

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

FILIFE PAMPLONA NASCIMENTO GONÇALVES

EPISTEMOLOGIA, EMPIRISMO LÓGICO E FILOSOFIA DO ESPAÇO & TEMPO:  
Um Programa de Pesquisa Epistemológica e as contribuições dos Círculos de Viena e Berlim  
diante da Teoria da Relatividade.

RIO DE JANEIRO

2014

FILIFE PAMPLONA NASCIMENTO GONÇALVES

EPISTEMOLOGIA, EMPIRISMO LÓGICO E FILOSOFIA DO ESPAÇO & TEMPO:  
Um Programa de Pesquisa Epistemológica e as contribuições dos Círculos de Viena e Berlim  
diante da Teoria da Relatividade.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Orientador: Carlos Benevenuto Guisard Koehler

RIO DE JANEIRO

2014

## CIP - Catalogação na Publicação

P635e Pamplona Nascimento Gonçalves, Filipe  
Epistemologia, Empirismo Lógico e Filosofia do  
Espaço & Tempo: um Programa de Pesquisa  
Epistemológico e as Contribuições dos Círculos de  
Viena e Berlim diante da Teoria da Relatividade /  
Filipe Pamplona Nascimento Gonçalves. -- Rio de  
Janeiro, 2014.  
100 f.

Orientador: Carlos Benevenuto Guisard Koehler.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal  
do Rio de Janeiro, Decania do Centro de Ciências  
Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós  
Graduação em História das Ciências e das Técnicas e  
Epistemologia, 2014.

1. epistemologia. 2. empirismo lógico. 3.  
relatividade. 4. espaço-tempo. 5. filosofia da  
ciência. I. Benevenuto Guisard Koehler, Carlos ,  
orient. II. Título.

FILIFE PAMPLONA NASCIMENTO GONÇALVES

EPISTEMOLOGIA, EMPIRISMO LÓGICO E FILOSOFIA DO ESPAÇO & TEMPO:  
Um Programa de Pesquisa Epistemológica e as contribuições dos Círculos de Viena e Berlim  
diante da Teoria da Relatividade.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, do Centro de Ciências da Matemática e da Natureza, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em História das Ciências das Técnicas e Epistemologia.

Aprovada em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / 2014.

---

Carlos Benevenuto Guisard Koehler, Drº. HCTE (UFRJ)

---

José Carlos de Oliveira, Drº. HCTE (UFRJ)

---

Roberto Affonso Pimentel Júnior, Drº. CAp (UFRJ)

---

Francisco Caruso Neto, Drº. HCTE (UFRJ) / IF (UERJ) / CBPF

---

Antônio Augusto Videira Passos, Drº. HCTE (UFRJ) / PPGFIL (UERJ)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este Projeto de Dissertação de Mestrado ao expedicionário programa de pós-graduação, híbrido e proeminente, que me permitiu desfrutar os dois anos mais fecundos da minha carreira de pesquisa, além dos avanços de índole artística e pessoal – ao HCTE. Dedico especialmente aos seus pós-graduandos, no intuito de que este trabalho sirva de introdução à temática epistemológica e às suas aspirações, no que concerne aos temas aqui abordados e às perspectivas futuras projetadas.

Que a História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia preencham cada vez mais as lacunas cognitivas da especialização abrupta e colaborem para os avanços científicos, filosóficos e artísticos de nossas universidades, centros e meios sociais.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Carlos Koehler, mais uma vez agradeço à honra de sua orientação; pela compreensão, pelo aprendizado e pela dosagem fecunda entre liberdade e contraposição ao longo destes dois anos.

Aos demais cúmplices e avaliadores deste trabalho – profs. Francisco Caruso, Augusto Videira, José Carlos de Oliveira e Roberto Pimentel – pela disponibilidade e pelo enriquecimento que me proporcionaram com seus cursos, diálogos e atenções.

Agradeço especialmente à secretaria do HCTE, cuja eficiência e cumplicidade de seus funcionários otimizam as metas de todos nós, pós-graduandos e professores, propulsionando o crescimento deste sonho desperto que é o HCTE.

Por fim, aos demais parceiros de trabalho, amigos e familiares, minha contínua gratidão.

*“Demônios da Racionalidade*

*curvam-se ao trono da Empiria  
conspiram de dia, sem maldade  
despertam na noite a fantasia...*

*No princípio era o Caos – desordem*

*Mas num toque de mágica – a Ordem*

*... talvez o átomo primordial  
eclode! Espaço e tempo afinal*

*se formem... Sete? Bilhões? Quem dera*

*... qualquer numeral, diz o mortal:*

*Era uma vez o era uma vez o era...”*

(PAULO PETA, *Canto Irreal*)

*“Não há escapatória, ainda que apenas seja para terminar abraçando filosofias antifilosóficas. Pois o físico chegou a compreender que se lança a filosofia ao fogo, sua própria ciência arderá com ela”.*

(JAMES R. NEWMAN)

*“A filosofia se distingue das outras artes e ciências mais pelo método do que pelo objeto”.*

(ALFRED JULES AYER)

*“O tempo, como o Mundo, tem dois hemisférios: um superior e visível, que é o passado, outro inferior e invisível, que é o futuro; no meio de um e outro hemisfério ficam os horizontes do tempo, que são estes instantes do presente que vamos vivendo, onde o passado se termina e o futuro começa.”*

(PADRE ANTÔNIO VIEIRA)

