “questão de perspectiva”, não se poderia aceitar a absolutez da velocidade da luz, e a argumentação einsteiniana estaria contaminada na raiz.

Se queremos evitar conclusões absurdas como essa, além de antinomias e contradições, impõe-se presumir que Einstein trabalhava, de maneira implícita, com a definição *não relativista* do princípio da relatividade. Tendo examinado significativa amostra bibliográfica, nossa pesquisa constatou que o problema conceitual em apreço não parece ser reconhecido pelos autores em geral. Cabe-nos então a tarefa de decifrar a interpretação einsteiniana, suprimindo a lacuna bibliográfica. Nosso entendimento é o de que é possível identificar definição *ortodoxa* do princípio da relatividade, que exclua a interpretação relativista e seja epistemologicamente satisfatória para compreender o argumento de Einstein.

Propomos esmiuçar o princípio em seis enunciados, logicamente encadeados, a partir da ideia basilar de movimento descrita acima (subseção 1.2.1): (i) todo movimento de um corpo é, por definição, *relativo* a outro tomado arbitrariamente (marco de referência); logo, (ii) não há movimento absoluto; logo, (iii) não é possível detectar o movimento *absolutamente*, isto é, sem recorrer a um marco arbitrário de referência; (iv) não há marcos referenciais absolutos ou privilegiados na Física; logo, (v) todos os marcos referenciais estão epistemologicamente em pé de igualdade, pois são particulares e não há meios de estabelecer hierarquia entre eles e determinar qual seria melhor ou prioritário (*princípio da equivalência*); e (vi) as leis da física devem ser universais, aplicando-se indistintamente a todos os sistemas de coordenadas. Os

enunciados *i*, *ii* e *iii* abrangem exclusivamente o “movimento”; os demais (*iv*, *v* e *vi*) gozam de validade geral para outros conceitos e quantidades físicas (e.g. velocidade, tamanho e direção).

Dessa forma, conseguimos definir o princípio da relatividade em versão depurada, sem ter de recorrer ao relativismo das quantidades físicas e, assim, sem ter de recusar a possibilidade de valores absolutos, como a velocidade da luz e as distâncias espaço-temporais. A essência do conceito é definida pela paridade dos marcos de referência (enunciados *iv* e *v*) ou, de outra forma, pela universalidade das leis da física (*vi*). Enquanto na Mecânica Clássica o termo “relatividade” estava associado ao “relativismo” das quantidades, na Teoria da Relatividade o foco associativo está na inexistência de marcos absolutos. Interpretar o princípio da relatividade pela óptica tradicional é incursionar em terreno repleto de armadilhas epistemológicas.

A equivalência dos marcos constitui a pedra de toque na definição depurada de *relatividade*. Tão logo adotamos essa acepção – pela qual não existem marcos absolutos nem privilegiados – torna-se perfeitamente compreensível as reivindicações einsteinianas em 1905 de que o princípio da relatividade e a absolutez da velocidade da luz eram conciliáveis e de que o conflito mecânico-eletrodinâmico no século XIX era apenas aparente. Podemos, assim, presumir que a interpretação *não relativista* do princípio da relatividade, por oferecer chave de leitura da Teoria Especial, era a definição que estava subentendida na argumentação teórico-conceitual de Einstein. A conclusão einsteiniana de que o conflito era apenas aparente era incompatível com a interpretação *relativista*. Assim, se queremos dar sentido ao raciocínio einsteiniano, devemos abandonar a interpretação espúria do relativismo das medidas.

À interpretação depurada do princípio chamamos alternativamente de *democrática*, em virtude de dois de seus aspectos: a paridade dos observadores e a universalidade das leis. A relatividade de Einstein remete à inexistência de privilégios ou prerrogativas entre os sistemas de coordenadas, contra o relativismo das quantidades. Na Física, não há meio de determinar se um ponto de vista é melhor do que o outro; todas as perspectivas estão em pé de igualdade. As leis físicas aplicam-se rigorosamente de modo igualitário. Para Einstein (2020, p. 113), inspirado em Mach (subseção 1.1.2, acima), elas devem ser de tal natureza que sejam igualmente válidas em quaisquer sistemas de coordenadas, sem fazer acepção entre marcos (BARBOUR, 1999, p. 152). A interpretação *democrática* não nega a existência das quantidades absolutas; o que nega é a existência de marcos especiais e preferenciais. É compreensível a insistência de Einstein em que não deveria haver seleção arbitrária dos sistemas de coordenadas para expressar as leis da natureza (BARBOUR, 1999, p. 156).

O mérito da Teoria Especial pode ser entendido, nesse contexto, como o de ter confirmado a absolutez da velocidade das ondas eletromagnéticas sem a necessidade de inventar um estado de coisas absoluto nem de conjecturar um marco preferencial. A escolha do termo “relatividade” por Einstein para nomear sua teoria parece-nos, portanto, estar associada com a equivalência dos marcos e a inexistência de marcos absolutos, e não com a relativização dos conceitos de *duração* e *simultaneidade*.

Em suma, existem duas maneiras de interpretar o princípio da relatividade: uma espúria, de corte relativista; e outra depurada e epistemologicamente neutra. Embora semelhantes, elas têm implicações distintas e até incompatíveis. Na primeira, relativista, o significado do princípio é formulado como: “tudo é questão de perspectiva”, o que implica a impossibilidade de concordar sobre quantidades físicas (cada valor/quantidade depende do marco selecionado). Na segunda, não relativista ou democrática, a formulação é sutilmente distinta: “nenhuma perspectiva é melhor que outra”, ou, em outras palavras, “as perspectivas são indiferentes e iguais perante as leis da Natureza”, o que implica a impossibilidade de hierarquizar pontos de vista particulares, pela falta de critério absoluto ou privilegiado.

Vê-se, pois, que o conceito de “relatividade” é ambíguo e escorregadio, o que justifica atento discernimento. Por não ser sistematicamente examinado na literatura, constitui frequentemente como ocasião de tropeço. Nosso esclarecimento conceitual permite precaver-nos contra as más-compreensões originadas da adoção indiscriminada da interpretação espúria. Como exemplo ilustrativo, vale citar a corriqueira leitura equivocada da Teoria da Relatividade que presume que, com ela, tudo teria passado a depender do ponto de vista do observador (relativismo). Nesse erro parecem incorrer Huggett *et al* (2023) quando afirmam que Einstein queria, se possível, expurgar da Física todas as quantidades absolutas. O citado equívoco é consequência direta da comum confusão conceitual entre “relatividade” e “relativismo”. Nele incorreu igualmente, a nosso ver, o jornalista Johnson (1991), quando, em sua narrativa histórica *Tempos Modernos*, associou o sucesso da Teoria Geral da Relatividade no pós-I Guerra ao abandono dos padrões absolutos, morais e filosóficos, isto é, ao relativismo moral e epistemológico. Embora Johnson tenha sido sagaz em designar como marco histórico emblemático a confirmação experimental da Relatividade em 1919, pelas observações do eclipse solar, não soube interpretar corretamente a teoria einsteiniana. O autor vê na teoria de Einstein uma permissividade intelectual e um relativismo absolutamente inexistentes nela. Ainda que a Teoria Especial tenha, como assinalamos antes, contribuído para aumentar o estoque das quantidades relativas na Física (o tempo, em particular), um dos grandes méritos

da Física Relativística – como restará demonstrado no Capítulo 2, quando tratarmos da Geometria do Espaço-Tempo – foi o de encontrar valores consensuais, independentemente do sistema de coordenadas, sem postular marco absoluto. Embora cada observador tenha seu ponto de vista, a Teoria da Relatividade identifica elementos invariáveis.

A interpretação espúria da Teoria da Relatividade é abordada por Russell (2009, p. 9):

Certo tipo de pessoa superior gosta de afirmar que “tudo é relativo”. É claro que isso é um absurdo, porque, se tudo fosse relativo, não haveria nada a que isso fosse relativo. Porém, sem cair em absurdos metafísicos, é possível sustentar que tudo no mundo físico é relativo a um observador. Essa visão, verdadeira ou não, não é a adotada pela “teoria da relatividade”. Talvez o nome seja infeliz; certamente levou filósofos e pessoas incultas a confusões. Eles imaginam que a nova teoria prova que tudo no mundo físico é relativo, enquanto, ao contrário, ela está totalmente preocupada em excluir o que é relativo e chegar a uma declaração de leis físicas que não dependerá de forma alguma das circunstâncias do observador.

Aqui finalizamos a explanação não exaustiva da Teoria Especial da Relatividade, que modificou nossa compreensão do tempo. De acordo com ela, vimos que: (i) a medida da duração entre dois eventos depende do marco de referência, em contraste com a Física Clássica, para a qual a contagem do tempo era absoluta (relativização da duração); (ii) a questão sobre se dois eventos separados são simultâneos também é matéria ambígua, porque depende do ponto de vista (relativização da simultaneidade); (iii) o teorema clássico da adição de velocidades precisou ser corrigido para se adaptar à lei eletrodinâmica da constância da velocidade da luz e das ondas eletromagnéticas; e (iv) identificou-se um limite cósmico máximo de velocidade, cujo valor coincide com o da velocidade da luz no vácuo.

Essas não foram as únicas modificações implementadas por Einstein, mas são as que nos interessam de modo principal. Por limitação de escopo de nossa pesquisa, não puderam ser abordadas questões relevantes associadas à Teoria Especial, como o *paradoxo dos gêmeos*, a *convencionalidade da simultaneidade* (suscitada pelo filósofo Hans Reichenbach), a *relativização da massa* e a compreensão da *massa como reservatório de energia*, que acabou desembocando na produção de armas de destruição em massa a partir dos anos 1940. No próximo capítulo, discorreremos sobre a segunda revisão fundamental a que a noção de tempo foi submetida. Dessa vez, a contribuição veio da Geometria, mais precisamente do matemático lituano-alemão Hermann Minkowski.

CAPÍTULO 2 – A FUSÃO DAS QUATRO DIMENSÕES FÍSICAS:

UM NOVO *TEMPO* COM HERMANN MINKOWSKI

O não-matemático fica arrepiado quando ouve falar de coisas “quadridimensionais”, como a sensação suscitada por pensamentos sobre um mistério. Entretanto, nenhuma afirmação é mais lugar-comum do que a de que o mundo em que vivemos é um ‘continuum’ espaço-temporal quadridimensional.

(Albert Einstein, Relatividade: a Teoria Especial e a Geral, p. 68)

2.1 O entrelaçamento do espaço e do tempo: descoberta contraintuitiva

No capítulo anterior, vimos que a Teoria Especial da Relatividade, de 1905, aboliu a concepção absoluta de tempo, tanto no sentido de *duração* (ou *intervalo*) quanto de *simultaneidade* de dois eventos separados. Na Física Clássica, todos esses conceitos eram entendidos como medidas ou constatações universais, isto é, de valor invariável: igual em qualquer marco de referência e independente dos sistemas de coordenadas. Surpreendentemente, a contagem dos relógios e a ordem dos eventos provaram-se questões relativas ao marco de referência inercial selecionado (*frame-dependent*). A relativização dessas noções temporais, na qual teve importante participação o gênio de Einstein, foi, no entanto, apenas a primeira revisão substantiva pela qual o conceito de “tempo” passou no início do século XX. Pouco tempo depois, entre 1907 e 1908, essa grandeza física sofreria outra reformulação – igualmente contraintuitiva e revolucionária –, desta vez pela contribuição fundamental do geômetra lituano-alemão Minkowski. É sobre ela que este capítulo discorrerá. Como veremos adiante, as duas mencionadas reformas do tempo estão intrinsecamente relacionadas: a segunda pode ser entendida como tradução da primeira em linguagem matemática. Essa tradução deu-se por meio da representação da Teoria Especial como figura geométrica quadridimensional (4D), ou *hipersólida*, denominada *espaço-tempo*.

Em 21 de setembro de 1908, a quatro meses de morrer precocemente aos 44 anos de idade, o geômetra Hermann Minkowski abriu a palestra “Espaço e Tempo” (*Raum und Zeit*), na cidade alemã de Colônia,²³ com declaração que viria a se tornar divisor de águas na Física teórica e, mais tarde, na Metafísica ou Ontologia, a saber:

Senhores, as visões do espaço e do tempo que lhes quero apresentar surgiram no campo da física experimental, e aí reside sua força. Elas são radicais. Doravante, o espaço e o tempo pensados em si mesmos desvanecem em meras sombras, e apenas uma união dos dois é que preserva sua independência. (MINKOWSKI, 2020, p. 57)

²³ Palestra proferida por ocasião da 80ª reunião do Congresso de Cientistas Naturais e Físicos.

A profundidade da resumida asserção do matemático²⁴ e sua relevância até nossos dias, mais de um século depois, são bem assinaladas pelo físico britânico Julian Barbour, nesta sucinta afirmação: “Essas três frases mudaram a ontologia do mundo” (BARBOUR, 1999, p. 138). A mudança ontológica promovida por Minkowski no início do século XX representou significativa inovação frente à Física clássica e à ainda predominante visão intuitiva do senso comum acerca da relação entre o tempo e o espaço. Antes de Minkowski, as três dimensões do espaço e a do tempo eram realidades relacionadas, mas ontologicamente separadas. A maioria dos cientistas do século XIX considerava o espaço tridimensional – o conjunto de pontos infinitesimais – como algo mais fundamental e que percorre a quarta dimensão ou persiste no tempo (BARBOUR, 1999, p. 139). No novo modelo ontológico minkowskiano proposto, a dimensão do tempo e as três do espaço foram fundidas para formar uma única e indissolúvel estrutura física fundamental de quatro dimensões (4D): o *espaço-tempo*, cujos pontos infinitesimais são chamados *eventos* ou *eventos-pontos*. Não falamos mais de um espaço tridimensional independente ou dissociado do tempo, mas de uma *liga*, em que os elementos espaciais e o temporal estão amalgamados.

Como disse Minkowski (2020, p. 77): “Estamos lidando aqui com o fato de que o mundo no espaço e no tempo é, em certo sentido, uma figura não euclidiana quadridimensional” (*four-dimensional non-Euclidean manifold*). No mundo 4D, explica, “não temos mais *o espaço*, mas número infinito de *espaços*, análogo ao espaço 3D, com infinito número de planos. A geometria tridimensional torna-se um capítulo da física quadridimensional” (MINKOWSKI, 2020, p. 62).

Mourão (1997, p. 40) observa, de maneira curta, mas escorreita, que o espaço-tempo é realidade fundamental e indissolúvel: “Não se pode separar o espaço do tempo. Só a combinação dos dois – o espaço-tempo – é que possui existência independente. O espaço-tempo é o meio em que ocorrem e sucedem os eventos”. Ao contrário dos conceitos individuais de espaço e tempo, o novo espaço-tempo de Minkowski existe de modo independente do observador. É o que sublinha Galison (1979, p. 23): “Para além das divisões de tempo e espaço impostas à nossa experiência, subsiste uma realidade superior, imutável e independente do observador”. Pode-se, assim, falar de uma realidade absoluta, que transcende os particularismos: o “postulado do mundo absoluto”, a ser explorado na Seção 2.7.

²⁴ Os interesses de Minkowski não se restringiam à Geometria (GALISON, 1979, p. 11). Ele interessou-se por vários problemas na Física. Em 1888, publicou artigo sobre hidrodinâmica; e seu interesse pelo trabalho de Heinrich Hertz (1857-1894) era tão forte que, não tivesse o físico alemão falecido prematuramente, Minkowski teria debandado para a Física.

Minkowski estava plenamente ciente do caráter revolucionário da fusão físico-geométrica e da nova quadridimensionalidade que ele havia descoberto. Isso é constatável em sua própria declaração em Colônia, citada acima, bem como em outra passagem, em que o geômetra afirma que a introdução da ideia de *espaço-tempo* representou “remodelamento de nossa visão da natureza” com “consequências profundas” (MINKOWSKI, 2020, p. 61). Com efeito, a fundição do espaço e do tempo em um sólido quadridimensional contradiz nossas intuições mais elementares da realidade. O próprio Minkowski apontou a heterogeneidade do espaço e do tempo como a possível razão por que tal fusão jamais fora seriamente proposta antes dele: “O caráter inteiramente heterogêneo [do espaço e do tempo] pode ter desincentivado qualquer intenção de fundi-los” (MINKOWSKI, 2020, p. 58).²⁵

Para Petkov (2020, p. 26), a “física quadridimensional de Minkowski (espaço-tempo) e a descoberta de Einstein de que a gravidade é a manifestação da curvatura do espaço-tempo permanecerão para sempre como as duas maiores conquistas intelectuais”. A avaliação do autor, a nosso ver, seria mais rigorosa se especificasse um parâmetro, pois a falta de base de comparação (na Física? na Ciência? no século XX? de toda a história do conhecimento?) abre flanco na argumentação do autor. De todo modo, não haveria, a nosso ver, nenhum exagero em incluir a descoberta da indissolubilidade do espaço e do tempo, por Minkowski, e a teoria gravitacional de Einstein entre as inovações mais importantes da Física teórica e em defini-las como marcos da Física contemporânea.

Alhures, Petkov (2009, p. v) afirma, a nosso parecer com razão, que a quadridimensionalidade minkowskiana foi condição de possibilidade da Física moderna. O geômetra não só deu expressão matemática à Relatividade Especial, como também forneceu o elemento que seria medular na Relatividade Geral. Sem esse item, a Teoria einsteiniana “teria sido impossível” (PETKOV, 2009, p. v). Einstein só pôde identificar o fenômeno da gravidade como curvatura do espaço-tempo (pedra fundamental da Teoria Geral da Relatividade) depois de superar sua resistência inicial à representação geométrica da Relatividade Especial e abraçar o espaço-tempo minkowskiano como a descrição da estrutura do Universo (*manifold*).

²⁵ Como veremos na Seção 2.8, D’Alembert mencionou, já no século XVIII, a ideia de fundir o espaço e o tempo (originária de um conhecido seu, cujo nome não é informado), mas não consta que ela tenha sido apresentada em contexto teórico.

2.2 Teoria da Quarta Dimensão: precedentes e modalidades

2.2.1 *Quadridimensionalidade espacial vs. Quadridimensionalidade espaço-temporal*

Uma observação é necessária a respeito do tipo de quadridimensionalidade proposto por Minkowski e adotado por Einstein na Teoria Geral da Relatividade. Como já se sabe, ele é de natureza *espaço-temporal* e, como tal, não deve ser confundido com outra espécie de quadridimensionalidade, esta de natureza *espacial*, estudada no âmbito da Geometria. Enquanto na modalidade espaço-temporal, a quarta dimensão é identificada com o tempo; na espacial, uma dimensão adicional do espaço é que cumpre a função da quarta dimensão, de modo abstrato, como exercício puramente matemático e sem compromisso com o realismo físico.

Falamos, então, de duas espécies do gênero “teoria da quarta dimensão”: (i) a teoria *não espacial*, assumida com compromisso pela Física Relativística, na qual a quarta dimensão é o tempo; e (ii) a teoria *espacial*, abstrata e especulativa, segundo a qual todas as quatro dimensões seriam espaciais, e não apenas três. Na primeira, o conjunto quadridimensional é denominado *espaço-tempo*, objeto de interesse de físicos e metafísicos (e objeto deste Capítulo 2). Na segunda, o *continuum* quadridimensional é designado *hiperespaço*,²⁶ estudado por geômetras.

A teoria espacial da quarta dimensão, ou do hiperespaço, foi explorada na Geometria no século XIX e chegou a ser, de modo especulativo, utilizada nas Ciências Naturais como hipótese explicativa de certos fenômenos físicos, químicos e até biológicos. Interessantes casos moleculares são mencionados na coletânea internacional de ensaios sobre a quarta dimensão espacial *The Fourth Dimension Simply Explained*, editada em 1909 pelo matemático americano Henry Parker Manning (1859-1956) – vide WORRELL, 2005, p. 151-152; JOHNSTON, 2005, p. 186; SILVERMAN, 2005, p. 240; e FITCH, 2005a, p. 50. A obra (MANNING, 2005a) congrega 22 artigos, em que 21 autores oferecem interessante amostragem do entendimento à época sobre a quadridimensionalidade espacial.

2.2.2 *Quadridimensionalidade minkowskiana vs. Quadridimensionalidade clássica*

Outra observação fundamental – e mais importante – deve ser feita em relação à noção de *quadridimensionalidade espaço-temporal*. A ideia de que a realidade se compõe de três dimensões do espaço e uma do tempo é muito anterior a Minkowski e a Einstein; ela já estava

²⁶ “Hiperespaço” é designação ampla usada para referir-se ao espaço 4D, de onde são simbolicamente recortadas as figuras 4D particulares. “Hipersólidos” é a designação genérica de tais figuras geométricas, cujas espécies são, e.g., a hiperesfera e o hipercubo. Ao último também se costuma denominar “tesseracto” ou “octácoro”.

presente na Física Clássica – da mesma forma como a *quadrimensionalidade espacial*, comentada na subseção anterior, já existia na Geometria do século XIX. O próprio Einstein (2015, p. 169) advertiu-nos sobre a necessidade de “nos precaver contra a opinião de que a quadrimensionalidade da realidade foi introduzida pela primeira vez [pela teoria da relatividade]”. Ele argumenta que, já na Mecânica Clássica, um evento era localizado por quatro números: uma coordenada temporal e três espaciais, e que o conjunto de todos os eventos físicos era pensado no marco de uma totalidade quadrimensional. Assim, é correto falar de *quadrimensionalidade* na Física Clássica, em que o conjunto dos fatos físicos é pensado em três dimensões do espaço e uma do tempo.

O contraste entre as Mecânicas Clássica e Relativística foi sagazmente descrito por Einstein (2015). Segundo ele, a diferença entre as duas modalidades de quadrimensionalidade está no fato de que a primeira desmembrava o *continuum* de quatro dimensões em um tempo unidimensional e três seções espaciais (EINSTEIN, 2015, p. 170). Tal desmembramento valia para todos os sistemas inerciais, de forma que, por exemplo, a simultaneidade de dois eventos para um sistema inercial implicava a simultaneidade desses eventos para todos os demais sistemas inerciais. É nesse sentido que deve ser compreendida a afirmação de que o tempo da Mecânica Clássica era *absoluto*.

Na quadrimensionalidade tradicional, o espaço tridimensional flui no tempo por inteiro, de instante a instante, de modo que todos os pontos desse sólido 3D se movem conjuntamente, ao mesmo ritmo, e estão sempre localizados no mesmo instante. Por isso, o espaço tridimensional da Física clássica é chamado de *hiperplano da simultaneidade*, pois todos os pontos do sólido são absolutamente simultâneos, de modo que todos os observadores do hiperplano concordam sobre a sequência ou a concomitância dos eventos. Igualmente, poderíamos chamar o espaço 3D clássico de *hiperplano da duração*, uma vez que todos os pontos do sólido fluem junto, ao mesmo ritmo. Como sublinha o astrofísico francês contemporâneo Jean-Pierre Luminet (1951-), “a mecânica clássica supõe que o tempo flui à mesma taxa em todos os marcos de referência” (2011, p. 529). O tempo corre igualmente para todos os observadores, de maneira absoluta. A taxa de passagem do tempo, isto é, a velocidade de rolagem do sólido espacial pela dimensão temporal, é a mesma para todos os pontos do hiperplano: $t = 0$; $t = 1$; $t = 2$; [...] $t = n$ (vide adiante Figura 5).

O hiperplano tridimensional da simultaneidade e da duração, da Física Clássica, consiste em um sólido de três dimensões movendo-se ao longo da quarta dimensão. Essa é a imagem tradicional da realidade, que sobrevive obstinadamente até hoje como senso comum e até como

geometria de base para certas teses filosóficas (em especial, o *presentismo* e o *endurantismo*, a serem abordados no Capítulo 3). Nela, o universo é constituído de quatro dimensões, mas é organizado de forma que o espaço tridimensional está separado do tempo e livre para se movimentar na quarta dimensão, ainda que em apenas um sentido. O espaço tridimensional percorre a dimensão temporal, de modo análogo à bola arremessada sobre a pista de boliche. Como essa não forma unidade com a pista, o bloco 3D tampouco está fundido com o tempo.

Com o advento da Mecânica Relativística, “o espaço e o tempo devem ser considerados um *continuum* quadridimensional objetivamente indissolúvel” (EINSTEIN, 2015, p. 170). Como o físico explica, o *continuum* não mais se resolve em fatias ou seções contendo eventos simultâneos. A realidade deixa de ser pensada como hiperplano de simultaneidade. Continua sendo possível falar em eventos simultâneos, mas sempre de um ponto de vista, e nunca de modo absoluto e independente de um sistema inercial específico. Barbour (1999, p. 143) afirma:

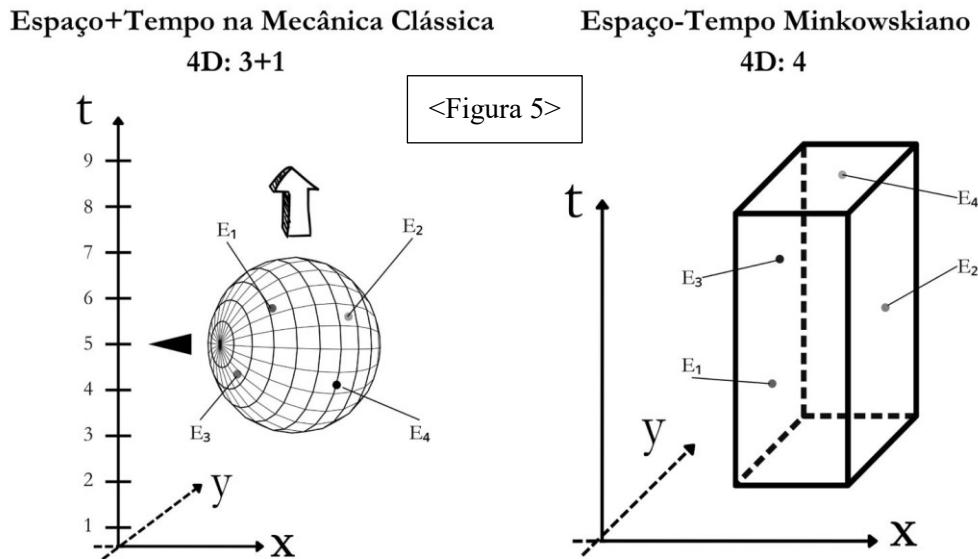
Na física newtoniana, o espaço em um instante de tempo é um hiperplano tridimensional no espaço-tempo newtoniano quadridimensional. É um hiperplano de simultaneidade: todos os pontos nele estão no mesmo tempo. Tais hiperplanos também existem no espaço-tempo de Minkowski, mas não formam mais uma família única. Cada divisão do espaço-tempo em espaço e tempo fornece uma sequência diferente deles.

Como foi demonstrado no Capítulo 1, a descrição da realidade como hiperplano da simultaneidade, em que a ordem dos eventos e a contagem do relógio são absolutas, é abandonada pela Teoria Especial da Relatividade. Em 1905, o jovem Einstein, em 1905, relativizou a simultaneidade e a duração, partindo da premissa eletrodinâmica de que a velocidade da luz no vácuo é absoluta, invariável e independente do marco de referência. Os postulados da Teoria Especial foram empiricamente comprovados e estão consolidados. Observadores medem intervalos diferentes e constatarem ordem distinta de eventos, conforme sua perspectiva individual. Quanto mais velozmente um corpo se move no espaço em relação a um marco em repouso (K), mais relativamente devagar será o ritmo da passagem do tempo em seu sistema inercial em movimento (K’). Inversamente, o relógio de K acelera-se relativamente ao de K’ à medida que a velocidade do segundo em seu deslocamento no espaço é incrementada. O espaço e o tempo afetam-se mutuamente, como se indissociavelmente ligados.

Outra consequência da Mecânica Relativística é que a palavra “agora” perde seu significado objetivo ou absoluto. Seu sentido é subjetivo e relativo ao marco de referência. Mais uma vez, é-nos útil a explicação de Barbour (1999, p. 142): “Na física newtoniana [...], existe uma sequência única de instantes de tempo, cada um dos quais se aplica ao universo inteiro. Isso é derrubado na relatividade, onde cada evento pertence a uma infinidade de *Agoras*. Isso

tem implicações importantes para como pensamos o passado, o presente e o futuro”. O físico britânico antecipa o “eternismo”, tese metafísica a ser abordada no Capítulo 3.

Como observou o astrônomo brasileiro Rogério Mourão, a Teoria Restrita da Relatividade, além de descobrir o caráter relativo do tempo, “revelou a associação [do tempo] com o movimento e, portanto, com o espaço” (MOURÃO, 1997, p. 48). Minkowski suspeitou de que os comportamentos gêmeos do espaço e do tempo (contração e dilatação, respectivamente) eram sintomáticos de algo mais fundamental na Física. O geômetra concluiu que a íntima correlação entre o espaço e o tempo só podia ser adequadamente explicada se tais grandezas estivessem unificadas em um *manifold* de quatro dimensões de forma indissolúvel, e não desmembradas como no universo da Física Clássica. Na geometria física proposta por Minkowski, o espaço e o tempo passaram a conformar realidade ontológica única. Apesar de estranha, tal descrição do mundo como *espaço-tempo* indissolúvel teve duplo mérito: traduziu a Teoria Especial em termos matemáticos e forneceu a Einstein ingrediente essencial para a elaboração da Teoria Geral. As ilustrações a seguir (Figura 5) permitem visualizar as substantivas diferenças entre os universos quadridimensionais clássico e minkowskiano.²⁷



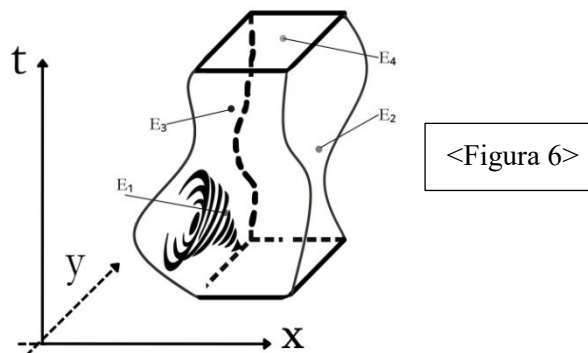
Na primeira ilustração, o sólido 3D (no caso, uma esfera, mas qualquer outro tipo de sólido poderia ter sido utilizado) é o hiperplano tridimensional da simultaneidade, representativo da totalidade do universo espacial 3D da Física clássica. O paralelepípedo da segunda ilustração representa a totalidade do universo espaço-temporal de Minkowski de

²⁷ Por natural limitação gráfica em 2D, as ilustrações consistem em aproximações e descrições incompletas. Uma dimensão espacial é sacrificada, e outra só pode ser imaginada, por meio da noção de profundidade.

quatro dimensões (4D). Em contraste com o mundo 3D da experiência, que envolve evolução, movimento e mudança; no bloco 4D minkowskiano, nada parece “acontecer” ou “evoluir”, apenas “existir”. Após resistência inicial de Einstein, o modelo minkowskiano foi não apenas aceito pelo físico, como também utilizado como pedra fundamental na Teoria Geral da Relatividade (embora com adaptações).

A seguir, a Figura 6 ilustra, de maneira simplificada, o modelo espaço-temporal adotado por Einstein na Teoria Geral. O modelo einsteiniano inspira-se fundamentalmente no bloco quadridimensional minkowskiano, que unifica o tempo e o espaço, mas difere dele pela característica de que esse bloco não forma figura geométrica plana. O espaço-tempo einsteiniano supõe uma geometria não euclidiana, isto é, pois ele se deforma pela presença de matéria (planetas, estrelas, buracos negros). Pode ser definido como um espaço-tempo minkowskiano repleto de *campos gravitacionais*.

Espaço-Tempo na Teoria Geral da Relatividade
4D: 4 (não euclidiano)



É importante notar que, no esquema clássico, o sólido onde todos os eventos espaciais estão contidos (a esfera em nossa ilustração acima) está, por sua vez, contido no conjunto quadridimensional total. Em outras palavras, o conjunto das quatro dimensões contém o conjunto dos eventos. Em contraste, no esquema minkowskiano-einsteiniano, o conjunto 4D total coincide com o conjunto dos eventos. Há perfeita sobreposição dos dois conjuntos, de forma que apenas um item lexical é suficiente para fazer referência ao “palco de nossa existência”. “Universo”, “realidade”, “mundo” ou “natureza”; qualquer uma dessas palavras pode ser convencionalmente usada para designá-lo. No mundo clássico, porém, o fato de haver duas figuras geométricas não coincidentes suscita a questão da necessidade de criar dois conceitos distintos para designar respectivamente cada um dos conjuntos. “Universo” parece-nos opção conceitual possível para designar a figura tridimensional onde todos os eventos estão congregados: pois é nesse conjunto onde tudo ocorre. A região exterior ao sólido 3D, na qual

nada acontece e nada existe, é um misterioso território vazio, sem ontologia clara, que não serve senão como avenida para o deslocamento do “universo 3D”. Se “Universo” é então nossa escolha lexical para designar o conjunto 3D, qual termo poderia ser empregado para nomear o conjunto amplo de quatro dimensões? “Realidade”, talvez, como fez Einstein (2015); ou “mundo”; quiçá, “natureza”. “Espaço-tempo clássico” parece-nos o mais adequado (vide próximo parágrafo). O mais importante não é, contudo, definir uma nomenclatura, mas mostrar a ambiguidade ontológica com que a Mecânica Clássica precisa lidar, ao ter de conceber dois conceitos de *mundo*, um dos quais parece ser bastante obscuro. Já a Mecânica Relativística está isenta da inconveniência da estranha dualidade de “existências”, pois o espaço-tempo 4D corresponde exatamente ao Universo da existência.

Podemos falar de um *espaço-tempo newtoniano* ou *clássico*, por oposição ao *espaço-tempo minkowskiano* (HUGGETT, 2023; BARBOUR, 1999, p. 143). A terminologia “espaço-tempo” aplicada à Física Clássica soa, a princípio, anacrônica e inadequada, pois a cunhagem desse item lexical é mais recente, bem posterior a Newton, e, com toda a probabilidade, de origem alemã (*Raumzeit*). Por isso, no caso da quadridimensionalidade clássica, preferimos tecnicamente falar de “espaço+tempo”, com a convenção de um sinal de adição para indicar que as duas grandezas envolvidas estão desmembradas, isto é, relacionam-se, mas não estão amalgamadas. Assim, nosso léxico criativo (com o sinal de adição) contrapõe-se a “espaço-tempo”, cujo hífen serve convencionalmente para sinalizar outro tipo de relação entre o espaço e o tempo: a de fusão em um bloco único, sem a possibilidade de separação. Enquanto no espaço+tempo as duas grandezas preservam sua individualidade e seu caráter fundamental; no espaço-tempo, elas estão ontologicamente fundidas e não são mais que recursos convenientes da linguagem para abstratamente designar frações do todo quadridimensional indissolúvel e fundamental. A distinção entre tempo e espaço é apenas fenomenológica, e não ontológica. Individualmente consideradas, não têm caráter fundamental nem subsistência ontológica. Por isso, no contexto do paradigma relativístico, são comparados a meras “sombras” do mundo real.

A despeito da anacronia etimológica da terminologia “espaço-tempo” para abarcar a descrição clássica do universo, cremos que a utilização permissiva não estaria equivocada, desde que concordemos em atribuir abrangência conceitual mais ampla ao termo “espaço-tempo”, para englobar ambos os tipos de relação entre as grandezas “espaço” e “tempo”: a de desmembramento e a de fusão. A utilização do léxico com semântica genérica requer, contudo, a precaução de que sejam qualificadas as espécies de espaço-tempo: clássica e minkowskiana,

que são absolutamente distintas. Isso equivale a distinguir entre as *modalidades clássica e moderna de quadridimensionalidade espaço-temporal*.

Feitos esses esclarecimentos, a conclusão mais importante que pode ser tirada neste Capítulo 2 é a de que a grande inovação da Geometria Física de Minkowski não é exatamente a descoberta da quadridimensionalidade do Universo nem a concepção de um espaço-tempo genérico, mas a descoberta de *certa espécie* de quadridimensionalidade e de *certo tipo* de espaço-tempo, em que a dimensão do tempo e as três do espaço estão indissolúvelmente amalgamados (*spacetime*, sem hífen, é a melhor representação lexical, a nosso ver). Logo, parece-nos mais apropriado afirmar que a maior contribuição de Minkowski para a Física contemporânea foi a descoberta da união e indissolubilidade das duas grandezas da realidade até então vistas como separadas e fundamentais. Assim, é importante que os conceitos de “espaço-tempo” e de “quadridimensionalidade” não sejam usados sem qualificações, de forma genérica. Falamos aqui da quadridimensionalidade relativística, por oposição à clássica, e do espaço-tempo minkowskiano, por oposição ao espaço-tempo clássico.

2.2.3 Dando crédito a Minkowski

A descoberta de Minkowski de que o espaço e o tempo, até então vistos como coisas separadas, são na verdade manifestações de algo indissolúvel e mais fundamental na Natureza provavelmente não teria sido possível sem o acervo teórico disponível na Física à época. Como visto no Capítulo 1 (Seção 1.1), a Teoria Especial da Relatividade mostrou que o tempo e o espaço tinham propriedades semelhantes e reagiam de modo similar à aplicação de movimento a um sistema de coordenadas. O primeiro dilata-se, o segundo contrai-se; ambos à mesma proporção (Fator de Lorentz). A dilatação temporal e a contração espacial são efeitos relativísticos gêmeos, obedientes à mesma lógica. Eis o que Einstein (2015, p. 70) asseverou:

[...] as leis naturais que satisfazem os requisitos da teoria [especial] da relatividade assumem formas matemáticas nas quais a coordenada do tempo desempenha exatamente o mesmo papel das três coordenadas do espaço. Formalmente, essas quatro coordenadas correspondem exatamente às três coordenadas espaciais na geometria euclidiana.

Enquanto Minkowski e Lorentz compreendiam as transformações das réguas e dos relógios como *fenômenos*, Einstein considerava-as apenas como divergência de nossas mensurações do espaço e do tempo (GALISON, 1979, p. 17). De todo modo, a flexibilidade das réguas era uma ideia mais fácil de digerir. Já a flexibilidade dos relógios chocava nossa intuição. Para ver tal diferença de contraintuitividade, é útil o exemplo ilustrativo de Stannard (2017, p. 24-25). Imaginemos um lápis em uma sala com várias pessoas. Cada uma chegará a

conclusões diversas sobre o comprimento da imagem projetada pelo objeto, de acordo com seu ponto de vista. Uma pessoa que observe o lápis de uma posição perpendicular medirá o comprimento real do lápis; para outras, o objeto aparecerá com extensão cada vez menor à medida que se reduza o ângulo de visão, até que alguém posicionado a um ângulo de 180 graus em relação ao lápis o perceberá praticamente como ponto no espaço (dimensão = 0). A variação aparente das mensurações espaciais é compreendida pelo senso comum de modo natural e sem esforço; entretanto, quando se trata do tempo, causa perplexidade que as medidas dos relógios variem de acordo com o movimento do observador.

As transformações de Lorentz e a Teoria Especial foram terreno propício para a proposição da nova ontologia de Minkowski. Ao revelarem a relação direta entre o tempo e o espaço, Lorentz e Einstein pavimentaram o caminho para a descoberta do espaço-tempo. Mourão (1997, p. 48) diz que “a teoria da relatividade restrita, além de estabelecer o caráter não absoluto do tempo, revelou sua associação [do tempo] com o movimento e, portanto, o espaço”. A observação é correta, mas o astrônomo brasileiro peca ao creditar à Teoria Especial a novidade da fusão do espaço e do tempo. Deixa a entender nesta passagem que a aglutinação espaço-temporal apareceu graças a Einstein, em 1905: “se fala, desde então [desde a Teoria Especial de 1905], do espaço-tempo a quatro dimensões em lugar de um espaço tridimensional acompanhado de um tempo unidimensional independente” (MOURÃO, 1997, p. 48).

Mourão (1997) não é o primeiro nem o único autor a omitir o pioneirismo de Minkowski na concepção do espaço-tempo. O erro é frequente na literatura, e isso justifica a dedicação desta Seção. A mesma omissão pode ser constatada, por exemplo, em Russell (2009), obra em que o filósofo britânico populariza a Relatividade, de 1925. Nela, encontramos duas passagens atribuindo a Einstein, explícita ou implicitamente, o conceito *espaço-tempo* (grifos nossos):

Antes de entrar em detalhe na teoria especial da relatividade, quero tentar transmitir ao leitor o que está envolvido na nova expressão “espaço-tempo”, pois isso é talvez, da perspectiva filosófica e imaginativa, a mais importante das novidades que Einstein introduziu. (RUSSELL, 2009, p. 37)

Pensava-se que os métodos de fixação da posição no espaço e no tempo poderiam ser totalmente independentes um do outro. Por essa razão, as pessoas consideravam o tempo e o espaço como bastante distintos. A teoria da relatividade mudou isso. [...] Os cálculos de espaço e tempo não são mais independentes um do outro. Se você alterar a maneira de medir a posição no espaço, também poderá alterar o intervalo de tempo entre dois eventos. Se alterar a forma de contar o tempo, também poderá alterar a distância no espaço entre dois eventos. Assim, o espaço e o tempo já não são independentes, assim como as três dimensões do espaço não o são. Ainda precisamos de quatro quantidades para determinar a posição de um evento, mas não podemos, como antes, separar uma das quatro como totalmente independente das outras três. (RUSSELL, 2009, p. 38-39)

O segundo trecho de Russell aborda com clareza a reformulação ontológica promovida por Minkowski, mas, como Mourão, falha ao fazer menção exclusiva à “teoria da relatividade”, omitindo o papel do geômetra, se a expressão tiver sido utilizada em sentido estrito e literal. Alhures, Russel (1926) afirma que, “para a filosofia, a novidade mais importante já estava presente na teoria da relatividade especial; isto é, a substituição do espaço e do tempo pelo espaço-tempo” (grifos nossos). A afirmação pode ser considerada correta, desde que a expressão “já estava presente” seja interpretada em sentido amplo. Einstein estava ciente da correlação intrínseca entre o espaço e o tempo, refletida nos comportamentos gêmeos da dilatação do tempo e da contração do comprimento, mas ele não chegou a vislumbrar a natureza indissolúvel do mundo físico 4D. Foi necessário um matemático como Minkowski para extrair da Teoria Especial a conclusão de que o universo seria mais bem pensado geometricamente como todo espácio-temporal. Nesse sentido, pode-se dizer que a novidade do espaço-tempo estava “presente” na Teoria apenas no sentido de que estava oculta e latente, à espera de revelação. Sem que a Teoria Especial fosse interpretada por Minkowski em termos geométricos, a noção de espaço-tempo poderia ter passado despercebida, o que decerto teria abortado a teoria einsteiniana da gravidade – ou, no mínimo, atrasado seu nascimento.

Ante a assiduidade de narrativas que, acentuando o protagonismo de Einstein, ofuscam o papel de Minkowski no paradigma relativístico, alguns autores diagnosticam uma injustiça histórica, agravada quando escritores brilhantes e consagrados como Russell contribuem para o mal-entendido. O físico Petkov, membro co-fundador do Instituto Minkowski, é, por exemplo, um dos empenhados na missão de corrigir essa injustiça.

Roger Penrose, ganhador do Prêmio Nobel em Física em 2020, não deixa de creditar a Minkowski o pioneirismo na descoberta do espaço-tempo:

Foi só em 1908 que os ‘insights’ matemáticos finais foram apresentados pelo originalíssimo geômetra russo-alemão Hermann Minkowski (que havia, por coincidência, sido um dos professores de Einstein no Instituto Federal de Tecnologia de Zurique no final da década de 1890). Foi de Minkowski a ideia de combinar o tempo com o espaço e de descrever os processos físicos como partes do espaço quadridimensional, agora chamado de espaço-tempo. (PENROSE, 2005, p. xi)

Embora os germes da ideia da relação intrínseca entre o tempo e o espaço já estivessem contidos nas transformações lorentzianas, na teoria einsteiniana e na geometria de Poincaré (vide Seção 2.3), foi a Minkowski que coube a elaboração consciente do conceito híbrido de *espaço-tempo* e sua utilização ostensiva como representação do mundo físico. Como sublinham Huggett *et al* (2023), “Hermann Minkowski revelou, primeiro, a estrutura espácio-temporal que os postulados de Einstein na Teoria Especial da Relatividade implicam”. O modelo espácio-

temporal minkowskiano deu à Teoria Especial os contornos matemáticos e a expressão ontológica que lhe faltavam. Dito de outra forma, “Minkowski mostrou que a [Relatividade Especial] podia ser formulada como teoria sobre a geometria do espaço-tempo quadridimensional” (BALASHOV, 2010, p. 41).

Stannard (2017, p. 26) fornece adequada caracterização da complementaridade dos diagramas de Minkowski para a Teoria Especial de Einstein:

[Minkowski] propôs que o que a relatividade estava nos dizendo é que o espaço e o tempo são muito mais aparentados do que podíamos suspeitar das diferentes maneiras como os percebemos e medimos. Com efeito, deveríamos parar de pensar neles como um espaço tridimensional acrescido de um tempo unidimensional separado. Em vez disso, deviam ser pensados como um espaço-tempo 4D no qual o espaço e o tempo estão indissociavelmente soldados um ao outro.

Já tivemos a oportunidade de frisar a dupla virtude da teoria quadridimensional minkowskiana, mas não é demais reiterá-la: a geometria do espaço-tempo, primeiro, traduziu a Relatividade Especial na linguagem matemática e, mais tarde, serviu a Einstein como insumo fundamental na confecção da Relatividade Geral. Petkov ressentido, contudo, o fato de que as contribuições de Minkowski não tenham sido devidamente reconhecidas pelos físicos. E, para reforçar o argumento da originalidade do geômetra lituano-alemão, o autor faz questão de ressaltar a resistência inicial de Einstein ao espaço-tempo: “Não apenas o público geral, mas até os estudantes de física, parecem acreditar que o conceito físico de espaço-tempo foi introduzido por Einstein. [...] Isso é tanto infeliz quanto injusto, sobretudo dado que Einstein inicialmente resistiu à física do espaço-tempo introduzida por Minkowski” (PETKOV, 2020, p. 1). Vários outros autores, como Stannard (2017, p. 29), igualmente reconhecem a relutância einsteiniana no princípio. Sobre isso não nos parece haver dúvida.

Não obstante, Petkov vai além, em seu libelo em favor de Minkowski, para denunciar que é ao próprio Einstein que se deve a primeira reserva documentada contra a Física quadridimensionalista, em artigo em cooperação com Jakob Laub (1884-1962). O minkowskiano aduz que “Einstein aparentemente teve dificuldade de compreender a fundo as ideias de Minkowski, o que, com toda a probabilidade, explica sua reserva inicial e até hostilidade em relação à física quadridimensional de Minkowski” (PETKOV, 2020, p. 3). Na visão de Petkov, a atitude negativa que Einstein alegadamente teve de início em relação às conclusões de Minkowski seria confirmada por esta afirmação que o físico alemão Arnold Sommerfeld (1868-1951) atribui ao pai da Relatividade: “Desde que os matemáticos invadiram a teoria da relatividade, nem eu mesmo a entendo mais” (*apud* PETKOV, *Ibidem*). Petkov

(*Ibidem*) alega também que Sommerfeld somente compreendeu e aceitou a Teoria Especial de Einstein graças à formulação quadridimensional de Minkowski.

Esse autor argumenta, ainda, que, “diferentemente de Minkowski, Einstein teve de postular o princípio da relatividade mesmo sem ser capaz de explicar seu significado físico” (PETKOV, 2020, p. 14). Para ele, Einstein ainda não tinha, à época, compreendido completamente a Física quadridimensionalista de Minkowski e, por isso, não teria correto entendimento do significado físico da própria Teoria Especial. O minkowskiano sustenta, ainda, que o próprio Einstein não havia completamente compreendido a natureza da Relatividade Especial e que Minkowski não apenas contribuiu indiretamente para a Teoria Geral, mas também foi pioneiro na tese que Einstein denominou em 1905 de Teoria Especial.

O registro dessas críticas é válido, mas é também importante notar que o próprio Einstein reconheceu a originalidade de Minkowski na geometrização da Natureza adotada pela Teoria Geral. Tal constatação pode ser cabalmente demonstrada por estes três trechos extraídos do “Livreto” (EINSTEIN, 2015, p. 70): (i) “A descoberta de Minkowski [...] foi de importância para a elaboração formal da teoria da relatividade”; (ii) “Sem ela [a importante contribuição de Minkowski], a teoria geral da relatividade [...] talvez não tivesse ido mais longe do que suas longas roupas”; (iii) “Estes comentários inadequados podem dar ao leitor apenas vaga noção da importante ideia oferecida por Minkowski”.

Adicionalmente, o biógrafo Pais sublinha, mais de uma vez, o reconhecimento de Einstein para com Minkowski: “em 1916, [Einstein] reconheceu sua dívida com Minkowski por ter amplamente facilitado a transição da relatividade especial para a geral” (PAIS, 2005, p. 152). “Em várias ocasiões mais tarde, ele [Einstein] singularizava Adolf Hurwitz e Hermann Minkowski como excelentes professores de matemática” (PAIS, 2005, p. 152).

Ao fim desta subseção, não resistimos à tentação de observar que a descoberta do *espaço-tempo* minkowskiano guarda certa semelhança com a descoberta einsteiniana da equivalência entre *massa* e *energia*. Além de terem surgido na esteira da Teoria Especial da Relatividade na primeira década do século XX, ambas têm conteúdo contraintuitivo similar. Ambas soam bastante estranhas à nossa intuição ao postularem que certas coisas que fenomenologicamente nos aparecem no mundo como distintas revelam-se, pela Física, como meras manifestações da mesma realidade fundamental.

A identificação dessa semelhança permite-nos, primeiro, demarcar a fronteira filosófica entre a fenomenologia e a ontologia (distinção que nos será muito útil adiante, ao tratarmos do

tema da passagem do tempo). E, segundo, também nos convida a observar que o advento tanto da Geometria física de Minkowski quanto da Física de Einstein no início do século XX nos possibilitou revisar algumas de nossas mais teimosas compreensões sobre a Natureza. De um lado, o tempo e o espaço foram fundidos na mesma geometria do Universo; de outro, a massa e a energia revelaram-se, nas palavras de Einstein, “diferentes manifestações da mesma coisa, uma concepção tanto estranha ao senso-comum”,²⁸ isto é, aspectos fenomenológicos de mesma fonte ontológica. As duas descobertas diferem, contudo, no grau de sua difusão. Enquanto a einsteiniana é expressa com uma equação muito simples ($E = mc^2$) – seguramente a mais famosa da Física do século XX –; a minkowskiana requer desenvolvimento mais longo. Tal elaboração é o propósito deste capítulo.

2.2.4 Minkowski ou Poincaré: debate sobre o pioneirismo na fusão do tempo e do espaço

Ao fazer justiça a Minkowski na história da Física Relativística, é preciso ter o cuidado de não ser injusto com outro geômetra: Henri Poincaré. Julgamos importante registrar, brevemente, o debate sobre a originalidade da fusão do espaço e do tempo em uma geometria quadridimensional. Discute-se se essa descoberta não deveria ser atribuída a Poincaré, em lugar de Minkowski. O debate interessa-nos, pois, na subseção anterior, demos crédito ao lituano-alemão pela façanha, mas gostaríamos de frisar aqui apenas o essencial, sem nos deter em detalhes, pois se trata de discussão histórica marginal em nossa pesquisa.

O próprio Minkowski reconheceu, em sua palestra “O Princípio da Relatividade”, proferida em Göttingen em 5 de novembro de 1907, que seu conceito de espaço-tempo se deveu em grande medida ao trabalho de Poincaré, em particular o artigo “*Sur la Dynamique de l'électron*” (apresentado em julho de 1905 e publicado em janeiro de 1906). Ali, o geômetra francês teria chegado à importante conclusão de que as transformações de Lorentz podiam ser geometricamente interpretadas como rotações em uma geometria quadridimensional, na qual o tempo figurasse como quarta dimensão. Assim, a ideia da fusão do espaço e do tempo já estaria matematicamente concebida pelo menos antes de julho de 1905, de modo praticamente contemporâneo com a elaboração da Teoria Especial da Relatividade. Como reconhece o

²⁸ Em vídeo amplamente difundido na *internet*, Einstein explica oralmente, em inglês, a equivalência entre massa e energia, *ipsis litteris*: “*It followed from the special theory of relativity that mass and energy are both but different manifestations of the same thing, a somewhat unfamiliar conception for the average mind. Furthermore, the equation ‘E is equal to mc-squared’, in which energy is put equal to mass, multiplied by the square of the velocity of light, showed that very small amounts of mass may be converted into a very large amount of energy and vice versa. The mass and energy were in fact equivalent, according to the formula mentioned before. This was demonstrated by Cockcroft and Walton in 1932, experimentally.*” (grifo nosso). O vídeo, trecho de documentário de 1948, está disponível em <https://www.youtube.com/shorts/ecc8vfp3C0>. Acesso em: 9 jan. 2024.

minkowskiano Petkov (2020, p. 32), foi com base na ideia de espaço-tempo de Poincaré que Minkowski desenvolveu o quadro matemático completo para sua geometria física 4D.

A despeito do incontestável pioneirismo de Poincaré na fusão espaço-temporal, autores frisam a diferença fundamental de postura dos dois geômetras a respeito da inovadora ideia geométrica. Para Petkov, o entendimento do francês a respeito do espaço-tempo era meramente abstrato. Apesar de ter sido o primeiro a publicar o resultado, Poincaré não teria, na visão desse autor, visto o caráter revolucionário da ideia física da quadridimensionalidade espaço-temporal (PETKOV, 2020, p. 332). Da mesma opinião é Galison (1979, p. 18), para quem “Poincaré não atribuiu importância metafísica nem física à representação quadridimensional”. Para o físico Thibault Damour (1951-), “embora a primeira descoberta da estrutura matemática do espaço-tempo da relatividade especial se deva ao grande artigo de Poincaré de janeiro de 1906, Poincaré (em contraste com Minkowski) nunca creu que tal estrutura pudesse ser importante para a física” (*apud* PETKOV, 2020, p. 32).

Dois trechos de Poincaré reforçam essa linha argumentativa:

*Parece, de fato, que seria possível traduzir a nossa física na linguagem da geometria de quatro dimensões; tentar essa tradução requereria grande esforço com pouco benefício [...]. [...] parece que a tradução sempre seria menos simples que o texto e que sempre teria o ar de uma tradução, que a linguagem de três dimensões parece mais adequada à nossa descrição do mundo, embora essa descrição pode ser feita rigorosamente em outro idioma. (*apud* GALISON, 1979, p. 18)*

*Tudo acontece como se o tempo fosse uma quarta dimensão do espaço e como se o espaço quadridimensional resultante da combinação do espaço ordinário e do tempo pudesse girar não só em torno de um eixo do espaço ordinário de tal forma que o tempo não se alterasse, mas em torno de qualquer eixo (*apud* PETKOV, 2020, p. 32).*

Galison (1979, p. 38) defende que Poincaré entendia a física 4D apenas como linguagem alternativa e “menos simples”, enquanto Minkowski via nela a “primeira de todas as leis da natureza”. Já Petkov (2009, p. vi; 2020, p. 33) diz que o matemático francês acreditava que as teorias 3D e 4D eram meras opções alternativas de descrição da Natureza e que a escolha daquela a ser usada era questão de conveniência. Tal *convencionalismo* é, para Petkov, a explicação mais provável de Poincaré não ter visto nada de revolucionário na ideia matemática de um espaço 4D, pois, para o francês, tal ideia não nos obrigaria necessariamente a reconhecer que o mundo físico seria de fato 4D. Para Damour (*apud* PETKOV, 2020, p. 33), a esterilidade filosófica de Poincaré tê-lo-ia impedido de levá-la a sério e de desenvolver como um físico “a estrutura do espaço-tempo que ele foi o primeiro a descobrir”.

O que torna mais triste a falha de Poincaré em compreender a fundo o significado físico do princípio da relatividade e da interpretação geométrica das transformações de Lorentz é que ela é talvez o exemplo mais cruel na história da física de como uma

posição filosófica inadequada pode impedir um cientista tão grande como Poincaré de fazer uma descoberta. (PETKOV, 2020, p. 33)

Remetendo ao sociólogo americano Lewis Feuer (1912-2002), Mourão (1997, p. 22) chega a observar que Poincaré “tinha tudo para ser o criador da [teoria da] relatividade, como se pode deduzir da leitura dos seus livros”; porém, o que teria privado de tal pioneirismo foram seus condicionamentos pessoais: prudência “francesa” e comprometimento com o *establishment* e o colegiado de professores. Em contraste, Minkowski percebeu, de modo revolucionário, que o postulado einsteiniano da relatividade só fazia sentido em um mundo físico real de quatro dimensões, onde o tempo figura efetivamente como quarta dimensão. Segundo Damour (*apud* PETKOV, 2020, p. 46), o geômetra lituano-alemão levou muito mais a sério que Poincaré a unificação do espaço e do tempo em uma geometria quadridimensional como nova base para a representação físico-matemática da realidade. “Minkowski anunciou conscientemente uma grande descoberta sobre o mundo, não a descoberta de uma abstração matemática” (PETKOV, 2020, p. 47). Para Galison (1979, p. 13), mais do que simplesmente aperfeiçoar a Relatividade, Minkowski – convicto da “harmonia preestabelecida entre a Matemática pura e a Natureza” – atribuiu realidade física à geometria espaço-temporal.

2.3 Familiarizando-nos com o mundo 4D

Feitas essas considerações, estamos aptos a avançar para a descrição do Universo como *continuum* quadridimensional. Essa não é, contudo, tarefa banal, especialmente se nosso objetivo é fazê-la com clareza, de modo convincente e com mínimo recurso ao formalismo matemático. Apresentar a ontologia de Minkowski envolve superar duas dificuldades principais: (i) a barreira técnica; e (ii) a barreira psicológica, isto é, a resistência do senso comum decorrente do componente contraintuitivo de tal ontologia. Ao primeiro obstáculo Einstein fez alusão no “Livreto” (2015, p. 70-71): “O trabalho de Minkowski é sem dúvida de difícil acesso para qualquer um sem experiência na matemática”. Para contorná-lo, encorajamos a observação do próprio pai da Relatividade segundo a qual “não é necessário ter compreensão exata [do trabalho de Minkowski] para entender as ideias fundamentais da teoria especial ou da teoria geral da relatividade” (*Ibidem*, p. 71).

Sumidades que se dispuseram a popularizar o conhecimento científico e se notabilizaram pela capacidade de fazê-lo com qualidade e rigor auxiliam-nos a superar ambas as dificuldades (tanto a do formalismo matemático quanto a da contraintuitividade). Destacamos, em particular, os trabalhos de Eddington (1987 e 2020), Gamow (1988), Hawking *et al* (2008), Russell (2009) e do próprio Einstein (2015). Todos esses autores estavam cientes

da necessidade de traduzir o mundo quadridimensional na linguagem tridimensional de nossa consciência, com vistas a vencer a inércia do ceticismo típico decorrente da falta de familiaridade com a nova imagem da Natureza. Como pontuou Eddington (1987, p. 186), “o significado da afirmação de que o mundo é quadridimensional não é tão claro de imediato”. Soma-se a isso o baixo grau de disseminação dos conceitos relativísticos entre a opinião pública. Russell (2009, p. 37) observa, a propósito, que muitos já ouviram falar da expressão *espaço-tempo* e sabem que ela substitui *espaço e tempo*, mas poucos “têm ideia clara do que essa mudança de terminologia significa”.

A dificuldade para a apreensão da Física Relativística e, por conseguinte, a resistência do senso comum contra a nova ontologia proposta estão diretamente associadas ao fato de que naturalmente não podemos visualizar uma figura 4D. Compreender essa geometria – tão estranha ao senso comum, mas tão real e familiar ao físico treinado na Relatividade – é atividade não muito diferente da de quem, por hipótese, tivesse de descrever, apenas pelo tato, um dinossauro. No processo de familiarização, dependemos, em boa medida, da Matemática como guia, e a literatura citada cumpre papel facilitador nessa mediação.

Nossa limitação visual e imaginativa do mundo quadridimensional deve-se, sobretudo, ao fato de que nossa consciência ou estrutura perceptiva está naturalmente restrita a três dimensões, ou, dito de maneira geométrica, só captamos fatias tridimensionais do todo quadridimensional. Na coletânea de 1909 reunindo 22 artigos sobre a quarta dimensão espacial, diversos ensaístas convergem na constatação básica sobre o limite dimensional da consciência e da percepção. Davidson (2005, p. 177), por exemplo, afirma que “todas as formas de matéria manifestas a nossos sentidos requerem espaço para sua acomodação, com comprimento, espessura e altura”. Por sua vez, Silverman (2005, p. 234-235) observa que obtemos um cubo traçando três retas mutuamente perpendiculares pelo mesmo ponto, mas, se somos instados a desenhar uma quarta reta, a tarefa torna-se absurda e impossível: “Nossas concepções não admitem mais de três dimensões. Nossa vida consciente se dá em três dimensões”. Holland (2005, p. 194) afirma que “somos seres tridimensionais vivendo em um espaço tridimensional” e não podemos ver ou desenhar a quarta direção.

Como reflexo ou produto de nossa consciência, nossa linguagem também é tridimensional. Não dispomos de recursos linguísticos adequados para descrever o mundo quadridimensional. Não nos ocorre, por exemplo, nenhum advérbio capaz de exprimir a ideia de lugar e tempo concomitantemente, como os eventos espácio-temporais reclamam. A própria cunhagem da expressão *espaço-tempo*, no âmbito da geometria física de Minkowski, serviu

para suprir a lacuna terminológica. Faltam-nos pronomes, advérbios e substantivos, entre outras classes gramaticais, aptos a fazer referências espaço-temporais. Diante dessa escassez natural, uma alternativa é apelar artificialmente para neologismos, por meio da justaposição morfológica de termos familiares, criando termos de sentido 4D como *quando-onde*, *aqui- agora*, *distância-intervalo* e *local-horário*, que não são autoexplicativos.

Tal carência linguística é sintomática, vale reiterar, do descompasso natural existente entre a qualidade quadridimensional do espaço-tempo minkowskiano e a qualidade tridimensional de nossa consciência e percepção, que compreende a existência como bloco espacial de três dimensões que evolui no tempo. A percepção *3D-dinâmica* conflita violentamente com a ontologia *4D-estática*. No Capítulo 3, falaremos desse conflito ao abordarmos a dicotomia: *tridimensionalismo x quadridimensionalismo*.

Exatamente porque o tridimensionalismo constitui imperativo fenomenológico de nossa percepção é que Gamow e Eddington acham compreensíveis os protestos do senso comum contra a Teoria da Relatividade e, em particular, contra a fusão do tempo e do espaço proposta por Minkowski. Poucas pessoas se rendem a conceitos contraintuitivos, sobretudo quando extremamente discordantes da percepção, como é o caso do mundo quadridimensional. É normal que a aceitação de teorias não intuitivas aconteça em pequenas doses. Para Gamow (1988, p. 64), o conceito de quarta dimensão é comumente cercado de mistério e desconfiança: “Como nós, criaturas de comprimento, altura e largura, nos atrevemos a falar de espaço quadridimensional? É possível imaginar um superespaço de quatro dimensões usando nossa inteligência tridimensional?”. Eddington, por sua vez, aborda a questão da resistência natural do senso comum à fusão espaço-temporal em duas passagens que valem ser transcritas:

Foi-nos revelado na teoria de Einstein que o tempo e o espaço estão misturados de maneira bastante estranha. Essa é uma grande pedra de tropeço para o principiante. Ele está inclinado a dizer: “Isso é impossível. Eu sinto em minha própria carne que o tempo e o espaço devem ser de naturezas completamente distintas. Não podem estar misturados.” (EDDINGTON, 2020, p. 36)

Não importa quão exitosa seja uma teoria do mundo quadridimensional, é difícil ignorar uma voz dentro de nós que sussurra: “No fundo da sua mente, você sabe que uma quarta dimensão é sem sentido”. Imagino que essa voz deve ter estado muito ocupada na história da física. Quão sem sentido é dizer que esta mesa sólida onde estou escrevendo é uma coleção de elétrons movendo-se com velocidades alucinantes em espaços vazios, que relativamente às dimensões eletrônicas são tão vastos quanto os espaços entre os planetas no sistema solar! (EDDINGTON, 1987, p. 56)

Há diferentes explicações para a limitação da percepção para captar a realidade em quatro dimensões. Não está incluída no escopo desta pesquisa a investigação das causas, mas, de forma sucinta, podem ser citadas as três mais comumente apontadas na literatura: posição,

evolução e hábito. Em primeiro lugar, nossa intuição seria limitada por uma questão posicional, isto é, ela se deve ao fato de que nossa consciência percebe apenas fatias 3D de um espaço-tempo 4D. Estamos buscando entender uma figura geométrica mais complexa a partir de uma porção tridimensional dela, sem que possamos apreciá-la de fora. Como afirma Eddington nestes dois trechos: “Estamos imersos em um mundo quadridimensional”; “Lidamos com um mundo examinado de dentro” (EDDINGTON, 2020, p. 52 e 145, respectivamente). Poderíamos comparar a limitação de nossa experiência no mundo 4D analogamente à de um peixe, que tem vaga noção de que seu aquário está situado em um dos cômodos de um apartamento, por sua vez, localizado em um dos andares de um edifício pertencente a um bloco, em um quarteirão.

No ensaio do início do século XX sobre a quarta dimensão espacial citado antes (e que se aplica como analogia à quarta dimensão temporal), Davis (2005, p. 129) afirmou: “Se existe uma quarta dimensão, ela deve englobar as três dimensões com que estamos familiarizados, da mesma forma que o espaço tridimensional envolve o plano de duas dimensões”. Situados em um mundo 4D, tudo o que experimentamos são fatias tridimensionais de coisas quadridimensionais. O espaço 3D estaria para o espaço 4D como sombras bidimensionais estão para o espaço tridimensional, como a descrição feita por Platão no Mito da Caverna, em que os prisioneiros vêm projetadas, na parede, sombras 2D de figuras reais 3D. Essa analogia geométrica permite-nos compreender melhor o que queriam dizer Cox e Forshaw (2009, p. 106) quando afirmaram que, “com o advento do conceito de espaço-tempo, conseguimos finalmente elevar nossos olhos além das sombras”.

A deficiência de nossa consciência e percepção pode estar associada a circunstâncias evolutivas, biológicas e anatômicas. Por essa hipótese, nosso cérebro ter-se-ia desenvolvido para perceber o mundo físico apenas em fatias tridimensionais, e não o bloco quadridimensional como um todo. É o que dizem Cox e Forshaw (2009, p. 92): “A natureza quadridimensional representa obstáculo para nossa imaginação porque os cérebros humanos não conseguem retratar diretamente objetos em mais de três dimensões”. Tal ideia foi sustentada por Davis (2005, p. 126): “A noção de três dimensões é uma de nossas ideias inerentes, transmitida a nós por nossos primeiros ancestrais. Portanto, é-nos difícil conceber a possibilidade de um mundo onde há mais ou menos de três dimensões”.

A terceira explicação comum para a limitação de nossa percepção é o hábito. Esse é o argumento de que Einstein lança mão. De acordo com o físico (EINSTEIN, 2015, p. 69), a dificuldade de ver o mundo como *continuum* quadridimensional poderia estar associada ao fato de que, até o advento da Teoria da Relatividade, o tempo desempenhava na Física papel muito

diferente do das coordenadas espaciais. Fomos acostumados a tratá-lo como dimensão independente. O argumento do hábito também aparece em versão diferente, que enfatiza não o peso de conceitos cristalizados ao longo da história da Física, mas o costume consolidado em milênios de captar sensorialmente a realidade em três dimensões. Na primeira versão, esposada por Einstein, o hábito se consolidaria no contexto de um arcabouço teórico e conceitual; na segunda, de orientação empirista e indutivista, a consolidação seria devida a nosso próprio aparato perceptivo, que nos impõe padrão de sensibilidade e condiciona nossas expectativas. A segunda variante explicativa, de filiação humiana, aproxima-se do argumento biológico.

Os argumentos posicional e evolutivo não apontam uma saída de nossa “prisão” tridimensional, a não ser pelo poder da imaginação e da abstração. O argumento do hábito, ao contrário, deixa a porta aberta para que nossas tendências, qualquer que seja sua origem, sejam revertidas ou corrigidas pelo treino. Independentemente da causa da limitação da percepção humana, o fato é que a nova compreensão minkowskiana da Natureza requer esforço mental e criatividade imaginativa, de forma a remover as ilusões tridimensionais e assimilar as imagens contraintuitivas do mundo quadridimensional. Eddington (2020), outra vez, aborda a questão com sua perspicácia habitual nestas duas passagens, respectivamente nas páginas 47 e 52:

Fomos acostumados a pensar o mundo – o duradouro – como estratificado em uma sucessão de estados instantâneos. [...] Veremos mais claramente o mecanismo real do mundo físico se pudermos limpar nossa mente dessa ilusão da estratificação. O mundo então revelado, embora estranho e não familiar, é na verdade muito mais simples. Há diferença entre simplicidade e familiaridade. Um porco pode ser mais familiar para nós na forma de fatias, mas o porco não estratificado é um objeto mais simples para o biólogo que deseja entender como o animal funciona.

Por longo costume, dividimos o mundo de eventos em seções [...] e consideramos uma pilha de instantes como algo distinto de dimensão. Isso nos dá a comum concepção de um mundo tridimensional boiando na corrente do tempo. É nossa crua apreciação de absoluta separação das relações espaciais e das relações temporais. Mas essa discriminação crua deve ser substituída por uma discriminação mais precisa.

A Física Relativística convida-nos, ao vislumbrar a Natureza, a substituir nossa lente 3D por uma 4D. Para Einstein, o abandono da velha concepção do tempo separado do espaço pode nos deixar “arrepiados”, para usar a citação einsteiniana na epígrafe deste capítulo, mas é passo necessário para quem quer que deseje compreender a Natureza: “O modo quadridimensional de ver o ‘mundo’ é natural na teoria da relatividade, visto que, de acordo com essa teoria, o tempo é despojado de sua independência” (EINSTEIN, 2015, p. 69).

Depois de Minkowski e Einstein, o mundo tridimensional, que caracteriza nossa concepção de existência, reduziu-se a mera seção do mundo quadridimensional. Sobre disso, o próprio pai da Relatividade afirmou (EINSTEIN, 2015, p. 171): “Parece, pois, mais natural

pensar na realidade física como existência quadridimensional, e não, como até então se pensava, como evolução de uma existência tridimensional”. No mesmo sentido vai esta asserção de Eddington (2020, p. 37): “A atual representação do mundo perdurável como espaço galgando de um instante a outro através do tempo é uma tentativa fracassada de separar os dois”.

O astrofísico britânico (EDDINGTON, 1987, p. 36) oferece-nos útil imagem ilustrativa que não resistimos em parafrasear: Podemos empilhar várias superfícies bidimensionais – por exemplo, folhas de papel – até formarmos um bloco tridimensional, mas a pilha de folhas é diferente de um bloco sólido de papel. O bloco sólido, e não a pilha, é a verdadeira analogia para o espaço-tempo 4D. A soma de espaços tridimensionais, empilhados na ordem do tempo, pode servir como auxílio à imaginação; contudo, o espaço-tempo é, na verdade, um todo indiviso que não pode ser desmembrado em “folhas tridimensionais” ou “fatias de espaço”.

Gamow (1988, p. 68) atenua a dificuldade de compreensão da descrição 4D do mundo. Para ele, não é necessário “se tornar místico” para conceber a quarta dimensão; basta lembrar que todo compromisso requer a definição não apenas de local, mas também de momento. Quando falamos de qualquer evento, não pensamos apenas *onde* ele ocorrerá, mas também *quando* ocorrerá. Para marcar um encontro, acrescentamos mais um fato (data/horário) às três coordenadas espaciais: esquina da rua x com a rua y ; no z^o andar; no dia e hora t (GAMOW, 1988, p. 68ss). Igualmente, Eddington (2020, p. 52) acredita que a quarta dimensão é conceito de fácil assimilação porque é impossível conceber qualquer acontecimento a não ser com quatro dimensões. A propósito, vale sublinhar o que o próprio Minkowski (2020, p. 58) diz: “Os objetos de nossa percepção estão sempre ligados a lugares e tempo. Ninguém percebeu um lugar que não fosse em dado tempo, nem um tempo que não fosse em dado lugar”.

Entretanto, o que essencialmente caracteriza a inovação ontológica minkowskiana não é simplesmente a adição de uma quarta coordenada ao quadro (que também podia ser obtida na Física clássica), mas a aglutinação do tempo e do espaço em uma figura quadridimensional indissolúvel. Essa particularidade é a fonte da dificuldade de assimilação da existência quadridimensional pelo senso comum. Assim, as afirmações de Gamow e Eddington parecem-nos válidas, mas apenas parcialmente. As ilustrações geométricas do *espaço+tempo* e do *espaço-tempo*, da subseção 2.2.2, evidenciaram que a diferença entre as duas espécies de quadridimensionalidade (clássica e minkowskiana) é de ordem qualitativa, e não meramente quantitativa. Eis a observação precisa de Feynman (2012, p. 100): “O tempo foi adicionado ao espaço para criar um mundo de quatro dimensões. Não se trata de uma adição simples e artificial

como aparece em muitos livros de divulgação [...]. Isso está certo, mas só coloca as duas coisas juntas, o que não basta para criar um espaço-tempo quadridimensional verdadeiro”.

2.4 Breve comentário sobre a terminologia minkowskiana

O que, na linguagem ordinária, chamamos de *fatos* é, na linguagem da Física quadridimensionalista, conhecido como *eventos*. Um evento, no sentido relativístico, significa um “dado instante em dado lugar” (EDDINGTON, 1987, p. 45 e 186), ou, dito de outra maneira, uma posição espacial em dado instante temporal. Representando o espaço-tempo 4D por quatro eixos perpendiculares numerados (coordenadas), cada fenômeno – instantâneo e localizado – poderia ser especificado na grade por quatro variáveis (três de espaço e um de tempo).

No formalismo minkowskiano, *evento* é um ponto do espaço-tempo: “uma idealizada ocorrência no mundo físico sem extensão no tempo ou no espaço” (BALASHOV, 2020, p. 41). Daí os eventos serem tecnicamente chamados de *eventos-pontos*. Na descrição relativística da Natureza, *evento-ponto* é o conceito mais elementar. Barbour (1999, p. 139) chama-o de *átomo da existência*. Nesse sentido, cada “objeto de nossa percepção”, para usar expressão minkowskiana, seria um átomo do espaço-tempo, identificável por quatro coordenadas.

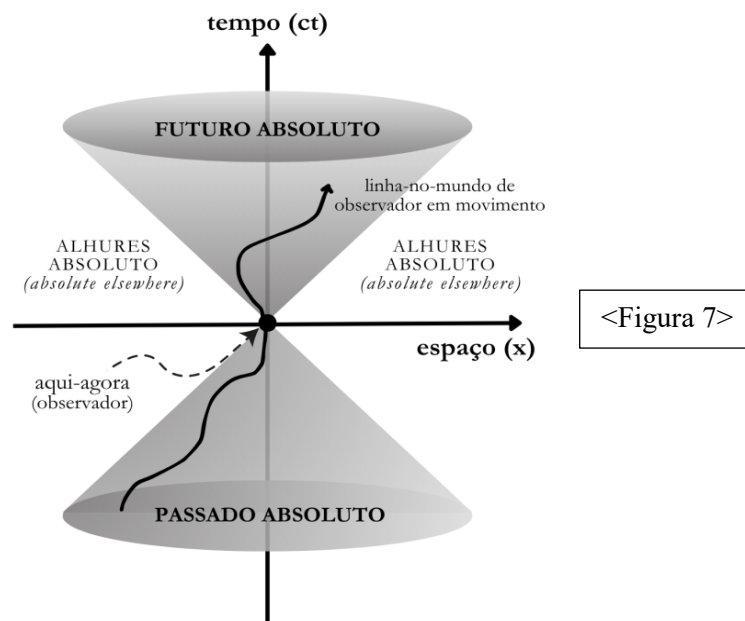
Ao conjunto dos eventos-pontos Minkowski denomina *mundo* (MINKOWSKI, 2020, p. 58-59; EINSTEIN, 2015, p. 68; EDDINGTON, 1987, p. 186). Esse agregado (*manifold*) de todos os eventos do universo equivale ao *continuum* quadridimensional, isto é, o espaço-tempo. O “mundo” minkowskiano é um *continuum* pois, para cada evento, há tantos eventos vizinhos quanto quisermos (EINSTEIN, 2015, p. 58-59). Como observou o pai da Relatividade (EINSTEIN, 2015, p. 141), o mundo quadridimensional traz grande semelhança com o espaço tridimensional da geometria analítica euclidiana: a diferença está em que o *manifold* minkowskiano contém a quarta dimensão. “De um ‘acontecimento’ no espaço tridimensional, a física tornou-se uma ‘existência’ no ‘mundo’ quadridimensional (EINSTEIN, 2015, p. 141).

Se dessa totalidade abstraíssemos vários eventos-pontos contíguos em reta, ao longo de qualquer uma das quatro dimensões, temos o conceito de “linha-no-mundo” (*worldline*). Qualquer período de existência de um ente estacionário (digamos, cinco segundos de um livro parado na estante), seria representado no espaço-tempo como *worldline* (uma sucessão de instantes na existência desse objeto), e não como *world-point*. Objetos físicos ordinários são representados como *worldines* ou *worldworms*, para citar uma nova palavra (*worms*), que nos será muito útil quando tratarmos do perdurantismo, no Capítulo 3. Balashov (2010, p. 41)

também fala de *worldtubes*. Na geometria minkowskiana, o universo também pode ser entendido como a coleção de linhas-no-mundo.

2.5 Cone de luz e revisão classificatória (passado, futuro e “alhores”)

A compreensão da geometria do espaço-tempo e de suas implicações físicas pode ser facilitada pela ilustração conhecida como “cone de luz” (*light cone*) – Figura 7, abaixo.²⁹ Dois postulados relativísticos fundamentais são combinados nessa representação esquemática, consagrada na Física Relativística: (i) a fusão do espaço e do tempo em um *continuum* 4D; e (ii) o limite cósmico de velocidade de todas as interações físicas no Universo (c). Naturalmente, a ilustração é uma simplificação gráfica, com apenas um eixo do espaço e um do tempo. A necessidade de transpor o espaço-tempo real 4D para o plano 2D implica que uma das dimensões espaciais tenha de ser sacrificada e que a outra só possa ser imaginada (pela noção de profundidade da figura).³⁰



O cone superior representa a expansão da luz, em todas as direções, a partir de ponto arbitrário do espaço-tempo, isto é, um evento qualquer que chamaremos “aqui-agora” (um lugar em dado instante). O cone superior é chamado *future cone* (ou *front cone*), pois contém todos os demais eventos do espaço-tempo que o *aqui-agora* pode, em tese, alcançar ou influenciar em seu futuro, tendo em conta quaisquer valores de velocidade admitidos para a transmissão de

²⁹ Vide EDDINGTON, 2020, p. 48.

³⁰ Interessante explicação do cone de luz é oferecida pelo canal “ScienceClic” no vídeo disponível no *link* a seguir. <https://www.youtube.com/watch?v=GOZ3R81iyE0&list=PLCYA98Qg0QpcpVMQeEnMRSIO7AcHaTwg9&index=58>. Acesso em: 8 abr. 2024

sinais, informações e processos causais, até o limite cósmico c ($v \leq c$). Também estendido ao longo do eixo do tempo (t), mas na parte inferior da interseção com o eixo do espaço (x), encontra-se o cone inferior (*past* ou *back cone*). Esse revela a única região do espaço-tempo, no passado particular do *aqui- agora*, que pode tê-lo afetado ou influenciado, respeitado o limite máximo c ($v \leq c$). Fora dos cones, estão as áreas chamadas de “alhures” (*elsewhere*), representativas das demais regiões do espaço-tempo, que congregam os pontos do universo que não podem alcançar o *aqui- agora* nem ser alcançados por ele, pois essas interações requereriam, em tese, velocidades superiores ao limite cósmico ($v > c$), o que não é admitido no quadro teórico da Relatividade. As bordas dos cones separam o alhures do passado e do futuro. Traçadas em ângulo de 45 graus em relação aos eixos perpendiculares, tais linhas são formadas pelos pontos do espaço-tempo que podem causar o evento ou ser causados por ele quando a interação se dá à exata velocidade máxima ($v = c$).

A representação do cone de luz auxilia-nos a constatar três interessantes conclusões relacionadas com a caracterização e a classificação dos eventos no tempo. Em primeiro lugar, somos convidados pela Física Relativística a separar os eventos temporais não mais em função da tradicional dicotomia passado-futuro, mas em termos tricotômicos. Para cada evento singular, pode-se determinar não só o passado e o futuro próprio, mas também o “alhures”, isto é, os fatos que, por sua posição no espaço-tempo, estão fora do alcance do observador. Pode-se pensar no alhures como “pontos-cegos”, isto é, as regiões do *continuum* situadas fora do campo de visão do observador, as quais ele não poderia detectar seja por retrovisores, seja por antenas. Dos eventos situados no alhures não se poderia dizer nem que já ocorreram nem que ocorrerão da perspectiva do observador arbitrário.

Em segundo lugar, a representação do cone de luz indica que os conceitos de passado e futuro, assim como de alhures, não são propriedades intrínsecas dos eventos; mas meras qualificações atribuídas sempre de modo relativo ao evento arbitrariamente selecionado (ponto a partir do qual se traçam os eixos perpendiculares x e ct , além das bordas do cone).

Em terceiro lugar, a ilustração também é útil para mostrar como o “presente” tem caráter geometricamente distinto de seus pares conceituais. Diferentemente do passado, do futuro e do alhures, que constituem conceitos abrangentes, referentes a regiões ou vastas porções do espaço-tempo, o conceito de presente restringe-se a um lugar-em-dado-instante (ou *ponto-no-mundo*, na terminologia minkowskiana). Assim, enquanto passado, futuro e alhures podem ser extensos (dimensão > 1), o presente é pontual (dimensão $= 0$). Essa característica distintiva foi sagazmente observada por Santo Agostinho há 16 séculos, quando assinalou que o presente

"voa tão rápido do futuro para o passado que não tem nenhuma duração" (AGOSTINHO, 2015, p. 306). Em outras palavras, o presente é desprovido de extensão (*Ibidem*, p. 317).

2.6 A distância espaço-temporal: concordância universal

Conceito basilar na teoria do espaço-tempo é o de “distância” ou “intervalo” entre dois eventos-pontos não contíguos, doravante designado s . Os usos das aspas nos dois termos justificam-se pois não devem ser entendidos aqui nos sentidos convencionais de separação espacial ou de lapso temporal, mas em sentido duplo: espaço-temporal. Na falta de melhor alternativa, “distância” e “intervalo” são os termos emprestados pela teoria do espaço-tempo, porém aqui lhes atribuímos significados expandidos.

Eddington (1987, p. 37) oferece interessante ilustração de s :

Considere dois eventos; p. ex., a batida de uma hora e a batida de duas do Big Ben. Elas ocupam dois pontos no espaço-tempo, e há uma separação definida entre elas. Um observador em Westminster considera que elas ocorrem no mesmo lugar e estão separadas por uma hora no tempo; assim, ele resolve essa separação 4D em distância zero no espaço e uma hora de distância no tempo. Um observador no sol considera que as batidas não se deram no mesmo lugar; elas estão separadas por 70.000 milhas, distância viajada pela Terra em seu movimento orbital em relação ao sol. Está claro que ele não está resolvendo a questão no mesmo sentido do observador terrestre, pois ele encontra o componente do espaço no valor de 70.000 milhas, em vez de zero. Mas se ele altera um componente, deve necessariamente alterar o outro; então ele fará o componente tempo diferir ligeiramente de uma hora.

A questão sobre o intervalo espaço-temporal interessa-nos porque se trata de medida absoluta, isto é, sua aferição não depende da perspectiva do observador. Todos concordam na distância entre dois eventos no espaço-tempo, mesmo que discordem nas mensurações no espaço e no tempo separadamente (COX & FORSHAW, 2009, p. 86). Eddington (1987, p. 37) formula muito bem a questão: “Enquanto a distância e a duração são relativas, a extensão única da qual elas são componentes têm significado absoluto na natureza, independente da decomposição particular em espaço e tempo adotada separadamente pelo observador”. Considerando a multiplicidade de quantidades relativas na Física, é significativo que se possa discordar nos valores d e t , mas concordar no valor de s (COX & FORSHAW, 2009, p. 80).

O intervalo entre dois eventos é passível de ser calculado. Para isso, é útil recorrer ao sistema cartesiano de coordenadas, que consiste em superfícies planas perpendiculares entre si, fixadas a um corpo rígido. Para ilustrar a utilização desse sistema, Einstein dá o exemplo de nuvem pairando sobre a *Trafalgar Square*, em Londres: a localização completa da nuvem pode ser dada pela “medida de sua altura com um mastro, combinada com a especificação da posição de seu pé” (EINSTEIN, 2015, p. 17). Em nosso caso, estamos buscando localizações de eventos

no mundo quadridimensional; assim, uma quarta coordenada t deve ser adicionada ao esquema. No caso da nuvem, precisaríamos definir um dado instante (t) em sua vida fugaz. Assim, utilizam-se, ao todo, quatro eixos perpendiculares entre si: três do espaço (x, y, z) e um de tempo (t). Supondo os eventos 1 e 2, em locais e horários diferentes, podemos identificá-los no sistema de coordenadas como (x_1, y_1, z_1, t_1) e (x_2, y_2, z_2, t_2) , respectivamente. Os eventos estão separados segundo quatro variáveis: 1) $\Delta x = x_2 - x_1$ (direção norte-sul); 2) $\Delta y = y_2 - y_1$ (direção leste-oeste); 3) $\Delta z = z_2 - z_1$ (direção vertical ou altura); e 4) $\Delta t = t_2 - t_1$ (horários) – a letra grega “delta” representa as distâncias entre os dois eventos contra cada eixo.

Uma vez definido o sistema de coordenadas, podemos mensurar a distância entre os dois pontos recorrendo ao Teorema de Pitágoras, que nos habilita a calcular certos intervalos usando o triângulo reto formado pela distância que queremos calcular (hipotenusa) e as diferenças entre os dois pontos (catetos). Podemos agregar tantos catetos quantos forem as dimensões adicionais: $s^2 = \sum \Delta x_y^2$ (EINSTEIN, 1997, p. 9; e GAMOW, 1988, p. 80-82). Na somatória, podemos inserir o quadrado de cada valor delta, por eixo: $s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 + \Delta t^2$.

Dois ajustes na equação são, entretanto, necessários quando se trata do espaço-tempo. Primeiro, é preciso padronizar as medidas de espaço e de tempo, pois são denominadas em unidades métricas diferentes e, nessa qualidade, não podem ser matematicamente relacionadas. Para torná-las mutuamente conversíveis (expressar o tempo em unidade espacial ou o espaço em unidade temporal), podemos usar um “truque” muito comum em Astronomia (COX & FORSHAW, 2009, p. 73), que consiste em recorrer à velocidade de propagação da luz no vácuo (c) – um valor fundamental da Natureza que independe de circunstâncias temporais e espaciais. Embora conhecida como “velocidade da luz”, seria mais bem descrita como a “velocidade de propagação das interações físicas” (GAMOW, 1988, p. 75).

Esse expediente permite a conversibilidade entre os valores de tempo e de espaço. Uma medida temporal (t) multiplicada pela velocidade da luz (c) nos dá valor equivalente na unidade espacial (metros, quilômetros, ou milhas, etc.). Caso emblemático é o “ano-luz”, a distância espacial percorrida pela luz em um ano. Utilizando a “taxa de conversão cósmica”, dois anos, por exemplo, correspondem a cerca de 19 trilhões de quilômetros. Com esse recurso, conseguimos obter a fórmula para o cálculo da distância espaço-temporal, que pode ser assim expressa: $s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + (c\Delta t)^2}$. Se quiséssemos, poderíamos seguir o caminho inverso, transformando uma medida do espaço em uma do tempo. Para isso, bastaria aplicarmos a mesma taxa, porém em uma operação de divisão, e não de multiplicação. A medida

de distância (d) dividida por c nos daria o valor equivalente em unidade de tempo. “Quilômetro-luz”, embora não seja unidade convencionalmente usada em astronomia”, serve aqui como ilustração. Pela operação de divisão, encontramos que 1 km-luz corresponde à irrisória fração de 0,000003335640952 de segundo. Com efeito, trata-se de uma medida de tempo: o tempo necessário para a luz percorrer um quilômetro. Assim, adotando o valor c como taxa de conversão, somos capazes de converter o tempo no espaço, e vice-versa.

Em segundo lugar, a Física Relativística diz-nos que é preciso levar em conta a distinção entre o tempo e o espaço. No modelo matemático concebido por Minkowski para o espaço-tempo, o tempo não pode ser indiscriminadamente equiparado às dimensões espaciais (COX & FORSHAW, 2009, p. 77). Apesar de a dimensão temporal estar fundida com o espaço 3D, não pode ser igualada às dimensões espaciais. Há diferenças: enquanto no espaço temos liberdade de movimento, no tempo nos locomovemos apenas em um sentido. O tempo não é, como o espaço, “reusável”. Einstein (1997, p. 31) sublinha a distinção das duas grandezas: “A indivisibilidade do *continuum* quadridimensional de eventos não implica, de modo algum [...], a equivalência das coordenadas do espaço e do tempo. Pelo contrário, devemos lembrar que a do tempo é definida, na Física, de maneira completamente diferente das coordenadas do espaço”. Russell também assinala a distinção:

Não é bem verdade dizer que não há mais distinção entre o tempo e o espaço. Como vimos, existem intervalos semelhantes ao tempo e intervalos semelhantes ao espaço. Mas a distinção é de um tipo diferente daquele presumido anteriormente. Não existe mais um tempo universal que possa ser aplicado sem ambigüidade a qualquer parte do universo; existem apenas os vários tempos “adequados” dos vários corpos no universo. (RUSSELL, 2009, p. 39)

A diferença entre o tempo e o espaço deve estar, pois, refletida na equação, se não quisermos incorrer em um “erro de tradução” da Física para a Matemática. O artifício usado para esse fim é, na somatória de catetos, inverter o sinal da variável do tempo, em relação ao das variáveis do espaço. De acordo com Eddington (1987, p. 47), a alteração do sinal “é o segredo das diferenças das manifestações do tempo e do espaço na natureza”.³¹ Se somamos os valores das dimensões do espaço, então subtraímos o valor relativo ao tempo (ou o contrário: se somamos o valor do tempo, subtraímos os do espaço). Assim, podemos alterar nossa equação para a seguinte forma: $s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 - (c\Delta t)^2}$.

³¹ Se, de um lado, é prudente salientar a não-equivalência entre o tempo e o espaço; de outro, é justo notar que tais quantidades nunca foram tão assemelhadas quanto na Teoria da Relatividade. É o que afirma Gamow neste trecho (1988, p. 84): “Embora as tentativas matemáticas de demonstrar a unidade do espaço e tempo em um único mundo quadridimensional não eliminaram completamente as diferenças entre distâncias e durações, elas certamente revelaram semelhança muito maior entre as duas noções, que jamais foi evidente na física pré-einsteiniana.”

Gamow (1988, p. 83-84) salienta que o sinal negativo também é fundamental para preservar as exigências do princípio intuitivo da causalidade, segundo o qual a causa e o efeito devem ocorrer em uma ordem temporal específica e irreversível, de natureza assimétrica. O uso de mesmo sinal para a coordenada do tempo e para as do espaço poderia, a depender do ponto de vista do observador, levar a resultados práticos absurdos, com a inversão da ordem dos fatos de causa e efeito. A introdução de sinal negativo nas equações de cálculo dos intervalos do espaço-tempo impediria que o princípio fosse violado.

A troca do sinal na equação também tem significado geométrico. Enquanto a geometria do espaço obedece aos axiomas de Euclides, “a geometria do espaço-tempo [adotada na Teoria Geral da Relatividade] é semi-euclidiana” (EDDINGTON, 1987, p. 47). A geometria quadridimensional é distorcida ou curva. A transição do padrão geométrico deve, portanto, estar matematicamente refletida na equação, como observam Cox e Forshaw (2009, p. 82):

Em contraste com a versão da equação com sinal positivo, este é um mundo ao qual a geometria euclidiana não se aplica, como no caso da geometria na superfície da Terra. Matemáticos têm um nome para um espaço em que a distância entre dois pontos é governada pela versão da equação com sinal negativo: chama-se espaço hiperbólico. Físicos têm um nome diferente: espaço-tempo de Minkowski.

A inversão dos sinais gera, contudo, um inconveniente matemático. A somatória dentro do radical ($s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 - (c\Delta t)^2}$) pode ser negativa se no cálculo são usadas distâncias espaciais pedestres (não astronômicas), visto que o quarto termo, referente ao tempo, por ser multiplicado por c , tem valor numérico muito superior aos demais. O problema é que é impossível extrair a raiz quadrada de um número negativo. Essa impossibilidade pode ser atestada seguindo a lógica reversa: sabemos, por regra básica de aritmética, que nenhum número – seja positivo, seja negativo – elevado ao quadrado pode resultar em número negativo. O problema não existiria se os eventos cujo intervalo queremos calcular estivessem separados por distâncias astronômicas, pois, nesse caso, a somatória dentro do radical seria positiva e o resultado do cálculo real. As distâncias reais no espaço-tempo estão mais relacionadas com as vastas distâncias, enquanto as imaginárias, com os intervalos pedestres.

O problema do radical negativo é matematicamente resolvido pelo expediente de multiplicá-lo pelo número imaginário $\sqrt{-1}$, obtendo-se um número complexo. Números imaginários são usados de modo conveniente para resolver problemas geométricos. Segundo Gamow (1988, p. 82), a solução, proposta por Minkowski, consiste em considerar a quarta coordenada quantidade puramente imaginária. Assim, o fator $\sqrt{-1}$, representado convencionalmente como i , teria a estranha propriedade de transformar o tempo no espaço.

Em suma, para que o tempo possa ser utilizado como quarta coordenada relacionável, deve ser não apenas expresso em unidades do espaço, mas também multiplicado por i . Finalmente, nossa fórmula ficaria assim: $s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + (ic\Delta t)^2}$. Como opção de notação, Einstein propõe substituir x , y , z e ict respectivamente, por x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , o que leva a esta forma simplificada da equação: $s = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + (\Delta x_3)^2 + (\Delta x_4)^2}$.

2.7 O postulado do mundo absoluto

Foi visto, no Capítulo 1, que a Teoria Especial da Relatividade propôs que os conceitos de *comprimento* e de *duração* eram questões de perspectiva do observador, variáveis segundo a velocidade do sistema de coordenadas em apreço. Ao propô-lo, a Teoria ampliou o estoque das quantidades cinéticas relativas. Essa ampliação certamente terá contribuído para reforçar a interpretação errônea da Física em geral e da Física Relativística em particular como “relativista”, isto é, a ideia de que, na Relatividade, “tudo é questão de perspectiva”. A interpretação relativista é equivocada porque omite o importante fato de que a Física Relativística revela quantidades absolutas e de que nelas é que está seu primordial interesse.

O mérito de Minkowski foi ter captado o sentido profundo da Teoria Especial. O mundo físico descrito por Einstein em 1905 seria mais adequadamente expresso não pelo postulado da relatividade, mas pelo *espaço-tempo*, que Minkowski chamou de *postulado do mundo absoluto* ou, simplesmente, *postulado do mundo* (MINKOWSKI, 2020, p. 65). A invenção do conceito de *espaço-tempo*, designativo de uma geometria quadridimensionalista do mundo, representou mais que uma ferramenta útil para compreender fenômenos físicos como o eletromagnetismo; a ideia foi pensada como a *Teoria do Mundo Absoluto* (GALISON, 1979, p. 9). Segundo Minkowski (2020, p. 76), “a validade, sem exceção, do postulado do mundo é, penso eu, o verdadeiro núcleo de uma visão de mundo”. “Na mecânica reformada segundo o postulado do mundo, a perturbadora desarmonia entre a mecânica newtoniana e a eletrodinâmica moderna desaparecem automaticamente” (MINKOWSKI, 2020, p. 75).

O postulado do mundo absoluto permite que seja dado tratamento idêntico às quatro coordenadas x ; y ; z ; t ; pois, no espaço-tempo, as dimensões espaciais e a temporal representadas por tais coordenadas se equivalem. Tal identidade explica a equivalência dos observadores. O espaço-tempo torna possível que os observadores descrevam os fenômenos físicos em termos dos seus próprios tempos e espaços. Os relógios e réguas de um observador são tão bons quanto os de quaisquer outros observadores (PETKOV, 2009, p. vi-vii).

Ao fundir o espaço e o tempo, Minkowski postulou um mundo independente do ponto de vista dos observadores: *Welt an sich* (mundo em si). Tal combinação geométrica revelou quantidades físicas sobre as quais todos podiam concordar; assim, permitiu aos físicos formarem “concepção do mundo real não relativa a nenhum observador particular e circunstancial” (EDDINGTON, 1987, p. 36). Um exemplo dessas medidas independentes do marco de referência – talvez a principal delas – é a distância espaço-temporal, passível de determinação sob as aparências percebidas por diferentes observadores, em suas variadas posições e com seus diferentes tipos de movimento. A distância espacial e a duração temporal, relativas ao marco de referência (*frame-dependent*), dissolveram-se em manifestações ou aparências da realidade fundamental, que é o mundo quadridimensional, mas a extensão espaço-temporal da qual são manifestações ou fazem parte tem “significado absoluto na natureza, independente da decomposição particular em espaço e tempo adotada separadamente pelo observador” (EDDINGTON, 1987, p. 37).