## RESUMO

PAMPLONA, Filipe N. G. Epistemologia, Empirismo Lógico e Filosofia do Espaço & Tempo: um Programa de Pesquisa Epistemológica e as contribuições dos Círculos de Viena e Berlim diante da Teoria da Relatividade. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Programa em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Este trabalho é formado pela união de três ramos de pesquisa que fazem interseção: a Epistemologia, a História da Filosofia (Contemporânea) e as Teorias do Espaço & Tempo na História da Física. No primeiro é feita uma abordagem qualitativa da Epistemologia e da Filosofia da Ciência no intuito de se propor um efetivo programa de pesquisa epistemológica com aplicações no futuro; no segundo, discorre-se sobre a história dos Círculos de Viena e Berlim na primeira metade do século XX; e no terceiro, enfim, são analisadas as contribuições de seus integrantes para a chamada Filosofia do Espaço & Tempo, através dos trabalhos de Moritz Schlick, Rudolf Carnap e Hans Reichenbach, diante da Teoria da Relatividade de Einstein. Um dos objetivos deste trabalho é demonstrar a relação biunívoca entre a filosofia e a ciência contemporânea (entre as ciências, restringe-se aqui à física), argumentando como podemos engendrar a prática científica em níveis cognitivos, axiológicos e sociais por vias epistemológicas; as influências das novas teorias físicas no pensamento filosófico da primeira metade do século XX através de uma análise conceitual e histórica dos Círculos de Viena e Berlim; e como as teorias do espaço e tempo, por exemplo, estão no âmago deste conjunto de interseção formado pela física e pela filosofia. As perspectivas deste trabalho apontam para uma concepção de prática científico-filosófica inseparável, resultando-se dele dois projetos para futuros desenvolvimentos: a formação de um coletivo que coloque em prática o Programa de Pesquisa Epistemológica e suas metas, assim como uma possível contribuição às Teorias do Espaço & Tempo através de novas abordagens da física da última década em diante.

Palavras-chave: epistemologia, empirismo lógico, espaço & tempo.

## ABSTRACT

PAMPLONA, Filipe N. G. Epistemologia, Empirismo Lógico e Filosofia do Espaço & Tempo: um Programa de Pesquisa Epistemológica e as contribuições dos Círculos de Viena e Berlim diante da Teoria da Relatividade. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Programa em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

This work is formed by the union of three research areas that intersect: Epistemology, History of Philosophy (Contemporary) and Theories of Space & Time in the History of Physics. In the first is made a qualitative approach to epistemology and philosophy of science in order to propose an effective program of epistemological research with applications in the future; in the second, it talks about the history of the Vienna and Berlin Circles in the first half of the twentieth century; and in the third, finally, its analyzed the contributions of its members to the called Philosophy of Space & Time, through the works of Moritz Schlick , Rudolf Carnap and Hans Reichenbach, on the Theory of Relativity by Einstein. The main objective of this work is partially demonstrate the two-way relationship between philosophy and contemporary science (in this case, physical), arguing how we can engender scientific practice in the cognitive, axiological and social levels, through the epistemological study; the influence of new physics in the philosophical thought of the first half of the twentieth century, through a conceptual and historical analysis of the Circles of Vienna and Berlin; and how theories of space and time, for example, are at the heart of this set of intersection formed by physics and philosophy. The prospects of this study points to a conception of inseparably scientific-philosophical practice, resulting from him two projects for future developments: the formation of a collective that put into practice the Program of Epistemological Research and work for its goals, as well as a possible contribution to the Theories of Space & Time through the new approaches to the physics of the last decade on.

Keywords: epistemology, logical empiricism, space & time.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – A Convenção dos Afluentes .....	37
Figura 2 – Estrutura do Programa de Pesquisa Epistemológica .....	41
Figura 3 – Coordenadas Gaussianas .....	92
Figura 4 – Algumas possíveis Curvaturas Espaciais .....	94
Figura 5 – O Triângulo Lógico .....	106

## SUMÁRIO

Introdução .....	13
I. PRINCÍPIOS DE UM PROGRAMA DE PESQUISA EPISTEMOLÓGICA .....	15
1) A Epistemologia Heurística, Axiológica e Social .....	20
2) A Pluralidade das Ciências .....	25
3) Um Programa de Pesquisa Epistemológica .....	32
4) Conclusões Parciais .....	46
II. EMPIRISMO LÓGICO: OS CÍRCULOS DE VIENA E BERLIM .....	48
1) As Origens do Positivismo e da Filosofia Analítica ( <i>de Comte, Mach à Bertrand Russell e Wittgenstein</i> ) .....	50
2) Os Círculos de Viena e Berlim .....	58
III. A FILOSOFIA DO ESPAÇO & TEMPO .....	70
1) Introdução Histórica .....	72
2) Os Princípios da Relatividade Especial e Geral .....	79
2.1) Noções da Teoria da Relatividade Especial .....	80
2.2) Noções da Teoria da Relatividade Geral .....	89
3) A Interpretação Lógico-Empirista .....	95
IV. CONCLUSÕES & PERSPECTIVAS FUTURAS .....	103
Referências .....	107

## INTRODUÇÃO

A Filosofia, ao se projetar na Ciência, pode ser entendida como uma matriz do conhecimento científico, sendo, ao mesmo tempo (em sua parte teórica) uma ciência de todo conhecimento. Neste caso, seus objetos são o pensamento e o conhecimento científicos, ou seja, o instrumento de que o investigador se serve como uma coisa dada, cuja consistência e pressuposições deixa sem investigar. A partir desta concepção, entende-se que todo o conhecimento provindo da Ciência é apoiado sobre fortes bases filosóficas, permitindo que certos critérios racionais e experimentais a partir daí sejam aceitos, testados, observados, analisados, criando a crença fundamentada de que a partir deles algum critério de verdade possa ser alcançado. Apesar de tais bases filosóficas não serem objetos diretos de investigação da maioria dos pesquisadores e cientistas, cada um inserido dentro da sua própria problemática, entende-se que todos já recebem esta base subentendida no contexto de sua época, onde cada passo significativo, de uma forma ou de outra, significa também renovar tais bases filosóficas.