Há, portanto, na Física Relativística, fundamental oposição ao relativismo. Alguns autores assinalam, com razão, a impropriedade de associar a Teoria da Relatividade ao relativismo, mas, como vimos anteriormente, ao fazerem, alguns deles deixam de salientar o papel preponderante de Minkowski no resgate da absolutez e da universalidade sob as aparências particulares dos marcos de referência particulares ou sob o princípio da equivalência desses marcos. Eis o que, por exemplo, afirma Gardner (2019, p. 32): “Ouve-se frequentemente o comentário de que a teoria da relatividade relativiza tudo na física, que ela destrói todos os absolutos. Nada pode estar mais longe da verdade. Ela relativiza coisas antes consideradas absolutas, mas, ao fazê-lo, introduz novos absolutos”.

Tal advertência é importante para precaver contra o frequente erro epistemológico de relativizar a Relatividade, mas teriam sido mais acertadas se fizessem remissão à contribuição minkowskiana, complementar à einsteiniana. Não é demasiado reiterar o crédito devido ao geômetra lituano-alemão na formação do paradigma relativístico (subseção 2.2.3). A propósito, é oportuna a observação precisa de Eddington (2020, p. 53): “A aparição de um mundo quadridimensional deve-se a Minkowski. Einstein mostrou a relatividade das quantidades familiares da física; Minkowski mostrou como recuperar o absoluto regredindo à sua origem quadridimensional e procurando mais a fundo”. Minkowski viu seu trabalho como o acabamento da obra de Lorentz, Einstein e Poincaré.

Desse ponto de vista, a designação “relatividade”, escolhida por Einstein, não parece condizente com as implicações de sua Teoria. É, no mínimo, curioso que o físico tenha optado

por dar essa designação a uma teoria que, em sua versão acabada (Geral), incorporou um *mundo absoluto*, subjacente à miríade de perspectivas particulares. Pode-se especular que a escolha tenha provavelmente decorrido do êxito de Einstein em salvar o princípio da relatividade em 1905, compatibilizando-o com a lei da constância da velocidade da luz no vácuo, tal como explicado no Capítulo 1. Essa hipótese parece-nos mais pertinente do que a que associa o termo “relatividade” à *relativização* dos conceitos de *duração* e de *simultaneidade*.

Para Sommerfeld (*apud* PETKOV, 2020, p. 14 – nota de rodapé n. 23), o nome “Teoria da Relatividade” é “amplamente mal compreendido e não muito feliz”. Petkov (2020, p. 14-15) não poupa críticas à nomenclatura einsteiniana. Para esse autor, enquanto Einstein acreditava que o tempo era relativo, Minkowski explicou a origem física da relatividade: “a relatividade do tempo (e do espaço) é uma manifestação ou implicação do mundo quadridimensional absoluto. A descoberta dessa entidade absoluta subjacente, que é a mesma para todos e não depende do marco do observador, seria, para Petkov, a essência da Teoria da Relatividade; daí a impropriedade do nome, em sua opinião. Segundo o autor, o próprio Minkowski teria protestado contra o uso da palavra “relatividade” para denominar uma teoria baseada no espaço-tempo absoluto. Contudo, Petkov parece, portanto, incorrer na confusão comum entre relatividade e relativismo. Com base no que explicamos no Capítulo 1, quando investigamos as distintas interpretações do “princípio da relatividade”, cremos que o que inspirou Einstein na denominação de sua teoria não foi a relatividade das quantidades físicas, como o tempo e o espaço, mas a equivalência dos marcos de referência e a indiferença das leis da Física ao marco eleito. Essa nuance é sublinhada por Russell (2009, p. 16) nesta passagem:

A física pretende fornecer informações sobre o que realmente ocorre no mundo físico, e não apenas sobre as percepções particulares de observadores separados. A física deve, pois, preocupar-se com as características que um processo físico tem em comum para todos os observadores [...]. Isso requer que as leis dos fenômenos sejam as mesmas, a despeito de como os fenômenos descritos apareçam para um observador ou outro. Esse único princípio é a motivação de toda a teoria da relatividade.

Esta dissertação não tem o propósito de investigar as motivações de Einstein ao nomear sua Teoria, nem julgar se “relatividade” terá sido designação inadequada. Embora o debate nos pareça interessante exercício de reflexão, tem importância secundária no contexto da exposição da *quadridimensionalidade* minkowskiana do Universo neste capítulo. Mais importante que discutir a adequação da nomenclatura einsteiniana é identificar e compreender as quantidades absolutas subjacentes à babel das relativas. São as absolutas que possibilitam a formulação de leis universais ao permitirem que os observadores concordem entre si, acima das medidas particulares, a despeito da velocidade ou de como nos movemos em relação uns aos outros.

Cox e Forshaw (2009, p. 64-65) preconizam que a existência do consenso na Física é crucial, pois os físicos querem formular leis naturais usando apenas esse tipo de objeto consensual, sem depender do senso comum, que nem sempre é confiável. A distância espaço-temporal, vista acima, é um desses consensos e talvez o mais emblemático deles. Não é, porém, a única quantidade absoluta revelada pela Física quadridimensionalista. Sobre outros exemplos dessas quantidades absolutas, damos a palavra a Eddington (2020, p. 22-23):

Podemos criar novas quantidades físicas multiplicando, dividindo, etc.; assim, multiplicamos massa e velocidade, e temos “momento linear” [‘momentum’]; dividimos energia pelo tempo, e temos cavalos de potência. Podemos nós mesmos lançar-nos o desafio matemático de criar por essa maneira quantidades que sejam invariáveis, isto é, que tenham a mesma medida em qualquer marco espacial utilizado. Uma ou duas dessas invariantes vieram a se tornar quantidades já reconhecidas na física pré-relativística; “ação” e “entropia” são as mais comuns.

Com a inovação minkowskiana, atributos como *imutabilidade*, *objetividade*, *absolutez* e *realidade*, antes associados às ideias de *espaço* e de *tempo* individualmente, migraram para o conceito abrangente de *espaço-tempo*. Russell (2009, p. 17), por exemplo, fala da *objetividade*: “Nem o espaço nem o tempo separadamente podem ser tomados como estritamente objetivos. O que é objetivo é certa mistura dos dois chamada *espaço-tempo*”. Cox e Forshaw (2009, p. 89) falam da *absolutez*: “O espaço e o tempo não são mais absolutos; foram sacrificados em favor de um espaço-tempo absoluto.” Por sua vez, Stannard (2017, p. 26) fala da *realidade*, no sentido do que se opõe à *aparência*. Assim como a distância que medimos com uma régua é uma projeção 3D da realidade 4D, o tempo unidimensional que medimos com o relógio consiste, segundo o autor, em uma projeção da realidade quadridimensional: “Essas medidas com a régua e o relógio não são senão *aparências*; não são a coisa real” (STANNARD, *Ibidem*).

Embora adotem perspectivas e conceitos diferentes, os autores citados convergem na constatação de que o *espaço-tempo* passa a gozar de primazia sobre o *espaço* e o *tempo* individualmente considerados. Esses dois perdem seu caráter fundamental na Física teórica ou, como afirmou Minkowski em 1908, “desvanecem em meras sombras”. A partir da Física Relativística, espaço e tempo preservam seus significados individuais apenas no contexto prático da linguagem ordinária e do senso comum.

2.8 A quadridimensionalidade do mundo levada a sério: a Geometria na Física

Se, de um lado, é incorreto afirmar que a noção de mundo espaço-temporal quadridimensional nasceu com Minkowski e Einstein (Seção 2.2); de outro, é justo reivindicar que somente depois deles é que a ideia foi levada a sério, ao ser incorporada como pedra estrutural no edifício teórico da Física contemporânea e na descrição ontológica da Natureza.

Até o advento da Relatividade, o espaço-tempo havia permanecido em um “limbo epistemológico”, descrito nos anos 1920 por Eddington (1987, p. 36): “A ideia de juntar o espaço e o tempo, de forma que o tempo seja considerado quarta dimensão, não é nova; mas era considerada, até pouco, meio pitoresco de ver as coisas sem significado profundo”.

Curiosamente, a contraintuitiva ideia do tempo como quarta dimensão fundida ao espaço tridimensional em figura sólida quadridimensional, apesar de só ter sido cientificamente aceita no século XX, já fora mencionada em 1754 por D’Alembert (1717-1783), na *Encyclopédie*, isto é, 154 anos antes da palestra de Minkowski em Colônia (MOURÃO, 1997, p. 40). Eis a interessante afirmação feita pelo enciclopedista francês no verbete “*Dimension*”:

Eu disse acima que não era possível conceber mais de três dimensões. Um homem inteligente de meu círculo de relações acredita que se poderia, no entanto, enxergar a duração como uma quarta dimensão e que o produto do tempo pela solidez seria, de alguma maneira, um produto de quatro dimensões. Essa ideia pode ser contestada, mas ela me parece ter algum mérito, ainda que seja apenas o da novidade.
(D’ALEMBERT, 1754, p. 1.010a – tradução nossa)

Embora não tenham nascido com a Física Relativística, a teoria da quarta dimensão (*não espacial* ou *temporal*) e a correspondente noção de quadridimensionalidade espácio-temporal foram por ela elevadas de patamar. Com Minkowski e Einstein, a teoria quadridimensionalista rompeu as fronteiras da Ciência especulativa para fincar raízes na Física teórica e empírica. De simples exercício de pensamento, tornou-se ingrediente essencial da Relatividade Geral. De mera hipótese especulativa, a quadridimensionalidade passou a ser asserção confiante – e ousada – acerca da Natureza, confirmada por rigorosos testes empíricos. Pode-se agregar que, na Física 4D, a Geometria, que, no passado, foi um dos ramos mais tradicionais da Física, retomou sua vocação original como Ciência Natural e emergiu como disciplina essencial da ontologia da Natureza. A geometria 4D já não é figura abstrata e especulativa; é o próprio talhe do Universo. O mundo é verdadeira figura geométrica não euclidiana (GALISON, 1979, p. 9).

Stannard (2017, p. 30-31) assinala que alguns físicos proeminentes, mesmo aceitando a quantidade físico-matemática da distância espácio-temporal entre dois eventos (sobre a qual todos os observadores devem necessariamente concordar), ainda resistem à ideia de que o espaço-tempo quadridimensional descreve a realidade física. Esse grupo minoritário recusa-se, como Poincaré outrora, a dar o passo ontológico de Minkowski. A nosso ver, porém, a interpretação puramente *matemática* ou *não realista* do espaço-tempo é muito frágil e não resiste à menor acareação com a Teoria Geral da Relatividade. Cabe reiterar que Einstein, depois de sua resistência inicial, não só acabou acatando a leitura geométrica da Teoria Especial por Minkowski, como também veio a incorporá-la como pedra fundamental da Teoria Geral –

vale reiterar, a mais completa teoria macroscópica da Natureza disponível, que constitui paradigma na Cosmologia até hoje. A inovadora teoria da gravitação postula que o espaço-tempo sofre sensível deformação pela matéria. Como pode uma estrutura física deformável, cuja distorção altera a trajetória dos corpos físicos e até da luz, ser “meramente matemática”? Pondera Eddington (1987, p. 181):

Quando, portanto, somos indagados sobre se o mundo quadridimensional poderia ser considerado mera ilustração de processos matemáticos, devemos ter em mente que o formulador da pergunta tem outra motivação. Ele já parte da crença em um mundo de três dimensões euclidianas e espera ter validação para continuar imperturbado em sua crença. Nesse caso, nossa resposta deve ser inequívoca; o mundo real tridimensional é obsoleto e deve ser substituído pelo espaço-tempo quadridimensional com propriedades não euclidianas. (...) o mundo 4D não é mera ilustração; é o mundo real da física, aonde se chegou pelo reconhecido caminho pelo qual a física (de maneira certa ou errada) buscou a realidade.

Está claro que a Geometria hipsólida que nos interessa de modo primordial nesta pesquisa não é a meramente abstrata, mas a que descreve a realidade e o funcionamento da *Physis*. Einstein (2015, p. 9) já falava de sua opção por uma geometria engajada na descrição da realidade, e não por uma puramente matemática: “Escolhemos aquela geometria cujos axiomas e os teoremas resultantes pareçam melhor expressar as condições de nossa existência, mas essa escolha não é parte do raciocínio matemático; é questão de experimento e de experiência”. Por sua vez, Minkowski considera a Matemática como realidade, e não como abstração ou idealização da realidade, de modo que as leis físico-geométricas que descrevem o mundo gozam de estatuto ontológico (GALISON, 1979, p. 20). O geômetra acredita, em uma “harmonia preestabelecida entre a Matemática pura e a Natureza”. Da mesma forma, este trabalho assume compromisso físico e metafísico – estranho à Matemática – ao propor a substituição do modo tradicional 3D de compreensão da existência pelo modo 4D.

O advento da Teoria da Relatividade significou a “geometrização do mundo” (EDDINGTON, 2020, p. 133) e o fim da divisão entre Mecânica e Geometria (*Ibidem*, p. 137). O próprio Einstein (2015, p. 13) afirma que a Geometria foi suplementada e passou a ser tratada como ramo da Física. Além de incorporar a Geometria à Física, a Física Relativística contribuiu para reformular o escopo da primeira. Até então, a Geometria era definida como a ciência das propriedades do espaço (isto é, não incluía o tempo em seu escopo). Com o entrelaçamento do tempo e do espaço, uma Geometria espaço-temporal passou a ser necessária.

Adicionalmente, a Teoria Geral revolucionou a história da ciência geométrica ao demonstrar que a geometria euclidiana se tornava inaplicável nos campos gravitacionais. A

descoberta da propriedade não euclidiana do Universo é assim narrada pelo biógrafo de Einstein (PAIS, 2005, p. 22):

No verão de 1912, à época de seu retorno a Zurique, ele [Einstein] faz descoberta fundamental: o espaço não é plano, a geometria do mundo não é euclidiana. Ela é riemanniana. Habilmente auxiliado por seu antigo amigo, o matemático Marcel Grossmann, ele estabelece os primeiros vínculos entre geometria e gravidade.

A constatação de que o espaço-tempo não é um *continuum* plano (EINSTEIN, 2015, p. 109) significou o abandono, pela Física, dos axiomas de Euclides, tidos como leis incontestáveis do espaço por 2.000 anos, bem como de seus teoremas, deduções estritamente lógicas derivadas daqueles (FITCH, 2005b, p. 52). A repercussão da Física Relativística na Geometria é resumida de forma sucinta, mas eloquente, por Carpeaux (2014, p. 31): “A geometria euclidiana, estável por milênios, mostrou-se inservível”.

Objeto de estudo de matemáticos, cientistas e filósofos, a Teoria Geral da Relatividade tem a aptidão de suscitar o interesse popular, em virtude das curiosas formas envolvidas na geometria 4D. Contudo, o *continuum* 4D proposto pela Geometria do Espaço-Tempo está longe de ser popularizada como descrição da realidade. Minkowski e Einstein interpelam-nos a abandonar a concepção clássica da existência e, vencendo a teimosia do hábito, apreciar o mundo como bloco 4D indissolúvel, e não como mero mundo 3D em evolução no tempo. O novo modo de contemplação da realidade, com o tempo e o espaço unificados, traz implicações surpreendentes para a compreensão tanto dos eventos passados e futuros, quanto dos corpos físicos. A repercussão da quadridimensionalidade minkowskiano-einsteiniana na Metafísica – *quadridimensionalismo* – é o que passamos a explorar no Capítulo 3.

CAPÍTULO 3 – QUADRIDIMENSIONALISMO:

IMPLICAÇÕES ONTOLÓGICAS DA FÍSICA RELATIVÍSTICA

Eis aqui o retrato de um homem com oito anos de idade; outra com 15; outra com 17; outra com 33, e assim por diante. Todos esses retratos são evidentemente seções [...], representações tridimensionais do ser quadridimensional dele, que é uma coisa fixa e inalterável.

(H. G. Wells, *A Máquina do Tempo*)

No capítulo anterior, abordamos a descoberta de Hermann Minkowski, no início do século XX, de que as dimensões do espaço e do tempo não são independentes e separadas uma da outra, mas estão fundidas em um *manifold* quadridimensional indissolúvel, designado *espaço-tempo*. O que conhecemos como “espaço” e “tempo” não passa de mera manifestação parcial desse *continuum* 4D. Ambos perderam o *status* de grandezas fundamentais da Natureza. Fundir, em uma entidade ontológica fundamental, duas grandezas físicas tão díspares para nossa experiência cotidiana foi proposta audaciosa e contraintuitiva, possível graças à convicção do geômetra de que tal reinterpretação geométrica do Universo era o modo como a Matemática podia traduzir a Relatividade Especial, de Albert Einstein (COX *et al*, 2009, p. 71). Em sintonia com o princípio da relatividade, a figura quadridimensional postulada por Minkowski para descrever a Natureza não presumia sistema de coordenadas privilegiado ou absoluto. Nela, tanto a noção de simultaneidade quanto a de duração entre dois eventos permaneciam relativas ao observador, como propusera Einstein na Teoria Especial. A essa inovadora descrição geométrica da *Physis* chamamos de *quadridimensionalidade minkowskiano-einsteiniana*.

Tendo sido feita nos dois primeiros capítulos a fundamentação científica do mundo físico 4D e das novas concepções de tempo e espaço, estamos agora aptos a explorar como a Geometria do Espaço-Tempo, proposta por Minkowski e incorporada por Einstein como pedra fundamental em sua Teoria Geral, repercutiu na Metafísica. Não há dúvida de que a Física Relativística, cujos aspectos fundamentais foram delineados nos Capítulos 1 e 2, teve enorme impacto no debate metafísico contemporâneo, sobretudo nas searas da Filosofia do Tempo e da Ontologia. Sider (2001, p. 3 – nota n. 2) sublinha que “o advento do espaço-tempo de Minkowski parece ter inspirado muito interesse dos filósofos nessa descrição [4D], embora algumas versões da doutrina pré-datem o espaço-tempo de Minkowski”.

Nosso objetivo principal neste terceiro e último capítulo é discorrer sobre dois debates ontológicos fundamentais no âmbito da Filosofia do Tempo, à luz da Física Relativística: (i) a impossibilidade de distinguir, objetiva e intrinsecamente, os eventos entre passados, presentes

e futuros e, em consequência, o estatuto ontológico dos eventos não presentes (*ontologia dos eventos* temporais); e (ii) o modo como os corpos físicos persistem no tempo (*ontologia da persistência*). Interessar-nos-ão, em especial, as teses metafísicas designadas como *eternismo* e *perdurantismo*, que consideramos corolários ontológicos da Física Relativística. Mostramos que o *presentismo* e o *endurantismo* – teses intuitivas e representativas do senso comum, rivais do eternismo e do perdurantismo, respectivamente – refletem a compreensão tridimensionalista da existência da Mecânica Clássica e, portanto, são incompatíveis com a Teoria da Relatividade.

Antes de abordar as teses ontológicas relacionadas com o tempo, é preciso, contudo, consolidar certos entendimentos basilares acerca do espaço-tempo minkowskiano, discorrer sobre a noção “espacializada” do tempo (mais especificamente como quarta dimensão do mundo 4D indissolúvel) e compreender as consagradas Séries de McTaggart.

3.1 O tempo como dimensão do mundo 4D: a “espacialização” do tempo

Descrever o tempo como *quarta dimensão* unificada às três dimensões do espaço supõe a tarefa preliminar de determinar o significado de “dimensão”. Nos dicionários, o termo é comumente definido como “extensão”. É assim, por exemplo, como D’Alembert o define já no século XVIII, no célebre *Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, mais conhecido como *Encyclopédie*: “[Dimensão, substantivo feminino, originário da Física e da Geometria,] é a extensão de um corpo mensurável ou suscetível de medição” (grifo nosso).³²

A definição do termo *dimensão* como sinônimo de *extensão* auxilia-nos na busca do significado que buscamos; contudo, a sinonímia não é suficiente para apreender o conceito, pois apenas muda a questão: “qual, então, seria o significado de extensão?”. Escrevendo sobre a teoria espacial da quarta dimensão no início do século XX, Ellis (2005, p. 242) oferece-nos esta definição: “Extensões são medidas em direções mutuamente perpendiculares uma à outra, e o número de dimensões é determinado pelo número de direções perpendiculares independentes que podem existir no dado espaço”. Nesse sentido mais técnico, da Geometria, a quarta dimensão pode ser descrita como linha perpendicular às três dimensões do espaço, isto é, reta que parte de um ponto do espaço em nova direção, perpendicular a todas as retas do espaço. Na Geometria, um ponto situado no centro de uma esfera que descrevesse movimento ao longo da

³² A citação da *Encyclopédie* é oportuna, porque, como visto no Capítulo 2, é precisamente no verbete “Dimensão”, de autoria de D’Alembert, que aparece, pela primeira vez, já em 1754, ainda que de maneira incipiente, menção explícita à ideia de fusão do tempo e do espaço em um hipersólido quadridimensional. O enciclopedista francês havia-a escutado de um conhecido seu (anônimo), do qual tudo o que sabemos é que era respeitado por D’Alembert.

quarta dimensão (a linha perpendicular a nosso espaço tridimensional) não tocaria nenhuma parte da superfície esférica, mas se distanciaria de todos os pontos dela na mesma proporção.

Neste trabalho, estamos interessados no tempo como uma das quatro dimensões do espaço-tempo indissolúvel. É curioso que, já no século IV d.C, Santo Agostinho tenha empregado os vocábulos latinos correspondentes a *distensão* e *extensão*, com conteúdo semântico praticamente idêntico, para falar do “tempo” com a conotação dimensional. Citamos dois trechos do Livro XI, capítulo 26, das *Confissões* (AGOSTINHO, 2015, p. 317; ambos fazem referência ao tempo, sendo o primeiro de forma direta, e o segundo, indireta: (i) “[...] pareceu-me que o tempo não é outra coisa senão *distensão*, mas, de que coisa o seja, ignoro-o”; e (ii) “sei perfeitamente que meço o tempo, mas não o futuro, porque não existe. Tampouco avalio o presente, pois não tem *extensão*, nem o passado, que não existe”. No segundo, é interessante notar como o pensador antigo sagazmente aponta a não-extensão do “presente”, assinalada na Seção 2.5. Os instantes que reputamos presentes são pontuais, isto é, não dimensionais (dimensão = 0) – vide Figura 7.

Mas a novidade da Física Relativística não consiste em descrever o tempo simplesmente como “dimensão”. Vimos no Capítulo 2 que ele já era concebido assim na Física Clássica. A novidade é que a dimensão temporal foi fundida com o espaço tridimensional e passou a integrar o palco dos eventos. A quarta dimensão não tem mais mero papel coadjuvante de avenida para o tráfego do espaço 3D; passou a compartilhar com as três dimensões espaciais o protagonismo ontológico. Em virtude do novo papel, é comum na literatura falar na *espacialização do tempo*. O conceito tem as denotações de que, desde Minkowski e Einstein, o tempo teria adquirido as propriedades do espaço e de que já não haveria distinção física entre as duas grandezas. Contudo, vimos, no Capítulo 2 (Seção 2.6), que a Física Relativística não admite equiparar o tempo ao espaço. É equivocado supor que a distinção das duas grandezas tenha sido abolida por completo no novo paradigma. Prova disso é que a distinção precisa vir traduzida matematicamente – no caso da equação da distância espaço-temporal, pela inversão do sinal. Reichenbach (2021, p. 17) aborda a questão: “a natureza específica do tempo, em contraste com a do espaço, vem expressa em certas equações físicas fundamentais”. Para ele, da perspectiva da Física, o ato de igualar o tempo ao espaço constitui erro grosseiro.

A expressão “espacialização do tempo” é, portanto, problemática, pois as ideias denotadas por ela – de que o tempo adquiriu as propriedades do espaço e não há mais diferenças entre as duas grandezas – não são respaldadas pela Física Relativística. Não obstante, se, de um lado, é correto apontar a não-equivalência física entre o tempo e o espaço; de outro, é justo

notar que as duas grandezas nunca foram tão assemelhadas na história da Física quanto na Teoria da Relatividade, como bem observa Gamow (1988, p. 84):

Embora as tentativas matemáticas de demonstrar a unidade do espaço e tempo em um único mundo quadridimensional não eliminaram completamente as diferenças entre distâncias e durações, elas certamente revelaram semelhança muito maior entre as duas noções, que jamais foi evidente na física pré-einsteiniana.

Uma expressão que talvez melhor represente a novidade da Física Relativística seja a de “*quase-espacialização do tempo*”; entretanto, tal opção terminológica tem o inconveniente de evocar certa obscuridade e imprecisão conceitual. Uma alternativa seria preservar o léxico “espacialização”, porém atribuindo-lhe sentido físico restrito, que não extrapole os postulados relativísticos. “Espacializar” o tempo nessa acepção convencional significaria, assim, descrevê-lo como “dimensão onde os eventos do mundo têm lugar”. A definição tem a dupla vantagem de marcar a diferença substancial com o tempo clássico – que consistia em pura extensão desprovida de função ontológica – e de focar as características do tempo compartilhadas com as três dimensões do espaço (ser extenso e, além disso, eixo do mundo, isto é, palco dos eventos). Assim, abstém-se de fazer equiparação plena das duas grandezas e de ferir os postulados da Física Relativística. No texto, destacamos com aspas ou itálico as ocorrências do termo “especialização” para assinalar a convencionalidade da acepção.

O tempo “especializado” (estendido e estático) é altamente contraintuitivo. Na subseção 3.5.6, veremos como essa imagem contradiz a intuição do fluxo unidirecional ou *seta do tempo*. É útil, por isso, adotar designações distintas para os usos discrepantes do conceito: ao tempo “especializado” chamaremos *tempo ontológico* ou *físico*; ao tempo fluido da experiência ordinária chamaremos *tempo fenomenológico*. Ambos sublinham aspectos qualitativos e, assim, podem ser distinguidos do tempo quantitativo, abordado no Capítulo 1, quando tratamos da Teoria Especial, o qual designamos *tempo-relógio*, *intervalo* ou *duração*. A duração pode ser entendida como seção do tempo ontológico, como uma régua é porção das dimensões espaciais. O aspecto quantitativo do tempo aparece em Agostinho (2015, p. 307): “Percebemos os intervalos dos tempos, comparamo-los entre si e dizemos que uns são mais longos e outros mais breves. Medimos também quando esse tempo é mais comprido ou mais curto do que outro”.

3.2 Cada tempo em seu lugar: as Séries-A, B e C de McTaggart

O tempo ontológico – extenso e povoado de eventos – remete à questão da ordenação das posições ocupadas pelos instantes ao longo dessa extensão, o que, por sua vez, envolve discussão sobre a relação dessas posições entre si e suas propriedades. A uma posição no tempo chamamos “momento” ou “instante”. Einstein (2020, p. 1) afirma a propósito: “As experiências

de um indivíduo aparecem-nos organizadas em uma série de eventos; nessa série, os eventos singulares que lembramos aparecem ordenados de acordo com o critério *antes e depois*”.

A discussão foi tornada célebre em 1908, por J. M. E. McTaggart (1866-1925). No artigo “A irrealidade do tempo” (MCTAGGART, 1908), o metafísico idealista inglês introduziu a consagrada tipologia das *Séries*. Antes de tudo, é curioso notar que o artigo de McTaggart veio à luz no mês seguinte à palestra fundacional de Minkowski sobre o *espaço-tempo*, em Colônia. Não estamos em condição de estabelecer correlação direta entre os dois fatos, mas a proximidade histórica deles reforça nossa constatação de que a primeira década do século XX foi fecunda em matéria de Ciência e de Filosofia do Tempo. Tal período concentra os principais lampejos e inovações revolucionárias da compreensão dessa grandeza do mundo físico. O artigo do neo-hegeliano (1908) pode ser incluído entre os marcos filosóficos da teoria do tempo, ao lado dos trabalhos que classificamos como os marcos científicos da teoria: sobretudo, a Teoria Especial da Relatividade, de 1905, e as pesquisas dos geômetras Poincaré e Minkowski. Por fim, vale observar que em 1909 se organizou a coletânea internacional de ensaios sobre a teoria espacial da quarta dimensão, *The Fourth Dimension Simply Explained* (MANNING 2005a), mencionada acima (subseção 2.2.1). Embora a obra não trate do tempo, seu objeto (quarta dimensão) está estreitamente relacionado com o tema e é útil na representação do espaço-tempo.

McTaggart (1908) apresenta três modelos de ordenação dos instantes no tempo, denominados Séries-A, B e C. Dedicaremos mais atenção às duas primeiras, por serem as principais séries da tipologia mctaggartiana e as que se qualificam como “temporais”, como explicaremos adiante ao abordarmos brevemente a Série-C. Segundo o neo-hegeliano, “nunca observamos o tempo de outra maneira que não seja formando ambas essas séries [A e B]” (MCTAGGART, 1908, p. 458 – grifo nosso). Outra razão para nos concentrarmos nas duas primeiras séries é o fato de que elas continuam sendo as mais citadas na literatura.

“Série-A” é a designação dada por McTaggart à sequência de posições no tempo cujas propriedades se alteram do futuro distante para o futuro próximo, passando para o presente, antes de seguir para o passado próximo e, então, para o passado distante. Já a “Série-B” designa a ordem pela qual as posições se antecedem ou sucedem umas às outras. Enquanto na Série-A os eventos se distinguem pela propriedade de serem *pretéritos*, *presentes* ou *futuros*, na Série-B os eventos distinguem-se relacionalmente, por serem posições *anteriores* e *posteriores* umas às outras. Segundo Zimmerman (2005, p. 401), as propriedades de *passado*, *presente* e *futuro* são chamadas de “propriedades-A”, enquanto as relações de *anterioridade*, *posterioridade* ou *simultaneidade* são denominadas “relações-B”. Pessoa Jr. (2020b, p. 56) dá estas definições

sintéticas das duas séries de McTaggart: (a) Série-A – um evento é passado, presente ou futuro; e (b) Série-B – um evento é *mais cedo*, *simultâneo* ou *mais tarde* do que outro.

A Série-A envolve contínua alteração das propriedades de cada posição, de maneira dinâmica. A Série-B supõe nada mais que um vetor implícito, que determina se um ponto N é posterior a M e anterior a O, e não o contrário (pode-se fazer analogia com a ordem alfabética). Visto que a Série-B está vetorizada (digamos, para a direita, para usar o sentido de nossa escrita e leitura), M será sempre anterior a N; e O, sempre posterior a N. O fato de que N é, em algum momento, anterior a O e posterior a M significa que N sempre foi e sempre será anterior a O e posterior a M. Desse modo, as relações das posições na Série-B são fixas, em contraste com o caráter mutante das propriedades na Série-A. Nela, o predicado das posições altera-se continuamente pelo fluxo do tempo: o mesmo evento que “agora” é presente foi, uma vez, futuro e será, logo, pretérito. Na Série-B, o predicado é permanente, como acontece no caso da diferença de idade entre duas pessoas. A diferença etária de 10 anos entre duas irmãs, nascidas respectivamente em 2010 e 2020, será “carregada”, de maneira fixa, por toda a sua vida, independentemente do momento do cálculo e das alterações físicas delas no tempo.

Vale transcrever a descrição das Séries-A e B que faz o próprio McTaggart (1908, p. 458) e que preferimos manter na versão original, para exegese mais fidedigna e rigorosa do texto: “*I shall speak of the series of positions running from the far past through the near past to the present, and then from the present to the near future and the far future, as the A series. The series of positions which runs from earlier to later I shall call the B series*” (grifos nossos).

Observa-se que o idealista inglês utiliza o verbo “run” (*correr*) para caracterizar as duas séries. Tal opção lexical denota, em ambos os casos, a ideia de movimento ou escoamento. Na penúltima citação de McTaggart, acima, vale recordar que o fluxo a que o filósofo se refere é o modo como *observamos* o tempo e está associado, portanto, à experiência transcendental dos sujeitos (*tempo fenomenológico*). O fluxo não é componente necessário do conceito de *tempo físico* ou *ontológico*. A definição de tempo físico não requer a inclusão do elemento dinâmico.

Na conceptualização mctaggartiana, está implícito que as Séries-A e B se movem em bloco, isto é, as posições se movem juntas, no mesmo ritmo, sem se atropelarem. Entretanto, se atentarmos mais a fundo, perceberemos nuances na dinâmica de cada série. Pode-se inferir implicitamente que o fluxo da Série-A se dá relativamente contra um pano de fundo, que pode ser interpretado como um espectro cujas bandas representam as propriedades-A, a saber: “futuro distante”, “futuro próximo”, “presente”, “passado próximo” e “passado distante”. Nesse caso, há remissão implícita a algo exterior à série ou independente dela que passa pelas posições

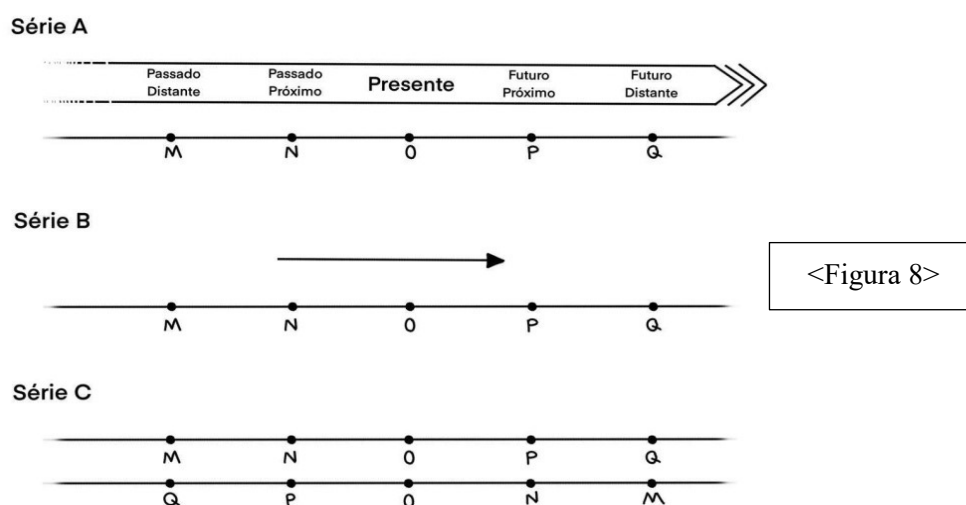
(ou, inversamente, contra o qual as posições passam). Tal espectro, móvel relativamente à série, fica implícito no trecho em que McTaggart (1908, p. 463) fala do “presente”: a propriedade especial de uma das posições da Série A ser presente exclui todas as demais e se transmite pela série de tal forma que todas as posições situadas em um dos lados do instante presente *já foram* presentes, e todas as posições situadas do outro lado *serão* presentes.³³ Na Série-B, as relações de anterioridade, posterioridade e simultaneidade são abstraídas da própria sequência, sem a necessidade de recorrer a nada externo. Em outras palavras, não se requer nenhum espectro em relação ao qual se possa caracterizar as posições. A qualificação como “anterior a” ou “posterior a” não depende sequer do movimento, mas apenas da posição na série e do vetor desta.

A Série-C – terceira e última da tipologia de McTaggart – é frequentemente omitida na literatura (REA, 2013, p. 251) e, quando aparece, geralmente equiparada à Série-B. A equiparação é equivocada, pois, embora gêmeas, as Séries-B e C não são idênticas. A Série-C pode ser definida como a Série-B subtraída do vetor de direção. Tal qual a Série-B, é desprovida das propriedades típicas da Série-A (distinção entre passado, presente e futuro), mas subsiste como sequência de eventos. Porém, diferentemente da Série-B, ela não é vetorizada, isto é, não envolve sentido específico. Como falta vetor à Série-C, resta apenas a ordem das posições, que pode ser lida em ambos os sentidos indiferentemente: da esquerda para a direita e vice-versa.

Como afirma o próprio McTaggart (1908, p. 462), a Série-C “não é temporal, pois não envolve nenhuma mudança, mas apenas uma ordem”. O neo-hegeliano argumenta que, se as posições estão organizadas em certa sequência, digamos M, N, O, P, então se pode asseverar que não estão distribuídas, por exemplo, nas ordens M, O, N, P ou O, N, M, P, nem em qualquer outra. Embora a Série-C determine uma ordem, ela não determina um sentido. Assim, pode ser lida indistintamente como M, N, O, P ou, inversamente, como P, O, N, M. Não há nada na Série-C, diz McTaggart, que possa determinar qual sentido de leitura estaria correto. Uma série *não temporal* não tem, em si mesma, nenhuma direção, embora uma pessoa possa interpretar seus termos em uma direção ou em outra, de acordo com sua conveniência (MCTAGGART, 1908, p. 462-463). As posições na Série-C, explica o metafísico, formam certa ordem, mas não podem ser chamadas de “eventos” porque o termo é reservado por ele a “realidades que estão em uma série temporal” (*Ibidem*). Se se atribuísse à Série-C vetor temporal, então ela se tornaria uma Série-B: as posições poderiam ser chamadas de eventos, porque passariam a ter entre si

³³ Pode-se inferir da Série-A que as qualidades “futuro” e “passado” admitem gradações (distante e próximo), diferentemente da qualidade “presente”, o que indica a propriedade da não-extensão no caso do presente, como salientamos nas Seções 2.5 e 3.1.

relações de anterioridade ou posterioridade. As ilustrações a seguir (Figura 8) ajudam a ver as diferenças entre as Séries-A, B e C:



3.3 Teorias-A e B do Tempo

Em alusão às Séries-A e B de McTaggart, é comum, na literatura, falar nas *Teorias-A* e *B* do tempo. As Teorias remetem às Séries homólogas, mas não devem ser confundidas com elas. As Teorias-A e B são elaborações teóricas das Séries-A e B. Filósofos do tempo são ditos “teóricos-A” ou “teóricos-B” conforme sua adesão a uma ou outra Teoria. Segundo Rea (2013, p. 251), a Teoria-A pode designar duas ideias muito distintas: (i) a de que a história do mundo constitui uma série A; (ii) a de que nenhuma sequência pode ser considerada temporal a não ser que seja uma série A. McTaggart qualifica-se como teórico-A só no segundo sentido. O neo-hegeliano sustenta que nosso mundo não consiste em uma série A (negação de “i”) e, como, para ele, uma série A é fundamental para se falar no tempo, conclui que o tempo é irreal (MCTAGGART, 1908). Sem entrar na discussão do mérito da tese mctaggartiana sobre a “irrealidade do tempo”, exploraremos o primeiro sentido atribuído à Teoria-A, isto é, discerniremos se a história do mundo constituiria uma série A.³⁴

³⁴ O objetivo desta Seção é apenas descrever a tipologia das Séries de McTaggart, apresentando suas diferenças. Não aquilatamos o mérito da tese central do idealista inglês sobre se o tempo é irreal. Convém, contudo, apresentar, de modo sucinto, o silogismo do autor. Sua conclusão sobre a irrealidade do tempo ampara-se em três premissas (PRICE, 2011, p. 280): (i) não há tempo sem mudança; (ii) as distinções de passado, presente e futuro são essenciais ao tempo, e mudanças reais requerem que os eventos alterem suas propriedades: que sejam primeiro futuros, depois presentes e então pretéritos; (iii) essas propriedades não podem ser reais pela incoerência de que cada evento deve ter as três, mas elas são mutuamente incompatíveis. O argumento de McTaggart é o de que as propriedades caracterizadoras da Série-A, não passariam de “ilusão constante de nossas mentes” e “de que a natureza real do tempo apenas contém a distinção da Série-B – a distinção de anterior e posterior”. Porém, para McTaggart, a Série-B não é suficiente para defender a realidade do tempo, pois essa deveria envolver mudança. Daí segue sua conclusão de que, sem a Série-A, não pode haver tempo. É possível divergir de McTaggart de mais de um modo: negando as premissas i, ii ou iii.

Sustentar que a ordem dos eventos no mundo constitui uma série do tipo A equivale a defender a possibilidade de fazer distinção objetiva entre presente, passado e futuro. Teóricos-A acreditam que há um fato objetivo que permite determinar o presente com validade para todo o universo e, por consequência, também delimitar o passado e o futuro. Assim, os acontecimentos presentes em qualquer lugar do espaço (aqui, ali e acolá) seriam, para eles, simultâneos de modo absoluto ou *simpliciter*, isto é, a despeito do marco de referência.

A Teoria-A também pode ser entendida como a tese segundo a qual o presente é ontologicamente privilegiado: objetivamente distinto e especial em relação aos demais. A teoria metafísica tipo-A busca validar a convicção – compartilhada pela vasta maioria de pessoas – de que a mutação de um evento, que passa da qualidade de “ser presente” para a de “ser passado”, consistiria em mudança profunda ou ontológica (ZIMMERMAN, 2011, p. 169). Segundo Zimmerman (2011), existem duas variedades principais da Teoria-A: o presentismo e a teoria do “bloco crescente” (*growing block*), que serão explicadas adiante. As duas têm em comum o fato de presumirem um presente objetivo (traço que as caracteriza como Teoria-A); mas, se de um lado o presentismo postula que somente os objetos presentes existem, o modelo do bloco crescente postula, de outro, que existem objetos presentes e passados, mas não futuros.

Em contraste, a Teoria-B é a tese metafísica do tempo segundo a qual a distinção entre passado, presente e futuro só pode ser feita relativamente a um contexto de expressão (isto é, a um sistema de coordenadas), nunca de modo absoluto e universalmente válido. Assim como os conceitos de “norte” e “sul”, “em cima” e “embaixo”, “direita” e “esquerda” reclamam marco de referência ou indicação de contexto, a atribuição aos eventos das propriedades “ser presente”, “ser passado” e “ser futuro” igualmente requer desambiguação, pela designação arbitrária e convencional de um ponto de vista, implícita ou explicitamente. Segundo a Teoria-B, não é possível determinar, de modo absoluto, o “agora”. Disso decorre a impossibilidade de caracterizar *simpliciter* os eventos como “passados”, “presentes” ou “futuros”. Como é impossível distingui-los de forma absoluta, todos os eventos estariam, pela Teoria-B, ontologicamente em pé de igualdade, isto é, não haveria momentos privilegiados ou especiais (a não ser na perspectiva do próprio sujeito ou em um arbitrário sistema de coordenadas). Para a Teoria-B, pode-se falar de “passado” e “futuro” ou de momentos “presentes” especiais, porém apenas no quadro referencial do observador. Entre as variedades da Teoria-B, podem ser citados o eternismo e o perdurantismo, ambas descompromissadas com nossas intuições e concepções tradicionais de tempo absoluto, isto é, de simultaneidade e duração absolutas. Pessoa Jr. (2020b,

p. 58) observa que, para os eternistas, a Série-B de McTaggart descreve a realidade, enquanto a Série-A consistiria em mera perspectiva da qual um observador individual vê o mundo.

Até o advento da Física Relativística, a discussão em Filosofia do Tempo foi pouco fecunda. Na prática, as opiniões metafísicas sobre o tempo, muitas vezes inconscientes, resumiam-se à Teoria-A. Tudo mudou com a Relatividade. Tão logo a Teoria foi digerida, o debate metafísico evoluiu. Desde então, os teóricos-B presumivelmente formaram maioria entre os metafísicos com opinião em Filosofia do Tempo. Zimmerman (2011, p. 165) inclui nesse grupo majoritário dois fundadores da Filosofia Analítica: o alemão Gottlob Frege e o britânico Bertrand Russell. Outros filósofos proeminentes integrantes da classe dos teóricos-B são: Rudolf Carnap (alemão), Hans Reichenbach (alemão), Karl Popper (anglo-austríaco), W. V. O. Quine (americano), Hilary Putnam (americano) e David Lewis (americano) – as nacionalidades sugerem que o debate metafísico sobre o tempo se trava, sobretudo, em inglês e em alemão.

Mesmo após o advento da Teoria Especial da Relatividade (1905), de Einstein, a posição teórica tipo-A, embora seguramente minoritária (Zimmerman, 2011), ainda é sustentada por numeroso grupo de filósofos.³⁵ Os teóricos-A podem discordar entre si em detalhes, mas concordam no essencial: o presente se distingue do passado e do futuro de forma absoluta. Entre os teóricos-A mais proeminentes podem ser citados Charlie Dunbar Broad (1887-1971), Arthur Prior (1914-1969) e Roderick Chisholm (1916-1999).

A associação das Teorias-A e B com as teses ontológicas dos eventos temporais, a serem abordadas adiante, é problemática. Não encontramos consenso na literatura sobre a questão. Balashov (2010, p. 2), por exemplo, afirma que o presentismo e o eternismo (teses antípodas) são as melhores encarnações contemporâneas da Teoria-A e da Teoria-B, respectivamente. Para Rea (2013, p. 251), porém o debate entre presentismo *versus* eternismo não equivale ao debate Teoria-A *versus* Teoria-B. Para nós, a razão está do lado de Rea. A nosso ver, uma questão impede a associação perfeita entre o eternismo e a Teoria-B: a da simultaneidade. Na Série-B, duas posições podem ser simultâneas, além de anterior ou posterior uma à outra; mas a questão sobre se a simultaneidade é absoluta ou relativa não é objeto da reflexão de McTaggart, mesmo tendo ele escrito três anos após a publicação da Teoria Especial (1905). Tal questão é, no

³⁵ Teóricos-A incluem: Craig Bourne (britânico), William Lane Craig (americano), Peter Thomas Geach (britânico), Sally Haslanger (americana), Edward Jonathan Lowe (britânico), Peter Ludlow (americano), Storrs McCall (canadense), Ned Markosian (americano), David Hugh Mellor (britânico), Trenton Merricks (americano), Bradley Monton (americano), Michael Rea (americano), Quentin Smith (americano), Judith Jarvis Thomson (americana), Peter van Inwagen (americano), David Wiggins (britânico), Dean Zimmerman (americano) – vide ZIMMERMAN, 2011, p. 164; e SIDER, 2001, p. 3.

entanto, fundamental para determinar se a Teoria-B seria, como o eternismo, compatível com a Física Relativística. Sabemos, pela Teoria Especial, que a simultaneidade e a ordem dos eventos são relativas ao sistema de coordenadas; logo, as relações-B, assim como as propriedades-A, também teriam de ser tratadas como perspectivas a partir das quais os observadores apreciam o mundo. Como veremos adiante, os eternistas diferem-se dos presentistas e defensores do “bloco crescente” ou do “farol móvel” por se recusarem de modo peremptório a traçar uma linha no universo demarcando o presente, separando-o do resto e determinando um marco absoluto de simultaneidade. Interpretações como as de que o eternismo seria encarnação da Teoria-B – ou de que a Série-B seria a mais adequada como representação da Física Relativística ou do eternismo –, embora verossímeis à primeira vista, poderiam estar equivocadas. O debate requer análise mais aprofundada, não cabível no escopo desta pesquisa.

3.4 Quadridimensionalismo vs. Tridimensionalismo

No Capítulo 2 (subseção 2.2.2), fez-se o importante esclarecimento de que a noção de quadridimensionalidade (a existência de quatro dimensões) já estava presente na Mecânica Clássica, o que o próprio Einstein havia apontado. Contudo, a geometria 4D clássica era bem diferente da proposta por Minkowski no início do século XX e adotada por Einstein na Teoria Geral da Relatividade. O advento da Geometria física de Minkowski e da Física geométrica einsteiniana implicou substancial reinterpretação da Natureza, de tal modo que falamos, agora, de uma variedade quadridimensional *minkowskiano-einsteiniana* (ou *relativística*), qualitativamente distinta da variedade pré-relativística. Assim, duas imagens da Natureza concorrentes e incompatíveis entre si apresentam-se diante de nós e reclamam nossa tomada de posição. Embora ambas trabalhem com quatro dimensões, destoam notavelmente no modo como as dimensões se inter-relacionam e no resultado geométrico. Desse ponto de vista, a distinção entre a Física Relativística e a Física Clássica seria imprópria se se baseasse na oposição entre *Universos quadridimensional e tridimensional*; pois a verdadeira concorrência existente se dá entre duas modalidades quadridimensionais: 3+1D vs 4D.

Não obstante, é costumeiro no debate metafísico adotar a dicotomia *quadridimensionalismo versus tridimensionalismo*. Entendemos que essa oposição faz sentido, mas é preciso entender bem os dois conceitos para afastar más interpretações. Nessa tarefa, é indispensável explorar, primeiro, o significado de “quadridimensionalismo”. A propósito, na literatura metafísica, constata-se falta de uniformidade e de consenso nos usos desse conceito. Como observa Michael Rea (2013, p. 246), “quadridimensionalismo” é item lexical utilizado para designar diferentes ontologias conforme o gosto ou a liberdade do autor. Crisp (2013)

assinala que o termo é frequentemente usado com sentido mais restrito, ora no debate sobre a ontologia dos eventos temporais, ora na discussão sobre os corpos persistentes. No segundo caso, *quadridimensionalismo* é a designação de certos metafísicos, em particular Theodore Sider, para a tese ontológica mais conhecida como *perdurantismo*, pela qual os objetos são compostos de partes temporais, além das espaciais (SIDER, 2001, p. xiii).