Este trabalho se afirma enquanto *projeto de dissertação*, ou seja, como mais um levantamento de estudos que ocupará nossas bibliotecas. Designá-lo como ‘tese de mestrado’ (mais usual há poucas décadas atrás) seria um equívoco em toda a sua estrutura, pois ele não encerra nenhuma tese própria ao ponto de validá-la; restringe-se, portanto, a um levantamento de estudos, porém, fertilizando duas possibilidades de teses para a elaboração ao nível do doutorado ou em trabalhos posteriores (nas Conclusões & Perspectivas Futuras elas são apresentadas). Entendendo-se as exigências contemporâneas de nosso meio acadêmico para a validação de um projeto de dissertação, exigir-se-á consistência, riqueza e boa elaboração nos assuntos discorridos e que sejam dignos de pertencerem à área que se pretende o título (no caso, de Mestre em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia). Desta forma, dissertar bem seu conjunto de estudos e ainda oferecer oportunidades futuras para o desenvolvimento das ideias aqui elaboradas, tornam-se as metas principais desta dissertação, do seu autor e da banca avaliadora que o contribui.

Acima de tudo, não podemos negligenciar o público alvo a quem o projeto se direciona; que são todos os estudantes e interessados no conjunto aqui abordado, mas principalmente os pós-graduandos do próprio HCTE. Tratando-se de uma pós-graduação híbrida e interdisciplinar, presta-se aqui o desafio de ter uma linguagem acessível a todos, não se aprofundando de forma hermética em nenhum dos seus pontos, mas ao mesmo tempo abrindo caminho para os interessados pelo aprofundamento, seja na Epistemologia (em geral),

na história e nos trabalhos específicos dos Círculos de Viena e Berlim, e principalmente nos trabalhos que se remontam à Filosofia do Espaço & Tempo. No que exigir uma base específica prévia, a dissertação dará as referências necessárias e, em alguns pontos, ela mesma se presta a dar, além do próprio decorrer do texto que se atenta ao avanço gradual do leitor, permitindo então seu aprofundamento.

No final do primeiro ano de mestrado foi finalizada uma monografia chamada: ‘O Neopositivismo & A Filosofia do Espaço-Tempo’, monografia esta que correspondeu à obtenção do título de astrônomo pelo Observatório do Valongo da UFRJ (o trabalho obteve uma aprovação heterodoxa em face àquela ortodoxia, de trabalhos restritos ao campo da astronomia, por elevar o interesse da astronomia ao conjunto da filosofia da ciência, da epistemologia e, de certa forma, a filosofia dela mesma – tratando-se da filosofia da natureza, da cosmologia, da astronomia no positivismo e no neopositivismo e, enfim, as teorias do espaço e tempo). A partir daquela monografia, o segundo ano do mestrado se prestou a desenvolver algumas ideias diferentes dentro da Epistemologia (que culminaram nos ‘Princípios de um Programa de Pesquisa Epistemológica’, nosso primeiro capítulo), além de amadurecer os estudos no que diz respeito ao Empirismo Lógico e à Filosofia do Espaço & Tempo.

O primeiro capítulo deste projeto (como novidade) poderia conduzir por si só a elaboração dos próximos, mas foi viável truncá-lo e não negligenciar a pesquisa de todo o primeiro ano do mestrado, trazendo à tona (novamente) boa parte do assunto da monografia, subtraindo-se o que era específico para a astronomia, porém somando-se um amadurecimento quanto ao tema, melhor rigor e qualidades que o tornam digno da conclusão de um mestrado (além da abertura cautelosa perante a linguagem mais hermética do seu “berçário”, ou seja, a astronomia). Relatado este processo, torna-se nítido agora para o leitor o porquê de este projeto atuar num conjunto de interseção híbrido e unificado, apresentando-se como “três retas paralelas que se unem no infinito”.

O maior sucesso de um projeto didático talvez seja instigar e dar subsídio teórico consistente para que o leitor dê continuidade aos seus estudos, conduzindo-o ao “panteão *hard*” que o tornará digno de contribuição. Aqui não se desenvolve somente tal “panteão”, mas espera-se dar o caminho para que o leitor atinja o seu próprio; além de disponibilizar as pretensões futuras de teses e trabalhos que, caso o interlocutor se interesse, torna-se desde já um candidato para colaboração. Esta ‘Introdução’ assume uma assíntota muito mais “prefaciadora” do que referencialmente introdutória, mas presume-se ter introduzido a atmosfera acadêmica e cognitiva que levou este projeto à sua elaboração.