Rea (2013), por sua vez, opta por utilizar “quadridimensionalismo”, no debate sobre a ontologia dos eventos temporais, com o sentido específico de *negação do presentismo*. Nesse caso, o termo designa toda tese metafísica que concorde com a afirmação de que “o presentismo é falso” (REA, 2013, p. 247-248). O autor indica duas variedades antipresentistas principais: (i) a teoria do “universo em bloco” (*block view universe*, ou simplesmente *eternismo*); e (ii) a teoria do “bloco crescente” (*growing block*) – ambas a serem descritas na subseção 3.5.3. Na opção conceitual de Rea, “quadridimensionalismo” é, pois, conceito mais amplo que “eternismo”, que postula que eventos passados e futuros são tão reais quanto os presentes. Ele também abrange ontologias como o modelo *growing block*, que apenas parcialmente discordam da tese presentista. Seriam, portanto, denominados quadridimensionalistas por Rea todos os metafísicos que admitem a existência de eventos ou objetos “não presentes”, por oposição aos presentistas, que negam absolutamente a existência de eventos ou objetos passados e futuros.

Nesta dissertação, preferimos empregar “quadridimensionalismo” com acepção mais ampla do que as de Sider e Rea, de forma a abarcar quaisquer teses ontológicas que supõem o espaço-tempo minkowskiano-einsteiniano como geometria fundamental do Universo. Em outras palavras, o termo é utilizado por nós para nomear toda ontologia que adota, como premissa, a fusão do tempo e do espaço em um *continuum* quadridimensional ou que compreende o tempo como “quarta dimensão”, análoga em vários aspectos às dimensões espaciais (tempo “espacializado”). Como veremos adiante, o perdurantismo e o eternismo são os exemplos emblemáticos de teses que atendem rigorosamente a esse requisito conceitual. No emprego genérico adotado aqui, “quadridimensionalismo” é, pois, gênero, do qual perdurantismo e eternismo são espécies. Nosso uso não distingue entre as duas mesas de debate em apreço; ele vale tanto para a ontologia de eventos temporais quanto para a da persistência.

É importante reiterar que, em nosso esquema terminológico e conceitual, o conceito de “quadridimensionalismo” não se confunde com o de “quadridimensionalidade”. Enquanto o segundo remete à descrição do mundo natural proveniente da Física e da Geometria, o primeiro denomina o conjunto de implicações ontológicas do espaço-tempo minkowskiano-einsteiniano. “Quadridimensionalismo” está para a Metafísica, como “quadridimensionalidade” está para a

Física e a Matemática. Em virtude da clara diferença existente entre as descrições geométricas do Universo subjacentes às Mecânicas Clássica e Relativística (vide Capítulo 2), justifica-se, contudo, segunda oposição conceitual: “quadridimensionalismo” *versus* “tridimensionalismo”. O segundo conceito é empregado para referir ao grupo de compromissos ontológicos baseados nas noções clássicas intuitivas do tempo absoluto e do hiperplano de simultaneidade.

Poder-se-ia objetar que “tridimensionalismo” não seria termo adequado nesse caso porque a Mecânica Clássica igualmente supunha um Universo quadridimensional espaço-temporal. A objeção, mesmo não sendo procedente, é relevante e merece ser discutida. Embora seja verdade que a Mecânica Clássica também propunha a quadridimensionalidade da Natureza, o Universo nesse esquema tradicional resumia-se a um sólido tridimensional em evolução ao longo da extensão temporal. Sua característica fundamental era o fato de que tal hiperplano 3D congregava toda a coleção de objetos e de fatos do mundo (vide Figura 5, no Capítulo 2). Einstein foi sagaz ao notar que a realidade física no modelo clássico, apesar de perfazer quatro dimensões, consistia na “evolução de uma existência tridimensional” (EINSTEIN, 2015, p. 171), conforme citação na epígrafe desta dissertação.

No Capítulo 2, vimos que, em contraste com o modo clássico de descrição da Natureza, a Mecânica minkowskiano-einsteiniana, de modo revolucionário, interpelou-nos a abandonar nossa visão tradicional para contemplar como quadridimensionais não apenas a *geometria* do Universo, mas também a *existência*. O compromisso com o formato 4D da realidade é, portanto, muito mais profundo na Mecânica Relativística do que no caso da Mecânica Clássica. Vale, mais uma vez, citar a ponderação feita por Einstein (2015, p. 171), de importância crucial: “Parece, logo, mais natural pensar na realidade física como existência quadridimensional, em vez, como foi até agora, da evolução de uma existência tridimensional”. Nessa afirmação, está subentendida a distinção conceitual básica entre Universo (totalidade geométrica das dimensões) e “realidade física” ou “existência” (totalidade ontológica de eventos). Einstein estava ciente de que a Mecânica Clássica, tal como a Relativística, supunha um Universo de quatro dimensões; porém, os eventos distribuem-se no hiperplano da simultaneidade em evolução ao longo do tempo (3+1D), e não no bloco unificado e indissolúvel 4D.

À luz dessa distinção fundamental, podemos analisar com maior propriedade o teor de afirmações similares encontradas na literatura. Citamos três em particular. A primeira é de Putnam (1967, p. 246): “Aprendemos que vivemos em um mundo quadridimensional, e não em um mundo tridimensional, e que o espaço e o tempo [...] são apenas dois aspectos de um único *continuum* quadridimensional”. As outras duas, de Petkov (2020, p. 49 e 15, respectivamente):

A visão tradicional e clássica é a de que o mundo real é tridimensional e de que o tempo realmente flui (como nossa experiência cotidiana tão convincentemente parece sugerir). Então haveria apenas um espaço, que, enquanto tal, seria absoluto (isto é, seria o mesmo para todos os observadores visto que apenas um espaço único existiria). Isso implicaria que o movimento absoluto deveria existir e, portanto, não existiria nenhum princípio da relatividade. A dilatação do tempo e a contração do comprimento seriam impossíveis em um mundo tridimensional.

O espaço e o tempo são relativos aos observadores porque esses têm diferentes espaços e tempos quando usam sua linguagem ordinária 3D para representar o espaço-tempo absoluto, que não é dividido em espaços e tempos (essa é a razão por que nenhuma relatividade do espaço e do tempo é possível em um mundo 3D).

Todas essas afirmações sublinham a inadequação da imagem clássica do mundo e a necessidade de substituí-la pela representação quadridimensional relativística da realidade (ou da existência). Nesse sentido, elas parecem ter sentido equivalente ao da asserção de Einstein, bastando que o termo “mundo” seja compreendido como sinônimo de “existência” ou de “realidade física”. Contudo, nem Putnam nem Petkov parecem ter feito o discernimento fino entre *Universo quadridimensional e existência tridimensional*, diferença conceitual sutil que Einstein notou e que temos reiterado. A Mecânica Clássica supunha o tridimensionalismo da existência, ainda que sob uma geometria completa de quatro dimensões. Ao que nos parece, Putnam e Petkov, entre outros autores, não atentaram para tal nuance ou, pelo menos, não a refletiram nos trechos citados, ainda que de maneira implícita (diferentemente de Einstein).

Concluimos que a dicotomia filosófica *quadridimensionalismo vs. tridimensionalismo* parece justa para exprimir a oposição entre duas visões ontológicas e existenciais concorrentes. “Quadridimensionalismo” serve como designação da realidade física descoberta pela Física Relativística (em que o espaço e o tempo estão fundidos), enquanto “tridimensionalismo” é apropriado para nomear a ontologia fundamentada na Mecânica Clássica e o modo tradicional de compreender a existência. Reforça a adequação do termo “tridimensionalismo” como designação da ontologia clássica a observação de Rea (2013, p. 247) de que o endurantismo – tese ontológica a ser tratada na subseção 3.6.2 – deve ser classificado como tridimensionalista quando sustenta que os objetos ordinários são 3D, isto é, não temporalmente distendidos.

Feitas essas considerações preliminares, são apresentados, nas próximas Seções, os dois debates sobre Filosofia do Tempo que primordialmente nos interessam: (i) a ontologia dos eventos temporais, isto é, a questão de saber se as propriedades “ser passado”, “ser presente” ou “ser futuro” são objetivas e intrínsecas aos eventos (*ontologia dos eventos temporais*); e (ii) a ontologia dos corpos físicos que persistem no tempo (*ontologia da persistência*), isto é, o modo como os objetos persistem no tempo e preservam sua identidade a despeito da mudança. As duas discussões ontológicas estão intimamente correlacionadas, mas não devem ser

confundidas. Como assinalou Balashov (2011, p. 16), ambas foram, no passado, apresentadas de modo agregado, e a falta de consenso até hoje sobre o uso do termo “quadridimensionalismo, que exploramos nesta Seção, é vestígio da agregação inadvertida. Daremos ênfase à ontologia dos eventos temporais, com destaque para a discussão entre as teses rivais conhecidas como *presentismo* e *eternismo*. Alguns argumentos desse debate são extensíveis à ontologia da persistência, onde concorrem entre si o *endurantismo* e o *perdurantismo*.

3.5 Ontologia dos eventos temporais: passado, presente e futuro

3.5.1 *Eternismo*:³⁶ o universo em bloco (“block view universe”)

O eternismo é a principal tese de caráter revisionista no debate na área da Filosofia do Tempo. Contra o senso comum, postula que os eventos passados, presentes e futuros são igualmente reais. O que chamamos de “presente” não tem, para o eternista, nada de especial do ponto de vista físico ou ontológico, pois o passado e o futuro não são menos físicos e reais.³⁷ Trata-se, ainda, de um modelo que rejeita a ideia de que “passado”, “presente” e “futuro” sejam propriedades objetivas e intrínsecas das coisas ou dos fatos do mundo. Para o eternista, a classificação tripartite refletiria apreensões particulares da realidade, de certos pontos de vista. Ainda que dados momentos sejam destacados como especiais em nossa linguagem, os eventos considerados “não presentes” existem tanto quanto os “presentes”. Os fatos passados e futuros existem; eles apenas não estão “aqui” onde estou “agora” (REA, 2013, p. 246; PESSOA JR., 2020b, p. 58). Para o eternista, a história do universo existe *eternamente* em certa ordem de eventos. Tais eventos *eternos* estão espalhados em uma teia espaço-temporal 4D (BOCCARDI *et al*, 2024, p. 13). Daí a origem do nome *universo em bloco*, pelo qual a teoria ficou conhecida.

Apesar de seu caráter contraintuitivo, o eternismo ganhou considerável adesão após o advento da Física Relativística no início do século XX. Essa tese foi reconhecida por filósofos eminentes como Russell, Popper, Quine e Lewis, além de diversos metafísicos e físicos contemporâneos. Para muitos, o eternismo é um modelo ontológico que pode ser legitimamente

³⁶ “Eternismo”, do inglês *eternalism*. Cabe observação a respeito da tradução portuguesa. Há risco de que o termo inglês seja mal-vertido para o vernáculo como “eternalismo”. Enfatizamos que a versão correta deve ser “eternismo”, pois em português o termo que corresponde ao adjetivo *eternal* do inglês é “eterno”. Não existe em nossa língua o item lexical “eternal”; daí seria impróprio derivar um substantivo a partir de adjetivo inexistente.

³⁷ O eternismo é tese de escopo físico e ontológico, e, nessa qualidade, não deve ser extrapolado. Não deve ser, por exemplo, utilizado como argumento contra estilos de vida que, baseados em opções espirituais ou filosóficas, privilegiam o momento presente ou o “agora” da consciência (o budismo, por exemplo). O destaque do presente pode justificar-se por aspectos morais, espirituais, psicológicos, fenomenológicos ou comportamentais. Vale sublinhar este trecho de Agostinho (2015, p. 321): “Esquecerei as coisas passadas. Preocupar-me-ei, sem distração alguma, não com as coisas futuras e transitórias, mas com aquelas que existem no presente”.

inferido da descrição minkowskiano-einsteiniana da Natureza. Com base nos fundamentos científicos apresentados nos Capítulos 1 e 2, e por razões a serem expostas neste capítulo, consideramos o eternismo um *corolário ontológico* da Física Relativística. No debate sobre os eventos, temporais é a única ontologia compatível com o espaço-tempo de Minkowski.

O eternismo concede ao tempo tratamento muito próximo ou mesmo equivalente ao que dispensamos ordinariamente às três dimensões do espaço. Se, como reza a Física Relativística, o tempo está fundido ao espaço, não há razão para negar-lhe a propriedade primária da *extensão*, que é tão familiar no caso do espaço. Pela concepção “especializada” ou *quase-espacializada* do tempo da Física Relativística (Seção 3.1, acima), os momentos *têm lugar* no espaço-tempo 4D. Nessa figura geométrica, eventos pretéritos, presentes ou futuros são compreendidos como “localidades”, identificáveis por quatro, e não apenas três, coordenadas (Capítulo 2). Assim como podemos localizar um ponto da superfície na Terra com duas coordenadas (latitude e longitude), estaremos habilitados a localizar qualquer ponto no espaço-tempo – seja “passado”, seja “futuro” (a partir de minha perspectiva de hoje) – se pudermos hachurar essa estrutura 4D com uma grade imaginária, com traços perpendiculares. Vimos na Seção 2.6 o método de cálculo da distância entre dois eventos – mais uma indicação da “espacialidade” do tempo.

Os eventos passados e futuros não perdem a qualidade de “existentes” porque não estão presentes aqui e agora. Eles apenas se situam a certa *distância* de nós. Nossa perspectiva não determina seu estatuto ontológico. Como ilustra Balashov (2010, p. 1-2), Urano não está aqui, mas nem por isso dizemos que o planeta não existe. Tampouco direi que a Coreia do Sul perde sua existência simplesmente porque seu território some de minha vista à medida que me afasto dele em meu trajeto em direção ao Brasil. E o fato de eu chegar a Belo Horizonte não implica que Seul, no outro lado do globo, tenha estatuto existencial menor. Da mesma forma, um evento pretérito, por exemplo, não está presente para nós em nosso “agora” nem nos é acessível, mas nem por isso deixou de existir. Existe “lá no passado”, assim como o ponto de partida de minha jornada, Seul, continua lá atrás em meu percurso espacial. Igualmente, um evento jaz “lá no futuro”, como meu destino, Belo Horizonte, me aguarda adiante em minha viagem: a cidade já existe, apenas não a alcancei. Todos os eventos são reais, *onde-quando* quer que ocorram.³⁸

Assim como pessoas situadas em diferentes localidades adotam o advérbio “aqui” para indexar sua perspectiva (sem que isso implique qualquer privilégio ontológico), o instante

³⁸ Como salientado na Seção 2.3, nossa linguagem é tridimensional. Ela não dispõe de termos aptos a falar do mundo 4D. Não parece haver, por exemplo, advérbios para exprimir ideias de lugar e tempo concomitantemente.

marcado com o advérbio “agora” também consiste em escolha arbitrária (DAINTON, 2011, p. 383). “Passado”, “presente” e “futuro” são propriedades relativas à posição particular. Eddington (1987, p. 51) é expressivo a respeito disso:

A divisão em passado e futuro (uma característica da ordem no tempo que não encontra nenhuma analogia na ordem do espaço) está estreitamente associada com nossas ideias de causalidade e livre arbítrio. [...] o passado e o futuro podem ser considerados como um mapa distendido – tão disponíveis à exploração hoje quanto partes longínquas do espaço.

A conclusão de que todos os pontos do espaço-tempo gozam do mesmo *status* ontológico é, para o eternista, extraída rigorosamente do princípio da relatividade, pelo qual não é possível determinar marcos de referência absolutos nem privilegiados. O espaço-tempo minkowskiano não vem com um rótulo “este lado para cima” (EDDINGTON, 2020, p. 87-90). Sem orientação, é impossível hierarquizar os eventos. O princípio da relatividade permite concluir que acontecimentos passados e futuros gozam do mesmo estatuto ontológico dos fatos atuais, sem que essa afirmação tenha de ser verdadeira para a Fenomenologia e a Psicologia.³⁹

O mundo espaço-temporal 4D baseado na geometria de Minkowski e adotado por Einstein na Teoria Geral é comumente designado “universo em bloco” (*block view universe*). A expressão, possivelmente cunhada em 1882 por William James (1842-1910), é adotada não só por metafísicos, mas por cosmólogos que trabalham com a Teoria Geral e com o conceito de espaço-tempo passível de deformação por astros maciços. Na imagem do mundo em bloco, as coisas e os eventos simplesmente existem ou “estão lá”. Não faz sentido afirmar que os eventos *deixam* de existir ou *vêm* à existência. Nesse universo, nada está objetivamente fluindo ou evoluindo. O tempo, compreendido como distensão, não é menos estático do que as dimensões do espaço. Não há um fluxo universal na Natureza, investido da prerrogativa de decretar o que existe e separá-lo do que ainda não existe e do que deixou de existir. A realidade fundamental não é *devir*; ela “é”, como afirma Eddington (1987, p. 51):

Os eventos não acontecem; eles apenas estão lá, e nós nos deparamos com eles. ‘A formalidade de ocorrer’ é meramente a indicação de que o observador, em sua viagem exploratória, passou para o futuro absoluto do evento em questão. [...] Nosso conhecimento das coisas onde não estamos, e das coisas quando não estamos, é essencialmente o mesmo: uma inferência (às vezes equivocada) das impressões do cérebro, inclusive a memória, aqui e agora.

Em trecho copiosamente citado na literatura,⁴⁰ o matemático alemão Hermann Weyl (1885-1955) faz afirmação similar, estabelecendo dicotomia entre *existir* e *acontecer*; isto é,

³⁹ O tratamento igualitário aos pontos do espaço-tempo remete-nos ao princípio da relatividade em sua concepção “democrática” (vide subseção 1.2.7), que rejeita marcos absolutos ou privilegiados nas leis da Física.

⁴⁰ MCCALL, 1994, p. 20; DAINTON, 2011, p. 389; PETKOV, 2020, p. 54; entre outros.

entre *ser* e *tornar-se* (devir): “O mundo objetivo simplesmente *é*, ele não *acontece*. Somente ao olhar de minha consciência, que sobe ao longo da linha de vida de meu corpo, *é* que uma seção desse mundo adquire vida” (WEYL, 2021, p. 116). Fica clara a interpretação de que os eventos futuros só não parecem “reais” para nós porque ainda não foram experimentados por nossa consciência. Vale transcrever este trecho do físico francês Olivier C. Beauregard (1911-2007):

[...] primeiro Minkowski, então Einstein, Weyl, Fantappiè, Feynmann, e muitos outros, imaginaram o espaço-tempo e seu conteúdo material como esparramados em quatro dimensões. Para esses autores, entre os quais me incluo, [...] a relatividade é teoria na qual tudo está ‘escrito’ e a mudança é simplesmente relativa ao modo perceptual das criaturas vivas (apud SAVITT, 2011, p. 561).

É natural estabelecer paralelismo entre o eternismo e a filosofia da Escola Eleática, do século V a.C. Popper (2002) assinalou, a propósito, que o quadridimensionalismo nos remete à discussão da era pré-socrática. De fato, há semelhança notável. Popper não hesita em asseverar que Parmênides antecipou em milênios a teoria do universo em bloco. “O mito de Parmênides do universo em bloco imutável, onde nada acontece, torna-se, se lhe adicionamos mais uma dimensão, o universo em bloco de Einstein (no qual também nada acontece, uma vez que tudo *é*, quadridimensionalmente falando, determinado e estabelecido desde o início)” (POPPER, 2002, p. 50). O universo de Minkowski-Einstein, com seu sistema determinístico e “atemporal”, pode ser, assim, definido como “a versão 4D do universo 3D imutável de Parmênides” (POPPER, 2002, p. 106). Tal como o universo relativístico, eternista e determinista, o *Ser* parmenidiano não comporta mudança; trata-se de *continuum* onde o tempo no sentido de passagem (*devir*) *é* reduzido a “ilusão”. Reichenbach (2021, p. 6) observa que a “Escola Eleática queria provar a irrealidade do tempo”. Segundo esse filósofo, Zenão de Eleia desejava demonstrar que a mudança ou o devir eram ilusórios e que a realidade tem uma existência atemporal, isenta da morte e das limitações da experiência humana pelo tempo.

Outra efeméride da Teoria do Tempo vale a pena se registrada.⁴¹ No fim do século IV d.C, Santo Agostinho, com seu espírito inquiridor, aventou a existência dos eventos passados e

⁴¹ Vale registrar a referência ao eternismo que encontramos na literatura brasileira, em particular na crônica jornalística de Otto Lara Resende (1922-1992) intitulada “Está tudo gravado”, publicada na *Folha de S. Paulo*, em 11/3/1992, poucos meses antes da morte do escritor mineiro. Transcrevemo-la, em virtude de sua expressividade e da espontaneidade típica do estilo literário: *[...] e se tudo que acontece permanece? Vim para casa com as cabriolas dessa ideia. Imaginei o mundo como um imenso estúdio. O mundo, isto é, o universo. Nós somos o elenco. [...] Sim, há uma pequena margem para o improviso, ou livre-arbítrio. Mas uma vez que você disse, está dito. Fica gravado para sempre. É isso mesmo: o mundo é um vastíssimo estúdio, que tem acoplado um museu da imagem e do som. Ou um arquivo morto. Nada que se fala some no espaço. Dito pelo outro lado: tudo que falamos vai para esse armazém. Assim como a memória de um computador. Está tudo lá, inteirinho, na infinita fita. Sem uma vírgula a menos. Só o que a gente diz, não. O que a gente diz e o que a gente cala. E também o que a gente só pensa, sem sequer articular. Tudo, tudinho se recolhe, sem tirar nem pôr. Discurso, cochicho, grito. Confidências d’amigo e juras d’amor. O que o Napoleão pensou em Santa Helena e o que eu disse aos sete anos*

futuros, embora não tenha chegado a comprometer-se com o eternismo. Vejamos este trecho (escrito no estilo peculiar das *Confissões*, como série de indagações monológicas a Deus):

Quem se atreveria a dizer-me que não há três tempos, conforme aprendemos na infância e ensinamos às crianças: o pretérito, o presente e o futuro? Existirá somente o presente, visto que os outros dois não existem? Ou eles também existem, e então o tempo procede de algum retiro oculto, quando de futuro se faz presente? Entra o tempo em outro esconderijo quando de presente se faz passado? Onde é que os adivinhos viram as coisas futuras que vaticinaram, se ainda não existem? Com efeito, não é possível ver o que não existe. E os que narram fatos passados, sem dúvida não os poderiam veridicamente contar, se não os vissem com a alma. Ora, se esses fatos passados não existissem, de modo nenhum poderiam ser vistos. Existem, portanto, fatos futuros e pretéritos. (AGOSTINHO, 2015, p. 307 – Livro XI, Capítulo 17)

É igualmente curioso notar que o desafio lançado por Agostinho, na primeira pergunta do trecho acima, foi confiantemente aceito 1.600 anos depois. Com a segurança proporcionada pela Ciência e o respaldo empírico da Teoria da Relatividade, físicos e metafísicos do século XX *atreveram-se* a contestar a tradicional e intuitiva tripartição dos eventos em passados, presentes e futuros (Teoria-A), isto é, a negar a descrição do tempo como Série-A.

3.5.2 Presentismo (como tese ontológica, e não fenomenologia)

No extremo oposto da discussão sobre os eventos temporais, está o presentismo. Trata-se da tese anfitriã no debate, a qual goza do benefício da intuição e tem a adesão maciça e, por vezes, irrefletida do senso comum. Na definição do eternista Putnam (1967, p. 240), o presentismo é a tese que defende que “todas (e apenas) as coisas que existem *agora* são reais”. A tese admite outras formulações, como, por exemplo: “Apenas objetos presentes existem”; “os entes no momento atual são tudo o que existe”; “tudo o que existe é o que existe no presente”; “é sempre o caso que, para todo x, x é presente. Se x existe é porque é presente”.

O presentismo pode ser definido em forma de negação: “[o presentismo é] a visão de que *necessariamente* nenhum objeto *não presente* existe” (REA, 2013, p. 248, nota n. 9). A negação ontológica dos eventos não presentes (passados e futuros) aparece há mais de 1.600 anos, no texto célebre de Agostinho (2015, p. 304) sobre o tempo: “Com efeito, o passado *já não existe*, e o futuro *ainda não existe*”. Em Putnam (1967, p. 240), também encontramos a tese presentista formulada em termos negativos: “Coisas futuras (que ainda não existem) não são reais, [...] ainda que, é claro, se tornarão reais quando o momento chegar. [...] coisas passadas (que deixaram de existir) não são reais, embora já tenham sido reais no passado”.

de idade em São João del Rei. Nada se perde. Tudo permanece. Um dia vai ser ouvido de fio a pavio. E aí: será que só o Magri é que está frito? (LARA RESENDE, 1992).

Em suma, o presentismo pode ser desmembrado em três enunciados cumulativos e correlacionados: (i) presente é tudo o que existe; (ii) o futuro *ainda* não existe; (iii) o passado *já* não existe. A pretensão ontológica da tese presentista fica evidenciada no uso, em todas as formulações citadas (incluindo as do parágrafo anterior), de predicacões como “existir” ou “não existir”, “ser real” ou “não ser real”. Sobre isso, o mais importante a notar é que por “real” e “existente” o presentista quer dizer que um objeto existe não apenas para si ou para mim, mas, de forma absoluta, para todos igualmente (ZIMMERMAN, 2011, p. 206). Dizemos, portanto, que o presentismo tem pretensão ontológica, e não apenas fenomenológica. Se a validade da predicacão fosse apenas subjetiva e limitada ao discursador, a tese não passaria de truísmo ou incorreria no problema do *solipsismo*. Como o eternista, o presentista pretende fazer afirmações sobre a existência universal, e não sobre a realidade da consciência particular.

Não é difícil rastrear a origem fenomenológica da ontologia presentista. Nossa consciência está naturalmente “confinada” no momento presente. Dito de outra forma, invariavelmente assimilamos o mundo por sucessão de fatias tridimensionais, que nos aparecem como momentos vívidos chamados “atuais”. Nosso acesso a fatos não presentes é apenas indireto: no caso dos pretéritos, via *memória*; no caso dos futuros, via *expectativa* (AGOSTINHO, 2015),⁴² ou via *premonição* e *pressentimento*, como acreditam alguns. Vivemos um fluxo irrefreável, em certa direção, mas a experiência da realidade se dá a contagotas, instante a instante. “A minha atenção está presente e por ela passa o que era futuro para se tornar pretérito”, diz Agostinho (2015, p. 321), mostrando como nossa atenção (percepção) está reclusa no “agora”, pelo qual passa um fluxo de eventos do futuro para o passado. Não somos capazes de apreender, de forma concomitante, eventos localizados em pontos diferentes ao longo do eixo do tempo. A dor de cabeça de amanhã não pode ser sentida hoje.

É inegável o *status* especial do “agora” da perspectiva fenomenológica e psicológica. McTaggart (1909, p. 348) aborda a questão: “O presente é sempre considerado como tendo mais realidade do que o passado ou o futuro. Tanto é assim que não sentimos nenhuma impropriedade em dizer que algo que não existe no presente não existe. Não deveríamos achar estranha a afirmação de que o Sacro Império Romano não existe”. Por experiência, sabemos que o presente é mais vívido que o passado extraviado e mais real do que o futuro incerto. Em comparação com o momento atual, acontecimentos pretéritos não passam de lembranças

⁴² AGOSTINHO, 2015, p. 320: “[...] três coisas se nos [deparam] no espírito [...]: expectativa, atenção e memória [...]. Aquilo que o espírito espera passa através do domínio da atenção para o domínio da memória.”

desvanecidas. Como diriam empiristas como o escocês David Hume (1711-1776), as ideias que subsistem na memória não se comparam em vivacidade às percepções originais no passado (HUME, 2007, p. 17), e suas cores, já relativamente fracas e opacas, desbotam-se à medida que a impressão originária, pela passagem do tempo, fica para trás. Por sua vez, o futuro é o terreno incerto e desconhecido de possibilidades e probabilidades. Nem sequer existe para nós, a não ser como projeção, expectativa ou palpite (e presságio, para alguns).

É irrefutável, pois, que o presente goza de valor especial em termos práticos. Dessa constatação intuitiva e trivial o presentista tira, porém, a conclusão ontológica de que tudo o que existe no mundo é o que se experimenta em primeira mão no presente. Graças à peculiaridade de nossa consciência de assimilar o mundo por instantes, o presentismo tem forte apelo como teoria ontológica dos eventos temporais; e, quanto à capacidade de gerar a adesão do senso comum, não resta dúvida de que ele larga em vantagem na concorrência com o eternismo. A tese presentista exprime o modo como intuimos a realidade. Tem, portanto, certamente valor como descrição fenomenológica. Esse valor não nos conta, entretanto, toda a história sobre o *tempo*. A concordância de uma tese com a intuição pode ser levada em conta em nossas reflexões, mas não deve servir como critério último de validade no debate ontológico.

O eternista concordaria com o rival presentista na trivialidade de que “objetos presentes existem”, mas haveria entre eles profundo desacordo no significado físico de “presente” (ou de “agora” e de “momento atual”). O presentista compreende o universo ao modo da Mecânica Clássica, isto é, como uma existência tridimensional que evolui no tempo. Em outras palavras, o mundo consistiria, para ele, em um hiperplano de simultaneidade em trajetória ao longo do eixo do tempo, de forma que todos os pontos desse espaço tridimensional evoluem simultaneamente, isto é, ao mesmo ritmo. Nesse sentido, o “presente” e o “agora” do eternista equivalem aos “presentes” e aos “agoras” de quaisquer observadores. Rea (2013, p. 254) observa que, no presentismo “*existência implica existência presente* e, portanto, presume a possibilidade de definir *presente* de modo absoluto”.

Observa-se que essa compreensão presume que os advérbios de tempo “ainda” e “já”, bem como os substantivos ou adjetivos “presente”, “futuro” e “passado”, possam ser determinados de maneira absoluta. O presentismo supõe que o Universo funciona como uma régua móvel que corta o espaço-tempo de fora a fora, delimitando o que é existente e o que não é. O presente não é, para o presentismo, mera questão de perspectiva, pois, do contrário, a existência presentista seria relativa a cada observador, e obviamente o presentismo não lida, reiteramos, com o conceito de existência relativa, mas com a existência *simpliciter*. A tese

presentista exprime o hábito do senso comum de compreender a história do mundo como filme que passa a todos ao mesmo tempo, ao mesmo ritmo e com a mesma ordem de eventos. Ela também supõe que o advérbio de tempo “já”, por exemplo, tem o mesmo valor em todos os sistemas de coordenadas. O presentista precisa insistir em que *este momento, agora*, tem *status* privilegiado não só porque existe, mas existe para todos, como se houvesse no universo um marco absoluto (PRICE, 2011, p. 279), o que está em flagrante violação do princípio da relatividade, amplamente aceito e observado em Física e Astronomia.

O eternista, ao contrário, acata rigorosamente o postulado da Teoria Especial de que o conceito de simultaneidade, tanto quanto o andamento dos relógios, é relativo ao marco de referência. Também consente em que a representação geométrica compatível com o postulado da relatividade do tempo é aquela oferecida por Minkowski, em que a dimensão do tempo está fundida com as três dimensões do espaço em um universo quadridimensional, e não, como no modo clássico e presentista, desmembrada do bloco espacial tridimensional. Para o eternista, indexações como “presente” ou “agora” são arbitrárias, ou seja, relativas ao sistema de coordenadas do indexador. Tais termos não passariam de descrições particulares: úteis na linguagem convencional, mas não descritivos de nenhum traço objetivo da realidade. Tentativas de atribuir definições absolutas a esses termos são *nonsense* no quadro da Física Relativística.

3.5.3 Outras teses ontológicas não eternistas: bloco crescente, farol móvel, “grow-glow” e árvore minguante

O presentismo não é o único modelo ontológico que singulariza o presente e impõe restrições à categoria dos eventos existentes. Ele apenas é a forma mais extrema da Teoria-A, ao postular que toda a realidade está confinada ao presente, que coisas passadas e futuras não existem e que todos os enunciados que impliquem compromisso existencial com elas são falsos (ou suscetíveis de ser parafraseados de modo a evitar essa implicação). O grupo de teóricos-A é heterogêneo; também inclui os metafísicos que, embora não sendo presentistas, se distinguem dos eternistas por recusarem existência a certos eventos não presentes.

Os adeptos desse grupo subscrevem um modelo ontológico pelo qual se aceita a realidade do passado (assim como a do presente), mas não a do futuro. O pioneiro na articulação do modelo é, segundo Andreoletti (2020), o filósofo australo-britânico Samuel (1859-1938), na obra *Space, Time, and Deity*, de 1920. De acordo com a tese, que contou com a adesão de C. D. Broad, novas fatias da realidade vêm à existência e são continuamente adicionadas à totalidade da história do mundo, à medida que o tempo passa. A realidade física consistiria (em

dado momento) no bloco 4D formado pelo estoque de eventos passados e acrescido dos eventos presentes, situados na borda do sólido, o qual cresce ininterruptamente em direção ao futuro vazio. Pessoa Jr. (2020b, p. 54) utiliza boa metáfora para descrever a tese: “O passado e o presente são definidos e inalteráveis, ao passo que o futuro é aberto e indefinido, ‘fechando-se’ à medida que o ‘zíper’ do presente se desloca no tempo”. Callender (2011, p. 3) chama de *possibilistas* a tais metafísicos, que seletivamente acreditam na existência apenas do presente e do passado e buscam assegurar a abertura do futuro.

Segundo Pessoa Jr. (2020b, p. 54), a teoria do bloco crescente distingue-se do eternismo ao dar “peso ontológico maior ao passado do que ao futuro”. O modelo pode ser entendido como tentativa de combinar o presentismo e o eternismo. Compartilha com o primeiro a tese de que o futuro é inexistente e com o segundo, a de que o passado é tão real quanto o presente. O modelo pode ser tido como quadridimensionalista, pois supõe a fusão espaço-temporal e a espacialidade do tempo como premissas geométricas e aceita a realidade de pelo menos alguns momentos não presentes (passados). Recordemos que, na terminologia de Rea, os metafísicos quadridimensionalistas são definidos como os que negam parcial ou totalmente o presentismo.

O universo crescente também pode ser entendido como um modelo que busca adotar o universo quadridimensional de Minkowski, mas sem perder a noção intuitiva de futuro aberto. A natural resistência ao determinismo causal implicado no modelo eternista do universo estático⁴³ está associada com o interesse em salvar o livre arbítrio, garantindo o planejamento das ações, sem o empecilho do futuro predeterminado. Reichenbach (2021, p. 11) fala do receio comum de que, se o futuro for tão certo quanto o passado, o presente não possa criar nada novo e de que a mente humana não passe de mera espectadora no mundo estático e definido.

Os teóricos do bloco crescente têm o desafio maiúsculo de explicar como os postulados de *futuro aberto* e de *fluxo objetivo do tempo* podem ser compatibilizados com o mundo absoluto de Minkowski e com a Relatividade (vide, abaixo, a subseção 3.5.4). Outra dificuldade diz respeito à sutil diferença ontológica entre o presente e o passado, a qual reside no simples fato de que o primeiro constitui adição *mais recente* ao universo do que o segundo. Mas a questão é: “mais recente” em relação a que marco de referência? O teórico do bloco crescente tem de definir um marco absoluto, válido para todo o universo; do contrário, as novas adições seriam puramente psicológicas (relativas a cada um), e não ontológicas.

⁴³ O determinismo causal, tornado doutrina influente na ciência moderna, foi reforçado pela Física Relativística.

Gustavsson (2021) assinala que a *passagem do tempo* no modelo do universo crescente é componente fundamental da realidade: o acréscimo de novas fatias da existência é um processo de *devir absoluto*. A passagem do tempo objetiva é ainda encontrada no presentismo – que, reiteramos, se traduz geometricamente como hiperplano da simultaneidade em evolução no tempo. Essa importante semelhança entre o bloco crescente e o presentismo permite constatar que os defensores do primeiro modelo se aproximam mais dos presentistas que dos eternistas – o bloco crescente não é, assim, modelo equidistante do presentismo e do eternismo. No último, a ausência do componente do fluxo objetivo do tempo permite qualificá-lo como versão ortodoxa do modelo *universo em bloco*, em acepção ampla.

Kutach (2011, p. 248) pondera que a teoria do universo crescente tenta acomodar no quadro ontológico nossa persistente convicção da assimetria do tempo. Contra o princípio eternista de que os eventos passados, presentes e futuros têm o mesmo estatuto ontológico, o senso comum e alguns metafísicos acham natural considerar o passado e o futuro como objetivamente distintos: o primeiro não é influenciado pelo presente, como o segundo é (*assimetria da influência*). Teorias dinâmicas do tempo, como a do bloco crescente, oferecem alternativa palatável para filósofos convencidos da assimetria ontológica entre passado e futuro, bem como para os que defendem radicalmente o livre-arbítrio e para os que relutam em aceitar o futuro como realidade fechada e predeterminada (e, em geral, para os que consideram a passagem do tempo característica ontológica da realidade). O modelo não está, porém, isento de dificuldades, impostas pela Física e a própria Metafísica, como veremos adiante.

Até aqui, discorreremos sobre as três principais posições ontológicas: (a) eternismo: passado, presente e futuro são igualmente reais; (b) presentismo: a visão radical de que só o presente é real; e (c) modelo do universo crescente: o passado e o presente são reais, mas não o futuro (PESSOA JR, 2020b, p. 56). É útil pensar nessas três teses por meio da dicotomia contábil *fluxo vs. estoque* (ou *movimentações vs. saldo*). Enquanto a ontologia presentista seria *puro fluxo*; a eternista, situada do lado oposto do espectro metafísico, seria *puro estoque*. A teoria do universo crescente seria, por sua vez, tipo híbrido que combina os dois conceitos: o fluxo do tempo incorpora novas fatias de existência ao bloco (entradas de caixa), ampliando o estoque de fatos reais (aumento do saldo final). Como será explicado na subseção 3.5.7, o eternista deverá encontrar a explicação do fluxo do tempo fora da Física e da Ontologia.

Há, entretanto, outras variedades menos populares de descrição ontológica do universo. Uma delas é denominada “teoria do farol móvel” ou do “holofote móvel” (*moving spotlight theory*), metáfora sugerida por Broad em 1923, apenas dois anos depois de ter defendido o

eternismo. Como no modelo do *bloco crescente*, há progresso objetivo do presente; mas, enquanto naquele modelo, tal avanço se dá sobre a não-existência, na teoria do farol móvel o devir avança sobre eventos futuros existentes. Os teóricos desse modelo concordam com a visão eternista de que passado, presente e futuro são *reais* e de que a história do mundo existe, de forma eterna, em certa ordem de eventos. Contudo, como bem observa Dainton (2011, p. 405), eles discordam da ontologia eternista quando esta afirma que todas as partes do universo quadridimensional são *igualmente reais*. Para os defensores do “farol móvel”, os eventos presentes são *mais reais* do que os não presentes. A teoria do farol móvel implica estranha ontologia dual, em que dois níveis de existência convivem: (i) a realidade iluminada do presente móvel, dotada de existência *mais viva*; (ii) e a realidade não iluminada, que jaz nas sombras de uma existência “menor”. O que essa dualidade existencial significaria na prática é algo obscuro, e essa dicotomia ontológica é uma das debilidades desse modelo. Dainton (2011, p. 406, nota n. 16) argumenta que, quando McTaggart postulou a irrealidade do tempo, tinha como alvo modelos equivalentes ou similares aos do farol móvel.

Os teóricos do farol móvel também se distanciam dos eternistas na suposição de que a qualidade de ser presente (*presentness*) seria traço objetivo ou irreduzível, igualmente constatável para vários pontos do espaço-tempo. Na falta de vocábulos melhores, traduzimos *presentness* para o português como “presentidade” ou “atualidade”. A *presentidade* é representada no modelo pela metáfora de um farol instalado em uma viatura policial, em percurso em certa rua urbana, que ilumina as fachadas das casas sequencialmente. A *atualidade* move-se sobre a realidade, ordenada em eventos. O que é iluminado é o presente; o que foi iluminado e ficou para trás é o passado; o que ainda não foi, mas será, iluminado é o futuro.

Outra variedade teórica é uma fusão das teorias do bloco crescente e do farol móvel, conhecida como o “universo crescente com borda luminosa”, abreviada como *Grow-Glow* (as primeiras sílabas das duas expressões inglesas *growing block* e *glowing edge*) – DAINTON, 2011, p. 406. Como o nome sugere, esse modelo assemelha-se ao do *growing block*, mas as duas teorias distinguem-se por diferença fundamental: os teóricos *grow-glow*, assim como os teóricos do farol móvel, sustentam que os eventos no presente são mais reais do que aqueles no passado e, portanto, são “brilhantes”. Segundo o modelo *grow-glow*, os habitantes do passado possuem *algum* grau de existência, mas não gozam da experiência da consciência, privilégio concedido exclusivamente aos que vivem no presente (ainda que esse privilégio seja fugaz).

A última variedade ontológica, essa mais recente, é a teoria *da árvore minguante* (“*shrinking tree theory*”). Atribuída ao filósofo canadense Storrs McCall (1930-2021), ela

postula que, no início do Universo, as possibilidades futuras co-existiam, como ramificações; mas, à medida que o universo “envelhece”, os ramos retrocedem, como se o tronco avançasse sobre os galhos. A recessão dos ramos se dá gradualmente do passado para o futuro. Na metáfora, o tronco da árvore representa o passado fixo; os galhos, os eventos futuros possíveis, abertos e remanescentes. “O passado é único; o futuro é ramificado” (MCCALL, 1994, p. 24).

Com a única exceção do eternismo, todas essas variedades teóricas buscam, como o presentismo, acomodar na descrição da realidade a fluidez percebida do tempo. Pelo *devoir*, objetos *vêm a ser* ou *deixam de ser*, ou seja, tornam-se *existentes* e tornam-se *inexistentes*. Além disso, excetuado de novo o eternismo, todos os modelos, apesar de rejeitarem o presentismo, endossam, ao mesmo tempo, a Teoria-A do tempo, segundo a qual a propriedade “ser presente” (*presentidade*) é identificável objetivamente, isto é, pode ser aferida para uma classe global de eventos do universo (simultaneidade absoluta, incompatível com a Teoria Especial). Todas elas, salvo o eternismo, riscam um traço do presente, capaz de separar o que existe do que não existe, ou o que existe *mais* do que existe *menos*, seja lá o que essa gradação ontológica queira dizer.

A maioria das variedades teóricas exprime a relutância natural dos filósofos contra a ideia de futuro fechado, isto é, contra a implicação determinista ou fatalista do eternismo. Essa observação já havia sido feita em relação ao “universo crescente”, mas também se aplica ao presentismo, ao “universo crescente de borda luminosa” (*grow-glow*) e à “árvore minguante”. Todos os quatro modelos buscam salvaguardar a abertura do futuro e o livre arbítrio.

Na Tabela 1, abaixo, contrastam-se as principais características de cada tese ontológica.

	Eternismo	Presentismo	Universo crescente	Farol Móvel	<i>Grow-Glow</i>	Árvore Minguante
Espaço-Tempo Minkowskiano	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Modelo Físico	4D	3D	4D	4D	4D	4D
Modelo Contábil	Puro Estoque	Puro Fluxo	Estoque crescente + Fluxo	Estoque fixo + Fluxo	Estoque crescente + Fluxo	Estoque crescente e mutável + Fluxo
Passagem Objetiva do Tempo	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Teoria-A do Tempo	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Presente absoluto	✗	✓	✓	✓	✓	✓
“Presentidade” (presente especial)	✗	✓	✗	✓	✓	✗
Futuro aberto	✗	✓	✓	✗	✓	✓
“Corpos não presentes existem”	✓	✗	✓ Somente os passados	✓	✓ Somente os passados	✓ Somente os passados e ramificações do futuro possível
História eterna (em ordem definida)	✓	✗	✗	✓	✗	✗
Dois tipos de existência	✗	✗	✗	✓	✓	✗
Compatibilidade com a Teoria da Relatividade	✓	✗	✗	✗	✗	✗

<Tabela 1>

3.5.4 A incompatibilidade dos modelos não eternistas com a Física Relativística

Estamos cientes de que a ontologia dos eventos temporais é tema bastante controvertido entre os metafísicos, mas também estamos convencidos de que boa parte dessa controvérsia se deve a má-compreensão dos postulados da Física Relativística ou aversão às consequências deterministas desse paradigma científico. A propósito, há os que se aventuram no debate da Filosofia do Tempo sem compreender a Física Relativística e, em particular, o que ela tem a dizer sobre o tempo. Nesta subseção, que julgamos ser o resultado mais conclusivo desta pesquisa, demonstraremos como os postulados da Teoria da Relatividade permitem extrair logicamente conclusões firmes e rigorosas a respeito das propriedades “passado”, “presente” e “futuro”, que corriqueiramente atribuímos aos eventos físicos. A Teoria Especial basta-nos para demonstrar que tais propriedades não são primárias, isto é, não são intrínsecas aos eventos, e sim atribuídas de modo secundário e relativo ao sistema de coordenadas de cada observador. Einstein involuntariamente acabou banindo da Física estas propriedades, cuja fundamentação terá doravante de ser buscada em outra seara, sobretudo a da Filosofia da Mente.

No Capítulo 1, vimos como Einstein chegou, em 1905, à conclusão de que não se pode falar, de maneira absoluta, na “simultaneidade” de dois eventos separados. Eles podem sim ser chamados simultâneos, mas apenas na perspectiva de sistemas de coordenadas particulares, uma vez que não há marco privilegiado a partir do qual a simultaneidade possa ser absolutamente determinada. Nosso objetivo fundamental aqui é o de mostrar como a relativização da simultaneidade equivale à relativização da própria noção de “presente”. Se a simultaneidade não pode ser definida em termos absolutos, tampouco podemos, por conseguinte, definir absolutamente nem a “presentidade” nem as noções de “passado” e “futuro”. As ideias de *simultaneidade* e de *presente* são duas faces da mesma moeda, ainda que essa relação intrínseca não seja imediatamente apreensível.

Vale recordar que a essência do presentismo consiste nas ideias de que o *presente* é tudo o que existe; de que o futuro *ainda* não existe; e que o passado *já* não existe. O presente é entendido pelo presentismo não como questão de perspectiva; se o fosse, a existência presentista seria relativa a cada observador; mas obviamente o presentismo não lida com o truísmo da existência relativa, e sim com a existência *simpliciter*. Para o presentista, os advérbios de tempo “ainda” e “já”, bem como os substantivos “presente”, “futuro” e “passado”, podem ser determinados de maneira absoluta, por meio da régua que corta o espaço-tempo de fora a fora e delimita os campos da existência e da não-existência. Se o presentista acredita que termos como *já* e *ainda* têm o mesmo valor em todos os marcos de referência, precisa insistir em que

este momento, o agora, tem status privilegiado, isto é, em que haveria no universo apenas um marco definidor do presente, o que está em flagrante violação do princípio da relatividade, amplamente aceito em Física e Astronomia (PRICE, 2011, p. 279).

Para fazer a demonstração da incompatibilidade dessa suposição do presentismo (e dos demais modelos não eternistas) com a Teoria Especial da Relatividade, utilizaremos a ilustração clara e convincente de Stannard (2017, p. 31), com adaptações nossas. Suponhamos, como os presentistas e outros metafísicos não eternistas, que a realidade possa ser demarcada com uma *linha especial* do presente: “realidade” no caso do presentismo, “borda” do universo no caso do modelo do *bloco crescente*, “luminosidade” no caso do *farol móvel* e “bifurcação” no caso da *árvore minguante*. Qualquer que seja o modelo não eternista adotado, todos trabalham com a ideia de “régua ontológica móvel” que separa o presente do resto e que distingue a existência da inexistência. Ao longo dessa reta, estariam situados fatos diversos como, por exemplo, eu escrevendo estas linhas, em Belo Horizonte, bem como inúmeros outros eventos dispersos pelo planeta e em todo o universo. No caso do presentismo, a peculiaridade é que, além de essas múltiplas coisas co-existirem ao longo da régua móvel, a somatória delas corresponderia a *tudo o que existe*, afirmação extrema da Teoria-A.

Agora, imaginemos alguém subindo um lance de escada em Alcântara-MA e suponhamos que fosse possível a mim avistá-lo de minha casa, a 2.000 km de distância. No instante em que pressionar a tecla T de meu teclado (chamemos de t a esse evento), vejo que tal pessoa tem seu pé no primeiro degrau. Julgo então, acertadamente, que os eventos em Belo Horizonte e Alcântara são simultâneos. Um presentista sentado ao meu lado concorda comigo a respeito da constatação de simultaneidade e conclui que os dois eventos se situam na linha do presente absoluto que separa a existência da não-existência; finalmente, ele inclui ambos em seu inventário ontológico de coisas existentes em t .

Suponhamos, agora, que a Estação Espacial Internacional (EEI) esteja sobrevoando minha casa, a 400 km de altura. Com auxílio do exemplo ilustrativo dos dois relâmpagos à distância (oferecido no Capítulo 1), sabemos que, segundo a Teoria Especial da Relatividade, pode haver a *perda da simultaneidade* dos dois eventos separados se apreciados a partir de outro sistema de coordenadas. Desse modo, o astronauta na EEI discordará de mim a respeito do que está acontecendo em Alcântara no momento em que me vê digitando a tecla T. De seu ponto de vista, a pessoa no Maranhão tem seu pé no segundo degrau, e não no primeiro, quando pressionar a tecla. Podemos imaginar, ainda, outro astronauta, sobrevoando a cidade de Alcântara, em uma espaçonave, no sentido oposto à EEI. Esse terceiro observador chegará a

terceira conclusão: a de que a pessoa no Maranhão ainda não havia sequer começado a subir a escada assim que me vê pressionar a tecla.