I. PRINCÍPIOS DE UM PROGRAMA DE PESQUISA  
EPISTEMOLÓGICA

## PREÂMBULO I

Os esforços neste capítulo apontam para uma contribuição mais “metaepistemológica” do que metacientífica, inicialmente. Aqui não se constrói uma teoria do conhecimento científico em si e não se almeja responder premeditadamente questões do tipo: o que é ciência? Qual a natureza e o valor do conhecimento científico? Estas perguntas primaciais são substituídas por outras, que se aplicam ao próprio campo de investigação que se pretende soerguer: o que é a epistemologia? E qual concepção de tarefa epistemológica pretendemos exercer?

O objetivo principal é fomentar princípios de um possível programa de pesquisa epistemológica coletivo, que permita superar os impasses predecessores e alcançar as contribuições aqui postuladas. Primeiramente, torna-se preciso compreender a atividade epistemológica como algo além de uma prática puramente filosófica, mas científica e social; elevaremos a análise epistemológica aos níveis heurísticos, axiológicos e sociais; depois, ao transcorrer sobre a pluralidade das ciências diante da filosofia (de forma sucinta e qualitativa), serão introduzidos os pontos de partida para que este futuro programa de pesquisa venha a se consolidar.

Perceberá o interlocutor em sua leitura que alguns dos embasamentos necessários para certas asserções neste capítulo são deixados para trabalhos ulteriores, para além desta dissertação; em parte se justificam pelas referências dadas, mas seus objetivos fomentam a “atmosfera crítica” que encorajou a criação desta proposta, adotando a ousada atitude de “abrir o caminho sem se preocupar demasiadamente com os espinhos”, desde que os “espinhos” não invalidem a proposta geral; exige-se assim uma leitura crítica que valorize os fins acima dos meios, mas que qualquer discordância construtiva ao meio seja capaz de enriquecer o programa em construção.

Uma proposta de primeira aplicação futura é escolhida, com base na Teoria da Relatividade Especial e, por fim, conclusões parciais arrematam as pretensões deste capítulo, representando um primeiro passo diante de futuros desenvolvimentos.

Palavras-chave (específicas): epistemologia, filosofia da ciência, programa de pesquisa, heurística, axiologia, estudos sociais da ciência.

*“É um fato peculiar da gênese e do desenvolvimento de novas disciplinas que o rigor excessivo imposto prematuramente sufoca a imaginação e anula a invenção. Certa liberdade dos rigores da formalidade assistida tende a promover o desenvolvimento de uma disciplina nas suas fases iniciais, ainda que isto represente o risco de certa margem de erro”.*

(RUSSELL)

*A ciência cujo objeto de investigação é a própria ciência;* esta definição poderia, até certo ponto, ser atribuída à epistemologia. No entanto, a primeira inferência diretamente dela seria: sendo uma ciência, os métodos dos quais utiliza para investigar a própria ciência são científicos. Rapidamente se percebe a avalanche de problemas e perguntas que recairia sobre tal definição, por exemplo: o que é ciência? Quais são seus métodos? O que pode constituir um objeto de investigação científica e o que não?

Em segunda instância, depara-se com as perguntas: a ciência pode se autoanalisar, ou seja, ela pode ser objeto de pesquisa de si própria? Seus métodos podem ser aplicados contra si mesma? Ou qual é a melhor forma de conhecimento para analisá-la e por quem? Em terceira instância, pode-se considerar algumas perguntas de cunho mais grosso: de que vale analisar a ciência? Pra que serve isto? Para que e a quem isto contribui? E para quem deve contribuir?

Poder-se-ia continuar formulando uma série enorme de perguntas e problemas gerados por aquela sintética definição, no entanto, percebe de antemão o sucesso pragmático que ela atinge; ao tentar definir a epistemologia daquela forma, por mais que tal definição esteja equivocada ou não, automaticamente dela se infere um âmago enorme de problemas e questões que definem, aproximadamente, a própria temática epistemológica. Por certo ângulo, ao se definir sinteticamente uma área do conhecimento, de estudo e pesquisa, a definição deve remeter mais aos seus objetos e questões do que às respostas dadas; deve restringir, mas dar também a abertura e flexibilidade necessárias para que não se torne auto excludente. Portanto, exige-se de uma definição sintética mais eficiência do que plena veracidade. Novamente, volta a se afirmar o quanto esta definição parece ter um estranho sucesso pragmático.

Porém, como teoria do conhecimento científico, a epistemologia se insere de forma cognitiva e institucional dentro da filosofia, como uma das disciplinas filosóficas. Ao longo

das décadas e variando entre países e pesquisadores, o termo ‘epistemologia’ (*episteme* – conhecimento, ciência; *logos* – ideia, estudo, discurso) é empregado especificamente como teoria do conhecimento, ou até designando o quadro geral da filosofia da ciência. A distinção entre gnosiologia (teoria do conhecimento *geral*) e epistemologia (teoria do conhecimento *científico*) caiu quase em desuso; além disso, inúmeras questões desde a metafísica, a ontologia, a filosofia da natureza, a história, a psicologia e os estudos sociais, invadem a temática epistemológica. A partir disto, questiona-se: o que é a epistemologia? O fato de seu objeto de investigação ser a ciência exclui necessariamente a possibilidade de se constituir também como uma prática científica? A epistemologia não é capaz de gerar contribuições científicas? Os cientistas, em sua atividade, não exercem escolhas e procedimentos epistemológicos? Uma análise epistemológica não é capaz de enriquecer teorias e engendrar a própria ciência?