Como observa Stannard (2017), embora não pareça haver nada de errado na afirmação presentista de que “tudo o que existe é o que está acontecendo no instante presente”, nunca será possível entrar em acordo sobre “o que está acontecendo no instante presente”. Tal conclusão inequívoca é confirmada pelo físico americano Richard Feynman: “[...] falar do que acontece ‘agora’ no mundo não tem sentido. As coisas que são simultâneas para quem se move em uma velocidade uniforme em linha reta não são as mesmas que parecem simultâneas a outros. Não podemos estabelecer acordo sobre o significado da palavra ‘agora’” (FEYNMAN, 2012, p. 99).

Desse modo, quando pressiono a tecla T, o que realmente “existe” em Alcântara, considerando um suposto “presente universal”? O pé no primeiro degrau; o pé no segundo degrau; ou o pé a caminho da escada? Tal questionamento constitui obstáculo insuperável para o presentismo, assim como para qualquer outro modelo ontológico que suponha o “agora da existência”, um momento presente privilegiado. Já para o eternista, não há nenhum problema a ser resolvido, pois ele postula que as três alternativas igualmente *existem*. O eternismo dispensa qualquer tentativa de demarcação objetiva e absoluta entre *existência* e *não-existência*. No exemplo ilustrativo, tudo o que podemos determinar é qual dos três eventos em Alcântara cada um dos três observadores constatou como sendo simultâneo ao evento em Belo Horizonte, a partir de seu respectivo sistema de coordenadas. Nada pode ser dito sobre o que existe “mais” ou sobre o que “ainda” ou “já” não existe.

O exemplo também nos permite confirmar que, no marco da Teoria Especial, é possível falar em simultaneidade de dois eventos separados, mas apenas de maneira relativa ao marco de referência. Trata-se da relativização da simultaneidade que fizemos questão de detalhar no Capítulo 1. Agora, estamos aptos a aquilatar a profundidade da implicação ontológica desse postulado. Quando o conceito de “simultaneidade” perde seu *status* absoluto, é o próprio conceito de “presente” que é relativizado. A impossibilidade de definir a simultaneidade de modo absoluto equivale à impossibilidade de concordar de modo objetivo sobre o presente e, em consequência, sobre o passado e o futuro. De acordo com a Teoria Especial, não faz sentido falar em “presente absoluto”, isto é, em um “agora universal” nem, por conseguinte, em um “antes” ou um “depois” sobre os quais todos os observadores possam concordar. A relativização da simultaneidade pela Teoria Restrita teve, portanto, implicações profundas sobre a noção de tempo, incluídas as ideias de presente, passado e futuro. Vale reiterar que a Teoria permite falar

em “presente”, assim como em “passado”, “futuro” (e, inovadoramente, “alhores”); mas, sempre e por definição, de modo relativo ao marco.

Como sublinha Balashov (2011, p. 17), visto que a geometria do espaço-tempo relativística não admite a noção de simultaneidade independente do marco de referência (*frame-invariant*), ela não permite definir “o presente”. O termo “presente” não tem, para a Física relativística, qualquer significado a não ser no contexto do enunciante, isto é, referenciado a um sistema de coordenadas específico. “Presente” é conceito *frame-dependent* (ou *frame-relative*), que só faz sentido em relação a um marco. Não tem significado absoluto: não existe nada como um presente universal, válido para todo o universo ou para a existência inteira. Sem essa aceção universal, o presentismo e outros modelos ontológicos dependentes de uma identificação física do “presente” perdem sua sustentação (BALASHOV, 2010, p. 3; e 2011, p. 17). Vale também mencionar esta observação de Barbour (1999, p. 142): “Na física newtoniana [...], existe sequência única de instantes de tempo, cada um dos quais se aplica ao universo inteiro. Isso é derrubado na relatividade, onde cada evento pertence a uma infinidade de Agoras. Isso tem implicações importantes para como pensamos o passado, o presente e o futuro.”

O próprio Einstein ficou psicologicamente perturbado com a implicação ontológica da Teoria Especial. O abandono da crença na natureza absoluta da simultaneidade e, por conseguinte, do presente pode ser comparado ao abandono da crença na objetividade da causalidade por Hume no século XVIII. Não foi por outra razão que Einstein reconheceu o papel pioneiro do filósofo escocês Hume (bem como de Ernst Mach) na reflexão crítica de conceitos fundamentais da experiência. Vale a pena transcrever o relato do positivista lógico Carnap sobre o diálogo que ele manteve com Einstein por volta de 1950, a poucos anos da morte do pai da Relatividade (*apud* BARBOUR, 1999, p. 143):

Einstein disse que o problema do Agora o preocupava seriamente. Explicou que a experiência do Agora significa algo especial para o homem, essencialmente diferente do passado e do futuro, mas que essa importante diferença não ocorre nem pode ocorrer na física. O fato de que tal experiência não pudesse ser compreendida pela ciência lhe parecia questão dolorosa, mas de resignação inevitável. Assim, ele concluiu: “há algo essencial no Agora que está fora do domínio da ciência”.

Alguns autores ousam propor uma reinterpretação da Teoria Especial da Relatividade supostamente capaz de preservar o caráter absoluto dos conceitos de simultaneidade e de presente. Tal leitura, autointitulada “neolorentzina”, permitiria, na visão de seus proponentes, aceitar todas as consequências empíricas da Teoria, como a dilatação do tempo e a contração do comprimento, sem abandonar a ideia de marco de referência absoluto ou preferencial. Para eles, as réguas teriam comprimento “verdadeiro”, assim como os relógios se refeririam a um

tempo “real”. Além de ser injustificadamente associada ao nome de Lorentz (BALASHOV, 2010, p. 3), tal interpretação criativa é epistemologicamente equivocada. Balashov (2010) equipara-a a propostas de retorno à Biologia pré-Darwin e à Astronomia pré-Copérnico.

De acordo com a Teoria Especial da Relatividade, falar em “simultaneidade” e “presente” de modo independente do marco de referência é definitivamente *nonsense*, da mesma forma como é totalmente desprovido de sentido falar em “alto”, “esquerda”, “embaixo”, sem a designação de um marco de referência. Insistir no caráter privilegiado de um marco sobre os demais configura violação do princípio da relatividade, pois impõe a perspectiva de um observador a todo o universo. Nenhum experimento empírico ou experiência real jamais identificou qualquer marco especial (BALASHOV, 2010, p. 3). No quadro teórico da Física Relativística, supor um presente absoluto, especial e universalmente válido constitui erro tão grosseiro quanto presumir que a percepção de dia e noite é idêntica para todos os habitantes da Terra, inclusive para os antípodas; ou crer que meu horário local reflete o “horário da Terra”, quando na verdade não passa de convenção com validade restrita para certa faixa longitudinal do planeta. Tais equívocos equivalem-se porque em todos há a suposição de um marco de referência absoluto ou privilegiado, em que o observador se supõe como referência universal ou elege sua localidade como “centro do universo”.

A incompatibilidade dos modelos não eternistas com a Física Relativística aprofunda-se quando observamos que a relativização da simultaneidade implicou a abolição não apenas do “agora absoluto” (*nowness*), mas também da ideia arraigada de que a passagem do tempo seria uma qualidade primária e objetiva do mundo físico.⁴⁴ Para os presentistas e outros não eternistas, o presente é algo absolutamente móvel; logo, o tempo passaria (REA, 2013, p. 254). Segundo Kutach (2011, p. 249), a intuição de que o “tempo passa de forma objetiva ou igual para todos” conflita com a Teoria Especial da Relatividade. É igualmente incompatível com essa Teoria a tese presentista de que “o tempo presente é ontologicamente privilegiado (em virtude de ser o único tempo que existe)” (REA, 2013, p. 272). Outra incompatibilidade é a suposição presentista de que todas as consciências registram o presente de maneira equivalente. Pela Teoria Especial, nem a simultaneidade nem o ritmo de passagem do tempo são matéria de acordo entre observadores de diferentes marcos.

Ao ressentir a resistência que até alguns físicos opõem ao quadridimensionalismo, Petkov (2020, p. 47) critica, em particular, a insistência na ideia de que “o tempo passa”: “É

⁴⁴ Segundo Rea (2013, p. 254), os filósofos com os argumentos mais célebres contra a passagem do tempo, McTaggart e D. C. Williams, teriam ambos partido da premissa de que o quadridimensionalismo é verdadeiro.

particularmente perturbador quando especialistas em física do espaço-tempo não consideram o espaço-tempo uma representação do mundo quadridimensional real e ainda sustentam a visão não científica de que o tempo flui” (PETKOV, 2020, p. 47).

Para Petkov (2020, p. 47-48), a visão ordinária de que o tempo flui é não científica por duas razões: (i) não há qualquer prova científica para a existência do momento presente, que é o elemento central do conceito de fluxo do tempo: se o fluxo do tempo fosse uma característica do mundo físico (não uma imagem do mundo em nossa mente), a física já a teria descoberto; (ii) a comprovação experimental dos efeitos cinéticos relativísticos não seria possível se o mundo não fosse quadridimensional, onde não há passagem objetiva do tempo.

O conceito presentista e não eternista de passagem objetiva do tempo envolve a ideia de que eventos em diversos lugares fluem simultaneamente no tempo, avançando sobre o futuro à mesma taxa. Como se poderia falar de *passagem* do tempo com efeito concomitante para diferentes regiões do espaço-tempo (*frame-independent*) se não há qualquer modo objetivo de demarcar a fronteira entre passado e futuro no espaço-tempo? Desde Einstein, não podemos mais falar “no” agora, isto é, “o” agora privilegiado, universalmente válido para todos os sistemas de coordenadas. Eddington (2020, p. 49) mesmo o atesta: “Não existe um Agora absoluto, mas apenas os vários Agoras relativos, que diferem de acordo com o cálculo de diferentes observadores”. Em outras palavras, há tantos “agoras” quantos são os marcos de referência, e há uma infinidade desses marcos. E, se não há um agora especial, então não pode haver nenhuma passagem absoluta do tempo. De acordo com o físico e filósofo francês Olivier Costa de Beauregard (1911-2007), a cinemática newtoniana fazia separação objetiva do passado e do futuro, ao supor um momento singular do tempo total que fosse universalmente válido como “presente” para todos os marcos (*apud* SAVITT, 2011, p. 561). Isso é absolutamente refutado pela Teoria Especial da Relatividade. Na cinemática relativística, já não pode haver seção objetiva e universal do espaço-tempo dividindo entre “eventos que já ocorreram” e “eventos que ainda não ocorreram”. Podemos pensar, no máximo, na tricotomia *passado-futuro-ahures* – sempre de modo relativo ao observador (“cone de luz”, Figura 7, Capítulo 2).

Do postulado físico da relatividade da simultaneidade duas implicações ontológicas podem ser, portanto, inequivocamente extraídas: a ideia de “agora” e, em consequência, a ideia de passagem do tempo são relativas. Nesse sentido, é seguro afirmar que a Teoria Especial da Relatividade, de 1905, desferiu golpe fatal no presentismo, como reconhecem muitos metafísicos, entre os quais Putnam (1967) e Sider (2001, p. 42). O golpe aplica-se, entretanto,

não apenas ao presentismo, mas também a todo modelo ontológico que proponha as ideias de *especialidade* do momento presente, de *agora absoluto* ou de *passagem objetiva do tempo*. Todos eles estão em profunda contradição lógica com a Física Relativística. Não há como escapar da conclusão de que negar o eternismo equivale a rejeitar a Teoria Especial e, com ela, o princípio da relatividade, a relatividade da simultaneidade e a dilatação do tempo. O abandono das ideias de presente absoluto e de passagem objetiva do tempo derruba a sustentação do presentismo e leva abaixo, com ele, todos os demais modelos ontológicos que supõem a linha objetiva do agora que corta o espaço-tempo de um extremo a outro e separa o presente do passado e do futuro. As propriedades “passado”, “presente” e “futuro” não são qualidades primárias dos eventos, mas atributos secundários de perspectivas particulares. A ilustração do cone de luz no Capítulo 2 mostrou que podemos falar em “passado” e “futuro” (e, ainda, em terceiro conceito: “alhures”) apenas de forma relativa a eventos singulares, e não absoluta para qualquer sistema de coordenadas. O mesmo evento pode ser *futuro* da perspectiva de um observador em dado instante, *passado* da perspectiva de outro e *alhures* da óptica de terceiro. Eventos não vêm com rótulos “passado”, “futuro” ou “alhures”.

Já seria suficiente para provar a falsidade epistemológica do presentismo e dos demais modelos não eternistas a Teoria Especial da Relatividade, que, como observou Luminet (2011, p. 529), “é uma das teorias mais bem verificadas na física”. Não obstante, podemos fazer igualmente a refutação relativística desses modelos recorrendo à geometria minkowskiana, que não é senão leitura matemática da Teoria Especial. Por esse método, convém traduzir os modelos não eternistas geometricamente para então confrontá-los com o espaço-tempo quadridimensional utilizado por Einstein na Teoria Geral.

Nesse exercício, o presentismo merece ser singularizado, porque, entre todos os modelos ontológicos, é o único que adota a concepção clássica da existência tridimensional. O mundo presentista equivale ao *hiperplano da simultaneidade em evolução no tempo*, da Mecânica newtoniana (vide Figura 5, no Capítulo 2). Como vimos, tal hiperplano consiste em um bloco tridimensional que percorre a quarta dimensão, analogamente à bola de boliche sobre a pista. No universo pré-minkowskiano e na concepção presentista, tudo o que existe é o conjunto dos pontos do sólido tridimensional em dado instante t_n do eixo do tempo. As dimensões espaciais estão desmembradas da dimensão temporal, o que dá ao bloco tridimensional liberdade para descrever movimento ao longo do eixo do tempo, em certa direção. A incompatibilidade do presentismo com a Física Relativística é, portanto, de natureza

não apenas epistemológica (conflitante com os postulados do presente não absoluto e da passagem não objetiva do tempo), mas também geométrica, mecânica e estrutural.

Os demais modelos ontológicos não eternistas – bloco crescente, *grow-glow*, farol móvel e árvore minguate – diferem do presentismo por incorporar em sua geometria a quadridimensionalidade minkowskiano-einsteiniana. Podemos defini-los como tentativas de conciliar a tese presentista com a Mecânica Relativística. Os quatro modelos adotam o postulado da existência quadridimensional, assumido na Geometria de Minkowski e na Teoria Geral de Einstein, pelo qual a dimensão do tempo está fundida às três dimensões do espaço. A tais modelos não se aplica, portanto, a metáfora da bola de boliche. A fusão das quatro dimensões retira a mobilidade do bloco tridimensional sobre a dimensão temporal; mas, em compensação, abre espaço para admitir a existência de eventos não presentes (em particular os passados, no caso dos quatro modelos não eternistas citados).

O esforço de “quadridimensionalizar” a existência não é suficiente, contudo, para garantir aos quatro modelos não eternistas congruência com a Mecânica e Geometria Relativísticas. Apesar de quadridimensionalistas, esses modelos ainda estão apegados, como o presentismo, à ideia de *especialidade* e de *objetividade* do presente. Todos eles supõem a possibilidade de singularizar certa área do espaço-tempo e designá-la como qualitativamente distinta, cada qual à sua maneira: a extremidade no caso do bloco crescente; a borda brilhante na teoria *grow-glow*; a luminosidade do farol móvel; e o avanço do tronco/recessão dos galhos na teoria da árvore minguate. Em todos esses casos, as metáforas podem ser reduzidas a uma linha transversal traçada no mundo quadridimensional e dotada da prerrogativa ontológica de demarcar a fronteira entre a existência e a não-existência (ou, nos modelos farol móvel e *grow-glow*, entre uma realidade iluminada *mais real* e uma realidade sombreada *menos real*).

Ora, o que chamamos de presente consiste em uma lâmina do espaço-tempo eleita arbitrariamente, como ponto de referência para estabelecer marcos no tempo, “como o ano 1, a partir do qual contamos a nossa era” (REICHENBACH, 2021, p. 11). Os quatro modelos não eternistas citados atribuem, entretanto, caráter privilegiado à seção eleita, presumindo que ela se move como uma onda sobre a superfície do oceano quadridimensional, em velocidade única, equivalente para todos os pontos situados nela (de maneira similar ao hiperplano 3D da Mecânica Clássica, que se deslocava pelo eixo do tempo de maneira simultânea para todos os pontos do sólido). Tal presunção equivale à eleição de um marco especial, similar à proposta aristotélica do “centro do universo”, em flagrante discordância com o princípio da relatividade.

Nenhum não-eternista – quer quadridimensionalista, quer tridimensionalista – escapa da suposição do “presente absoluto”. Como o caso ilustrativo dos eventos em Belo Horizonte e em Alcântara mostrou, não há definição coerente do que seja um presente *especial* ou *objetivamente distinto* (PRICE, 2011, p. 281). Tal conceito não faz sentido no quadro da Teoria Especial, que, como explica McCall (1994, p. 20), “nos diz que não existe classe única de eventos globalmente simultâneos que constitua o *agora*”. Se há componente absolutamente incontroverso da Teoria Especial, este é o postulado da relatividade da simultaneidade (SAVITT, 2011, p. 549) ou, o que dá no mesmo, o da relatividade da *presentidade*.

Mas a ideia de presente absoluto (“o” presente) pode ser refutada não apenas pela Teoria Especial de Einstein, mas também pela Geometria de Minkowski. O espaço-tempo quadridimensional minkowskiano, que traduz matematicamente a Teoria Especial, não faz qualquer distinção entre passado, presente e futuro. Logo, essa figura 4D não admite qualquer laminação (*foliation*) que possa objetivamente determinar o suposto “presente universal”. O próprio Einstein (2015, p. 171) afirmou que “não existem, nessa estrutura quadridimensional, quaisquer seções que representem o ‘agora’ objetivamente”. E não poderia ser diferente. Como observa Balashov (2010, p. 2): “a geometria do espaço-tempo de Minkowski, tal qual a Teoria da Especial da Relatividade, não admite a noção de simultaneidade absoluta, isto é, que dois eventos sejam simultâneos em qualquer marco de referência (*frame-invariant*)”. Vale transcrever este argumento de McCall (1994, p. 28):

[...] se olhamos para o mundo de Minkowski, a escolha de um momento no tempo como ‘presente’ não pode ser outra coisa senão arbitrária. Nada no mundo de Minkowski vem rotulado como ‘o presente’. Não há nenhum presente. Então, quando dizemos ‘o presente’, apenas podemos querer dizer ‘o momento que estamos agora experimentando’, ou ‘o tempo simultâneo (em algum marco de referência) a algum evento físico que está atualmente entrando em nossa consciência’, ou coisa do tipo. Reiterando, não há nenhum momento no mundo de Minkowski que tenha o status privilegiado de ‘agora’; daí, o ‘agora’ deve ser arbitrariamente escolhido por algum observador, sem cuja consciência o ‘agora’ não existiria.

A neutralidade temporal do Universo já havia sido sugerida antes mesmo da concepção geométrica de Minkowski, na própria Teoria Especial da Relatividade, quando Einstein nos mostrou que, em conformidade com o princípio da relatividade, não é possível falar em um relógio cósmico que registre a passagem do tempo de modo absoluto ou válido para todos os sistemas de coordenadas. Pode-se falar apenas em relógios particulares de cada observador. No Universo, há infinitos sistemas de coordenadas elegíveis, e não há nada de fisicamente especial em qualquer deles, conforme preconiza o princípio da relatividade, em sua correta interpretação “democrática” ou “não relativística” (vide Capítulo 1). Como o presentista Zimmerman (2011, p. 206) reconhece, nenhuma seção da realidade pode ser considerada especial pela Física e a

Geometria. A tentativa de introduzir dinamismo ao espaço-tempo e atribuir caráter especial a uma área dele é expediente típico dos teóricos-A, em desacordo com a Física Relativística.

Os modelos ontológicos não eternistas estão encurralados: ou postulam, como o presentismo, marco absoluto, incorrendo em violação do princípio da relatividade; ou postulam que a presentidade é qualidade válida unicamente para cada consciência, incorrendo em truísmo ou *solipsismo* – a ideia filosófica segundo a qual a única certeza de existência é a mente de alguém e de que tudo o que está fora dessa mente seria de existência incerta. Ambas as saídas são desconfortáveis e problemáticas. Vale observar, ainda, que os modelos que adotam a quadridimensionalidade da existência, mas não abdicam da tentação de atribuir caráter especial e absoluto ao presente, aceitam apenas os aspectos da Física Relativística que lhes convêm. A Teoria de Einstein não pode, porém, ser adotada de maneira fatiada, sob pena de ser desfigurada.

Muito embora o pai da Relatividade não tenha discorrido longamente sobre a ontologia dos eventos temporais (o que é compreensível, visto que ele era físico, e não metafísico), não é possível escapar da conclusão de que o eternismo é a única opção entre os modelos citados compatível com a Física Relativística, pois é o único deles que observa rigorosamente o princípio da relatividade, ao rejeitar a possibilidade de laminar o espaço-tempo de forma absoluta e objetiva. Por isso, não hesitamos em qualificar a teoria do universo em bloco como *corolário ontológico* da Teoria Especial e descrição mais fidedigna do espaço-tempo da Teoria Geral, de formato quadridimensional e com propriedade deformável. Como observa Nerlich (2013, p. 28): “a melhor teoria disponível sobre a Natureza macroscópica é a Teoria Geral da Relatividade, que tem inequívoco e incontestável compromisso com o espaço-tempo como estrutura fundamental da realidade (realismo)”. Enquanto a Teoria Geral estiver respaldada em observações empíricas rigorosas e merecer o título de paradigma da Mecânica macroscópica e da Cosmologia, não haverá razões para questionar a unificação do espaço e do tempo em um bloco 4D real, nem o modelo eternista que dela decorre.

3.5.5 Resistência presentista à Física Relativística

O presentista Zimmerman (2011, p. 165) reconhece que a Teoria da Relatividade, ao propor a relatividade da simultaneidade, criou ambiente “hostil” ao presentismo e, de modo geral, à Teoria-A do tempo. O termo “hostil” não é, a nosso ver, a melhor maneira de caracterizar a questão. Ele tem a conotação de algo intencionalmente ofensivo; contudo, como sublinhamos nas subseções anteriores, a demolição da ideia do *presente absoluto* pela Teoria

einsteiniana e, por conseguinte, da tese presentista foi efeito involuntário dos postulados relativísticos, que chegou, aliás, a perturbar o próprio Einstein. Como visto no Capítulo 1, o que motivou a elaboração da Teoria Especial não foi a suspeita de Einstein contra o presentismo nem contra a natureza do tempo, mas sua ambição em conciliar o princípio da relatividade com a lei da constância da velocidade da luz no vácuo. A relativização das noções de simultaneidade, de duração e de “agora” foi ponto de chegada nesse processo epistemológico.

Em vez de *hostilidade* da Teoria da Relatividade em relação ao presentismo, preferimos falar na *incompatibilidade* do presentismo com a Teoria da Relatividade. Já sabemos que tal desacordo é profundo e extensivo a todos os modelos não eternistas. Os modelos híbridos, embora adotem o quadridimensionalismo, dependem da definição objetiva de “presente” e de “passagem do tempo”. Diante da constatação inequívoca dessa incompatibilidade, emerge naturalmente a questão de saber por que o presentismo ainda goza de tanto apelo não apenas entre o senso comum, mas também entre metafísicos. Dois fatores explicativos concorrem: a ainda significativa incompreensão da Física Relativística, sobretudo pelo senso comum, que adere à Mecânica Clássica; e a natural indisposição filosófica em substituir concepções enraizadas por teorias contraintuitivas, ainda que rigorosamente científicas.

Presumimos que aos metafísicos em geral não falta aptidão intelectual para compreender a Mecânica Relativística; nesse sentido, a melhor opção para explicar a durabilidade do presentismo e da objeção ao eternismo no debate ontológico é o inconformismo filosófico com as implicações da Teoria da Relatividade ou a impalatabilidade de seus corolários ontológicos. Em particular, suspeitamos que o principal obstáculo para a aceitação desses corolários é o apego à crença filosófica no *futuro aberto*. O determinismo causal implicado na cosmovisão relativística – a tese de que o futuro está predeterminado ou “fechado” – constitui a maior fonte de inquietação para os metafísicos incompatibilistas, ao pôr em risco a tão prezada ideia de “livre arbítrio”, tradicional na Ética. Respalda nosso diagnóstico o fato de as modalidades não eternistas em geral rejeitarem estatuto ontológico aos eventos futuros. O “bloco crescente”, o “bloco *grow-glow*” e a “árvore mingunte” toleram a inclusão dos fatos passados no rol de coisas existentes, ao lado dos momentos presentes, mas aliam-se ao presentismo ao recusarem a inclusão dos fatos futuros nesse rol. Em nossa visão, os três modelos buscam assegurar a imaterialidade do futuro de forma a garantir a folga ontológica necessária para o planejamento das ações, sem o custo de recorrer ao compatibilismo.

Sintomática do apego ao possibilismo, ou indeterminismo, é a comum implicância dos presentistas com a Física Relativística. Diante do dilema entre sua crença filosófica no futuro

aberto e os postulados relativísticos, alguns metafísicos acabam optando por sacrificar os segundos, a despeito da comprovação empírica deles. Entretanto, essa opção é, para dizer o mínimo, temerária. Segundo Sider (2001, p. 42), alguns presentistas já chegaram a simplesmente abandonar o espaço-tempo minkowskiano, mas o filósofo adverte que, nos embates da ciência *versus* a metafísica, historicamente os prognósticos estiveram do lado da primeira (SIDER, *Ibidem*). Outros metafísicos não eternistas tentam incorporar a Física Relativística, mas apenas parcialmente, sem pleno compromisso.

A aversão à contraintuitividade dos postulados relativísticos manifesta-se na literatura presentista em diversas formas: desde a simples negação da Teoria da Relatividade até sua depreciação, minimização da incompatibilidade com o presentismo e esperança de futura suplantação da Teoria. Não são raras as tentativas criativas de contornar os postulados da Relatividade, como é o caso citado acima da interpretação neolorentziana. Exemplos extraídos da literatura servem para ilustrar nosso argumento. Segundo Zimmerman (2011, p. 168), a incompatibilidade com a Relatividade não é “tão simples e profunda quanto parece”; “qualquer que seja a desarmonia existente entre a Teoria-A e a Teoria Especial, ela é de significado dúbio” (ZIMMERMAN, 2011, p. 238). O autor presentista chega a defender, implícita ou explicitamente, ideias como as de que “a Teoria Especial é falsa”; de que a Teoria Geral tem futuro “altamente incerto” e pode não ser a última palavra (*Ibidem*, p. 239); de que o conflito do presentismo com qualquer uma das duas versões da Relatividade seria “superficial” (p. 207); de que a Teoria Especial constitui mera aproximação da Teoria Geral e de que a incompatibilidade do presentismo com a última seria “muito menos clara”.

No mesmo espírito dos metafísicos que apostam em futura deposição da Relatividade e na restituição da glória do presentismo, Zimmerman (2011, p. 208) expressa sua fé no advento de “uma teoria sucessora [da teoria geral da relatividade] que una a gravidade e a teoria quântica” e que ofereça “mais esperança ao presentista em busca de fazer uma laminação (*foliation*) fisicamente privilegiada [do espaço-tempo]”. Outros presentistas apostam no triunfo da Mecânica Quântica sobre a Relatividade. A esses Callender adverte que “os Teóricos-A não podem esperar auxílio e conforto da teoria quântica” (*apud* ZIMMERMAN, 2011, p. 208).

Rea argumenta, por sua vez, que “o presentismo não é descartado pela prova empírica” e que, “se a prova empírica definitivamente contradisser a Teoria Especial, a ameaça que ela representa para o presentismo evaporará” (REA 2013, p. 275 e p. 274, respectivamente). Em outra ocasião, afirma: “a teoria da relatividade parece implicar que o espaço e o tempo são, ambos, meras aparências de uma realidade mais fundamental – nomeadamente, o espaço-

tempo” (REA, 2013, p. 249 – grifo nosso). O uso do verbo “parece” reflete a relutância presentista a aceitar uma implicação para a compreensão do tempo e do espaço sobre a qual a Física Relativística não deixa a menor margem para dúvida.

Ao mesmo tempo em que reconhece o desconforto e a inadequação de uma atitude negacionista, Rea faz alusão a teses que supostamente permitiriam rejeitar os postulados da Teoria Especial da Relatividade e abrir caminho para o presentismo, porém não as desenvolve, a saber: (i) não há boas razões para eliminar a tese de um marco de referência absoluto; (ii) é possível elaborar teorias empiricamente equivalentes à Teoria Especial e, ao mesmo tempo, favoráveis à definição de sistema de coordenadas privilegiado; (iii) a ideia de marco de referência privilegiado está respaldada pela Teoria Geral da Relatividade e pela Mecânica Quântica; e (iv) a Teoria Especial não lida com o tempo, mas com “relações luminíferas observáveis entre eventos físicos, e nada mais”. Algumas dessas hipóteses, ao proporem a revogação do princípio da relatividade consagrado na Física e na Astronomia, parecem-nos tão burlescas quanto o “centro do universo” aristotélico. Outras expressam releituras espúrias da Teoria einsteiniana, desprovidas de fundamento.

Esses exemplos da literatura demonstram que a Relatividade, a despeito de ser reconhecidamente a melhor teoria física disponível sobre o espaço e o tempo, representa, muitas vezes, verdadeiro estorvo no caminho dos presentistas obstinados, que sentem menor incômodo em negar a Teoria einsteiniana, empiricamente comprovada, que abandonar sua crença na irreabilidade de eventos futuros e sua aversão à ideia de futuro fechado. Dar as costas à Teoria da Relatividade supõe, a nosso ver, custo epistemológico muito maior do que buscar a explicação das intuições sobre o tempo fora da Física (quicá, na Fenomenologia e na Filosofia da Mente). A defesa do presentismo representa injustificado retrocesso à Mecânica Clássica e rejeição da descrição relativística do mundo, cuja validade empírica está fora de discussão há mais de um século. Vale citar estas ponderações de Savitt (2011, p. 565): “as provas empíricas da teoria especial (ao contrário da mecânica clássica) são esmagadoras” e, “se as provas respaldam uma teoria que nos forçam a uma conclusão estranha, o senso comum deve-se curvar às provas”.

Não descartamos a hipótese de que a Teoria da Relatividade seja futuramente substituída por teoria mais abrangente, mas, nesta dissertação, trabalhamos não com eventualidades, e sim com o estado da arte na Física macroscópica, suficientemente sólida e segura. Mesmo que a Relatividade venha a ser suplantada no futuro, não há razão para supor que a teoria substituta identificará um marco privilegiado do Universo e revogará o princípio da relatividade.

3.5.6 Fluxo e seta do tempo: interpelação ao eternismo

O eternismo tem a virtude de estar em harmonia com a Teoria da Relatividade, mas sua compatibilidade com a Física Relativística não o isenta de problemas no campo da Filosofia. A descrição do universo como bloco sugerida pela geometria minkowskiana e a física einsteiniana conflita violentamente com a realidade tal como a percebemos. Mesmo que saibamos, desde a Teoria Geral, de que tal bloco não é absolutamente rígido, mas moldável, tal propriedade da maleabilidade não atenua o evidente contraste em questão.

Com efeito, experimentamos o tempo de maneira dinâmica, como fluidez e evolução, e não como extensão adicional de um bloco quadridimensional unificado e estático. Nossa percepção não nos permite duvidar de que os eventos se sucedem em um fluxo irrefreável. A essa sucessão ininterrupta de eventos nos referimos na linguagem ordinária simplesmente como “tempo”, mas a verdade é que esse é apenas um dos usos desse conceito complexo. Neste trabalho, temos tido o cuidado de identificar essa acepção específica pela expressão *tempo fenomenológico*, de modo a distingui-la de outros usos do termo, como as noções de tempo estático e “especializado” da geometria minkowskiana e do eternismo (que chamamos de *tempo físico* ou *ontológico*) e de tempo quantitativo e mensurável da Teoria Especial da Relatividade (*tempo-relógio*, *tempo-intervalo* ou *tempo-duração*) – vide Seção 3.1.

Sinônimo de tempo fenomenológico é o conceito autoexplicativo “fluxo do tempo”. Ninguém talvez tenha discorrido sobre ele tão expressivamente quanto Reichenbach (2021). No início de *A Direção do Tempo*, o filósofo alemão afirma que “não só os eventos do mundo externo, mas também todas as nossas experiências subjetivas acontecem no tempo”. “O que experimentamos em um instante escorrega imediatamente para o passado e lá permanece para sempre, irrecuperável e imutável” (REICHENBACH, 2021, p. 1). O fluxo do tempo não está sob nosso controle; é irrefreável e irreversível. “Parece a expressão de forças super-humanas das quais não há escapatória” (*Ibidem*, p. 4). “Temos a impressão de sermos levados por ele, de maneira irremediável, como um toco de madeira pela corrente de um rio” (*Ibidem*, p. 3). Há conflito muito semelhante ao da era pré-socrática entre Heráclito e Parmênides.

A descrição de nossa percepção do tempo não se limita, entretanto, à constatação heraclitiana de que o tempo flui como um rio. Uma segunda constatação fenomenológica pode ser feita: a de que tal fluxo se dá em certa direção, pois sempre avançamos para o futuro e nunca retornamos ao passado. A expressão “seta do tempo” designa a limitação de tráfego em mão única, uma propriedade tecnicamente chamada de *assimetria*. A assimetria do tempo não encontra analogia nas três dimensões espaciais. Nenhuma delas nos oferece um homólogo da

quarta dimensão unidirecional. Não temos no tempo a mobilidade de que gozamos no espaço, onde podemos nos mover para frente e para trás, para a direita e a esquerda, para cima e para baixo. Nossa consciência está constituída fenomenologicamente de modo que usufrui da liberdade de ir, vir e frear em três dimensões; mas, na quarta, seu movimento está restrito a um sentido, sem direito a paradas e sem bilhete de volta.

A intrínseca assimetria de nossa existência impede-nos de fazer analogia perfeita entre as grandezas do tempo e do espaço (lançando, mais uma vez, dúvida sobre a pertinência da expressão “espacialização do tempo”). Como sublinha Gamow (1988, p. 69), “a direção do tempo não é bem a mesma coisa que as três dimensões do espaço”. Essa afirmação fundamenta-se muito mais na propriedade qualitativa da assimetria que na peculiaridade quantitativa de que a mensuração do tempo é feita com o relógio e não a régua. Eddington (2020, p. 67) usa a expressividade da literatura ficcional para mostrar a profunda diferença entre as distinções passado/futuro e direita/esquerda (pelo menos, do ponto de vista fenomenológico). No conto “A Estória de Plattner”, do escritor inglês H. G. Wells (1866-1946), um homem vai parar na quarta dimensão e retorna com os lados direito e esquerdo trocados. A troca não é, porém, como observa Eddington, o tema principal do conto; ela é, na verdade, mero detalhe voltado a dar verossimilhança à aventura. Com efeito, esse aspecto é tão trivial que Wells não poderia conceber o romance em torno dele. Eddington argumenta que, se o mesmo personagem tivesse retornado ao mundo tridimensional com o passado e o futuro trocados, aí de fato a situação seria muito intrigante. Para o astrofísico, os romances *A Máquina do Tempo*, de Wells, e *Sílvia e Bruno*, de Lewis Carroll, tratam dos absurdos que têm lugar quando se concede ao tempo a característica de correr ao contrário. “Se o espaço se reflete no espelho, o mundo continua a fazer sentido; mas o tempo refletido no espelho contém um absurdo inerente que transformaria o espetáculo do mundo na farsa mais sem sentido” (EDDINGTON, 2020, p. 67).

Um dos aspectos da assimetria definidora do tempo da experiência diz respeito à relação de causalidade entre dois eventos: ações presentes podem dirigir o curso de eventos futuros, mas nada que façamos hoje mudará o que fizemos ontem. Como afirma Callender (2011, p. 5), “posso mudar o local onde vou morrer, mas não posso alterar o lugar onde nasci”. Em outras palavras, as causas têm necessariamente seus efeitos no futuro, não no passado. A essa característica já chamamos de *assimetria da influência* (subseção 3.5.3), mas outra designação igualmente adequada seria a de *assimetria da causalidade*. É ela que fundamenta nossa intuição de que o futuro está aberto, e o passado, fechado. Reichenbach (2021, p. 43) faz a observação de que a possibilidade de interferir no futuro, mas não no passado, poderia revelar um critério

objetivo de discriminar entre o passado e o futuro e, pois, de “ontologizar” a seta do tempo. Preferimos manter a “seta do tempo” reclusa à seara da Fenomenologia (e fora da Ontologia).

Outra assimetria do tempo fenomenológico diz respeito à disponibilidade de dados e à possibilidade de seu registro no caso dos eventos anteriores e dos eventos posteriores ao agora da consciência (*assimetria de informação*). Em suma, sabemos muito mais sobre o passado do que sobre o futuro. A meteorologia pode, por exemplo, fornecer-nos dados sobre o tempo de amanhã, mas eles serão muito mais limitados que os disponíveis sobre o tempo de ontem. Além disso, o passado pode ser documentado, ainda que apenas em parte. As informações históricas são muito mais precisas e ricas em detalhe do que as estatísticas sobre probabilidades futuras. Essa modalidade de assimetria deve ser ocasião, a propósito, para observar, com Reichenbach (2021, p. 9), que “o futuro não é inteiramente desconhecido”. Algumas ocorrências podem ser antecipadas ou previstas, entre as quais o filósofo cita os movimentos das estrelas, as estações do ano, o desenvolvimento das plantas e animais e a morte (REICHENBACH, 2021, p. 9).

Os dois aspectos principais da fenomenologia do tempo – a de que o “tempo” flui e a de que esse fluxo é intrinsecamente direcional – são tão óbvios em nossa experiência que qualquer afirmação em contrário nos pareceria nada menos que extravagante ou esdrúxula. Como observa Dainton (2011, p. 383), se o fluxo que costumamos designar “tempo” não existisse, não teríamos pensamento, não teríamos a própria experiência. Se a passagem do tempo fosse irreal, como postula, por exemplo, o idealista McTaggart (1908), por que nossa sensação seria tão real a ponto de dizer que nossa existência não existiria sem ela? Compreende-se que, sem maiores investigações científicas e filosóficas, sempre estaremos propensos a atribuir estatuto ontológico a esses aspectos fenomenológicos do tempo e a concordar com os presentistas nas conclusões de que o instante presente tem algo de especial; de que o tempo flui; de que o passado desapareceu e não existe senão como registro indireto na memória; e de que o futuro não tem qualquer existência ou materialidade.

Segundo Putnam (1967), o senso comum extrai dessas intuições sobre o tempo a tese ontológica de que todas as coisas que existem no “agora” – e somente elas – são reais (*Ibidem*, p. 240). A partir dessa premissa fundamental, deriva então outras duas conclusões ontológicas: a de que as coisas futuras ainda não existem e, logo, não são reais (embora se tornarão reais quando chegar o momento apropriado de se tornarem presentes); e (ii) a de que as coisas passadas deixaram de existir e, logo, já não são reais (embora tivessem sido reais no passado). À soma dessas três conclusões Putnam (1967) chama de a visão do “homem da rua”, a qual corresponde exatamente ao presentismo.

Price (2011, p. 277) desmembra a concepção intuitiva e presentista do tempo em três enunciados: (i) o momento presente é especial e objetivamente distinto dos demais; (ii) o tempo tem uma direção objetiva; (iii) há algo de dinâmico ou fluido no tempo (*flux-like; flow-like*). Como lembra Pessoa Jr. (2020a, p. 49), outro bom resumo do tempo fenomenológico pode ser encontrado nas *propriedades qualitativas* ou *topológicas do tempo*, de Reichenbach (2021, p. 20-24), formuladas em seis enunciados: (i) o tempo vai do passado para o futuro; (ii) o presente, que divide o passado do futuro, é o *agora*; (iii) o passado nunca retorna; (iv) podemos alterar o futuro, mas não o passado; (v) podemos ter registros do passado, mas não do futuro; (vi) o passado está determinado, e o futuro é indeterminado. As propriedades qualitativas do tempo opõem-se às *quantitativas*, detalhadas por Einstein na Teoria Especial. Essas dizem respeito à possibilidade de mensuração do tempo decorrido, com o recurso do relógio ou do cronômetro. À concepção métrica do tempo, vale lembrar, temos nos referido neste trabalho pelas expressões intercambiáveis *tempo-relógio*, *tempo-duração* ou *tempo-intervalo*.

Quaisquer que sejam as caracterizações feitas sobre o tempo percebido, vale observar que todas dependem, invariavelmente, da identificação do “agora” experimentado, um conceito que já sabemos ser *nonsense* no quadro da Teoria da Relatividade e cujo caráter problemático já havia sido sugerido por Santo Agostinho quando sublinhou a dificuldade de identificar o “presente”, por causa de sua ausência de extensão. O que a ontologia presentista faz é presumir que o *agora* da experiência tem sentido absoluto ou validade universal para qualquer sistema de coordenada (presunção peremptoriamente vedada pelos postulados da Física Relativística).

De modo contraintuitivo, as leis primárias da Física contam-nos uma história do tempo muito diferente daquela da experiência ordinária que acabamos de expor. Essas leis naturais compartilham a característica de serem simétricas, isto é, indiferentes à questão sobre se captamos o mundo da direita ou da esquerda, de cima ou de baixo.⁴⁵ Segundo Feynman (2012, p. 102), as leis da física são geralmente simétricas (isto é, válidas independentemente das alterações nos sistemas descritos), com algumas exceções, como nas transformações de escala. Eddington (2020) assinala, por sua vez, que a simetria predominante na Física vale não só para as leis clássicas, mas também para as leis relativísticas e até as quânticas. A reversibilidade é, portanto, verdadeiramente endêmica aos sistemas descritos por essas leis. Daí se justifica a ponderação do astrônomo inglês de que não são procedentes as críticas do físico clássico contra

⁴⁵ Na subseção 3.5.8, são discutidas a entropia (o grau de desorganização do universo), que abre terreno peculiar do conhecimento físico, e a questão sobre se a “segunda lei termodinâmica” poderia constituir exceção à regra da simetria das leis físicas e dificuldade para o eternismo.

a Teoria da Relatividade no sentido de que a representação quadridimensional do mundo “ignoraria o caráter direcional do tempo”. A objeção não tem lugar porque as leis relativísticas não são, nesse aspecto, nem melhores nem piores que as leis predecessoras ou contemporâneas. Logo, o físico tradicional não deveria ficar perplexo com o fato de que o retrato relativístico da Natureza expõe o caráter simétrico do tempo. Como observa Eddington, na Mecânica Clássica usava-se igualmente, sem preocupação, sistema de leis indiferente à direção do tempo.

Em palestras ministradas no fim do século XIX, o físico e filósofo Ludwig Boltzmann (1844-1906), defendeu a possibilidade de que não haja uma “seta do tempo” e de que, portanto, o tempo seja perfeitamente espacializado, sem direção objetiva (*apud* PRICE, 2011, p. 282-283).⁴⁶ De acordo com Boltzmann, o tempo não possui direção privilegiada, como o espaço não pode ser, sem arbitrariedade, dividido entre “em cima” e “embaixo”. Como o autor, muitos físicos e metafísicos, pela simetria da Física, reivindicam que as direções no tempo (adiante e para trás) não constituem a estrutura intrínseca do universo, mas perspectiva do observador, assim como as direções espaciais de esquerda e direita, ou para cima e para baixo. Para eles, nada no universo pode objetivamente receber a indicação “este lado para cima”. Reichenbach (2021, p. 269) afirma que “o tempo parece ser fenômeno completamente macroscópico, não identificável no microcosmo”.⁴⁷ Essa distinção de escalas pode servir para demarcar a fronteira entre, de um lado, o tempo fenomenológico e assimétrico de nossa experiência, que flui ininterruptamente em mão única; e, de outro, o tempo ontológico dimensional, estático e perfeitamente simétrico, que está distendido e admite tráfego em mão dupla.

A hipótese da simetria e da “espacialização” do tempo ganhou substantivo reforço com as pesquisas de Feynman e do suíço Ernest Stückelberg (1905-1984). Reichenbach (2021, p. 264) aduz que os dois físicos demonstraram que um pósitron – antipartícula do elétron, isto é, partícula com a mesma massa do elétron, mas com carga positiva – não pode ser distinguido de um elétron em deslocamento na contramão do tempo, isto é, em viagem de volta ao passado. Os diagramas de Feynman não discernem a seta do tempo e podem ser lidos de modo intercambiável, com eventos avançando ou retrocedendo no tempo. Tal hipótese constitui poderoso argumento contra o tridimensionalismo. Além disso, oferece interessante exemplo de *viagem no tempo*, o que atíça o interesse popular. Segundo Reichenbach (2021, p. 266), a

⁴⁶ Segundo Zimmerman (2011, p. 166), ninguém jamais defendeu esta combinação de ideias: (i) o tempo está desprovido de uma direção intrínseca; mas (ii) inclui distinções objetivas entre passado, presente e futuro.

⁴⁷ O autor parece usar “tempo” aqui na acepção fenomenológica de tempo direcional ou de seta do tempo.

hipótese do elétron e do antielétron em trânsito em mão dupla na quarta dimensão significa a possibilidade de reverter a direção do tempo e o abandono da ordem de sucessão dos eventos.

A discussão sobre a simetria do tempo suscita outra questão, que é a de discernir qual Série mctaggartiana – se alguma – melhor representaria a quarta dimensão do *continuum* espaço-temporal descrito na Física Relativística. O cotejamento entre a Teoria da Relatividade e a tipologia de McTaggart é questão que não parece ter sido suficientemente explorada na literatura. Cabe breve investigação a respeito dela.

A Série-A deve, a nosso ver, ser sumariamente descartada como candidata, pois a distinção dos eventos em pretéritos, presentes ou futuros – típica da Série-A, como qualidades primárias – é absolutamente inadmissível no quadro teórico da Física Relativística. A conclusão pela inaptidão da Série-A como descrição do tempo é reforçada por depoimento dado por Einstein em 21 de março de 1955, a menos de um mês de sua morte (ocorrida em 18 de abril daquele ano). Trata-se de trecho da carta enviada pelo físico ao filho e à filha de Michele Besso (1873-1955), a respeito do falecimento do amigo de longa data, na semana anterior: “Eis que ele [Besso] novamente me antecedeu por pouco ao dizer adeus a este mundo estranho. Isso não significa nada. Para nós, físicos que têm fé, a separação entre passado, presente e futuro não passa de uma ilusão, ainda que teimosa” (EINSTEIN, 1972, p. 538). A asserção fina de Einstein, de que “a separação entre passado, presente e futuro não passa de uma ilusão”, permite-nos inferir, sem hesitação, que a Teoria-A do tempo foi rejeitada implicitamente por Einstein. Por exclusão, a Teoria-B seria então sugerida como a opção mais sintonizada à Relatividade.

Eliminada a opção A da tipologia de McTaggart, fica aberta a discussão sobre se o tempo na Física Relativística seria mais bem descrito como Série-B ou Série-C. Sem tratar das séries mctaggartianas, Reichenbach (2021, p. 42) nota que “a teoria da relatividade tornou indispensável uma definição causal do tempo”. Tal afirmação poderia ser interpretada como uma pista de que a melhor representação do tempo na Física Relativística é a Série-B, pois a causalidade é dotada de direção e, por conseguinte, de assimetria. O filósofo ressalta, entretanto, que, apesar de pressupor definição causal, “a teoria [da relatividade] não requer um tempo direcional”. Para Reichenbach (2021, p. 42), a Teoria einsteiniana repousaria na suposição de um tempo *ordenado*, que dispensa definição da direção do tempo: “A teoria da relatividade não contribuiu para o problema da direção do tempo, mas apenas para o da ordem do tempo”.

Se o filósofo estiver certo, então a Série-C seria a candidata mais habilitada a descrever o tempo ontológico. De fato, a Série-C reúne qualidades que parecem perfeitamente compatíveis com o caráter simétrico e estático do tempo ontológico. Trata-se de série

espacializada (destemporalizada), que envolve nada mais do que a ordem das posições, sem direção definida e sem fluxo. As hipóteses de Feynman e de Stückelberg a respeito do trânsito de nanopartículas em mão dupla no tempo, citadas acima, reforçam a aptidão da Série-C como representação da Teoria da Relatividade. Dessa óptica, a Série-B, deveria ser rejeitada como candidata, porque sua qualidade adicional à Série-C (vetor de direção) é incompatível com o caráter estático do universo em bloco. A propósito, não negamos a existência do fluxo temporal; ao contrário, afirmamo-lo como fato fenomenológico. O que defendemos é que sua explicação deve ser buscada fora da Física, o que tampouco significa um rebaixamento de *status*.

O exercício de cotejamento entre a Física Relativística e a tipologia mctaggartiana é interessante, mas encontra limitações. A principal delas, a nosso ver, é o fato de as Séries de McTaggart serem representações simplificadas. Elas não permitem, por exemplo, discernir se a simultaneidade de dois eventos seria relativa ou absoluta (Seção 3.3). Tal elemento é requisito para exame aprofundado da compatibilidade da tipologia mctaggartiana com a Geometria do Espaço-Tempo. Aspectos fundamentais na discussão sobre o tempo, como a relatividade da simultaneidade e a multiplicidade de marcos de referência, não são objeto da reflexão de McTaggart, o que torna insatisfatórias quaisquer tentativas de associar as duas esferas. Nesse exercício, esbarramos, ainda, em outra dificuldade, desta vez do lado da Física Relativística. Como foi anteriormente mencionado, os expoentes do paradigma relativístico não delinearão nem detalharam as implicações metafísicas de suas teses. De Einstein, temos de nos contentar com fragmentos, como é o caso do referido trecho de correspondência, que se tornou surrado em citações. Embora insuficiente para um debate metafísico aprofundado, o excerto é sugestivo – e, em nota,⁴⁸ não deixamos de registrar como ele tem sido sistematicamente deturpado.

⁴⁸ A literatura está impregnada de defeito grosseiro de tradução, que insiste em ler o trecho “*Für uns gläubige Physiker*” como “para nós que cremos na Física”. Objetivamente, o trecho significa “para nós, físicos que cremos” ou “que temos fé”. Desconhecemos os verdadeiros motivos da vulgarização dessa adulteração de tradução, que se tornou moeda corriqueira em livros e textos, acometendo o trabalho de boa parte dos autores que lidam com o assunto, sobretudo os de língua inglesa. A infidelidade ao texto original pode ter sido resultado de mera negligência, mas não descartamos a possibilidade de que se trata de distorção intencional. Nossa suspeita é que a orientação predominantemente antirreligiosa no meio científico, incrédula da possibilidade de conciliação e mesmo de diálogo entre Razão e Fé, reluta em conceder declaração de fé àquele que talvez tenha sido o maior físico teórico da história. Nesse caso, tratar-se-ia de fraude bem-sucedida na História da Ciência, e não mera generalização de erro caracterizado pelo elemento culposo da imperícia. O fato é que verter “*Für uns gläubige Physiker*” como “nós que cremos na física” configura óbvia deturpação do original. Há muitas razões para presumir que Einstein se referia, nesse trecho, à sua fé (ainda que ela não coincidissem com nenhuma religião institucionalizada). A primeira delas é que o adjetivo *gläubige* tem, no alemão, inequívoca conotação religiosa. Os falantes desse idioma usam o termo unicamente nessa acepção. Em segundo lugar, parece-nos forçada a leitura de que Einstein “acreditava” na Física. O teórico certamente confiava na Razão e se dedicou à Ciência, mas não é sensato supor que a Física fosse, para ele, objeto de crença e, muito menos, matéria de fé. O mais poderoso e evidente indício em favor de nossa exegese pode ser, contudo, encontrado na correspondência enviada, pouco antes, por Besso a Einstein, em 29/1/1955 (a última recebida de seu amigo, que vivia em Genebra). Na carta, que tem por objeto temas de fé e de espiritualidade, Besso afirma expressamente sobre seu fiel correspondente: “Você

Feita a explanação sobre o testemunho dado pelas leis naturais em favor da simetria do tempo, não deixa de ser chocante o divórcio entre o tempo da Física e a “seta do tempo” (EDDINGTON, 2020, p. 99), ou, em nossa terminologia, entre os tempos ontológico e fenomenológico. Como já tivemos a oportunidade de assinalar, Einstein mesmo ficou perturbado com as implicações ontológicas de sua Teoria Especial, nomeadamente a abolição do *agora absoluto*; a impossibilidade de distinção objetiva entre passado, presente e futuro; e a supressão da ideia de passagem objetiva do tempo.

Independentemente da manifesta incompatibilidade do presentismo com a Física, não resta dúvida de que nossas intuições do tempo, expostas acima, favorecem essa tese anfitriã da ontologia dos eventos temporais e conspiram contra o eternismo, que tem o ônus revisionista no debate. O mundo físico apresentado pelos eternistas destoa drasticamente de nossa percepção da realidade, e essa discrepância gritante é a razão principal de ainda haver na Metafísica tantas barricadas contra o avanço da tese do *universo em bloco* e tantas frentes de defesa da Teoria-A do tempo (seja o presentismo, seja outros modelos que rejeitam a realidade de eventos futuros). Como já sublinhamos, o determinismo causal embutido no eternismo é, com toda a probabilidade, a maior fonte de inquietação de pensadores, seja metafísicos, seja físicos. A tendência natural é defender a abertura do futuro, assegurando espaço de manobra para o livre arbítrio contra o fatalismo; e essa tendência psicológica só pode ser revertida por meio de firme convicção construída com o respaldo da Física.

De acordo com Pessoa Jr. (2020a, p. 50), filósofos como o francês Henri Bergson (1859-1941) e o inglês Alfred North Whitehead (1861-1947) foram críticos da “especialização” do tempo pela Física, porque características essenciais do tempo – como passagem, vir-a-ser, devir e planejamento do futuro – são perdidas quando é dispensado ao tempo o mesmo tratamento dado a uma dimensão do espaço. No pensamento bergsoniano, assim como na filosofia de Heráclito,⁴⁹ o devir é elemento essencial do tempo; logo, ao “especializarem” o tempo, físicos como Einstein teriam deixado de compreender essa grandeza da realidade. Na opinião de Reichenbach (2021, p. 16), da qual comungamos, a intuição e os dados imediatos da consciência – que tinham tanto apelo ao filósofo francês – são, contudo, insuficientes para fundamentar uma

professa fé no Deus de Spinoza”. Isso nos parece bastante para encerrar a questão, mas, por último, vale registrar que a tradução francesa utilizada por nós (EINSTEIN, 1972) não incorre no mencionado cacete de tradução, pois verte, corretamente, o trecho problemático desta forma: “*Pour nous, physiciens croyants...*”.

⁴⁹ De acordo com Reichenbach (2021, p. 16), Heráclito foi o predecessor de Bergson na Antiguidade.

Teoria do Tempo. “É um projeto inútil investigar a natureza do tempo sem estudar a física” (REICHENBACH, 2021, p. 17).

3.5.7 A cinemática da consciência: proposta de conciliação do eternismo e da seta do tempo

O descompasso existente entre o eternismo e a seta do tempo – ou, em outras palavras, entre o tempo ontológico e o tempo fenomenológico – é evidente demais para ser negligenciado ou minimizado. Trata-se, com efeito, de um dos maiores mistérios metafísicos. A incompatibilidade é profunda, como na já citada dicotomia contábil fluxo *vs.* estoque, em que os dois conceitos são, por definição, opostos. Como os eternistas têm pretensão revisionista na Metafísica, é justo exigir deles alguma satisfação.⁵⁰ Se o espaço-tempo minkowskiano consiste em estoque de eventos, por que a realidade ordinária é percebida como fluxo de instantes? Como nossa experiência pode ter caráter dinâmico em um bloco estático? Se não é possível identificar objetivamente no universo a passagem do tempo, o que explicaria o caráter ostensivamente fluido de nossa existência? Se o fluxo do tempo não pode, segundo a teoria do universo em bloco, ser encontrado na realidade física, então qual é sua gênese? De onde viria a natureza especial do “agora” percebido, do momento presente que inegavelmente caracteriza nossa percepção e consciência? Como se explica a sensação de fluxo temporal?

Essas questões são relevantes e merecem ser respondidas. Somos interpelados a explicar a divergência estrutural entre o *fluxo heraclitiano* da percepção e o *estoque parmenidiano* do universo 4D. Mesmo provado o tempo ontológico (extenso e estático), a experiência de fluxo subsiste. Seria, pois, estéril fazer sermão em prol do estoque dos eventos sem dar resposta satisfatória à experiência do fluxo. Quando dissemos ser justo que os eternistas assumam o ônus de apontar a solução do problema, quisemos dizer que não lhes basta reafirmar que a Física desconhece um fluxo do tempo. A simples rejeição do fluxo do tempo, sem qualquer esboço de sua acomodação, pode ser vista como espécie de negacionismo. Muitos, aliás, rejeitam a teoria do universo bloco porque não encontram resposta satisfatória que concilie o caráter dinâmico da experiência com o caráter estático do espaço-tempo. O presentismo pode ser visto, assim, como refúgio natural dos que não se contentam com a tese simples de que “o *fluxo do tempo* é uma ilusão” (oração que aparece, muitas vezes, na forma reduzida “o *tempo* é uma ilusão”).

⁵⁰ Rea (2013, p. 254) faz interessante observação sobre a compatibilidade dos modelos ontológicos com a ideia de fluxo do tempo. Segundo esse autor, que adere ao presentismo, os presentistas, muito mais que os eternistas, é que deveriam se preocupar em garantir a compatibilidade de sua tese com a ideia de passagem do tempo, em razão da dificuldade de a “mudança” dos seres ser explicada no quadro teórico do tridimensionalismo da existência (*problema dos intrínsecos temporários*). Nesse sentido, o presentismo, de caráter tridimensionalista, não ofereceria nenhuma vantagem especial sobre o quadridimensionalismo em termos de acomodar a passagem do tempo.

Neste trabalho, vislumbramos uma saída para o impasse indicado. Com recurso a certa tese tradicional da Filosofia da Mente, cremos ser possível explicar a seta do tempo sem abandonar o eternismo ou, em sentido inverso, abraçar o eternismo sem alienar a seta do tempo. A conciliação entre o fluxo dos eventos em nossa experiência com o estoque dos eventos temporais no bloco quadridimensional é o que expomos a seguir. O conflito entre a intuitividade dos dados da experiência e a contraintuitividade dos postulados da ciência – um dos principais pontos ressaltados nesta dissertação – é gerador de perturbação, mas isso, por si só, não invalida a tese científica e metafísica do tempo “especializado” (tempo ontológico ou físico).

Na conversa com Carnap citada acima (subseção 3.5.4), Einstein mesmo indicou que essa explicação deveria ser buscada fora da Física. Nossa suspeita é a de que a explicação deve estar nos terrenos da Fenomenologia e da Filosofia da Mente – certamente fora da Ontologia. Carnap apontou nessa direção, ao avaliar que Einstein havia deixado de fazer distinção fundamental entre *conhecimento* e *experiência* (*apud* PESSOA JR., 2020a, p. 50). Segundo o positivista lógico, a ciência pode até esgotar teoricamente uma questão, mas, ainda assim, restará a possibilidade da “experiência emotiva humana comum” (*apud* PESSOA JR., *ibidem*).

Segundo Price (2011, p. 276), há duas maneiras de interpretar o fluxo do tempo que intuímos: (i) ele reflete a natureza do tempo (tese de *ontológica* ou *numênica*); ou (ii) ele consiste em puro aspecto da experiência humana (tese *fenomenológica* ou *fenomênica*). Na tese numênica, o dinamismo do tempo é explicado ontologicamente, de modo que o fluxo seria qualidade primária do tempo. Não é feito o discernimento entre os aspectos ontológico e fenomenológico do conceito de tempo: o tempo percebido e o tempo em si se confundem. Já na tese fenomênica, o fluxo do tempo constitui qualidade secundária. A experiência da passagem do tempo constitui modo de percepção da consciência, de caráter essencialmente fenomenológico, não redutível à ontologia. A passagem do tempo estaria, em outras palavras, atrelada ao aparelho perceptivo, sem correspondência na realidade física propriamente dita.

A explicação mais plausível para o fluxo de eventos constatado em nossa experiência, isto é, o tempo fenomenológico, é a de que nossas consciências se movem relativamente ao espaço-tempo. Para usar uma metáfora muito familiar a Einstein, podemos fazer analogia com o trem em deslocamento em relação aos trilhos. Quando o passageiro constata, de sua janela, o fluxo das árvores exteriores situadas ao longo dos trilhos, é mais natural e sensato pensar que tal fluxo reflete mera perspectiva do observador, ou, em outras palavras, consiste em qualidade secundária, derivada da percepção do movimento relativo do trem, e não qualidade primária das árvores. Sabemos, pelo princípio da relatividade, que não faz diferença, do ponto de vista

da Física, supor que o trem está em movimento em relação ao solo ou que o solo está em deslocamento em relação à locomotiva ao movimento dos trilhos. Não obstante, a Física permite afirmar que os dois sistemas de coordenadas diferem entre si pelo fato básico de que um está em movimento em relação ao outro. Essa diferença de natureza cinética é o que explica a percepção ordinária da sensação do fluxo das árvores. A fluidez é propriedade secundária, e não ontológica. Está na perspectiva, e não na coisa em si.

Aplicado à nossa temática atual, o exemplo sugere-nos que algo similar se passaria com o tempo. O *espaço-tempo quadridimensional* e a *consciência tridimensional* constituem dois sistemas distintos de coordenadas, em movimento relativo um ao outro. Essa é, em nosso entendimento, a melhor descrição do conceito amplo de “tempo”, pois permite conciliar duas qualidades temporais aparentemente contraditórias: o estoque/extensão parmenidiana e o fluxo heraclitiano. Abstraindo-se a perspectiva da consciência, não há dificuldade em conceber o tempo distendido. Tal solução conciliatória revelaria, então, o erro do senso comum em supor que o fluxo do tempo fosse propriedade primária e ontológica da realidade.

Não são poucos os físicos e os filósofos que adotam tal solução, em alguma medida, para formular sua teoria abrangente do tempo, englobadora da extensão e do fluxo. Abaixo, citamos trechos de quatro deles, sendo Weyl, Popper, Reichenbach e McCall, respectivamente:

O mundo objetivo simplesmente é, ele não acontece. Somente ao olhar de minha consciência, que sobe ao longo da linha de vida de meu corpo, é que uma seção desse mundo adquire vida como uma imagem fugaz no espaço que muda continuamente no tempo. (WEYL, 2021, p. 116 – vide, acima, subseção 3.5.1)

Nenhuma mudança ocorre no universo em bloco quadridimensional de Einstein. Tudo está ali exatamente como é, em seu locus quadridimensional; a mudança torna-se uma espécie de mudança “aparente”; é “apenas” o observador que, por assim dizer, desliza ao longo da sua linha de mundo e se torna sucessivamente consciente dos diferentes locais ao longo desta linha de mundo; isto é, de seu entorno espaço-temporal. (POPPER, 2002, p. 106)

Tudo acontece, segundo como se o fluxo do tempo, que ordena os eventos do mundo físico, passasse pela consciência humana e a obrigasse a se ajustar a essa ordem. (REICHENBACH, 2021, p. 1)

Quando então falamos “do presente”, apenas podemos querer dizer “o momento que estamos agora experimentando”, ou “o tempo simultâneo (em algum marco de referência) a algum evento físico que está atualmente entrando em nossa consciência”, ou coisa do tipo. (MCCALL, 1994, p. 28)

A tese de movimento relativo que acabamos de expor está assentada na premissa do *dualismo corpo-mente*, tese corrente na Filosofia da Mente desde, pelo menos, René Descartes (1596-1650), segundo a qual a consciência imaterial é irreduzível ao mundo material. Aplicado à Filosofia do Tempo, esse dualismo significa que a consciência é irreduzível ao mundo físico

(tese oposta ao reducionismo científicista ou fisicalista). Se nossos estados de consciência são externos ao universo em bloco 4D – e presumindo-se naturalmente que este abranja a totalidade do universo físico –, nossos estados de consciência devem eles mesmos ser não físicos, o que equivale à ideia cartesiana de que os estados conscientes são imateriais (DAINTON, 2011, p. 390). Do mesmo modo como a bola de boliche se distingue da pista, a consciência humana não compõe unidade ontológica com o substrato 4D. O *continuum* do espaço-tempo é como o palco onde os eventos têm lugar e no qual as consciências trafegariam em direção única. O espaço-tempo é o *medium* material ou o anteparo físico ao longo do qual se dá a jornada da consciência. Sobre o realismo de tal *medium*, afirma Barbour (1999, p. 155): “Einstein concebeu o espaço-tempo como real e como o recipiente de coisas materiais – campos e partículas”.

Como tivemos oportunidade de salientar no Capítulo 2, nossas consciências são estruturalmente tridimensionais e unidirecionais. Essa constatação tem aplicação aqui. O resultado fenomenológico do movimento relativo das consciências contra o universo em bloco estático 4D é que vemos o mundo em fatias 3D que se sucedem, como na exibição de um filme. A essa sequência chamamos ordinariamente de “passagem do tempo”. Aquilo que a consciência chama de “presente” não seria senão o ponto do espaço-tempo que, em dado instante, ela está percorrendo. Vale registrar esta interessante afirmação do físico inglês Paul Davies (1946-) (*apud* MCCALL, 1994, p. 20-21): “A Teoria da Relatividade deslocou o presente móvel, da superestrutura do universo para as mentes dos seres humanos, aonde ele pertence”.

Importante consequência do deslocamento apontado por Davies é a forma completamente nova pela qual o eternismo passou a compreender os eventos que chamamos futuros. Segundo o eternista, o futuro existe, ele apenas não é ainda conhecido (ou, em outras palavras, ele apenas não foi ainda experimentado). Como assinala Reichenbach (2021, p. 9), o fato de os eventos futuros serem desconhecidos não implica que sejam indeterminados. Talvez o futuro, argúi o filósofo, seja tão determinado quanto o passado; nesse caso, a diferença entre eles seria mera questão de conhecimento: o passado é conhecido; o futuro, desconhecido. Então, o *devoir* seria apenas nosso processo de aquisição gradual de conhecimento dos eventos futuros; e a assimetria do tempo, mera aparência. Essas observações permitem compreender a necessidade de distinguir entre *ciência* e *experiência* (ou entre *ontologia* e *fenomenologia*), distinção que Einstein, para Carnap (vide acima), teria deixado de estabelecer.

A tese do movimento da consciência no espaço-tempo é, segundo Dainton (2011, p. 389-390), “forma radical de dualismo psicofísico”, que distingue entre as realidades física e mental. Poderíamos alternativamente designá-lo como dualismo onto-fenomenológico.

Qualquer que seja a designação, o teórico do universo em bloco precisa se comprometer, em algum grau, com a tese dualista se quiser evitar a atitude de alguns eternistas, que, apegando-se exclusivamente à Física, refutam o fluxo temporal. Dessa forma, ele conseguirá preservar não só o caráter estático do bloco do universo, mas também o caráter dinâmico de nossa experiência. A adoção do dualismo *mente-corpo* ou *consciência-mundo físico* permite discernir dois aspectos qualitativos fundamentais do conceito ordinário de “tempo”: fluxo e estoque e, assim, conciliar a fenomenologia do tempo fluido com a ontologia do tempo estático-dimensional. De acordo com Dainton (2011, p. 391-392), muitos daqueles que rejeitam o modelo do universo em bloco o fazem por acreditar que o caráter dinâmico de nossa existência supostamente refletiria a natureza ontológica do tempo. Para eles, haveria um presente absoluto, em contínuo progresso ao futuro, ao qual corresponderia nossa percepção confinada ao agora.

A tese dualista do movimento relativo entre consciência e espaço-tempo permite, ainda, associar a ontologia eternista à Série-B de McTaggart, e não à sua homóloga Série-C. Como foi sublinhado acima, a Série-C está desprovida de vetor de direção, isto é, ela é “destemporalizada”; nesse sentido, não parece boa candidata para descrever nossa experiência particular da passagem do tempo: fluxo ininterrupto, irrefreável e irreversível (assimétrico). No caso do modelo do farol móvel, seria mais natural e concordante com o princípio físico da relatividade pensar no deslocamento do holofote não como o movimento absoluto único, válido para todo o universo, mas como o movimento particular de cada consciência, relativo a seu marco de referência. Nesse sentido, a tese do farol móvel poderia ser reduzida ao eternismo.

Quando se trata de explicar a tese dualista *consciência x espaço-tempo*, as metáforas vêm a calhar. Elas nos auxiliam a compreender a discrepância entre os aspectos ontológico e fenomenológico do tempo, superando a contraintuitividade da ideia de tempo “espacializado”. Uma das analogias que gostaríamos de usar é a dos produtos audiovisuais. O tempo físico pode ser comparado à bobina de filme ou ao carretel de *slides*, enquanto o tempo-percebido corresponderia à sucessão das cenas ou *slides*. Acompanhamos a trama cinematográfica de forma sequencial; a despeito disso, somos capazes de conceber a produção inteira, como rolo, de forma independente de suas fatias: as cenas ou os *slides*. De forma limitada, porém, o presentista e o senso comum compreendem a história do mundo unicamente como sequência de cenas e supõem que o filme roda à mesma velocidade para todos— e em sessão única.

A segunda analogia do descompasso entre o tempo-estoque e o tempo-fluxo é a de um *Long-Play* (LP) rodando na vitrola. Se o tempo ontológico se compara às faixas do disco, o tempo fenomenológico corresponde à agulha, que lê o *continuum* do LP ponto a ponto, à medida

que este é posto em rotação (ou, como o princípio da relatividade autoriza afirmar, à medida que a agulha percorre o disco). A terceira e última analogia, também extraída da vida cotidiana, coincide com a ilustração, acima, do passageiro que observa a paisagem. O fluxo do tempo pode ser comparado à experiência de dirigir em uma rodovia: percebemos o *continuum* espacial da pista como fluxo, de ponto a ponto. O motorista não experimenta o trajeto inteiro de forma concomitante, pois o percorre por fatias. A despeito desse fluxo, podemos pensar na estrada e no trajeto em sua inteireza, abstraídos do movimento do automóvel. A limitação da experiência do motorista, de percorrer a rodovia de modo gradual, não torna ontologicamente menos reais os trechos já percorridos e aqueles ainda não transitados. Do ponto de vista ontológico, podemos afirmar que o trecho percorrido desde a partida e o trecho a percorrer até o destino são tão reais quanto a porção da pista que percebemos no instante dito *presente*. O tempo “especializado”, descrito na Física, corresponde à rota completa. Para apreendê-lo, é preciso abstrair o movimento de nossa consciência ao longo do espaço-tempo. Por meio dessa abstração, conseguimos facilmente vislumbrar, como indicaram filósofos como Weyl, McCall e Popper, que o momento chamado de “presente” não é senão o trecho da pista sendo experimentado pelo motorista naquele instante; “passado”, os trechos percorridos; e “futuro”, os trechos a percorrer.

A cinemática da consciência que acabamos de expor remete à dicotomia filosófica existente entre, de um lado, o *tempo realista ou objetivo* e, de outro, o *tempo fenomenológico, psicológico ou subjetivo*. Não é nosso objetivo investigar tal dicotomia em profundidade, mas apenas mencioná-la em brevidade. Pessoa Jr. (2020a, p. 47) salienta que, para os físicos, o tempo é considerado grandeza real da Natureza “que existe de maneira independente de sujeitos conscientes” (abordagem realista do tempo). Nessa concepção científica, o tempo físico ou natural é anterior à consciência e existe de maneira independente do ser humano. Na Filosofia, entretanto, a noção difundida é oposta: a de que o tempo dependeria do sujeito do conhecimento. Segundo Pessoa Jr. (2020a), a epistemologia kantiana é o exemplo emblemático dessa concepção filosófica. Para Immanuel Kant (1724-1804), o tempo e o espaço são *formas da sensibilidade*, pelas quais “o sujeito formata, organiza ou constrói os dados dos sentidos” (*apud* PESSOA JR., *Ibidem*). Os filósofos fenomenistas ou transcendentais, como Kant, dão prioridade epistemológica ao tempo psicológico, pois é a ele que temos acesso como forma da sensibilidade. Nesse sentido, o tempo físico pertenceria à dimensão numênica, não acessível. O conhecimento do mundo empírico seria adquirido de maneira mediata, ou seja, é produto da filtragem que o sujeito faz da realidade através de seu aparato sensível. A perspectiva fenomenista rejeita a tese de que o tempo físico, adotado em teorias como a da Relatividade,

seja anterior e mais fundamental do que o tempo psicológico ou o tempo do sujeito “transcendental”. Segundo Pessoa Jr. (2020a, p. 47), tal concepção aparece em Bergson.

Creemos, não obstante, que é necessário distinguir entre *tempo fenomenológico* e *tempo psicológico* ou *subjetivo*. Esses conceitos não se confundem, assim como a Fenomenologia e a Psicologia se distinguem. Na cinemática da consciência exposta aqui, o movimento relativo sobre o espaço-tempo em certa direção é traço universal (transcendental) de todas as consciências, não sujeita aos particularismos e peculiaridades da percepção individual e subjetiva. Nesse sentido, devemos notar que se trata de característica de natureza *fenomenológica*, e não puramente *subjetiva* e *psicológica*. Preferimos reservar as expressões *tempo subjetivo* e *tempo psicológico* – sinônimas para nós – para denominar as percepções de passagem do tempo do ponto de vista puramente psicológico, suscetíveis a amplas variações subjetivas, relativas a cada indivíduo e a cada circunstância. Sabemos, por experiência cotidiana, que cinco minutos com dor de cabeça, ou tomando chuva, parecem durar muito mais do que cinco minutos exercendo uma atividade de lazer.

Outro aspecto de nossa temática igualmente importante de ser ressaltado diz respeito à afirmação mezinha de que a Física Relativística levaria à conclusão de que “o tempo é uma ilusão”. Essa não é, a nosso ver, a maneira correta de abordar o problema. Tal questão envolve forte componente conceitual e verbal que merece ponderação analítica. O primeiro aspecto a observar é que o termo “tempo” na citada oração é usado implicitamente com a acepção específica de “fluxo do tempo”. Se quisermos tornar a afirmação mais precisa, devemos reformulá-la para algo como “a passagem do tempo é uma ilusão”.

A análise supõe, como precaução indispensável, fazer a distinção fundamental entre o discurso da ciência e o discurso da experiência, isto é, discernir as análises ontológica e fenomenológica. Da perspectiva da Ciência e da Ontologia, o fluxo do tempo pode ser visto como “ilusão”, pois fisicamente o tempo é dimensão estática, tal como o comprimento, a largura e a profundidade no espaço: ele não está efetivamente fluindo; é apenas a avenida onde trafegam as consciências. Quem flui, como um rio, são as próprias consciências. Para a Fenomenologia, porém, o fluxo do tempo não pode ser ilusório. Ao contrário, é realidade incontestável para as consciências. Para estas, algo está de fato fluindo, como resultado do movimento relativo sobre o espaço-tempo. Não há fantasia na experiência de sucessão. Assevera Ismael (2021, p. 92): “Não há nada de ilusório na experiência da passagem do tempo ou do fluxo [...]. O ciclo contínuo de prever, experimentar e recordar eventos é perfeitamente real”.

Sendo assim, como deveríamos responder à questão “O tempo é uma ilusão?”. Cremos que a resposta deve ser “depende do enfoque filosófico”. Do ponto de vista estritamente físico e ontológico, a afirmação seria “sim”, pois o “tempo” nessa acepção se refere à quarta dimensão estática. Do ponto de vista fenomenológico, a resposta deve ser inequivocamente “não”, porque “tempo” nessa segunda acepção se refere à experiência da consciência, que de fato registra sucessão de eventos. Em uma terceira acepção, quantitativa, em que “tempo” significa decurso ou duração entre dois eventos, a resposta, como no segundo caso, também deve ser negativa, pois a métrica do tempo é não apenas real, como também objetiva.

Trata-se, portanto, de dois enfoques muito distintos, e não mutuamente excludentes: o da Física do Tempo, costumeiramente contraintuitivo e gerador de perplexidade, que nos vem pela razão científica empiricamente atestada; e o da Fenomenologia do Tempo, intuitivo, que nos vem pelos sentidos (também amparado pela verificação empírica). Entre as duas abordagens há profundo hiato, que remete ao que é assinalado por Eddington na introdução às palestras ministradas em 1927 na Universidade de Edimburgo.⁵¹ O astrofísico fala de duas mesas em uma: a da ciência e a do dia-a-dia (EDDINGTON, 2020, p. x). Trata-se do mesmo objeto, mas as duas descrições que dele se fazem não compartilham nada em comum, a ponto de termos a impressão de que o cientista e o “homem na rua” estão falando de duas coisas absolutamente distintas. Como pondera Eddington (*ibidem*), elas são, em certa medida, “coisas” realmente diferentes: a mesa científica é, praticamente, um espaço vazio, com elétrons esparsos; a mesa familiar do cotidiano é sólida. Trata-se de duas abordagens distintas sobre o mesmo referente: o científico ou simbólico e o familiar; dois conceitos do mesmo léxico “mesa”. Dicotomia muito similar à do astrofísico é estabelecida, três décadas mais tarde, por Sellars (1991). O filósofo americano apresenta o conflito irreconciliável entre o mundo descrito pela ciência, que ele chama de *imagem científica*, e o mundo que aparece a nós, ou *imagem manifesta*. Analogamente, quando analisamos o conceito do “tempo” e fazemos distinção filosófica entre *ontologia* e *fenomenologia*, temos em mente algo muito semelhante aos contrastes estabelecidos por Eddington e Sellars, bem como à dicotomia de Carnap entre *conhecimento* e *experiência* (subseção 3.5.7, acima). Não propomos, entretanto, nenhuma hierarquia entre essas duas dimensões. Apenas acentuamos a necessidade de discerni-las.

O caso do tempo mostra-nos que os dois níveis de análise – ontológico e fenomenológico – podem conviver e ser harmonizados, com vistas a formar compreensão

⁵¹ *Gifford Lectures* (EDDINGTON, 2020).

ampla do conceito, que inclua tanto o aspecto “especializado” proveniente da Física Relativística, quanto o aspecto intuitivo e perceptivo proveniente da Filosofia da Mente. Esse discernimento da natureza do tempo permite distinguir entre os tempos fenomenológico, psicológico e subjetivo (tempo fluido e não dimensional) e o tempo ontológico, físico e objetivo (tempo estático e “especializado”). Não propomos hierarquizá-los. Descrever o tempo como realidade dinâmica faz todo o sentido do ponto de vista fenomenológico e psicológico, mas devemos lembrar que o conceito de “tempo” é multifacetado e também abrange a perspectiva física e ontológica. É verdade que, como afirma o presentista Zimmerman (2011, p. 222), os eternistas explicam o tempo com o respaldo de teorias físicas indiferentes à distinção entre presente-passado-futuro. Porém, não seria correto presumir daí que essa distinção não possa ser feita recorrendo a áreas fora da Física, como a Fenomenologia e a Filosofia da Mente.

Ainda deve ser salientado que a ideia ambígua e confusa de que “a passagem do tempo é uma ilusão” está associada, a nosso ver, à má leitura que com frequência é feita do trecho final da carta, anteriormente citada, de Einstein aos filhos do falecido amigo Besso (vide subseção 3.5.6, acima). Ao contrário do que muitos apregoam, o físico jamais afirma aí que “o tempo é uma ilusão” ou que “o fluxo do tempo é uma ilusão”. O que ele considerou ilusória é a pretensão de dar objetividade às propriedades “passado”, “presente” e “futuro”, isto é, de distinguir os eventos, de modo objetivo e absoluto, entre passado, presente e futuro. E não podia ser diferente, pois a conclusão decorre da Teoria Especial, como reiteramos neste trabalho.

Pelas razões expostas, é recomendável ao físico relativístico e ao metafísico eternista que sejam precavidos, de forma a evitar o uso indiscriminado da ambígua expressão “ilusão do tempo”. Seu uso deve vir acompanhado de esclarecimento. A tentação em decretar o “fim do fluxo do tempo” pode estar na origem das crenças religiosas e das filosofias que defendem a “irrealidade do tempo”, como o idealismo de McTaggart.

A recorrência da doutrina da irrealidade do tempo é, de fato, significativa, como a própria Escola de Eleia já nos havia exemplificado (subseção 3.5.1, acima); contudo, parece-nos que falta a essas teorias idealistas e negativas do tempo a distinção analítica fundamental entre ciência e experiência, proposta por Carnap, Eddington e Sellars (vide acima).

3.5.8 Entropia: principal desafio ao eternismo?

Neste trabalho, contentamo-nos com a constatação de que a seta do tempo está fora da alçada das leis da Física e que, portanto, o tempo ontológico é compatível com elas. Entretanto, a segunda lei da termodinâmica impõe especial dificuldade para os eternistas e para os que

explicam o fluxo do tempo pela cinemática da consciência. Essa lei abriu um terreno peculiar no domínio da Física: o estudo da organização de certo número de indivíduos ou da desorganização do universo, que continuamente aumenta com o tempo (entropia). Segundo Eddington (2020), a entropia é a única indicação, conhecida no mundo simbólico da Ciência, de uma direção do Universo e da seta do tempo: à medida que a seguimos, encontramos quantidade cada vez maior do elemento aleatório no universo, o que indica que a seta aponta para o futuro; se o elemento aleatório decresce, então a seta aponta para o passado. Segundo Eddington (2020, p. 66-69), esse é um aspecto do tempo que o físico, às vezes, parece negligenciar. Ele observa a curiosidade de que a entropia, mesmo sendo vividamente reconhecida pela consciência e insistentemente confirmada por nossa faculdade de raciocínio (porque o reverso da seta tornaria o mundo sem sentido), não aparece em lugar nenhum na Física a não ser na segunda lei da termodinâmica. Nesse sentido, a segunda lei da termodinâmica prescreve que há uma seta no Universo: aquela que indica a direção do aumento progressivo do elemento aleatório no universo.

Nesse sentido, a entropia atesta que é possível encontrar uma direção do tempo no mapa quadridimensional “sem qualquer apelo místico à consciência” (EDDINGTON, 2020, p. 69). Nesse sentido, a seta do tempo poderia talvez consistir não em mera propriedade secundária, atribuída pela consciência em seu movimento contra o *continuum* estático do espaço-tempo (“cinemática da consciência”), e sim em uma propriedade primária do mundo físico. O “devir” de nossa experiência estaria relacionado com o fato de que a estrutura da Natureza embute uma mão única, da qual a mente estaria plenamente ciente e que seria corretamente apreensível por esta como “passagem do tempo”. Assim, a segunda lei termodinâmica, ao salientar a assimetria fundamental do tempo, vetaria a analogia da quarta dimensão do espaço, em oposição à ideia eternista do tempo estático e “espacializado”.

Possível saída para o problema está na distinção conceitual feita por Feynman (2012, p. 94 e 122) entre as *leis físicas* – que descrevem como as coisas do Universo evoluem a partir de determinadas condições com caráter de universalidade – e as leis ou *enunciados sobre o estado do Universo no passado*. O físico laureado com o Prêmio Nobel em 1965 assinala que a assimetria no tempo sugerida pela entropia está “fora do domínio do que normalmente chamamos leis físicas”. A desorganização do Universo objeto da segunda lei da termodinâmica constitui, para Feynman (2012), mera *história astronômica* ou *cosmológica* que “algum dia talvez venha a fazer parte das leis da física”. Outra interessante distinção conceitual, a partir da qual se poderia refletir sobre a aparente incompatibilidade entre o eternismo e a entropia, é

encontrada em Eddington (2020, p. 75). O astrônomo distingue entre as *leis primárias* da Física, que são aquelas que vetam certas coisas no mundo por serem *impossíveis*, e as *leis secundárias*, que vetam certas coisas por serem *improváveis*. As primeiras são indiferentes à direção do tempo. A segunda lei da termodinâmica seria exemplo emblemático do segundo tipo.

A possível acomodação da entropia nas meras categorias de enunciado cosmológico ou de lei secundária poderia ser explorada, de alguma forma, pela teoria ontológica do universo em bloco e pela teoria fenomenológica da cinemática da consciência a seu favor, de modo a eliminar possíveis inconvenientes à plena aceitação dessas duas teses.

3.6 Ontologia da persistência

Na última Seção, apresentamos o debate sobre a impossibilidade na Física de distinguir os eventos entre passados, presentes e futuros de modo absoluto e objetivo. Também expusemos a discussão ontológica, associada ao primeiro, sobre a existência e a materialidade dos eventos considerados *não presentes*. Nesta Seção, nosso objetivo é discorrer sobre o segundo debate ontológico da Filosofia do Tempo relacionado com a Física Relativística. As duas questões, embora conexas, distinguem-se: na primeira, discute-se se a percebida passagem do tempo tem implicação sobre a existência dos eventos (*ontologia dos eventos temporais*); na outra, como é a estrutura dos corpos incorporando-se a quarta dimensão (*ontologia da persistência*).

Afirmar que os corpos físicos *persistem*, preservando sua identidade, a despeito das mudanças sofridas ao longo do tempo, é uma obviedade. Com a exceção de nanopartículas que possam eventualmente existir apenas por instantes infinitesimais, quaisquer objetos de nosso conhecimento, como átomos e moléculas, ou de nossa experiência, como plantas, animais, pessoas, montanhas e construções, podem ser qualificados como “persistentes”. Como nota Balashov (2010, p. 11), o que é controvertido, porém, é a questão sobre de que forma esses objetos persistem no tempo e como, sobrevivendo à mudança, permanecem idênticos. Trata-se de questão típica da Filosofia, de interesse particular da Ontologia.

Apesar de a Teoria da Relatividade ter surgido já no início do século XX, o debate sistemático sobre a persistência dos objetos no tempo é relativamente recente na Metafísica. Até cinco décadas atrás, poucos filósofos reconheciam a importância da discussão. Para essa questão filosófica, concorrem duas respostas principais, que serão detalhadas nas próximas duas

subseções: a tese padrão e intuitiva conhecida como *endurantismo*; e a tese revisionista chamada *perdurantismo*, cujo apelo está ligado ao advento da Física Relativística.⁵²

Não incluiremos em nossa discussão sobre persistência um terceiro modelo ontológico, de caráter híbrido, convencionalmente denominado na literatura de *exdurantismo*, ou *teoria dos estágios* ou *das fases* (“*stage view theory*”). A razão é que consideramos a tese exdurantista uma tentativa forçada de combinar o fluxo do *endurantismo* com o estoque do *perdurantismo*, por meio de formulação bastante confusa, que recorre ao conceito obscuro de “ex-durar”.⁵³ A nosso ver, solução muito mais econômica, inteligível e coerente para o descompasso entre o quadridimensionalismo ontológico e o tridimensionalismo fenomenológico pode ser encontrada na proposta da “cinemática da consciência”, que expusemos na subseção 3.6.7, acima. De cunho fenomenológico, a proposta baseia-se, como vimos, no dualismo mente-corpo, que presume o realismo físico do espaço-tempo e a imaterialidade das consciências individuais, essas em movimento em relação àquele (as consciências são unidades imateriais que percorrem, em mão única, as regiões do espaço-tempo ocupadas pelos respectivos corpos).

3.6.1 *Perdurantismo: partes temporais*

Os metafísicos contemporâneos notaram o descompasso existente entre, de um lado, a representação ordinária das coisas como sólidos 3D e, de outro, o mundo físico 4D de Minkowski e Einstein. Perceberam que, no espaço-tempo, a descrição de um corpo não podia ficar restrita às três dimensões espaciais, mas deveria abranger a quarta dimensão, como diz Balashov (2010, p. 42): “Em nossa interpretação, a Teoria da Relatividade não deixa dúvida de que todo corpo real se estende por quatro dimensões: comprimento, largura, altura e duração”.

Assim, firmou-se na Metafísica a tese segundo a qual os objetos físicos têm extensão não somente espacial, mas também temporal. Em outras palavras, os corpos compõem-se de *partes temporais*, tanto quanto de *partes espaciais*. Ao afirmar que todo objeto tem uma parte temporal que subsiste em cada momento de sua existência, essa teoria busca sintonizar o discurso ontológico sobre os entes materiais com a descrição da Natureza dada pela Física

⁵² Neste trabalho, limitar-nos-emos a expor o *perdurantismo* à luz da Física Relativística. Não será abordado o argumento metafísico e lógico das *propriedades intrínsecas temporárias* (“*temporary intrinsics*”).

⁵³ Para Balashov (2010), a diferença entre *perduração* e *exduração* é puramente semântica, e não ontológica, pois ambas aceitam estágios materiais instantâneos, bem como seus agregados temporais; mas a diferença “meramente semântica” é, para ele, suficiente para justificar a distinção. Sider (1997) reconhece que o *exdurantismo* é versão idiossincrática do quadridimensionalismo, em oposição ao *perdurantismo*, que seria a versão ortodoxa. A nosso ver, o *exdurantismo* difere do *perdurantismo* pelo simples fato psicológico de não estarmos habituados com as partes passadas e futuras. A distinção não seria mais do que familiaridade com instantes não presentes.

Relativística. De caráter revisionista, a tese é mais conhecida hoje como *perdurantismo*, mas também pode ser encontrada sob a designação de *teoria das partes temporais*, visto que o objeto persistente equivale à soma de todas as suas fatias no tempo, além de suas partes no espaço.

Alguns autores, como Sider (1997 e 2001), preferem *quadridimensionalismo*. Na definição estrita desse autor, o termo significa a tese de que “cada objeto espaço-temporal tem uma parte temporal em cada momento em que existe” (SIDER, 1997). Trata-se de “uma ontologia do mundo material segundo a qual os objetos são dotados de partes temporais, assim como de partes espaciais” (SIDER, 2001, p. xiii). A nosso ver, tais formulações parecem-nos justas como definições de perdurantismo, mas restritas, tendo em vista nossa aceção ampla de “quadridimensionalismo”. O metafísico americano reconhece-o (SIDER, 1997, p. 10-11):

Meu quadridimensionalismo deve ser contrastado com outras doutrinas que às vezes respondem pelo mesmo nome. Alguns podem usar o termo para designar a visão de que o tempo é uma “quarta dimensão”, análoga em vários aspectos às dimensões espaciais; meu uso é mais estrito e diz respeito a apenas uma analogia entre o tempo e o espaço, relativa à persistência e à propriedade de parte.

Na discussão conceitual exposta na Seção 3.5, indicamos nossa opção por definição de “quadridimensionalismo” que abranja todas as concepções da existência baseadas no espaço-tempo minkowskiano quadridimensional, no qual as dimensões do tempo e do espaço estão fundidas, não sendo possível identificar uma fatia especial do “presente”. Estamos cientes, contudo, de que a literatura metafísica registra, no mais das vezes, usos mais estritos que o nosso: na ontologia da persistência, como *negação do endurantismo* (terminologia de Sider); ou na ontologia dos eventos temporais, como *negação do presentismo* (terminologia de Rea).

Para o perdurantista, a persistência no tempo compara-se à extensão espacial. Da mesma forma como uma estrada possui partes nas regiões que ocupa no espaço, um objeto persistente no tempo possui partes temporais nas regiões que ocupa no espaço-tempo. Para cada modo de dividir a região do espaço-tempo ocupado por certo objeto, há uma maneira correspondente de dividir tal objeto em partes que ocupam exatamente aquelas regiões do espaço-tempo. Assim, o período de vida de um objeto x seria o conjunto de instantes- t nos quais x existe, e uma “parte temporal” de x significa uma fotografia 3D de x em dado instante- t (SIDER, 1997, p. 7 e 10).

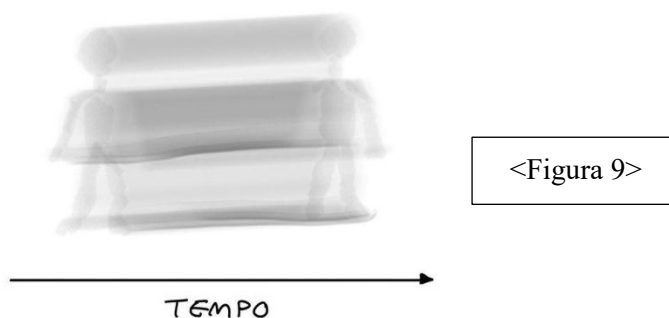
Essa ideia opõe-se à visão tridimensionalista de que as coisas estão totalmente presentes em cada instante do tempo. Com efeito, a opinião ordinária ou padrão (*default*) pensa nos entes físicos de modo 3D, isto é, como partes espaciais estendidas em três direções perpendiculares: comprimento, largura e profundidade. Para o perdurantismo, o *locus* ou o “espaço” ocupado por qualquer objeto não é simplesmente seu volume espacial 3D (sólido), mas seu volume

espácio-temporal 4D, isto é, uma região do mundo hipersólido. A totalidade do corpo seria sua trajetória no espaço-tempo, e aquilo que intuitivamente julgamos ser seu todo – o conjunto das partes espaciais – não passaria de uma fatia, isto é, o conjunto espacial em único instante do tempo. Para captar a nova imagem do ente físico em sua inteireza, é preciso multiplicar a fatia 3D tantas vezes quantos forem os instantes da vida dele, seja um átomo, um grão de sal, uma pessoa ou um planeta. O resultado da compilação dessas fatias é o ser em sua totalidade.

A tese perdurantista de que os seres se compõem de partes temporais é naturalmente compreensível no caso de conceitos abstratos relacionados a eventos essencialmente temporais, que supõem duração no tempo. Assim, por exemplo, cada *set* em um jogo de vôlei é uma parte temporal da “partida”, como a cerimônia e a recepção são partes temporais do “casamento” (MCGRATH, 2007, p. 230). A aplicação do perdurantismo na Metafísica não se restringe, contudo, a esse tipo de eventos continuados e duradouros, mas também diz respeito a coisas concretas, como os objetos 3D familiares para nós. Aí começa a dificuldade de aceitar a teoria.

Gamow (1988, p. 73) fala sobre a visualização de um objeto no espaço-tempo:

Pense em você mesmo como uma figura 4D, como uma barra de borracha comprida estendendo-se desde o nascimento até o fim de sua vida natural. Infelizmente, não podemos desenhar objetos 4D em um papel, então temos de nos contentar com uma figura plana que possa, ao menos, sugerir essa ideia ontológica 4D. Pensemos em alguém como mera sombra bidimensional, porém se estendendo em uma direção espacial perpendicular ao plano 2D em que ela vive. A figura representará apenas curta seção da inteira duração da vida dessa pessoa-sombra. (GAMOW, 1988, p. 71)



A ideia de que os seres se seccionam em partes temporais rendeu à visão perdurantista a designação coloquial e metafórica, em inglês, de *worm view*. Por estarem distendidos na quarta dimensão, todos os corpos seriam como um animal alongado ou estirado, como uma “centopeia do espaço-tempo” (Figura 9, acima). Eis o que diz Eddington (2020, p. 42):

Aqui estou eu – uma espécie de minhoca quadridimensional. É um retrato correto. Tenho uma extensão considerável em direção ao Passado e presumivelmente em direção ao Futuro, e apenas uma extensão moderada em direção ao Alhures. O “eu instantâneo”, ou seja, eu mesmo neste instante, coincide com o evento Aqui-Agora.

A doutrina das partes temporais já era encontrada na forma de literatura ficcional desde, pelo menos, o fim do século XIX. Aparece, por exemplo, com todas as letras, no romance *A Máquina do Tempo* (“*Time Machine*”), do escritor inglês H. G. Wells, que citamos na epígrafe deste capítulo. Esta outra passagem também vale ser citada (*apud* MOURÃO, 1997, p. 40):

Não há dúvida de que todo corpo real deve estender-se por quatro dimensões: deve ter comprimento, largura, altura e... duração. Mas por imperfeição da carne [...], somos inclinados a desprezar esse fato. Há realmente quatro dimensões, três das quais são chamadas os três planos do Espaço, e uma quarta, do Tempo. Existe, no entanto, tendência a estabelecer distinção irreal entre aquelas três dimensões e a última, porque acontece de nossa consciência se mover continuamente em uma só direção ao longo do Tempo, do princípio ao fim de nossas vidas.

Apesar da anterioridade da ideia em relação ao aparecimento da Teoria da Relatividade (1905) e à palestra de Minkowski em Colônia (1908), somente com o advento da Física Relativística é que a teoria das partes temporais deixou de ser mera hipótese extravagante para ser levada a sério como descrição física. Desde então, podemos dizer, com convicção científica, e não mera diversão ficcional, que as pessoas têm não apenas partes familiares como braços e pernas, mas partes como você-no-berço e você-no-jardim-de-infância (MCGRATH, 2007).

Pode-se aliás, discutir se a questão é de natureza científica ou filosófica (física ou metafísica). Sider (2001, p. xiv) acredita que a teoria das partes temporais é uma das questões que a ciência deixa em aberto. Para o metafísico americano, a tese perdurantista, embora ser compatível com a Teoria da Relatividade, não pode ser estritamente qualificada como tese científica. Sua opinião é razoável, pois Einstein, até onde sabemos, não se pronunciou sobre a questão de modo inequívoco. Não obstante, antes de se tornar objeto de debate sistemático da Metafísica décadas mais tarde, o perdurantismo já era reconhecido por cientistas renomados como decorrência lógica da Teoria da Relatividade. Talvez seja apropriado qualificar o perdurantismo, assim como o eternismo, como tese “estritamente científica”, mas não há dúvida de que ambas as teorias são logicamente derivadas da Física Relativística (isto é, *corolários*); nesse sentido, é igualmente inadequado descrevê-las como “puramente metafísicas”.