Quando nos autoanalisamos, tornamo-nos em parte conscientes de nossas ações e podemos desempenhar mudanças sobre nós mesmos; quando outra pessoa nos analisa e nos torna consciente de sua visão, este diálogo também pode desempenhar mudanças e contribuições para nós, na mesma medida em que contribui também para aquele que nos analisou. Metaforicamente, digamos que “nós” sejamos a ciência e a “outra pessoa” é a “mãe” filosofia. Além disto, digamos que o procedimento da análise é a própria epistemologia. O problema é que quando a ciência realiza sua autoanálise (ou seja, quando o cientista analisa os aspectos formais de sua área de conhecimento), isto é reconhecido como uma atividade científica em si, e quando a filosofia (ou seja, o filósofo) analisa a ciência, daí dirão ser uma atividade filosófica (chamada de epistemologia ou filosofia da ciência). Que a epistemologia constitui, por um lado, uma atividade filosófica, disto não se tem a menor dúvida; o problema está no outro lado, no reconhecimento da epistemologia também como uma atividade científica. Se considerarmos a ciência e a filosofia como saberes distintos (o que em parte pode ser colocado em xeque) e uma análise epistemológica duma ciência particular identificar um erro sintático, propor uma modificação ou uma contribuição qualquer, é certo que ao se modificar uma teoria ou propor um novo embasamento experimental, o que estamos realizando é a prática científica em si, mas as vias epistemológicas para se chegar a tais modificações devem ser reconhecidas.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Para o caso da epistemologia presente na prática científica cabe a fundamentação de todo um trabalho ulterior. Por ora, admite-se que a prática científica, a construção teórica e o embasamento experimental também são moldados por escolhas e procedimentos epistemológicos implícitos ou explícitos; implícitos quando estes são feitos de maneira inconsciente pelo pesquisador, ou por convenções herdadas em sua época; explícitos quando o problema encarado exige claramente decisões epistemológicas (recorrentes nos casos em que duas ou mais teorias competem diante da mesma base experimental; nos casos em que revistas e meios de divulgação científica estabelecem seus próprios critérios de demarcação; quando uma teoria é

Um problema ainda maior está no diálogo entre filosofia – ciência, fundamental para que este processo de análise se torne construtivo. O cientista, na falta de formação filosófica, torna-se um crédulo ingênuo de sua linguagem, buscando menos confrontá-la com as demais linguagens que enriquecem o mundo e com as próprias bases filosóficas que sustentam o pensamento científico; portanto, menos apto a questionar, criticar e propor significativas contribuições à própria ciência – esta entendida como um conhecimento inacabado, em constante evolução. É certo que todo cientista recebe em sua formação preceitos epistemológicos de sua época, através do seu próprio processo de doutrina e aprendizado. A epistemologia tem o papel de torná-lo consciente e crítico da linguagem que utiliza e, a partir disto, mais apto a renová-la. A formação acadêmica estrita de hoje tende a formar operários do conhecimento, cada vez mais especializados e deficientes no diálogo com suas vizinhanças.

Por outro lado, no âmbito da filosofia, não há dúvida que a ciência constitui um dos seus maiores objetos de pesquisa contemporânea. No entanto, parte da filosofia da ciência se torna quase uma “mãe chorando a filha pródiga que infelizmente não vai voltar pra casa. Procurando sempre analisá-la, saber onde ela está, normatizá-la, dizer o que ela deve ou não fazer, etc.” A falta de formação científica e domínio teórico das ciências, ou simplesmente a falta de imersão científica e diálogo com aqueles que estão na dianteira do fazer ciência, muitas vezes é a causa de análises equivocadas, más interpretações ou o que é pior; trabalhos que se tornam cada vez mais interessantes apenas para o âmbito filosófico, mas que não se comunicam em nada com a prática científica do presente. Ou senão, no âmago dos trabalhos mais sólidos, acabam se voltando mais para o passado ou para aspectos demasiadamente generalistas, num certo retardo filosófico alienativo, enquanto o carente diálogo de hoje requer uma epistemologia do presente, que acompanhe diretamente a prática científica e a pesquisa de ponta das universidades e centros.

No entanto, esta epistemologia do presente não deve se inclinar apenas aos aspectos sociais e filosóficos da chamada *big science*, em querer justificar ou desmantelar o porquê da prática científica, nem ostentar participar do “jogo da ciência” por vias que se transmutem em eternas querelas e rivalidades. Enquanto congressos e congressos (publicações e publicações...) podem se desenrolar nesta vertente, os cientistas continuam sua prática e todo o fenômeno da ciência não deixa de existir, além de se sobressair, tanto em fomento quanto

---

considerada científica ou não; quando questões da linguagem, das interpretações e da postura científica se colocam na dianteira do debate e da construção da ciência; etc.). Para o caso de uma filosofia implícita na física, por exemplo, Mario Bunge elabora uma crítica em *Física e Filosofia* (1978), destacando a visão *operacionalista* que os físicos herdaram em sua época.

em credibilidade, contra aqueles que perdem seu tempo “atirando pedras de longe na cruz da ciência” – todo este “voyeurismo” dos debates sobre ela, o criticismo e as análises que são pregadas, de nada valem se não dialogarem com aqueles que estão imersos na prática científica, na maioria das vezes carentes de um diálogo que possa realmente otimizar tanto o fazer científico quanto o filosófico e social. Vejamos a prática científica, filosófica e social como uma atividade única; as vias desta integração se darão através de uma nova concepção da tarefa epistemológica.