Um dos cientistas renomados que assumem seu compromisso com a teoria das partes temporais, sem o pudor característico do debate metafísico, é o astrofísico Arthur Eddington (2020). Vale transcrever trecho, de 1927, em que o popularizador da Relatividade e pioneiro na verificação empírica da Teoria defende abertamente a descrição perdurantista dos objetos como a mais fiel à Relatividade, contra a suposição corriqueira de que ela não passaria de abstração:

Quando me descrevi como um animal alongado, vocês ficaram surpresos de eu ter incluído nessa representação minha infância e minha velhice. Contudo, pensar em um homem sem sua duração no tempo é tão abstrato quanto pensar em um homem sem seu interior. Os animais alongados quadridimensionais parecem, para muitas

peças, extremamente abstratos. Mas não são; esses conceitos podem ser estranhos, mas não são abstratos. O seccionamento do animal alongado (o homem do Agora) é que é uma abstração. O homem não abstrato que [per]dura⁵⁴ no tempo é a fonte de inspiração comum para as diferentes abstrações feitas. (EDDINGTON, 2020, p. 53)

É compreensível que a descrição perdurantista dos objetos – como a descrição eternista dos eventos – pareça extravagante à primeira vista. Como afirma Eddington (2020, p. 47), estamos acostumados a pensar o mundo de modo estratificado, isto é, como sucessão de estados instantâneos. Mas o astrofísico assevera que, se quisermos compreender o “mecanismo real do mundo físico”, é preciso eliminar de nossa mente a “ilusão da estratificação” (*Ibidem*). Eddington distingue, aliás, entre *familiaridade* e *simplicidade*. Para ele, a concepção estratificada do mundo pode ser mais familiar, mas o mundo revelado pela Física Relativística, embora estranho, é muito mais simples: “um porco pode ser mais familiar para nós se estiver fatiado, mas o porco não estratificado é um objeto mais simples para o biólogo que deseja entender como o animal funciona” (EDDINGTON, 2020, p. 47).

Para superar qualquer resquício de dificuldade na visualização do mundo da lente do perdurantismo, são úteis duas analogias, ambas oferecidas na coletânea de ensaios de 1909 sobre a teoria espacial da quarta dimensão (MANNING, 2005a). A primeira é a eloquente ilustração oferecida por Acklom (2005, p. 141) do crescimento de um fruto em todo seu ciclo de vida (a qual não transcrevemos por questão de economia textual). A segunda ilustração do perdurantismo, por Johnston (2005, p. 189-190), é ainda mais familiar, pois recorre à analogia com geometria de dimensões inferiores conhecidas por nós. Parodiamo-la a seguir: imaginemos, primeiro, um espaço bidimensional, como a superfície de água; tomemos, então, um cone com a ponta virada para baixo e o mergulhemos na água aos poucos. O que os hipotéticos habitantes da superfície veriam? Primeiro, quando só a ponta do cone toca a água, veriam um ponto. Então, à medida que o cone imerge, o ponto torna-se um círculo cujo raio se expande aos poucos até que a última seção do cone fica imersa. Afundamos o cone um pouco mais, e ele subitamente desaparece da vista das criaturas bidimensionais. O observador 2D somente poderia conceber o cone 3D como fluxo, e sua concepção seria desse modo: um ponto, sucedido no tempo por círculos cada vez maiores, até que tudo some. No caso de uma hiperesfera (como o melão da ilustração anterior, distendido no espaço-tempo), seu raio R passaria através de nosso espaço; e a hiperesfera 4D apareceria como esfera 3D, cujo raio gradualmente aumenta de 0 a R e então diminui de R a 0.

⁵⁴ Eddington usa o verbo “*endure*” (durar); mas, em seu tempo, ainda não era feita a distinção entre “*enduring*” e “*perduring*”. Na passagem do astrofísico, o verbo é usado com o significado do termo técnico atual “perdurar”.

Do mesmo modo, só podemos perceber o mundo 4D como sequência de formas tridimensionais em sucessão no tempo, como o fluxo de cenas de um filme. Uma hipotética consciência privilegiada que contemplasse esse mundo de fora perceberia não um escoamento, mas um sólido contínuo, como a bobina do filme ou o cone. A experiência ordinária 3D, como fluxo, pode ser traduzida para o mundo 4D como estoque, isto é, como coleção de fatias da realidade, de modo *cumulativo*, e não *sucessivo* – como sem esforço compreendemos que círculos 2D se compilam para formar um cilindro 3D (e as esferas 3D, para formar hiperesfera 4D). As fases da vida de uma pessoa – a criança, o adolescente, o adulto e o idoso – são partes temporais do ser total estendido quadridimensionalmente.

McGrath (2007, p. 730) observa que o perdurantismo está sujeito a interpretações banais. Uma afirmação como “minha parte temporal de hoje é um adulto de 80kg, mas minha parte temporal em 1976 era um bebê de 2kg” poderia ser entendida como outra maneira de dizer “atualmente, sou adulto e pesado, mas, 48 anos atrás, era jovem e leve”. As duas formas transmitem a mesma informação; mas o perdurantismo quer dizer muito mais do que isso; suas implicações são ontológicas e podem ser exemplificadas nestes dois enunciados: “ambas as partes temporais são igualmente existentes”; e “meu eu completo é a soma de todas as minhas partes temporais”.

O perdurantismo tampouco deve ser confundido com o eternismo. Embora ambas sejam teses revisionistas na Metafísica e se fundamentem na Física Relativística,⁵⁵ oferecem dois enfoques distintos na Filosofia do Tempo. As duas teses estão estreitamente relacionadas, o que nos permitiria considerá-las teorias gêmeas ou mesmo faces da mesma moeda. Com efeito, se, como o eternista afirma, os eventos não presentes são tão reais quanto os presentes, então as versões antigas e futuras de um corpo são tão reais quanto sua versão 3D “atual”. E, se os objetos têm partes temporais, os eventos associados a elas no passado e no futuro são igualmente reais.

3.6.2 *Endurantismo*

Não faltam metafísicos relutantes a aceitar a analogia feita pelos perdurantistas entre a persistência no tempo e a extensão espacial. Alguns exemplos são Haslanger, Lowe, Mellor, Merricks, Rea e Zimmerman (CRISP, 2013, p. 215). Essa classe de filósofos subscreve a tese

⁵⁵ Balashov (2010, p. 14) cita quatro teses anfitriãs da Metafísica, nas respectivas subáreas: o *endurantismo* na Ontologia; o *presentismo* na Filosofia do Tempo; o *dualismo* na Filosofia da Mente; e o *platonismo* na Filosofia da Matemática. A elas opõem-se quatro teses visitantes ou revisionistas, respectivamente: o *perdurantismo*, o *eternismo*, o *materialismo* e o *nominalismo*. A nomenclatura é do autor.

conhecida como *endurantismo*, segundo a qual não existe extensão temporal no mesmo sentido da extensão espacial. Para os endurantistas, o eixo do tempo pode, no máximo, ser entendido como avenida onde os objetos trafegam, mas não estão distendidos nela como uma estrada.

Como vimos na subseção anterior, a teoria das partes temporais preconiza que os objetos persistem no tempo “perdurando” (*by perduring*), isto é, eles existem em múltiplos instantes “concomitantemente”, cada um correspondente a uma fatia temporal do todo 4D. Contra essa ideia, o endurantismo postula que os objetos persistem no tempo “durando” (*by enduring*), isto é, as coisas estão integralmente presentes (*wholly present*) em cada *instante-t* em que existem. Assim, as coisas existem tridimensionalmente em diferentes momentos, mas um por vez. A totalidade do objeto corresponde ao volume tridimensional que ele ocupa em certo instante do tempo. Uma possível formulação sucinta da tese endurantista é a seguinte: se x existe em um instante- t_n , então x está integralmente presente em t_n (SIDER, 1997, p. 12).

A rejeição do perdurantismo está associada à nossa tendência natural a “ontologizar” a distinção fenomenológica entre as três dimensões do espaço e a quarta dimensão. Como Wells já havia apontado no século XIX (*apud* MOURÃO, 1997, p. 40), nossa consciência move-se ao longo do tempo em uma direção, enquanto, nas demais dimensões, ela tem liberdade de ir e vir (e parar). A ontologia endurantista não é senão o modo pelo qual nossa consciência intui e compreende a realidade: como mundo 3D que contém os objetos e evolui, em bloco, de instante a instante, sobre o eixo do tempo t . Em outras palavras, a totalidade dos entes 3D flui de um instante a outro ao longo do eixo t (o tempo clássico desvinculado do espaço).

Em palestra na segunda década do século XX, Eddington (2020, p. 50-51) observou que, quando fechamos os olhos, sentimos como se “durássemos” ao longo do tempo, e não como se estivéssemos esticados na dimensão do tempo. Essa sensação contrasta com nossa percepção do espaço, que é sempre apreciado como algo externo e extenso. É tal característica fenomenológica que, segundo o astrofísico, torna o tempo tão peculiar e misterioso. A sucessão de fatias tridimensionais da realidade gera-nos a impressão de que a quarta dimensão é fluxo, e não estoque. Graças a seu acordo com a fenomenologia do tempo, o endurantismo goza do favorecimento da intuição e do senso comum. Isso lhe garante a vantagem de ser a tese anfitriã na ontologia da persistência, de modo que ao rival perdurantista é que recai o ônus de demonstrar a incompatibilidade do endurantismo com a Ciência.

O endurantismo não deve ser confundido com o presentismo, mas há evidentes semelhanças entre as duas ontologias, o que nos permite chamá-las de *teses gêmeas*. Em primeiro lugar, tal como o presentismo, o endurantismo supõe o mundo de nossa existência no

modo da Mecânica Clássica, isto é, como hiperplano da simultaneidade em movimento ao longo do eixo do tempo. Ambas as teses (endurantista e presentista) são tridimensionalistas, pois ainda estão apegadas ao modelo pré-relativístico de compreensão da existência como bloco 3D em evolução na quarta dimensão (na Seção 3.5, acima, fizemos análise conceitual de “tridimensionalismo”). A força intuitiva da sucessão levou endurantistas e presentistas a verem atributo ontológico nesse traço da percepção (ontologização do fluxo).

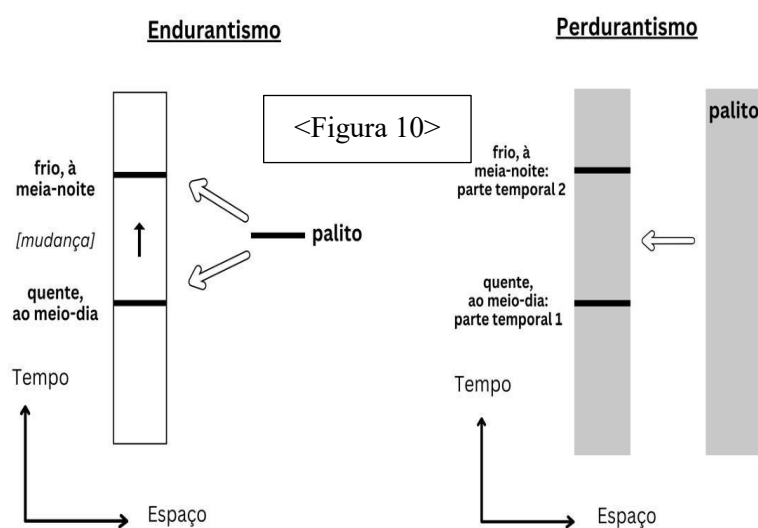
Em segundo lugar, como no presentismo, o endurantismo presume necessariamente a existência de um presente universal, objetivo e absoluto, porque as coisas inteiramente presentes em instantes-*t* não *existem* de forma isolada umas das outras, mas devem co-existir. Há um espaço tridimensional de convívio, em certo instante-*t*, cuja definição precisa concordar em todos os marcos de referência. Assim, a ontologia endurantista está assentada sobre conceitos temporalmente absolutos, e não apenas relativos ao observador: todos os entes compartilham o mesmo instante-*t*. De modo similar ou mesmo equivalente ao presentismo, o endurantismo supõe instante privilegiado e universal que contém tudo o que existe. Presume a laminação objetiva da realidade, capaz de definir o momento da existência comum, que demarca, para todos os objetos, a fronteira entre “o que já foi” e “o que ainda não é”.

Ora, sabemos que esse raciocínio absolutista está em franco conflito com a Física Relativística. Quando analisamos o presentismo (subseção 3.6.2, acima), explicamos reiteradamente a impossibilidade de fazer, no espaço-tempo minkowskiano-einsteiniano, demarcações absolutas e objetivas. O conceito de “agora absoluto”, da mesma forma como o “centro do universo” de Aristóteles, é *nonsense* para a Física Relativística. O instante que chamo de “agora” só faz sentido na localidade do espaço-tempo que ocupo no instante em que faço a indexação. “Não se pode presumir que um ‘agora’ exista simultaneamente para todos os outros pontos do universo” (GARDNER, 2019, p. 39). Apenas há horas locais. Um presentista que afirma que há um “agora” absoluto que lamina o universo de fora a fora incorre em equívoco semelhante ao da pessoa que presume que seu horário local se aplica a todos os habitantes da Terra. Para a refutação completa do endurantismo, remetemos o leitor aos argumentos expostos na subseção 3.6.4, aplicáveis à discussão. Como princípio de economicidade, cremos desnecessário e indesejável reproduzi-los aqui.

Vale igualmente para o endurantismo nossa argumentação propositiva de conciliação entre a ontologia do tempo e a fenomenologia do tempo, a qual denominamos de “cinemática da consciência” (subseção 3.6.7, acima). Price (2011, p. 306) salienta, a propósito, que o fluxo de eventos temporais captado pela consciência – elemento situado na base do modelo intuitivo

do endurantismo – deve ser explicado como qualidade secundária, por oposição à qualidade primária da dimensão ou extensão. O “dever” (a passagem do tempo) não é atributo intrínseco dos eventos físicos, mas qualidades atribuídas secundariamente pelas mentes (*mind-dependent*). A percepção dos eventos tridimensionais em certa ordem e em certa direção é explicada pelo movimento relativo das consciências no espaço-tempo quadridimensional. A propriedade de um evento físico ser “presente”, em dado instante t , não é atributo físico, objetivo, ontológico e intrínseco dele, mas qualificação atribuída de maneira secundária pela consciência do observador. O dualismo mente-corpo presumido na cinemática da consciência permite explicar a aparente contradição do fluxo percebido com o estoque perdurantista pela hipótese do movimento da consciência 3D ao longo do corpo físico estendido quadridimensionalmente.

As ilustrações abaixo (Figura 10) auxiliam a visualizar as diferenças entre as duas principais ontologias da persistência: endurantismo e perdurantismo. Ambas se inspiram nas representações de Balashov (2010, p. 15; e 2011, p. 19), que recorrem à analogia de um palito para representar o objeto descrito nos dois modelos, mas incorporam adaptações nossas. Para os *endurantistas*, o objeto está *multilocalizado* nas fatias 3D de seu percurso, cada uma correspondendo a um instante- t . O palito “dura” porque se localiza inteiramente em cada instante- t de seu trajeto da existência 3D clássica, isto é, em cada instante- t , encontra-se a totalidade do ente. Já para o perdurantista, o objeto está singularmente localizado na extensão completa de seu percurso. O objeto corresponde à carreira por inteiro, mas não a outras regiões do espaço-tempo minkowskiano. Ele “perdura” porque cada um de seus instantes- t são frações temporais que compõem o ser completo, agregado das partes. A fatia- t do instante presente não goza de caráter especial (o que reforça a estreita relação do perdurantismo com o eternismo).⁵⁶



⁵⁶ Segundo Balashov (2011, p. 17), o eternismo oferece ambiente amistoso para o perdurantismo e o exdurantismo.

3.6.3 O problema da mudança

O perdurantismo trouxe enfoque singular e interessante para a análise e a solução do *problema da mudança*, que os filósofos vêm debatendo desde tempos imemoriais. Trata-se, a propósito, segundo Popper (2002, p. 105), do problema central da escola eleática e de Demócrito na Grécia antiga, que consiste em explicar como uma coisa pode ter suas propriedades alteradas, mas, ao mesmo tempo, preservar sua identidade. As coisas mudam materialmente ao longo do tempo, por inteiro; apesar disso, não se distinguem de si mesmas (BALASHOV, 2011, p. 13). Como exemplo ilustrativo, basta pensar nas manutenções frequentes a que foi submetida a *Golden Gate Bridge*, em San Francisco. Ao longo de quase um século, todas as suas peças e partes foram trocadas, mas a ponte, a despeito disso, continua a ser identificada como sendo a mesma construída em 1933 e chamada pelo mesmo nome. No caso das criaturas biológicas, temos o hábito de atribuir identidade ao indivíduo, mesmo que, com o passar dos anos, sua base celular tenha sido completamente substituída. Os indivíduos e as pessoas são os mesmos, idênticos, embora seu corpo cresça e sua composição material se altere completamente. Por isso, a questão pode ser designada como o *problema da identidade*.

Questões sobre o tempo, o espaço, a identidade e a mudança são assíduas na Filosofia desde seus primórdios (HAWLEY, 2023). Para Popper (2002, 192), o problema, originalmente genérico, tornou-se, com Parmênides e Zenão de Eleia, questão fundamentalmente lógica: como uma coisa pode mudar sem perder sua identidade? E, se ela permanece a mesma, então ela não muda; mas, se perde sua identidade, então já não é a mesma coisa que mudou. Segundo Reichenbach (2021, p. 5), Parmênides argumentou que, se fosse admitido o “devir”, teríamos também de admitir que uma coisa poderia nascer do nada, o que o filósofo pré-socrático considerava logicamente impossível (*apud* REICHENBACH, 2021, p. 5). Zenão, sucessor de Parmênides na Escola eleática, forneceu-nos vários paradoxos famosos (como o da corrida entre Aquiles e uma tartaruga), que mostrariam a impossibilidade do movimento e o acerto da concepção de Parmênides de que o Ser é atemporal. Na corrida, Aquiles teria de percorrer infinito número de distâncias até alcançar a tartaruga, o que é impossível.

Não obstante, outra ilustração dos gregos é que acabou se tornando emblema dessa discussão. Segundo reza a lenda helênica – registrada por Plutarco, filósofo e historiador do primeiro século da era cristã –, os atenienses restauraram o navio supostamente utilizado pelo personagem mítico Teseu, de forma que todas as pranchas de madeira foram substituídas uma a uma, paulatinamente. Ao cabo do longo e gradual trabalho, ter-se-ia obtido uma embarcação idêntica à de Teseu, com exceção de sua composição. A ilustração tornou-se o mote para

questão controvertida entre os filósofos, de caráter lógico e ontológico, conhecida como o *Paradoxo de Teseu*. Ela pode ser formulada assim: a embarcação resultante da renovação pode ser identificada com o navio do rei mitológico, ou estaríamos falando de outra? Ou assim: apesar da completa renovação material, o navio de Teseu logrou preservar sua identidade?

Um milênio e meio depois, o experimento mental do navio de Teseu foi incrementado por Thomas Hobbes (1588-1679). O filósofo inglês supôs a situação em que os restauradores atenienses foram estocando as pranchas deterioradas, retiradas do navio original, e, com elas, construíram uma segunda embarcação. O enigma, nesse caso, é outro: qual dos dois navios poderia ser considerado o de Teseu? Como tentativas de solucionar o enigma, argumentos variados colecionam-se. Um deles aduz que a embarcação que se identifica com o navio de Teseu é a que mantém a *forma* original, apesar da substituição das tábuas. Outro postula que a embarcação idêntica mantém a matéria original. As propostas são interessantes, mas não demoram a se revelar problemáticas, tão logo se constata dificuldades conceituais sobre “forma” (tendo quiçá de apelar para as *causas formal e material* da metafísica aristotélica).

Nesse antigo debate mereológico, contribuição significativa emergiu com a revelação da Física Relativística de que o mundo é figura 4D indissolúvel e a inclusão da quarta dimensão na descrição dos entes físicos. A teoria das partes temporais candidata-se como solução dos paradoxos eleáticos sobre “entes coincidentes” e de outros enigmas mereológicos envolvendo a relação entre o todo e as partes (como a estátua e a argila que a constitui, ou o navio e as tábuas que a compõem). O perdurantismo dá explicação coerente a esses problemas.

Segundo Sider (2001, p. 152), não há mistério algum na coincidência de dois ou mais seres em um momento presente. Quando coincidem, não estão inteiramente presentes; o que há é sobreposição de segmentos temporais compartilhados. Basta pensar na sobreposição entre a estrada e seus trechos. O rastro de uma estátua no espaço-tempo, por exemplo, corresponderia a um “trecho” do período de vida da argila que serviu de insumo à escultura. Do mesmo modo, o experimento mental do navio de Teseu pode ser explicado pelo perdurantismo. Tomemos uma das tábuas originais da embarcação. Seu período de vida consiste em um rastro no espaço-tempo, desde o momento de sua confecção até o de sua destruição. Esse rastro sobrepõe-se parcialmente ao do navio, isto é, certo trecho da vida da madeira coincide com certo trecho da vida da embarcação. Desde o instante t_x (quando a tábua é incorporada ao casco do navio) até o instante t_y (momento posterior, em que é substituída por prancha mais nova), os dois entes coincidem naqueles trechos. Daí, bifurcam-se duas vias *perdurantes*: a do navio e a da tábua.

CONCLUSÃO

Esta dissertação discorreu sobre a inovadora compreensão do mundo físico que emergiu, no início do século XX, da Teoria da Relatividade, do físico Albert Einstein, e da Geometria do Espaço-Tempo, do matemático Hermann Minkowski. À luz das duas descobertas principais (a relatividade da simultaneidade e a fusão do espaço e do tempo em um *continuum* 4D), o trabalho investigou: a concepção quadridimensionalista da existência; a natureza do tempo; e duas discussões metafísicas contemporâneas (o estatuto ontológico de eventos passados e futuros e a persistência dos objetos físicos no tempo).

Mostramos como a Teoria Especial, ou Restrita, da Relatividade, de 1905, desencadeou um processo de reformulação do entendimento do tempo, que culminou, anos mais tarde, no remodelamento da representação do Universo, bem como na revisão do modo como devemos compreender os eventos não presentes e a extensão temporal dos corpos. As produções teóricas de Einstein e Minkowski, ambas do início do século XX, combinaram-se para fundar paradigma científico, reconhecido como um dos dois pilares da Física contemporânea, ao lado da Mecânica Quântica. A tal paradigma, fruto da união entre a Física e a Geometria, referimos-nos por *Física Relativística*, *Geometria Física do Espaço-Tempo* ou *Ontologia Quadridimensionalista*.

Esse paradigma, que se impõe há mais de 100 anos e é símbolo emblemático da respeitabilidade do conhecimento científico, exerceu influência determinante no pensamento metafísico contemporâneo, ao apontar novos rumos para os nichos da Filosofia do Tempo e da Ontologia temporal. As contribuições de Einstein e Minkowski propiciaram reflexões filosóficas inéditas sobre problemas ancestrais, que sempre intrigaram a mente humana, mas haviam permanecido obscuros por milênios, como a natureza do tempo e a preservação da identidade das coisas apesar das mudanças durante sua existência.

Antes de discorrer sobre as implicações ontológicas da nova visão do mundo físico, foi percorrido o caminho epistemológico que conecta a Eletrodinâmica e a Mecânica, no século XIX, à Teoria Geral da Relatividade e à Metafísica, no século XX. O trajeto serviu para mostrar as etapas de concepção da Física Relativística e seu encadeamento lógico até revolucionar nosso entendimento do espaço e do tempo e postular a nova representação geométrica do Universo. O método de fundamentação científica preliminar visou a assegurar que a discussão metafísica ao fim estivesse ancorada na Ciência que a inspira e fundamenta.

Ao revelar uma realidade contrastante com o mundo familiar do senso comum e da Mecânica Clássica, a Física Relativística desafiou intuições arraigadas a respeito da passagem

do tempo e das ideias de passado, presente e futuro. Nossa pesquisa identificou duas novidades contraintuitivas, objetos dos Capítulos 1 e 2, respectivamente: (i) a relativização da simultaneidade de dois eventos separados (Teoria Restrita da Relatividade); e (ii) a fusão do espaço e do tempo em um *continuum* quadridimensional (Geometria Física do Espaço-Tempo).

Ambas as novidades tiveram implicações revolucionárias. No primeiro caso, a revelação einsteiniana de que não faz sentido falar, de modo absoluto, na simultaneidade trouxe como consequência principal a impossibilidade de concordar, de modo objetivo, sobre o “presente”, a passagem do tempo e, por conseguinte, sobre o “passado” e o “futuro”. De acordo com a Teoria Especial, observadores medem intervalos diferentes entre dois eventos e constataam ordem distinta deles, da perspectiva mecânica. O exemplo dos eventos em Belo Horizonte e Alcântara, apresentado no último capítulo, ofereceu ilustração clara de como, da relatividade da simultaneidade, se pode derivar necessariamente a conclusão de que não há sentido falar no que acontece “agora” no mundo, simplesmente porque não é possível estabelecer acordo sobre o significado de “agora”. A relativização da simultaneidade (a ordem dos eventos), assim como da duração (o lapso temporal entre os eventos), trouxe a reboque a desabsolutização de outros conceitos temporais, como presente, passado, futuro e passagem do tempo.

Essa implicação contraintuitiva chocou o próprio Einstein. A Física Clássica sempre havia repousado sobre o postulado do *tempo absoluto*. Até 1905, presumia-se, de maneira inconsciente ou tácita, a concordância sobre o tempo em quaisquer sistemas de coordenadas e independentemente do marco de referência selecionado. Supunha-se que termos como “antes”, “agora” ou “depois” tinham, objetivamente, o mesmo valor e referência para todos os observadores, como se o Universo fosse dotado de um relógio cósmico. Guardadas as proporções, o raciocínio clássico era análogo ao de alguém que presumisse que há um “fuso horário da Terra” e que sua hora local equivalesse à de seu antípoda.

A Teoria Especial trouxe novo entendimento do tempo. O abandono da arraigada crença na natureza absoluta do presente foi semelhante ao abandono da crença na objetividade da relação de causalidade defendido por Hume no século XVIII. Ambos os postulados requereram esforço significativo de apreensão, por sua contraintuitividade. Ponderamos que o pai da Relatividade faz jus a ser incluído no grupo de pensadores, como Hume, críticos dos conceitos fundamentais da experiência.

A segunda novidade, a de Minkowski, também trouxe importante consequência metafísica. A revelação de que as três dimensões espaciais e a dimensão do tempo estavam entrelaçadas implicou a transição de uma concepção da existência *tridimensionalista* para uma

quadridimensionalista. Foi fundamental, em nosso trabalho, fazer esclarecimento geométrico e conceitual a respeito da questão, cuja análise envolve distinguir entre dois critérios: o número de dimensões físicas e o modo de organização delas. A reivindicação de Minkowski de que o tempo e o espaço estavam fundidos em um *continuum* 4D teve significado mais profundo do que simplesmente afirmar que o Universo era “quadridimensional”. Como o próprio Einstein perspicazmente ressaltou, a ideia de *quadridimensionalidade espaço-temporal* não foi introduzida pela Física Relativística; ela já se encontrava presente na Mecânica Clássica. Os físicos clássicos, qual os relativísticos, trabalhavam com quatro dimensões: três espaciais e uma temporal. Assim, é perfeitamente admissível dizer que a Física Clássica era “quadridimensional”. Pode-se mesmo falar no “espaço-tempo” clássico, desde que entendido em sentido genérico como a soma, e não a aglutinação, das grandezas do espaço e do tempo.

A novidade trazida por Minkowski estava relacionada não com o número de dimensões, mas com o modo como as quatro dimensões fisicamente se organizavam. Antes dele, a realidade era pensada como a evolução no tempo de um mundo tridimensional. No jargão geométrico, tratava-se de um *hiperplano da simultaneidade*, isto é, um sólido 3D em movimento ao longo do eixo da quarta dimensão. Esse esquema dinâmico, que ainda está na base da compreensão do senso comum, significa que todos os pontos do hiperplano se movem em conjunto, ao mesmo ritmo, de forma que estão sempre localizados no mesmo instante t_n (em outras palavras, os fatos são absolutamente simultâneos; daí “hiperplano da simultaneidade”).

O modelo clássico, exposto no Capítulo 2, é mais facilmente compreendido se formulado em enunciados: (i) o Universo compõe-se, em sua totalidade, de quatro dimensões: três do espaço e uma do tempo; (ii) as três dimensões espaciais estão fundidas; (iii) a fusão espacial consiste no mundo tridimensional, onde estão todas as coisas e onde os eventos têm lugar (ontologia tridimensionalista); (iv) o espaço e o tempo estão desmembrados e, logo, não formam unidade ontológica (ontologia tridimensionalista); (v) o espaço e o tempo preservam sua individualidade e são grandezas físicas fundamentais; (vi) o espaço desloca-se em bloco ao longo do eixo do tempo (mundo dinâmico heraclítico); (vii) o espaço goza de prestígio ontológico sobre o tempo, pois é a porção física onde tudo existe, enquanto o tempo cumpre a função de mera “avenida” para o trânsito do bloco 3D (ontologia tridimensionalista); e (viii) o Universo, em sua totalidade 4D, é mais amplo que o mundo existencial 3D.

Com base nesses elementos, propusemos caracterizar o paradigma clássico como a combinação da quadridimensionalidade física e do tridimensionalismo ontológico. Embora o *Universo* (entendido como a totalidade de dimensões físicas) seja quadridimensional, o *Mundo*

(entendido como existência ou realidade ontológica) é tridimensional. A Mecânica pré-Relativística, apesar de lidar com quatro dimensões, presumia uma existência 3D. Por isso, adotamos *tridimensionalismo* para nomear a ontologia embutida na Física Clássica.

A descoberta de Minkowski, entre 1907 e 1908, foi a de que as mesmas quatro dimensões físicas estavam organizadas de modo muito diferente: o espaço e o tempo não estavam separados e independentes, mas unificados em um bloco indissolúvel. Por paralelismo com o método adotado no penúltimo parágrafo, o modelo geométrico minkowskiano também pode ser desmembrado em oito enunciados: (i) como na visão clássica, o Universo compõe-se, em sua totalidade, de quatro dimensões: três do espaço e uma do tempo; (ii) todas as quatro dimensões estão fundidas, e não apenas as três espaciais (ontologia quadridimensionalista); (iii) resultante da fusão espácio-temporal, o mundo onde todas coisas estão e onde os eventos têm lugar é 4D (ontologia quadridimensionalista); (iv) por estarem fundidos, e não desmembrados, o espaço e o tempo perfazem unidade física 4D (ontologia quadridimensionalista); (v) o espaço-tempo assume o posto de grandeza física fundamental, em lugar das ideias individualizadas de espaço e de tempo, que passam a ser compreendidas como simples abstrações da figura 4D mais fundamental; (vi) a fusão das dimensões implica uma imobilidade: o espaço não se desloca ao longo do eixo do tempo (mundo estático parmenidiano); (vii) o espaço perde sua precedência ontológica sobre o tempo, pois agora todas as quatro dimensões estão em pé de igualdade, como eixos do palco quadridimensional do mundo (ontologia quadridimensionalista); e (viii) a totalidade do Universo corresponde à totalidade do mundo existencial 4D.

A modificação da representação da realidade trazida pela Mecânica Relativística, é, poranto, substancial. Ao cotejar os dois grupos de enunciados, nota-se que o único item que se mantém inalterado é o primeiro. A geometria física minkowskiana distingue-se da anterior não pela *quadridimensionalidade física*, mas pelo *quadridimensionalismo ontológico*, em nossa terminologia. Em outras palavras, a novidade minkowskiana não pode ser reduzida a simples operação de adição de uma quarta coordenada às três do espaço (3+1), como muitos autores fazem crer. Trata-se de um *amálgama espácio-temporal*. Essa nuance foi, aliás, bem apontada por Feynman (2012, p. 100), ao dizer que o produto dessa fusão, o espaço-tempo 4D, não é simples soma das quatro dimensões: “o espaço e o tempo estão entrelaçados”.

Deparamo-nos, pois, com uma existência muito diferente. Na nova representação geométrica do mundo, apresentada por Minkowski em 21/9/1908, em Colônia, os eventos da existência estão dispostos em um bloco 4D distendido ao longo do espaço e também do tempo, e não concentrados em um sólido tridimensional cujos pontos compartilham, todos, o mesmo

instante t . Quaisquer pontos do espaço-tempo minkowskiano estão separados por uma “distância” espácio-temporal. Para exprimir a diferença estrutural dos dois modelos físico-geométricos, propusemos convencionalmente a dicotomia lexical *espaço+tempo vs. espaço-tempo*, para, respectivamente, designar a ontologia tridimensionalista da Mecânica Clássica (3+1D) e a ontologia quadridimensionalista da Mecânica Relativística (4D).

No trabalho, assinalou-se, ainda, a estreita relação entre as duas novidades do paradigma relativístico destacadas (relatividade da simultaneidade e fusão espácio-temporal). A Teoria Especial evidenciou que a simultaneidade era relativa, mas também mostrou que o tempo e o espaço eram interdependentes: quanto mais rápido se move no espaço, mais devagar corre o tempo; quanto mais devagar se move no espaço, mais rápido escoo o tempo. A interdependência das duas grandezas físicas também se evidenciava na semelhança de suas propriedades: mediante a aplicação de velocidade a um sistema de coordenadas relativamente a outro, o tempo dilata-se, e o comprimento contrai-se, à mesma razão (Fator de Lorentz). A dilatação do tempo e a contração do comprimento eram, assim, efeitos relativísticos gêmeos.

Minkowski suspeitou, pois, de que a íntima correlação entre o espaço e o tempo era sintomática de uma estrutura física mais fundamental. Para o geômetra, a correlação dos comportamentos do espaço e do tempo só podia ser adequadamente explicada se tais grandezas estivessem unificadas em um bloco de quatro dimensões, e não separadas, como se supunha até então. O mérito de Minkowski foi o de ter revelado a geometria subjacente à Teoria Especial. O geômetra percebeu que o postulado einsteiniano da relatividade só fazia sentido em um *mundo* de quatro dimensões onde o tempo figura como uma delas. Os efeitos da dilatação do tempo e da contração do comprimento seriam impossíveis no formato intuitivo *espaço+tempo*. Ao propor o contraintuitivo mundo 4D do *espaço-tempo*, o geômetra lituano-alemão deu expressão matemática à interdependência espácio-temporal constatada na Teoria Especial e nas transformações de Lorentz, isto é, traduziu, em linguagem geométrica, os postulados relativísticos. Essa tradução resultou em uma figura geométrica quadridimensional: um hipsólido sem qualquer marco privilegiado de simultaneidade, nem fluxo do tempo, o qual substituiu o hiperplano que flui ao longo do eixo t em simultaneidade absoluta.

Sobre a descoberta minkowskiana, a observação de Barbour (1999, p. 151) é expressiva: “Espaço e tempo, assim como réguas e relógios, parecem ter naturezas completamente diferentes, mas Einstein e Minkowski mostraram que estão inseparavelmente ligados.” O espaço-tempo minkowskiano não foi, entretanto, imediatamente aceito por Einstein. A dissertação registrou que muitos autores apontam a resistência inicial do físico – e Petkov

(2020), em particular, fala mesmo em certa hostilidade de Einstein – contra a intervenção dos matemáticos na Teoria Especial. Não obstante, o pai da Relatividade veio não só a abraçar a proposta de Minkowski, como também a utilizá-la como ingrediente fundamental da Teoria Geral, de 1916, que generalizou o princípio da relatividade para todos os tipos de sistemas inerciais. Sem o formalismo do espaço-tempo, Einstein possivelmente não teria chegado à revolucionária teoria da gravitação, que substituiu o paradigma newtoniano, hegemônico por cerca de dois séculos, e sustenta até hoje o posto de paradigma da Cosmologia e da Mecânica macroscópica. Sem a contribuição minkowskiana, a excepcional conquista teórica de Einstein teria, no mínimo, sido adiada por anos. Também se sublinhou que a geometria de Minkowski desempenhou papel fundamental na história da Física Relativística ao atuar como elo entre as Teorias Especial e Geral da Relatividade: ela teve o duplo mérito de interpretar a primeira (sentido retrospectivo) e de inspirar a segunda (sentido prospectivo). A geometria 4D forneceu o acabamento da Teoria Restrita e, ao mesmo tempo, o alicerce da Teoria Geral, ainda que tenha sido ajustada por Einstein pela adoção da geometria não euclidiana. Minkowski viu o espaço-tempo, mas Einstein viu a curvatura dele, que permite explicar a gravidade.

A dissertação explicitou, em breves linhas, a nada banal transição da Teoria Especial para a Teoria Geral, como resultado do trabalho árduo de Einstein no intervalo entre 1907 e 1915. Mostramos que a primeira, restrita aos sistemas de movimento retilíneo uniforme, era caso particular da Teoria Geral e que a inclusão dos sistemas não retilíneos e não uniformes no quadro teórico era reclamo epistemológico que Einstein absorveu de Ernst Mach. Impunha-se superar a limitação da Teoria Restrita, generalizando o princípio da relatividade para todos os movimentos, inclusive os acelerados. Além disso, assinalamos que Einstein expressou reconhecimento ao trabalho de Minkowski, seu antigo professor de Matemática em Zurique, por este ter facilitado a elaboração da Teoria Geral ao geometrizar a Mecânica.

O trabalho salientou que a contribuição minkowskiana na história da Física Relativística é comumente omitida na literatura. Mesmo autores brilhantes como o filósofo Bertrand Russell e, no Brasil, o astrônomo Rogério Mourão trataram a inovação do espaço-tempo como produto da Teoria Especial, sem referência ao papel de Minkowski. Não obstante, foi ao geômetra lituano-alemão que se deveu o hipsólido 4D sem simultaneidade absoluta, a nova concepção do mundo físico. Por isso, a dissertação teve o propósito deliberado de contribuir para a correção dessa injustiça histórica, ao realçar o crédito ao geômetra.

O trabalho ainda registrou, brevemente, a discussão em torno da originalidade da ideia de fundir o espaço e o tempo em um hipsólido 4D. Encontramos em D'Alembert, em seu

verbete sobre “dimensão” para a *Enciclopédia*, já em 1754, a referência mais antiga à proposta de fusão, atribuída a um conhecido (anônimo) do enciclopedista. Ao que nos consta, tal concepção jamais foi desenvolvida no quadro de uma teoria física; assim, serviu apenas como nota histórica. O pioneirismo da geometria quadridimensional espaço-temporal parece caber a Henri Poincaré. Já no primeiro semestre de 1905 e, portanto, de modo contemporâneo com a elaboração da Teoria Especial, de Einstein, o matemático francês teria chegado à conclusão de que as transformações de Lorentz podiam ser geometricamente interpretadas como rotações no hiperespaço quadridimensional, no qual o tempo figurasse como quarta dimensão. Como reconheceu o minkowskiano Petkov (2020, p. 32), a ideia de espaço-tempo de Poincaré foi fundamental para que Minkowski desenvolvesse o quadro matemático completo de sua geometria física 4D. A originalidade do lituano-alemão, defendida na dissertação, estaria associada, pois, ao realismo, e não à mera serventia matemática, que ele atribuiu ao *espaço-tempo*. Para alguns autores, Poincaré não teria levado a sério a espatemporalidade como descrição real do mundo físico, a qual veio ter papel revolucionário na Física, ao ser incorporada como peça fundamental da Cosmologia einsteiniana. Trata-se de questão histórica relevante a merecer pesquisa ulterior, mas parece fora de dúvida a justiça em compartilhar com Poincaré o mérito da elaboração da geometria espaço-temporal.

O circuito epistemológico percorrido nos dois primeiros capítulos pode ser sintetizado assim: (a) a solidez empírica da lei da invariância da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas, do século XIX, convenceu Einstein da necessidade de revisar a Mecânica Clássica; (b) tal revisão foi obtida, em 1905, pela Teoria Especial, com a *desabsolutização* do tempo: tanto em sua noção de duração ou de decurso, usada na fórmula básica $v = d/t$, quanto na de simultaneidade (ordem de eventos separados); (c) a relatividade do tempo e a interdependência do tempo e do espaço foram geometricamente explicadas por Minkowski, poucos anos depois, pela fusão das duas grandezas em um *continuum* quadridimensional, designado espaço-tempo; (d) ao espaço-tempo foi aplicada por Einstein a geometria não euclidiana (não plana); e (e) o espaço-tempo deformável serviu como pedra fundamental para a teoria einsteiniana da gravidade, de 1916, que revolucionou a Física e a Astrofísica.

As duas primeiras décadas do século XX assistiram, assim, ao casamento entre a Física e a Geometria; e os frutos duradouros dessa união (a relatividade do tempo; o espaço-tempo; e a nova lei da gravidade) determinaram o futuro da Física macroscópica. Defendemos, por isso, que “revolução” é termo adequado para qualificar o significado da Relatividade Geral na história da Ciência, haja vista que essa Teoria, cume do encadeamento epistemológico acima

resumido, representou a admissão de novo paradigma na Mecânica, após a hegemonia bicentenária do paradigma newtoniano.

As duas novidades relativísticas sublinhadas nos dois primeiros capítulos da dissertação – relatividade da simultaneidade e fusão espaço-temporal – forneceram as premissas ou insumos essenciais para que, no Capítulo 3 do trabalho, fosse apresentada a discussão filosófica contemporânea sobre o tempo. Ali, ressaltou-se a importância de discernir dois debates: a ontologia dos eventos temporais e a ontologia da persistência. Embora correlacionados, são distintos. O primeiro diz respeito à possibilidade de distinguir, objetivamente, os eventos do Universo entre passados, presentes e futuros. A principal questão discutida é o estatuto ontológico dos eventos “não presentes”. O segundo debate diz respeito ao modo como os corpos físicos persistem no tempo. A principal questão discutida nele é como a quarta dimensão é incorporada na descrição dos corpos físicos.

As novidades revolucionárias abordadas nos dois primeiros capítulos serviram como premissas relativísticas para deduzir conclusões em cada uma das duas mesas de discussão. A essas conclusões chamamos corolários ontológicos do Paradigma Relativístico. Mesmo cientes das infundáveis controvérsias entre os metafísicos e da variedade de interpretações filosóficas da Teoria da Relatividade, concluímos convictamente que o *eternismo* (ou “teoria do universo em bloco”) e o *perdurantismo* (ou “teoria das partes temporais”) são duas teses ontológicas sugeridas pela Física Relativística e plenamente concordantes com ela, em virtude de que ambas observam, cumulativamente e de modo rigoroso, o princípio da relatividade, a relatividade da simultaneidade e a geometria do mundo quadridimensional. O eternismo é a doutrina que preconiza que os acontecimentos no tempo gozam do mesmo *status* ontológico. Momentos que chamamos de passados e futuros são tão reais do ponto de vista físico quanto os presentes: eles simplesmente não estão “aqui-agora”. Para o eternista, o presente não tem consistência privilegiada; os objetos não presentes também são reais. O perdurantismo, por sua vez, é a tese segundo a qual os objetos físicos têm extensão não somente espacial, mas também temporal, isto é, os corpos compõem-se de partes temporais, tanto quanto de partes espaciais.

Concluimos, ainda, que a Física Relativística constitui, em contraste, ambiente inóspito para teorias assentadas no tridimensionalismo, sobretudo o *presentismo* e o *endurantismo*. O trabalho mostrou que essas duas teses são estruturalmente incompatíveis com a Teoria da Relatividade e a Geometria do Espaço-Tempo. O presentismo é, *grosso modo*, a tese ontológica segundo a qual apenas os entes presentes existem ou tudo o que existe é o que está no presente. Essa é a visão do senso comum e a tese-anfitriã na filosofia dos eventos temporais (visão *default*

defendida por Santo Agostinho há 16 séculos). O endurantismo, por sua vez, é a tese pela qual os corpos físicos estão integralmente presentes em cada instante em que existem, de modo que sua extensão é exclusivamente espacial, e não temporal. Trata-se de tese-anfitriã na ontologia da persistência, igualmente baseada na intuição ordinária e no senso comum.

Geometricamente, o espaço-tempo minkowskiano não tem fatias privilegiadas; logo, não há qualquer critério para definir o “presente” de maneira objetiva, isto é, independente do marco de referência. Se não existe “agora” absoluto, tanto o presentismo quanto o endurantismo – que, por definição, dependem de um conceito objetivo de presente – caem por terra. A Teoria Especial torna um “presente em movimento” insustentável, mesmo como possibilidade lógica (BARBOUR, 1999, p. 142-143). A Teoria Geral só aprofundou a incompatibilidade das duas teses com o Paradigma Relativística. Diante disso, é surpreendente que ainda seja tão numeroso o grupo de tridimensionalistas em atividade, relutantes a aceitar as implicações e os postulados da Teoria da Relatividade. Deparamo-nos com argumentos débeis e confusos tentando justificar o tridimensionalismo. Ante o dilema entre a Teoria da Relatividade e uma tese metafísica, parece-nos mais sensato sacrificar a segunda. Questionar, sem base empírica, a validade de uma teoria sobejamente comprovada por testes rigorosos parece-nos, mesmo, opção absurda.

Nossa conclusão principal é a de que podem ser logicamente extraídas conclusões firmes e seguras dos postulados einsteiniano-minkowskianos. A Teoria Especial, por exemplo, já seria suficiente para refutar as ontologias presentista e endurantista, visto que demonstra inequivocamente a impossibilidade de chegar a uma definição absoluta de presente, como assinalou Feynman (2012, p. 99): “[...] falar do que acontece ‘agora’ no mundo não tem sentido. [...] Não podemos estabelecer um acordo sobre o significado da palavra ‘agora’”. Consequentemente, as propriedades de “passado”, “presente” e “futuro”, atribuídas pela linguagem aos eventos físicos, não constituem qualidades primárias ou intrínsecas a eles; trata-se de qualidades atribuídas secundariamente por cada observador.

Nossa pesquisa concluiu, em suma, que o paradigma relativístico está intrinsecamente associado a uma ontologia quadridimensionalista. Os postulados da Teoria da Relatividade e da Geometria do Espaço-Tempo não apenas sugerem, mas verdadeiramente implicam, uma existência quadridimensional. O próprio Einstein fez esta observação perspicaz, que, por sua relevância, foi assinalada já na epígrafe desta dissertação: “Parece, portanto, mais natural pensar na realidade física como existência quadridimensional, e não, como até então se pensava, como evolução de uma existência tridimensional” (EINSTEIN, 2015, p. 171). Por isso, subscrevemos

a afirmação do astrofísico Arthur Eddington de que o mundo tridimensional é obsoleto e deve ser substituído pelo espaço-tempo minkowskiano com propriedades não euclidianas.

Conceitualmente, chamamos de *quadridimensionalismo* ao modelo revisionista da existência procedente da Física Relativística, por oposição ao *tridimensionalismo*, a ontologia anfitriã do debate metafísico, assumida inconscientemente pelo senso comum e incorporada tacitamente na Física Clássica. A dissertação sublinhou, ainda, a falta de consenso no uso do termo “quadridimensionalismo”. Alguns autores, como Rea, preferem associá-lo à negação parcial ou total do presentismo. Outros, como Sider, optam por usá-lo para designar a teoria das partes temporais (negação do endurantismo, parcial ou total). Preferimos o uso que perpassa as duas discussões ontológicas, abrangendo as teses plenamente compatíveis com o paradigma relativístico: o eternismo e o perdurantismo. Para nós, quadridimensionalismo é a negação do tridimensionalismo, seja em sua forma presentista, seja em sua forma endurantista.

O trabalho mostrou que, nos dois debates ontológicos sobre o tempo, concorrem modelos teóricos híbridos, que buscam criativamente combinar o tridimensionalismo do presentismo e do endurantismo com o quadridimensionalismo do eternismo e do perdurantismo. Esses são os casos do exdurantismo, na ontologia da persistência; e das teorias do bloco crescente, do farol móvel, *grow-glow* e da árvore minguante, na ontologia dos eventos temporais. Nossa avaliação foi a de que tais variedades têm duas motivações: (i) acomodar na nova imagem quadridimensional da Natureza o fluxo do tempo que caracteriza a nossa experiência do mundo; e/ou (ii) garantir que o futuro esteja aberto e indeterminado, de forma a salvaguardar o livre arbítrio contra o determinismo implicado na teoria do universo em bloco. O exdurantismo não foi abordado no trabalho porque o consideramos modelo de formulação confusa e artificial. Quanto aos demais modelos, a dissertação mostrou que nenhum escapa de incompatibilidade com a Física Relativística, pois todos presumem, em versões distintas, as ideias de: simultaneidade e presente absolutos; marco de referência privilegiado; e passagem objetiva do tempo. Todas essas ideias – implícitas nas metáforas da borda do bloco crescente, da luz do farol móvel e da recessão dos galhos da árvore minguante – não só são inadmissíveis e *nonsense* no quadro teórico da Física Relativística, mas violam o princípio básico da relatividade, segundo o qual não deve haver seleção arbitrária de sistemas de coordenadas para expressar as leis da Natureza. Assim, concluímos que, além de serem tentativas insatisfatórias de conciliar os postulados relativísticos com os dados da percepção, tais modelos conflitam frontalmente com a Teoria da Relatividade e a Geometria do Espaço-Tempo.