### 1) A EPISTEMOLOGIA HEURÍSTICA, AXIOLÓGICA E SOCIAL

Como disciplina filosófica, dentro da chamada *teoria da ciência*, integrada pela lógica e pela gnosiologia (teoria do conhecimento geral); a epistemologia nasce como uma subárea da gnosiologia, que trata da teoria do conhecimento científico, mas por este constituir um conhecimento de tão vasto domínio, a epistemologia pode ser vista como uma disciplina filosófica autônoma, encarregada pela indagação crítica da *forma* da ciência e não necessariamente de seu *conteúdo*, ou seja, atém-se ao exame crítico da ciência no seu aspecto formal; conteúdo seria o objeto de investigação científica em si (a botânica das plantas, as propriedades dos astros, as leis do movimento, etc.), a forma é a estrutura cognoscitiva que lhe dá o caráter científico (sistema de filosofia presente em HESSEN, Johannes. *Tratado de Filosofia*, 1957; VITA, Luís Washington. *Introdução à Filosofia*, 1964).

Porém, como se argumentou anteriormente, a temática epistemológica nem sempre teve esta demarcação bem definida, puramente como análise lógica da linguagem, estudo da metodologia, dos critérios de demarcação, do valor e da natureza do conhecimento científico; variando ao longo das décadas e entre países e pesquisadores, tal temática sempre foi invadida por diversas questões que ao se discutir a forma da ciência acabam sendo naturalmente suscitadas – desde a metafísica e a filosofia da natureza (questões como determinismo e indeterminismo, causalidade e causação, etc.), a ontologia, a psicologia (filosofia da mente), a história, os estudos sociais e axiológicos, estéticos, morais, pedagógicos, além da própria abordagem e questionamento das teorias científicas em si.

Revisando a abrangência da temática epistemológica, percebemos que seja como teoria do conhecimento científico estritamente, ou seja em sua interseção com a filosofia da ciência em geral, para compreendermos os aspectos formais da ciência (que é o que a epistemologia enfim se propõe), não basta recorrermos às questões puramente cognoscitivas da teoria do conhecimento; a prática científica requer uma série de análises desde o âmbito

metodológico e cognitivo até o valorativo, estético, moral, histórico, social e institucional. De uma forma ou de outra, percebemos que isto foi reconhecido ao longo do século XX; das primeiras fases da filosofia analítica, do empirismo lógico dos Círculos de Viena e Berlim, a Karl Popper, Gaston Bachelard, Thomas Kuhn, Mario Bunge, Imre Lakatos, ao pluralismo teórico de Feyerabend e aos chamados *Science Studies* da década de 1980 e em diante, hoje se fundindo com os estudos de ciência, tecnologia e sociedade (CTS), entre outros; enfim, uma abrangência cada vez maior ao papel do filósofo da ciência foi sendo incorporada, com exceção de certos momentos em que modismos se colocam em detrimento do todo.

O problema do diálogo, referido anteriormente, faz com que toda filosofia da ciência que não atue na ciência se torne literalmente uma área alienativa e marginalizada; a atuação deve se travar no mínimo através do diálogo e do conflito, podendo chegar ao seu estágio mais fecundo, que é a literal integração da atividade científica e filosófica numa atividade única, desempenhada em coletivo e contribuindo para o progresso científico-filosófico-social. A epistemologia nasce da atividade científica e a ela deve se voltar, jamais em detrimento, mas atuante no avanço desta última.

Reconhece-se, portanto, que é impossível renegar à epistemologia as demais designações e campos de estudo que seu termo passou a abranger, mas pode-se aqui sistematizá-los, afim de que uma nova concepção de sua tarefa seja compreendida, buscando um papel para a análise epistemológica o mais completo possível. A partir disto, propõe-se reconhecer o estudo da epistemologia em três níveis:

- 1º) EPISTEMOLOGIA HEURÍSTICA (Cognitiva)
- 2º) EPISTEMOLOGIA AXIOLÓGICA (Valorativa)
- 3º) EPISTEMOLOGIA SOCIAL (Institucional)

À *Epistemologia Heurística* se integram, portanto, os campos da análise lógica da linguagem científica, da teoria do conhecimento científico em sua acepção tradicional, do estudo da metodologia e da lógica da pesquisa científica; os fundamentos empíricos e teóricos que constroem o edifício da ciência; seus métodos de inferência, dedução e indução; a axiomatização e o estabelecimento dos critérios de demarcação (cognitivos) dentro de cada área. Além de tudo, o nível heurístico da epistemologia é o que mais se ergue como uma prática científica em si, pois nele o estudo das teorias e do embasamento experimental exige uma plena imersão científica; as teorias são capazes de se modificarem diante de distintas decisões epistemológicas, novos embasamentos experimentais podem ser contemplados,

novas construções lógicas e inferências não pensadas podem ser revistas, erros sintáticos identificados, além de melhores organizações para as teorias poder aperfeiçoá-las e abrir novos campos, etc. Enfim, à Epistemologia Heurística<sup>2</sup> cabe o papel não só de analisar a ciência, mas também de engendrará-la cognitivamente, por isto ela se constitui além de uma prática filosófica, mas uma prática científica em si.

À *Epistemologia Axiológica* se integram a análise e o questionamento dos valores estabelecidos em cada ramo da ciência, em seus níveis axiológicos, éticos, estéticos e circunstanciais. Sabe-se que as decisões teóricas e experimentais também são condicionadas por valores cognoscitivos que transbordam os possíveis níveis da objetividade, mas espelham as condições do sujeito (do coletivo) que produz o conhecimento; qual a ética da pesquisa científica? Quais valores estéticos são empregados? Por que critérios de simplicidade e de beleza estética determinam escolhas, decisões teóricas e os próprios resultados científicos? Estes critérios necessariamente se aproximam da verdade científica tão almejada? Enfim, o nível axiológico da epistemologia eleva o nível heurístico ao patamar daqueles que exercem e determinam este conhecimento, tendo a tarefa de questionar os valores científicos estabelecidos e buscar novos, aperfeiçoá-los e botá-los em ressonância com o caráter da ciência e os problemas que emergem em cada época. Grandes passos científicos deixam de ser dados por questões valorativas, intrínsecas, que devem ser destacadas; à Epistemologia Axiológica<sup>3</sup> (valorativa) cabe a análise e a indagação crítica destas circunstâncias, dos valores éticos da pesquisa científica, além do estudo estético ter o potencial de aperfeiçoar grandes áreas que sofrem do desafio da representação, dos perigos da inclinação estética aos resultados, além da busca por valores que lapidem criticamente o ideal da verdade científica, sempre a ser refinada.

À *Epistemologia Social*, finalmente, chega-se ao nível mais complexo da atividade científica, que são as relações entre tal conhecimento e a sociedade. Nela se integram os estudos sociais, institucionais e pedagógicos da prática científica. Os valores a serem analisados tomam a dimensão social, indagando como eles se revertem para o próprio conhecimento a ser construído e como esse deve se reverter à sociedade. As circunstâncias

---

<sup>2</sup> A apropriação do termo 'heurística' deve ser aqui justificada: de forma genérica, *heurística* pode designar tanto um método analítico para o descobrimento de verdades científicas, quanto a própria ciência auxiliar da história, que estuda a pesquisa das fontes. Além disto, como arte ou ciência do descobrimento, seu termo é empregado com diversas designações. Aqui nos apropriaremos do termo de forma substantiva e adjetiva, referindo-se ao conjunto de métodos e conhecimentos que se atribuem aos aspectos internalistas de cada ciência, ou seja, seus aspectos cognitivos e metodológicos em si. E por epistemologia heurística, portanto, o estudo de tais aspectos e estruturas do conhecimento científico.

<sup>3</sup> Na teoria dos valores, a axiologia representa a disciplina filosófica responsável pela filosofia geral dos valores, junto a ela se integram as disciplinas: ética, estética e hierosofia (filosofia da religião) – sistema de filosofia presente em J. Hessen e Luís W. Vita. A apropriação do termo para o nível valorativo – axiológico – da epistemologia refere-se à necessidade de uma teoria do conhecimento científico se erigir também diante da análise axiológica, ética, estética (dos sistemas de crenças e valores específicos) do conhecimento científico.

institucionais são determinantes para organizar e prevalecer quais atividades serão elaboradas, moldam no fim das contas o tipo de conhecimento a ser construído, o desenrolar da prática científica e de seu ensino dependem fundamentalmente destas questões. A própria burocracia institucional é relevante e por isto deve ser avaliada, questionada, otimizada e contemplar os diversos papéis sociais que a ciência deve exercer. O impacto da tecnologia na sociedade, as questões que a sociedade suscita para a prática científica, o peso da palavra e dos valores científicos e como eles são empregados nas demais esferas sociais, a formação dos profissionais de ciência e todo o ato da comunicação científica em si são objetos de análise e investigação da Epistemologia Social<sup>4</sup>.

Após este redimensionamento da tarefa epistemológica, reconhecendo tanto o seu estatuto científico quanto filosófico, percebe-se que a Epistemologia<sup>5</sup> se ergue como o exato conjunto de interseção entre a ciência e a filosofia, capaz de transcender esta fronteira travada historicamente e beber de toda a atividade filosófica, representada pela filosofia da ciência, mas ao mesmo tempo se revertendo também numa atividade científica, capaz de engendrar diretamente a própria ciência. Reconhecendo a Epistemologia desta forma, não se está a definindo como uma pura disciplina filosófica, nem como uma ciência estrita (o que, por si só, já demonstra a incompletude da definição que iniciamos o capítulo, mas também aponta para a sua eficácia parcial enquanto prática científica ou *metaciência* – pontos que discutiremos posteriormente). A Epistemologia não se define totalmente nem por um lado, nem pelo outro, mas precisamente na interseção entre eles.

Ao se propor estes três níveis de estudo e empenho como tarefas epistemológicas, botando-os em pé de igualdade um com outro, de certa forma está se reconhecendo que todos eles são fundamentais para entendermos ‘o que é ciência?’; pergunta primacial da temática epistemológica. Reconhece-se, portanto, que as pretensões tradicionais da teoria do conhecimento científico, as análises da forma da ciência enquanto conhecimento e atividade humana, só podem alcançar sua plenitude e consistência quando elevadas a estes três níveis de análise e compreensão. Não há uma demarcação bem definida entre cada nível do estudo, na verdade os parâmetros sociais e valorativos influenciam diretamente os parâmetros cognitivos, e vice-versa, cabendo muito mais a integração entre eles do que uma efetiva

<sup>4</sup> Para completar, o nível de abordagem mais amplo da Epistemologia suscita uma teoria do conhecimento científico que também se erija diante dos aspectos sociais que envolvem e determinam este conhecimento.