Os modelos híbridos, embora prescrevam remédios inapropriados, baseiam-se em diagnóstico correto: a necessidade de harmonizar a ostensiva discrepância entre, de um lado, o tempo estático da teoria do universo em bloco (*tempo físico* ou *ontológico*) e, de outro, o tempo dinâmico de nossa percepção ordinária (*tempo fenomenológico*). Tal antagonismo, análogo ao existente na dicotomia contábil *estoque vs. fluxo* e na tensão entre as filosofias de Parmênides e de Heráclito, da era pré-socrática, requer pacificação, cujo ônus deve incumbir aos quadridimensionalistas (eternistas e perdurantistas), que têm a pretensão revisionista no debate.

Mostramos como Einstein estava convicto de que a explicação da *seta do tempo* – o fluxo irrefreável e unidirecional da experiência – devia ser buscada fora da Física (e da Ontologia). Concluímos ser um erro, cometido por metafísicos endurantistas e presentistas, “ontologizar” o fluxo do tempo ou buscá-lo nas propriedades primárias da *Physis*. Indicamos nossa suspeita de que a Fenomenologia e a Filosofia da Mente são os terrenos mais promissores na fundamentação da passagem do tempo.

Nesse contexto, apresentamos proposta de conciliação entre o *tempo físico* estático e o *tempo fenomenológico* dinâmico baseada no realismo do espaço-tempo e no dualismo mente-corpo, tese tradicional da Filosofia da Mente. Em tal proposta, que designamos propositivamente de “cinemática da consciência”, o fluxo percebido do tempo é explicado pelo movimento relativo das consciências, em certa direção, contra o substrato do espaço-tempo, analogamente ao deslocamento de um veículo na estrada, contra a paisagem estática. No levantamento não exaustivo feito no trabalho, constatou-se que a tese dualista consciência/espaço-tempo conta com a adesão de filósofos renomados como Hermann Weyl, Karl Popper, Hans Reichenbach e Storrs McCall. A relevância do tema na Filosofia do Tempo justificaria uma pesquisa dedicada. O que esta dissertação apresentou foi um esboço.

Crucial nesta dissertação foi a observação de ordem analítica de que o “tempo” é conceito complexo e multifacetado, que comporta aspectos semânticos distintos e mesmo opostos: quantitativos *vs.* qualitativos; primários *vs.* secundários; e objetivos *vs.* subjetivos. Foi reiterada a necessidade de discernir essas diferentes camadas de significado e de uso que convivem sob o léxico “tempo”. A distinção mais importante, que inspirou o título do trabalho, é a que opõe o *tempo físico/ontológico* (a quarta dimensão, extensa e povoada de eventos) ao *tempo fenomenológico* (o fluxo de instantes para a consciência) e ao tempo quantitativo (a duração mensurável pelo relógio, que pode ser entendida como porção do tempo ontológico).

Indicamos que a discrepância dos tempos físico e fenomenológico remete às dicotomias feitas por Eddington (2020), entre os objetos da ciência e os da experiência, e por Sellars (1991),

entre “imagem científica” e “imagem manifesta”. Não atribuímos hierarquia entre o tempo físico e o tempo fenomenológico. Em nossa visão, os dois exprimem aspectos distintos de análise. À pergunta sobre se “a passagem do tempo é uma ilusão?”, nossa resposta deve ser “depende”. Do ponto de vista ontológico e físico, sim, o tempo é uma ilusão. Do ponto de vista fenomenológico da consciência, presumivelmente em movimento em relação ao universo em bloco, não; o tempo – como fluxo – não é uma ilusão; a passagem é absolutamente real.

Ressaltamos também que a expressão “espacialização do tempo” – comumente usada para designar a nova compreensão do tempo físico desde Minkowski e Einstein –, apesar de expressiva, é problemática. A Física Relativística não autoriza, de modo algum, afirmar que o tempo foi igualado ao espaço. Embora a quarta dimensão tenha sido fundida com as três espaciais, subsistem diferenças – no mínimo fenomenológicas –, como falta de mobilidade, unidirecionalidade, assimetria e não-reutilizabilidade. Não obstante, ainda que o mundo 4D não tenha eliminado completamente as diferenças entre o tempo e o espaço, é inegável que as duas grandezas nunca foram tão semelhantes em toda a história da Física. Nesse sentido, cremos justo falar, na Física Relativística, ao menos de uma *quase-espacialização* do tempo.

Diferenciamos, ainda, de modo sucinto, alguns aspectos conceituais do tempo: *real* (que remete à existência independentemente dos sujeitos); *transcendental* (que remete ao caráter universal do fluxo para todas as consciências); e *psicológico* (que remete às variações subjetivas nas percepções do decurso temporal por cada indivíduo). Estamos convictos de que a análise conceitual do tempo constitui uma das fronteiras a serem desbravadas pelos filósofos. Cremos, no entanto, que tal discernimento do tempo deve partir do que a Física tem a dizer.

Outra questão relacionada com o fluxo do tempo e salientada no trabalho diz respeito à desorganização do universo (entropia). Trata-se de tema relevante para nossa temática, mas, em razão dos limites da pesquisa, restringimo-nos a sinalizar que ele talvez constitua a principal dificuldade para a tese eternista. Abordamos brevemente a questão sobre se a segunda lei termodinâmica, com sua peculiaridade de ser exceção à regra da simetria das leis naturais, imporia desafio maiúsculo para a descrição do universo em bloco. Segundo Eddington (2020), a entropia é a única distinção conhecida na Física de uma direção objetiva, o que indicaria a existência de uma seta do tempo, conflitante com o caráter estático do universo em bloco. Como possível resolução do problema, apresentamos a dicotomia estabelecida por Feynman (2012) entre leis físicas (regras que permitem prever a evolução do Universo a partir de certas condições) e enunciados sobre momentos históricos do Universo. Nessa definição, a entropia se classificaria no segundo grupo e, conceitualmente, estaria excluída do domínio das leis da

Física, caracterizadas pela simetria. No esquema conceitual de Feynman, a assimetria da flecha do tempo não passaria de história cosmológica. Dessa perspectiva, poder-se-ia assegurar a compatibilidade da teoria do universo em bloco com o estudo da entropia.

A transição do tridimensionalismo para o quadridimensionalismo implicou a necessidade de algumas adaptações teóricas e conceituais. Em primeiro lugar, vários conceitos temporais, por perderem seu caráter absoluto, devem ser lidos não como propriedades intrínsecas aos eventos ou qualidades primárias da realidade, mas como atributos secundários e relativos. Termos “presente”, “passado” e “futuro”, ou “agora”, “antes” e “depois”, não são senão descrições linguísticas cuja referência no mundo real é variável de acordo com o sistema de coordenadas do observador. Continua sendo possível falar em “presente”, “passado” e “futuro”, assim como em “simultaneidade” e “duração”, mas sempre de modo relativo a um marco de referência arbitrariamente escolhido.

Em segundo lugar, como a ilustração do *cone de luz* permitiu ver, a dicotomia passado-futuro foi substituída na tricotomia *passado-futuro-alhures* (termos cujos sentidos são sempre relativos a um evento arbitrário e que constituem atribuições não intrínsecas aos eventos). Para cada ponto do *continuum* quadridimensional, isto é, um lugar em certo instante, podem ser mapeadas as seguintes regiões do espaço-tempo: (i) o futuro – conjunto de eventos passíveis de ser alcançados (ou influenciados) pelo evento arbitrariamente selecionado; (ii) o passado – o agregado de eventos passíveis de alcançar ou influenciar o mesmo evento em questão; (iii) o “alhures” – o resto do espaço-tempo, isto é, o conjunto de pontos que não podem alcançar o evento em questão nem ser alcançados por ele.

Há fartura de argumentos científicos e filosóficos em favor do quadridimensionalismo e contra o tridimensionalismo. O propósito desta dissertação não foi, contudo, fazer a defesa exaustiva do eternismo e do perdurantismo. Optamos por um debate diretamente fundamentado na Ciência, de forma que nos limitamos a dois argumentos: o físico (relatividade da simultaneidade e do presente) e o geométrico (analogia do tempo com o espaço). Ainda que relevantes para a discussão metafísica como um todo, desconsideramos argumentos de cunho analítico, como o dos intrínsecos temporários (*temporary intrinsics*). Como sublinhado na Introdução, nossa preocupação metodológica principal foi garantir que a exposição das teses metafísicas fosse precedida de esclarecimento científico, de modo a evitar debate ontológico vazio, isto é, desvinculado das premissas fundamentais e das evidências empíricas.

Nossa demonstração não pôde apoiar-se nos protagonistas da Física Relativística, pela escassez de suas elaborações metafísicas. Minkowski, de um lado, faleceu precocemente, em

janeiro de 1909, poucos meses após sua palestra em Colônia. Einstein, de outro, não nos deixou senão fragmentos sobre as implicações ontológicas de sua Teoria, como o célebre trecho final da carta do físico aos filhos de seu falecido amigo Michele Besso, de março de 1955 (a poucas semanas da morte de Einstein). Não obstante, pudemos contar em nosso embasamento com o respaldo de cientistas, o que comprovou que o assunto não é privativo dos metafísicos. A teoria das partes temporais, por exemplo, foi peremptoriamente defendida por Eddington, profundo conhecedor da Teoria Geral e diretamente envolvido nos testes empíricos que primeiro a confirmaram, em 1919. Em palestras ministradas na Escócia em 1927, antes que o termo “perdurantismo” fosse cunhado, o astrofísico britânico afirmou categoricamente que pensar no homem sem sua extensão no tempo (no modo endurantista) é tão abstrato e distante da realidade quanto achar que ele é apenas o que vemos dele no exterior (sem seu interior).

Foi igualmente objeto de nossa investigação a consagrada tipologia das Séries do tempo do metafísico neo-hegeliano J. M. E. McTaggart (1908). Depois de assinalar as características distintivas dos três tipos (Séries A, B e C), buscamos discernir qual delas melhor se credenciaria como representação da quarta dimensão do *continuum* espaço-temporal minkowskiano. A Série A foi sumariamente descartada como candidata, pois, como demonstramos, a distinção primária dos eventos como pretéritos, presentes ou futuros é inadmissível no quadro teórico da Relatividade. A conclusão sobre a inaptidão da Série A é reforçada pelo depoimento de Einstein, em 1955, no fim de sua vida, em sua carta aos filhos de seu amigo Besso: “a separação entre passado, presente e futuro não passa de uma ilusão”. A propósito desse trecho einsteiniano, escrito originalmente em alemão, registramos no Capítulo 3, em nota, como ele tem sido sistematicamente mal traduzido e objeto de deturpação, sobretudo no mundo anglófono. Com argumentos linguísticos e históricos, fundamentamos a necessidade de que essa adulteração interpretativa seja corrigida, a qual infelizmente já se tornou moeda corriqueira e se generalizou na literatura em inglês.

A Série B também foi rejeitada como candidata, mas por razão menos óbvia: ela supõe direção e fluidez incompatíveis com o caráter simétrico do tempo na geometria 4D, no qual o fluxo deve ser resumido a um fenômeno fenomenológico, abstraído da Física. A Série C, menos citada na literatura, parece-nos a candidata mais habilitada a representar o universo em bloco, pois se trata de série destemporalizada, apenas com uma ordem das posições, sem mudança ou direção de fluxo. A Série C descreve a dimensão estática e simétrica descrita pelo quadridimensionalismo, na qual as posições são análogas a localizações espaciais.

O cotejamento entre a Física Relativística e a metafísica metaggartiana é exercício válido na Filosofia do Tempo, mas encontra limitações. A principal delas, a nosso ver, é o fato de que as Séries de McTaggart são representações simplificadas, que não permitem, por exemplo, entre outras questões, discernir se a simultaneidade de dois eventos é de caráter relativo ou absoluto. Esse elemento seria fundamental para exame mais aprofundado de compatibilidade das Séries com a Teoria da Relatividade e a Geometria do Espaço-Tempo.

Ao examinar a Relatividade no Capítulo 1, a dissertação abordou duas questões históricas relacionadas com a versão Especial e a Geral. Em primeiro lugar, mostrou-se como coube a Einstein em 1905 a façanha de solucionar o dilema epistemológico na Física teórica. Aos 26 anos de idade, ele logrou conciliar dois postulados que, desde o século XIX, pareciam incompatíveis: o princípio da relatividade, da Mecânica Clássica, e a lei da invariância da velocidade da luz, da Eletrodinâmica e da Óptica. A conciliação foi possível pela relativização do tempo, isto é, pelo abandono da suposição tácita na Física de que essa grandeza tinha significado absoluto. A resolução do paradoxo ocorreu pela revisão da Mecânica tradicional, o que incluiu a relativização do tempo da fórmula $v = d \div t$ e a revisão do teorema da adição de velocidades (nesse caso porque a constância da velocidade da luz era incompatível com a versão clássica desse teorema, que usava operações simples de adição e subtração das velocidades). Com a Mecânica reformada, o perturbador conflito entre a Mecânica newtoniana e a Eletrodinâmica moderna desapareceu automaticamente. Para restaurar a harmonia, Einstein não precisou rever o conhecimento eletromagnético nem conceber esdrúxulo marco de referência absoluto como o éter luminífero. O próprio título do artigo em que Einstein apresentou a Teoria Especial (“Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”) indica que se lidava então com questão fronteira na Física. Como explicou o físico teuto-suíço (2015, p. 31): “Como resultado de uma análise dos conceitos físicos do tempo e do espaço, ficou evidente que, na verdade, não há a menor incompatibilidade entre o princípio da relatividade e a lei da propagação da luz”.

Em segundo lugar, foram salientados a solidez e o êxito da Teoria Geral, a maior realização teórica de Einstein. Revalidada por experimentos cada vez mais rigorosos, no intervalo de mais de um século, ela tem comprovado estar em refinada concordância com os mecanismos da Natureza. Sua virtude de predizer o comportamento da *Physis* na escala macroscópica credencia-a tanto como pilar estrutural da Física contemporânea, ao lado da Mecânica Quântica, quanto como emblema da respeitabilidade da Ciência. Retrospectivamente, a Teoria Geral coroou o esforço de Einstein em generalizar o princípio da relatividade. Inspirado na epistemologia de Mach, Einstein estava convicto de que as leis da física deviam

se aplicar a qualquer sistema de coordenadas e a todo tipo de movimento, independentemente do observador (EINSTEIN, 2020, p. 113). Prospectivamente, inaugurou novo paradigma na Cosmologia e na Mecânica, além de abrir muitas portas para a pesquisa científica e filosófica.

Na análise da Teoria da Relatividade (versões Especial e Geral), deparamo-nos com três curiosidades epistemológicas. A primeira é a de que a Física da época testemunhou inversão de papéis: o tempo e o comprimento se relativizaram, enquanto a velocidade da luz (das ondas eletromagnéticas) se absolutizou. Ambas as alterações subverteram as intuições arraigadas sobre o comportamento da Natureza. Antes, acreditava-se que qualquer valor de velocidade era considerado relativo ao marco (*frame-dependent*), conforme o relativismo cinético; e que o tempo, tanto quanto o comprimento espacial, era absoluto. Houve, portanto, perplexidade dupla entre os físicos teóricos, às avessas. Pode-se dizer que a Teoria Especial concluiu a transição iniciada com a Eletrodinâmica, pela qual o tempo adquiriu o relativismo cinético característico da velocidade clássica, e a velocidade da luz adquiriu a absolutez do tempo clássico.

A segunda curiosidade observada é a de que, apesar de ter reformulado o conceito do tempo, a Teoria Especial não decorreu de desconfiança sobre o comportamento empírico dessa grandeza física, mas da perplexidade gerada pela descoberta da invariância da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas e da necessidade de compatibilizá-la com o princípio da relatividade. A terceira curiosidade diz respeito à Teoria Geral e tem valor para a reflexão filosófica sobre o método não indutivo da Ciência. Foi interessante notar que, para a concepção dessa teoria, questões de Epistemologia e de Filosofia do Tempo e do Espaço é que tiveram papel crucial, e não as observações astronômicas, que à época eram insuficientes.

Dissecou-se, no Capítulo 1, o intrincado significado do princípio da relatividade. Detectamos a importância de elucidar confusões comuns envolvendo o conceito, para compreender a contribuição da Teoria Especial para a Física teórica. Mostrou-se que o princípio, familiar aos físicos e astrônomos muito antes do advento da Teoria da Relatividade, é conceito ambíguo, objeto de equívoco interpretativo frequente. A dissertação distinguiu duas interpretações do princípio da relatividade: a primeira, de natureza relativista, pela qual o princípio é entendido como: “tudo é questão de perspectiva”; a segunda, não relativista, pela qual “nenhuma perspectiva é melhor que outra”, isto é, as leis da Física devem ser de tal modo que os pontos de vista dos observadores não influem em sua aplicabilidade e validade.

Salientamos que há forte tentação em associar a Física e, em particular, a Teoria da Relatividade ao relativismo. Trata-se de um cacoete que se explica pela circunstância de que a Física lida, muitas vezes, com o que Eddington chamou de “conhecimento relativo do mundo”.

O fato de grande parte das quantidades mecânicas tradicionais serem relativas à perspectiva do observador – *e.g.* movimento e velocidade – leva à equivocada generalização do relativismo para toda a Física. O erro de interpretar a Física como “questão de perspectiva” foi reforçado por leitura superficial e deturpada da Teoria Especial. É verdade que essa Teoria, ao desabsolutizar a simultaneidade, a duração e o comprimento, incrementou o estoque de conceitos relativos ao marco (*frame-dependent*); porém, ela, acima de tudo, confirmou a absolutez da velocidade da luz, sem ter de conjecturar um estado de coisas absoluto.

Indicamos, além disso, não ser verdade que as quantidades da Física sejam sempre questão de perspectiva. O caráter absoluto da velocidade da luz já é bastante para provar a falsidade dessa afirmação, mas o espaço-tempo minkowskiano, objeto do Capítulo 2, ofereceu mais um exemplo em favor do não-relativismo da Física em geral e da Física Relativística em particular. Ao fundir o espaço e o tempo, Minkowski postulou um mundo independente dos observadores. A combinação geométrica das duas grandezas revelou a distância espácio-temporal, um valor sobre o qual todos podem concordar, subjacente às múltiplas perspectivas particulares. Nosso trabalho indicou o método de cálculo dessa quantidade absoluta. A distância espácio-temporal rebaixou as medições com réguas (comprimento) e relógios (duração) a meras aparências de uma realidade fundamental, que é o mundo 4D.

Constata-se, pois, que há na Física Relativística verdadeira oposição ao relativismo. Esse paradigma não só estava particularmente interessado em invariantes, como descobriu mais algumas. Embora tenha relativizado certos conceitos físicos (tempo e espaço), a Teoria da Relatividade, ao fazê-lo, introduziu novos absolutos (GARDNER, 2019). Demonstramos assim a incorreção da afirmação, corriqueira na literatura, de que Einstein queria expurgar as quantidades absolutas da Física. Ao contrário, um dos grandes méritos da Física Relativística foi o de encontrar quantidades físicas absolutas. O endêmico equívoco de confundir “relatividade” e “relativismo” aparece, por exemplo, na célebre narrativa histórica do jornalista britânico Paul Johnson, que, em *Tempos Modernos* (JOHNSON, 1991), associa o sucesso da Teoria da Relatividade no pós-I Guerra ao abandono dos padrões morais e filosóficos, isto é, ao relativismo moral e epistemológico a partir dos anos 1920, algo absolutamente incorreto.

Mostramos a possibilidade de depurar a definição do princípio da relatividade, removendo dela a concepção relativista. Concebemos interpretação pela qual “relatividade” significa a equivalência física dos marcos de referência, e não o relativismo das quantidades. Salientamos que a Física e a Astronomia se ocupam de leis universais, e não de particularismos nem de contextos. Nelas, vigora soberantemente o princípio da relatividade, segundo o qual não

há marcos absolutos ou privilegiados: todos os marcos estão em pé de igualdade; não há meio de estabelecer hierarquia entre eles para determinar qual seria melhor ou prioritário. Logo, as leis físicas devem ser universalmente aplicáveis sem a acepção de sistemas de coordenadas, isto é, de forma completamente indiferente à posição e ao movimento dos corpos. Concluímos que o cerne da relatividade está na universalidade das leis da física e na equivalência dos marcos.

Chamamos de “democrática” a interpretação depurada do princípio da relatividade, pois ela põe em pé de igualdade as perspectivas dos observadores. Sem a depuração do conceito, não poderia ser compreendida a conclusão de Einstein de que o antigo conflito entre o princípio da relatividade e a lei da invariância da velocidade da luz era meramente aparente. A interpretação relativista do princípio levaria à conclusão de que o princípio é insuperavelmente incompatível com quantidades físicas absolutas como a velocidade da luz. Tão logo adotamos a interpretação não relativista, o conflito automaticamente desaparece. Nossa conclusão foi a de que a concepção não relativista do princípio da relatividade estava subentendida na reivindicação de Einstein de que os postulados mecânico e eletrodinâmico eram conciliáveis.

Não fizemos investigação histórica dos motivos da opção de Einstein por “relatividade” para denominar sua teoria, mas pudemos concluir que a escolha estava provavelmente ligada não ao fato de a ideia de tempo ter sido *relativizada* na Teoria Especial, como se poderia a princípio supor, mas à *equivalência* dos marcos (isto é, a inexistência de marcos absolutos) e à *universalidade* das leis físicas. Alguns autores aduzem que o nome “relatividade” não seria o mais adequado, porque o mundo físico descrito na Teoria Geral seria mais bem expresso pelo postulado do mundo absoluto de Minkowski (espaço-tempo, comum a todos os observadores). A nosso ver, porém, a denominação é questão de enfoque. Einstein mostrou a equivalência dos marcos e a absolutez da velocidade da luz, por meio da relatividade de certas quantidades físicas familiares (simultaneidade, duração e comprimento); Minkowski mostrou como recuperar o absoluto regredindo à sua origem física quadridimensional.

Por limitação do escopo de nossa pesquisa, certos tópicos relacionados com a Relatividade não puderam ser abordados, como, por exemplo, o debate sobre a possibilidade de viajar no tempo, o “paradoxo dos gêmeos”, a “convencionalidade da simultaneidade” e a descoberta de que a matéria consiste em um reservatório de energia.

Fronteira a ser desbravada diz respeito às ramificações do quadridimensionalismo em outras áreas da Filosofia e fora dela. Embora esta pesquisa não tenha podido se ocupar dessa exploração, certas repercussões do universo em bloco podem ser detectadas em terrenos como os da Ética, da Filosofia da Mente e da Psicanálise. No primeiro caso, por exemplo, o

determinismo causal embutido no universo em bloco e estático suscita discussão sobre se a ideia intuitiva de *livre arbítrio* é compatível com a contraintuitiva descrição eternista. Segundo Callender (2011, p. 3), se nossas escolhas no futuro “já” estão feitas, então se pode indagar como poderíamos agir de outra forma. Tais discussões mereceriam pesquisas à parte.

Os postulados da Física Relativística, que expusemos nos três capítulos, interpelam-nos a substituir a convencional representação tridimensional do mundo pelo modelo quadridimensional. Tal substituição envolve, naturalmente, esforço imaginativo. A maior contribuição que esperamos dar com nossa pesquisa é a de facilitar a transição na compreensão geométrica do “mundo”, o palco onde se desenrolam os atos da existência. Apresentar a nova ontologia não é tarefa trivial. Embora atraia a curiosidade popular, a Teoria da Relatividade tem sido lenta e limitadamente digerida desde 1919, quando a Teoria Geral adquiriu fama internacional. Passado mais de um século, continua baixa a assimilação do conhecimento relativístico (SAVITT, 2011, p. 552), e a representação pré-relativística da Natureza continua sendo a do senso comum. Nosso diagnóstico é o de que, mais do que sua complexidade teórica ou matemática, a contraintuitividade dos postulados e corolários relativísticos constitui o maior obstáculo à sua apreensão, aceitação e disseminação. Tal dificuldade está, a nosso ver, relacionada ao descompasso estrutural existente entre a realidade descrita e o sujeito descritor. O aparato 3D que percebe o mundo é interpelado a contemplar uma realidade 4D superior. Nossa consciência é tridimensional: tudo o que conhecemos é em três dimensões, nem mais nem menos. Não obstante, estamos imersos em uma realidade dimensionalmente mais complexa. No trabalho, abordamos apenas brevemente os fatores explicativos de nossa limitação perceptiva, citando os condicionamentos posicional, biológico-evolutivo e habitual.

A tridimensionalidade é condição fenomenológica incontornável: percebemos o mundo como espaço 3D em evolução no tempo (hiperplano da simultaneidade). Como produto da nossa consciência, nossa linguagem também é tridimensional. Faltam-nos pronomes, advérbios e substantivos, entre outras classes gramaticais, para evocar noções e objetos espaço-temporais. Nosso aparato linguístico é espacial e temporal, separadamente. Como resultado, o hipersólido 4D descrito pela Teoria da Relatividade não pode ser adequadamente representado (PETKOV, 2009, p. v). Assim, é compreensível o diagnóstico de baixo grau de apreensão do que a Relatividade tem a nos dizer do mundo. Tanto as constatações relativísticas (a relatividade do presente e a fusão espaço-temporal) quanto seus corolários (partes temporais dos corpos e realidade física dos eventos não presentes) contrastam violentamente com nossas intuições.

Mesmo a Física Relativística sendo menos complexa que a Mecânica Quântica, é numeroso o grupo de metafísicos adepto, de modo ferrenho, às teses presentista e endurantista, ou a variedades teóricas criativas (nenhuma capaz, porém, de superar a incompatibilidade fundamental com a Teoria da Relatividade). A relutância contra o quadridimensionalismo parece-nos estar, em boa parte, associada à indisposição dos filósofos a aceitar que o futuro “já” existe e, logo, estaria “fechado”. O fatalismo implicado no eternismo e a ameaça ao livre-arbítrio parecem constituir a maior barreira à aceitação do perdurantismo e do eternismo. Quanto ao senso comum, cremos que o maior obstáculo à assimilação dos postulados e corolários relativísticos seja sua natureza contraintuitiva.

Não temos a ingenuidade de supor que o Paradigma Relativístico seja definitivo na história da Ciência, mas é preciso reconhecer que ele está ancorado com firmeza em provas empíricas rigorosas. Tal qualidade parece-nos mais que suficiente para justificar que seus postulados sejam tomados como premissas de nossa pesquisa. Quem quer que leve a sério o conhecimento proporcionado pela Relatividade terá necessariamente de rever compreensões sobre a realidade baseadas na experiência, sobretudo as noções de presente, passado e futuro e de devir. Seria estranho se as intuições não fossem, em nenhuma medida, abaladas ou revistas. O presentismo parece-nos, nesse aspecto, exemplo da indisposição de submeter ao crivo da Ciência convicções arraigadas, baseadas seja no hábito, seja na limitação da consciência.

Com Minkowski e Einstein, a concepção 3D de mundo, que jamais fora questionada e, até hoje, é presumida na vida prática, foi reduzida a mera seção do bloco 4D. Somos convidados a vencer a teimosia do hábito e a apreciar o mundo pela totalidade espaço-temporal, e não apenas pela fatia espacial do “agora” de nossa consciência. A nova representação da realidade consiste no espaço 3D ordinário multiplicado tantas vezes quantos forem os instantes da quarta dimensão. O modo de contemplação da realidade com o tempo e o espaço indissolivelmente unificados também nos revelou maneira inovadora de pensar no passado e no futuro, bem como na composição dos seres materiais. Nosso princípio foi expor argumentos claros para vencer a natural resistência oposta ao quadridimensionalismo, mas estamos cientes de que persistem a incompreensão dos postulados físicos e o apego às noções intuitivas do tempo fluido e do futuro aberto. Para nós, deve prevalecer a exortação de Eddington (2020, p. 98): “Devemos estar preparados para longa busca, antes de chegar aos alicerces, e não ficar decepcionados se novas descobertas revelarem camadas mais profundas das quais não suspeitávamos”.

REFERÊNCIAS

Fontes bibliográficas primárias

AGOSTINHO, Aurélio (Santo Agostinho). “O homem e o tempo”. *In*: AGOSTINHO, A. **Confissões**. Trad.: J. Oliveira Santos, S.J. e Antônio Ambrósio de Pina, S.J. 6. ed. Petrópolis: Vozes, 2015 (Vozes de Bolso), Livro XI, p. 291-323 (sobretudo, capítulos 14 a 31, p. 303-323).

BALASHOV, Yuri. **Persistence & Spacetime**. Oxford: Oxford University Press, 2010.

_____. “Persistence”. *In*: CALLENDER, Craig (ed.). **The Oxford Handbook of Philosophy of Time**. Oxford: Oxford University Press, 2011, capítulo 1, p. 14-40.

BARBOUR, Julian. **The End of Time: the next revolution in our understanding of the universe**. Oxford: Oxford University Press, 1999.

COX, Brian; FORSHAW, Jeffrey R. **Why does $E=mc^2$? (and why should we care?)**. Boston: Da Capo Press, 2009.

D’ALEMBERT, Jean le Rond. “Article DIMENSION, (Physique & Géométrie)”. **Encyclopédie**, vol. IV, 1754, p. 1.009b-1.010a. Disponível em: <http://enccre.academie-sciences.fr/encyclopedie/article/v4-2546-0/>. Acesso em: 15 fev. 2024.

EDDINGTON, Arthur S. **Space, Time and Gravitation: An Outline of the General Relativity Theory**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

_____. **The Nature of the Physical World: The Gifford Lectures (1927)**. Nova Delhi: Alpha Editions, 2020.

EINSTEIN, Albert. “What is the Theory of Relativity?”. **The London Times**, Londres, 28 nov. 1919.

_____. “Einstein au fils et a la soeur de Besso”. *In*: EINSTEIN, Albert; BESSO, Michele. **Correspondence: 1903-1955**. Tradução, notas e introdução: Pierre Speziali. Paris: Hermann, 1972, n. 215, p. 537-539.

_____. **The Meaning of Relativity**. Trad. Edwin P. Adams. 5.ed. N. York: MJF Books, 1997.

_____. **Relativity: The Special and General Theory (100th Anniversary edition)**. Trad. Robert W. Lawson. Princeton: Princeton University Press, 2015.

_____. *et al.* **The Principle of Relativity: a collection of original papers on the special and general theory of relativity**. N. York: Dover, 2020.

FEYNMAN, Richard P. **Sobre as Leis da Física**. Trad. Marcel Novaes. Rio de Janeiro: Contraponto Ed. PUC-Rio, 2012.

GAMOW, George. **One, Two, Three... Infinity: Facts and Speculations of Science**. N. York: Dover, 1988.

GARDNER, Martin. **Relativity Simply Explained**. N. York: Dover, 2019.

HAWKING, Stephen; MLODINOW, Leonard. **A Briefer History of Time**. N. York: Bantam Books, 2008.

MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005a. Versão digital disponível em: <https://web.archive.org/web/20030121065932/http://etext.lib.virginia.edu/etcbin/toccer-new2?id=ManFour.sgm&images=images/modeng&data=/texts/english/modeng/parsed&tag=public&part=4&division=div2>. Acesso em: 9 mar. 2024.

_____. “Introduction”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005b, p. 7-40.

MCTAGGART, J. M. E. “The Unreality of Time”. **Mind: A Quarterly Review of Psychology and Philosophy**, v. 17, n. 68, out. 1908, p. 457-474.

MINKOWSKI, Hermann. **Spacetime: Minkowski’s Papers on Spacetime Physics**. Montreal: Minkowski Institute Press, 2020.

_____. “Space and Time”. *In*: EINSTEIN, Albert; *et al.* **The Principle of Relativity**. Trad.: W. Perrett e G. B. Jeffery. N. York: Dover, 1952, capítulo 5, p. 73-91.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Explicando a Teoria da Relatividade**. Rio de Janeiro: Ediouro, 1997.

PAIS, Abraham. **Subtle is the Lord: the science and the life of Albert Einstein**. N. York: Oxford University Press, 2005.

PENROSE, Roger. “Introduction”. *In*: EINSTEIN, Albert. **Relativity: The Special and General Theory**. Trad. Robert W. Lawson. N. York: Pi Press, 2005, introdução, p. ix-xxvi.

PETKOV, Vesselin. “Introduction”. *In*: MINKOWSKI, Hermann. **Spacetime: Minkowski’s Papers on Spacetime Physics**. Montreal: Minkowski Institute Press, 2020, p. 1-56.

_____. (ed.). **Minkowski Spacetime: A Hundred Years Later**. Dordrecht, Heidelberg, Londres e N. York: Springer, 2009. Disponível em: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/66377/1/122.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2024.

POPPER, Karl. **Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge** 2. ed. Routledge: Londres, 2002.

PUTNAM, Hilary. “Time and physical geometry”. **Journal of Philosophy**, v. 64, n. 8, p. 240-7, 1967.

REICHENBACH, Hans. **The Philosophy of Space and Time**. N. York: Dover, 1957.

_____. **The Direction of Time**. N. York: Dover, 2021.

RUSSELL, Bertrand. **ABC of Relativity**. Routledge: Londres, 2009.

_____. “Relativity: Philosophical Consequences”. **Encyclopedia Britannica**, v. 31, n. 13, 331-332, Londres e N. York, 1926. Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/Bertrand-Russell-on-relativity-1988269/Relativity-physics>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SIDER, Theodore. “Four-dimensionalism”. **The Philosophical Review**, n. 106, p. 197-231, 1997.

_____. **Four-Dimensionalism: An Ontology of Persistence and Time**. Oxford, 2001.

STANNARD, Russell. **Relativity: A Very Short Introduction**. Revised impression. N. York: Oxford University Press, 2017.

WEYL, Hermann. **Philosophy of Mathematics and Natural Science**. Trad. Olaf Helmer. Princeton: Princeton University Press, 2021.

Fontes bibliográficas secundárias

ACKLOM, G. M. “Some Fourth Dimension Curiosities”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. XI, p. 134-143.

ANDREOLETTI, Giovanni. “Back to the (Branching) Future”. **Acta Anal**, v. 35, p. 181-194, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12136-019-00404-1>

BANCHOFF, Thomas F. “Introduction to the Dover Edition”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, introdução, p. iii-xii.

BESSO, Michele. “Besso à Einstein”. *In*: EINSTEIN, Albert; BESSO, Michele. **Correspondence: 1903-1955**. Trad., notas e introd.: Pierre Speziali. Paris: Hermann, 1972, n. 214, p. 536-537.

BLACKBURN, Simon. **The Oxford Dictionary of Philosophy**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2016.

BRAGDON, Claude. “Space and Hyperspace”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. VI, p. 91-99.

BOCCARDI, Emiliano; OAKLANDER, L. Nathan; TEGTMEIER, Erwin. **New Directions in the Russellian Theory of Time: Metaphysical and Ontological Investigations**. Londres: Bloomsbury Academic, 2024.

BURNS, Elmer E. “A Pupil in Geometry Quizzes his Teacher about the Fourth Dimension”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. XIX, p. 211-219.

CALLENDER, Craig. “Introduction”. *In*: CALLENDER, Craig. **The Oxford Handbook of Philosophy of Time**. Oxford: Oxford University Press, 2011. Introdução, p. 1-10.

CARPEAUX, Otto Maria. “Os Enigmas do Universo”. *In: CARPEAUX, O. M. Caminhos para Roma: aventura, queda e vitória do espírito*. Trad. Bruno Mori. Vide: Campinas, 2014, capítulo sem numeração, p. 29-57.

CHAMBERS, George Gailey. “The Meaning of the Term ‘Fourth Dimension’.” *In: MANNING, Henry Parker (ed.). The Fourth Dimension Simply Explained*. N. York: Dover, 2005, cap. XVIII, p. 201-210.

CRATHORNE, Arthur R. “The Fourth Dimension the Playground of Mathematics”. *In: MANNING, Henry Parker (ed.). The Fourth Dimension Simply Explained*. N. York: Dover, 2005, cap. XIII, p. 154-162.

CRISP, Thomas. “Presentism”. *In: LOUX, Michael J.; ZIMMERMAN, Dean W. (ed.). The Oxford Handbook of Metaphysics*. Oxford: Oxford Univ. Press, 2013. cap. 8, p. 211-245.

CROMMELIN, Andrew C. “The eclipse expedition to Sobral”. *The Observatory*, v. 42, 1919, p. 368-371. Disponível em:
https://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1919Obs...42..368C&defaultprint=YES&filetype=.pdf. Acesso: 22 jan. 2024.

CUTLER, Edward H. “Fourth Dimension Absurdities”. *In: MANNING, Henry Parker (ed.). The Fourth Dimension Simply Explained*. N. York: Dover, 2005, cap. III, p. 60-69.

DAINTON, Barry. “Time, Passage, and Immediate Experience”. *In: CALLENDER, Craig (ed.). The Oxford Handbook of Philosophy of Time*. Oxford: Oxford University Press, 2011, cap. 12, p. 382-419.

_____. “Temporal Consciousness”. *In: ZALTA, E. N. (ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2023 Edition). Disponível em:
<https://plato.stanford.edu/entries/consciousness-temporal/>. Acesso em: 8 jan. 2024.

DAVIDSON, W. S. “The Ascending Series of Dimensions”. *In: MANNING, Henry Parker (ed.). The Fourth Dimension Simply Explained*. N. York: Dover, 2005, cap. XV, p. 172-181.

DAVIS, Elizabeth Brown. “Difficulties in Imagining the Fourth Dimension”. *In: MANNING, Henry Parker (ed.). The Fourth Dimension Simply Explained*. N. York: Dover, 2005, cap. X, p. 125-133.

DiSALLE, Robert. “Space and Time: Inertial Frames”. *In: ZALTA, Edward N. (ed.). The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2022 Edition). Disponível em:
<https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/spacetime-iframes/>. Ac.: 22 jan. 2024.

DYSON, Frank Watson; EDDINGTON, Arthur Stanley; & DAVIDSON, C. “IX. A determination of the deflection of light by the sun’s gravitational field, from observations made at the total eclipse of May 29, 1919”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character, 1920, p. 291-333. <http://doi.org/10.1098/rsta.1920.0009>

EDDINGTON, Arthur S. & DAVIDSON, C. “Total Eclipse of the Sun, 1912 October 10. Report on an Expedition to Passa Quatro, Minas Geraes, Brazil”. *Monthly Notices of the*

Royal Astronomical Society, v. 73, n. 5, 1913, p. 386–390.
<https://doi.org/10.1093/mnras/73.5.386>.

ELLIS, Wilmot E. “The Properties of Fourth-Dimensional Space”. *In*: MANNING, H. P. (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. XXII, p. 242-51.

EMERY, Nina; MARKOSIAN, Ned; & SULLIVAN, Meghan. “Time”. *In*: ZALTA, Edward N. (ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Winter 2020 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/time/>. Acesso em: 21 ago. 2024.

FITCH, Graham Denby. “An Elucidation of the Fourth Dimension”. *In*: MANNING, H. P. (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005a, cap. I, p. 43-51.

_____. “Non-Euclidean Geometry of the Fourth Dimension”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005b, cap. II, p. 52-59.

GALISON, Peter L. “Minkowski’s Space-Time: From Visual Thinking to the Absolute World”. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v. 10, 1979, p. 85-119. Reimpressão, p. 9-41. Disponível em: https://projects.iq.harvard.edu/files/andrewsmith/files/galison_-_minkowski.pdf. Acesso em: 18 fev. 2024.

GREENE, Brian. **WSU: Special Relativity with Brian Greene**. Curso *online* “Special Relativity”. World Science U, 2020. Disponível em: <https://worldscienceu.com/courses/special-relativity-world-science-u/>. Acesso: 29 jan. 2024.

GUMAER, Percy Wilcox. “The True and False in the Theory of Fourth Dimensions”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. XIV, p. 163-171.

GUNNELL, Leonard C. “Length, Breadth, Thickness, and then What?”. *In*: MANNING, H. P. (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. VIII, p. 110-17.

GUSTAVSSON, Kent. “Charlie Dunbar Broad”. *In*: ZALTA, Edward N. (ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Fall 2021 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/broad/>. Acesso em: 8 jan. 2024.

GUTFREUND, Hanoch; RENN, Jürgen. “A Reading Companion: thirteen commentaries”. *In*: EINSTEIN, Albert. **Relativity: The Special and General Theory** (100th Anniversary edition). Trad. Robert W. Lawson. Princeton: Princeton Univ. Press, 2015 (*Comentários*, p. 179-240).

HAAS, Arthur. “An Interpretation of the Fourth Dimension”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. VII, p. 100-109.

HAWLEY, Katherine. “Temporal parts.” *In*: ZALTA, E. N. (ed.), **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Spring 2023 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/temporal-parts/>. Acesso em: 6 jun. 2024.

HEISENBERG, Werner. **Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science**. N. York: Harper Torchbooks, 1958, capítulo VII (“The Theory of Relativity”), p. 110-127. Coleção: World Perspectives, v. 19.

HOEFER, Carl; HUGGETT, Nick; & READ, James. “Absolute and Relational Space and Motion: Classical Theories”. *In*: ZALTA, Edward N. & NODELMAN, Uri (eds.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Spring 2023 Edition). Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2023/entries/spacetime-theories-classical/>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

HOLLAND, W. T. “Other Dimensions than Ours”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. XVII, p. 192-200.

HOWARD, Don A. & GIOVANELLI, Marco. “Einstein’s Philosophy of Science”. *In*: ZALTA, Edward N. Zalta (ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Fall 2019 Edition). Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/einstein-philsience/>>. Acesso em: 12 jan. 2024.

HUGGETT, Nick; HOEFER, Carl; & READ, James. “Absolute and Relational Space and Motion: Post-Newtonian Theories”. *In*: ZALTA, Edward N. & NODELMAN, Uri (eds.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Spring 2023 Edition). Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2023/entries/spacetime-theories/>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

HUME, David. **An Enquiry Concerning Human Understanding**. N. York: Oxford University Press, 2007.

INGRAM, David & TALLANT, Jonathan. “Presentism”. *In*: ZALTA, Edward N. & NODELMAN, Uri (eds.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Winter 2023 Edition). Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/win2023/entries/presentism/>>. Acesso em: 8 jan. 2024.

INSTITUTO MINKOWSKI. **Institute for Foundational Studies “Hermann Minkowski”**, 2024. Página eletrônica. Disponível em: <https://www.minkowskiinstitute.com/>. Acesso em: 21 ago. 2024.

ISMAEL, Jenann. **Time: A Very Short Introduction**. Oxford: Oxford University Press, 2021.

JOHNSON, Paul. **Modern Times: the world from the twenties to the nineties**. Ed. rev. N. York: Harper Collins, 1991.

JOHNSTON, Charles. “The Mind’s Eye and the Fourth Dimension”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. XVI, p. 182-191.

KUTACH, Douglas. “The Asymmetry of Influence”. *In*: CALLENDER, C. (ed.). **The Oxford Handbook of Philosophy of Time**. Oxford: Oxford University Press, 2011, cap. 8, p. 247-275.

LARA RESENDE, Otto. “Está tudo gravado”. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, ano 72, n. 22.988, 11 mar. 1992. Primeiro Caderno, seção Opinião, p. 2. Disponível em: <https://acervo.folha.com.br/leitor.do?numero=11630&anchor=4771106&origem=busca&origemURL=&maxTouch=0&pd=eff0933efecfad84aac1f6f78292cffe> e em: <https://cronicabrasileira.org.br/cronicas/6350/esta-tudo-gravado>. Acessos em: 18 mai. 2023.

LE POIDEVIN, Robin. “The Experience and Perception of Time”. *In*: ZALTA, Edward N. (ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Summer 2019 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/time-experience/>. Acesso em: 8 jan. 2024.

LOUX, Michael J. “The Nature of Time”. *In*: LOUX, Michael J.; CRISP, Thomas M. **Metaphysics: A Contemporary Introduction**. Routledge, 2017, cap. 7, p. 198-222.

LUMINET, Jean-Pierre. “Time, Topology, and the Twin Paradox”. *In*: CALLENDER, Craig (ed.). **The Oxford Handbook of Philosophy of Time**. Oxford: Oxford University Press, 2011, cap. 17, p. 528-545.

MCCALL, Storrs. **A Model of the Universe: Space-Time, Probability, and Decision**. New York: Oxford University Press, 1994.

MCDANIEL, Kris, “John M. E. McTaggart”. *In*: ZALTA, Edward N. (ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Summer 2020 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/mctaggart/>. Acesso em: 9 jan. 2024.

MCGRATH, Matthew. “Four-Dimensionalism and the Puzzles of Coincidence.” *In*: ZIMMERMAN, Dean (ed.). **Oxford Studies in Metaphysics**, v. 3, p. 143-76. Oxford: Oxford University Press, 2007.

_____. “Temporal Parts”. **Philosophy Compass**, v. 2, n. 5, 2007, p. 730-748.

MOZERSKY, Joshua. “Presentism”. *In*: CALLENDER, Craig (ed.). **The Oxford Handbook of Philosophy of Time**. Oxford: Oxford University Press, 2011. cap. 5, p. 122-144.

NERLICH, Graham. “Space-Time Substantivalism”. *In*: LOUX, Michael J.; ZIMMERMAN, Dean (ed.). **The Oxford Handbook of Metaphysics**. Oxford: Oxford University Press, 2013, cap. 10, p. 281-314.

NORTON, John D.; POOLEY, Oliver; & READ, James. “The Hole Argument”. *In*: ZALTA, Edward N. & NODELMAN, Uri (eds.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Summer 2023 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2023/entries/spacetime-holearg/>. Acesso em: 19 jan. 2024.

PESSOA JR., Osvaldo. “O que é a filosofia da física?”. *ComCiência – Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*, n. 156, Campinas: Unicamp, 2014. Disponível em: http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542014000200007&lng=e&nrm=iso. Acesso em: 10 jun. 2024.

_____. “Natureza Física do Tempo”. *In*: PESSOA JR., Osvaldo. **Curso de Filosofia da Física Clássica**, 2020a (Capítulo VII), p. 47-54. Disponível em: https://opessoa.ffe.usp.br/sites/opessoa.ffe.usp.br/files/FiFi-20-Cap07-Tempo-na-Fisica_0.pdf. Acesso em: 12 jan. 2024.

_____. “Análises Filosóficas do Tempo”. *In*: PESSOA JR., Osvaldo. **Curso de Filosofia da Física Clássica**, 2020b (Capítulo VIII), p. 55-62. Disponível em:

<https://opessoa.fflch.usp.br/sites/opessoa.fflch.usp.br/files/FiFi-20-Cap09-Tempo-na-Relatividade.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.

_____. “Natureza Relativística do Tempo”. *In*: PESSOA JR., Osvaldo. **Curso de Filosofia da Física Clássica**, 2020c (Capítulo IX), p. 63-70. Disponível em: <https://opessoa.fflch.usp.br/sites/opessoa.fflch.usp.br/files/FiFi-20-Cap08-Tempo-na-Filosofia.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.

PLATONIDES (pseudônimo). “The Boundary of the Four-Dimensional Unit and Other Features of Four-Dimensional Space”. *In*: MANNING, Henry Parker (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. IV, p. 70-80.

PRICE, Huw. “The Flow of Time”. *In*: CALLENDER, Craig (ed.). **The Oxford Handbook of Philosophy of Time**. Oxford: Oxford University Press, 2011, cap. 9, p. 276-311.

REA, Michael. “Four-Dimensionalism”. *In*: LOUX, M.; ZIMMERMAN, D. (ed.). **The Oxford Handbook of Metaphysics**. Oxford: Oxford University Press, 2013. cap. 9, p. 246-280.

RICHMOND, Carl A. “How the Fourth Dimension May Be Studied”. *In*: MANNING, H. P. (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. V, p. 81-90.

RYCKMAN, Thomas A. “Early Philosophical Interpretations of General Relativity”. *In*: ZALTA, Edward N. & NODELMAN, Uri (eds.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Summer 2024 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2024/entries/genrel-early/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

RYNASIEWICZ, Robert. “Newton’s Views on Space, Time, and Motion”. *In*: ZALTA, Edward N. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Spring 2022 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/newton-stm/>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SAVITT, Steven. “Time in the Special Theory of Relativity”. *In*: CALLENDER, Craig (ed.). **The Oxford Handbook of Philosophy of Time**. Oxford: Oxford University Press, 2011, cap. 18, p. 546-570.

_____. “Being and Becoming in Modern Physics”. *In*: ZALTA, Edward N. (ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Winter 2021 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/spacetime-bebecome/>. Acesso em: 8 jan. 2024.

SELLARS, Wilfrid. **Science, Perfection and Reality**. Atascadero: Ridgeview Pub. Co., 1991.

SILVERMAN, A. C. “The Fairyland of the Fourth Dimension”. *In*: MANNING, H. P. (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. XXI, p. 232-41.

WORRELL, Louis W. “Characteristics of the Fourth Dimension”. *In*: MANNING, H. P. (ed.). **The Fourth Dimension Simply Explained**. N. York: Dover, 2005, cap. XII, p. 144-153.

ZIMMERMAN, Dean W. “Presentism and the Space-Time Manifold”. *In*: CALLENDER, Craig (ed.). **The Oxford Handbook of Philosophy of Time**. Oxford: Oxford University Press, 2011. cap. 7, p. 163-244.