<sup>5</sup> A partir de agora, o termo ‘Epistemologia’ (com inicial maiúscula), representará a união do que designamos por Epistemologia Heurística, Axiológica e Social. Cabe ressaltar que nenhum destes nomes possui total originalidade, sendo possível encontrá-los associados nos trabalhos de outros autores; no entanto, muitos se referem à epistemologia no sentido mais próximo da gnosiologia (*teoria do conhecimento* simplesmente, ou *teoria do conhecimento geral*); aqui se entende por ‘Epistemologia’ a teoria de um tipo de conhecimento específico, que é o conhecimento científico.

separação. Ao mesmo tempo, ao se reconhecer estes três níveis simetricamente, estamos trazendo um certo princípio de complementaridade entre as diferentes contribuições epistemológicas ao longo dos séculos XIX, XX e XXI; o que se chamará mais à frente, ao se propor um novo programa de pesquisa, por *Convenção dos Afluentes*.

O papel da história e da historiografia da ciência já cabe aqui ser colocado. Ao se ressaltar anteriormente a necessidade de uma epistemologia do presente, não se coloca em detrimento o que as análises epistemológicas de diferentes circunstâncias históricas são capazes de proporcionar; pelo contrário. A partir do momento em que se compreende a ciência como um tipo de conhecimento dinâmico e inacabado, em constante evolução, e ao se ressaltar a relevância da compreensão epistemológica tanto em níveis heurísticos, quanto axiológicos e sociais, estar-se-á literalmente reconhecendo a relevância das circunstâncias históricas do homem e seu meio para a prática científica (e filosófica). Na verdade, a história da ciência representa todo um “laboratório empírico” onde as teses epistemológicas devem ser testadas, analisadas e enriquecidas; reconhecendo o fato de que não é capaz de se entender o estado contemporâneo de uma ciência sem levar em conta o próprio processo histórico de seu desenvolvimento.

Desde uma simples teoria até a constituição de toda uma ciência particular, é crucial para a indagação crítica (bem apurada) o entendimento do processo de construção daquela ciência, atentos sempre às contribuições que a nova historiografia da ciência pode trazer. Paralelamente à relação entre história e filosofia da ciência, destacada numa célebre frase de Imre Lakatos<sup>6</sup>, esta relação conseqüentemente também prevalece entre a Epistemologia e a história da ciência; mas no caso da relação entre a Epistemologia e a própria ciência, pode-se inferir algo análogo e mais incisivo, parodiando o próprio Lakatos: *a Epistemologia sem a ciência é incoerente; a ciência sem a Epistemologia é cega*.

Ao se enfatizar uma epistemologia do presente, ressalta-se a necessidade das análises epistemológicas acompanharem também a ciência de ponta realizada nos centros de pesquisa (onde se percebe um considerável *déficit*, baseado na falta de diálogo anteriormente discutida), só assim a tarefa epistemológica será capaz de proporcionar mais do que considerações críticas de um conhecimento já construído, mas contribuições efetivas ao conhecimento que virá a se construir.

---

<sup>6</sup> “A filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega” (LAKATOS, 1989, pp.102).

## 2) A PLURALIDADE DAS CIÊNCIAS

A Ciência é o conjunto das ciências. Este conjunto é formado pela união das ciências particulares, que possuem elementos em comum e elementos distintos; os elementos em comum permitem as interseções entre elas, já os elementos distintos são os que permitem distingui-las. Ao se referir à Ciência, não se refere apenas à interseção entre todas as ciências particulares, sim à totalidade da união entre elas, com todas as suas diferenças e semelhanças.

A classificação das ciências particulares é variada, tanto em critérios cognitivos quanto em critérios de organização institucional que mudam ao longo do tempo; novas áreas vão surgindo e outras se fundindo, além dos critérios também variarem ao longo das décadas. Fundamentalmente são: Matemática, Astronomia, Física, Química, Geologia, Biologia, Linguística, Ciências Sociais, Ciências da Saúde, etc. As interseções entre elas e suas aplicações também designam inúmeras variações institucionais, que vão desde as engenharias até as ciências farmacêuticas, as interdisciplinaridades e etc.; assim como os critérios gerais de classificação também são variados – ciências formais e empíricas; ciências matemáticas e da natureza, ciências humanas e sociais... Enfim, independente das classificações utilizadas, deve-se reconhecer que todas as áreas possuem suas interseções e suas particularidades. Apoiando-se no princípio de que *a realidade é única*, todas as interseções e equivalências entre as ciências particulares se justificam (afinal, todas elas abordam escalas diferentes de uma mesma natureza, dos níveis atômicos e cosmológicos à complexidade da vida e do ser humano), além do fato de todas terem a meta, em última instância, de se corresponderem e se compatibilizarem, contribuindo uma para a outra. Tudo isto permite afirmar que as ciências possuem e buscam, entre si, aspectos gerais. No entanto, estes aspectos gerais (tão explorados pela filosofia da ciência) podem refletir um ideal de ciência não efetivo, inexistente na prática. As ciências particulares, além dos elementos distintos entre si, são constituídas de inúmeras incompatibilidades internas, elementos distintos entre diferentes teorias e embasamentos experimentais. Se o ideal da Ciência Unificada não é correspondido nem diante de uma única ciência particular, muito menos será diante da união entre todas elas – o que não significa que enquanto ideal ele deva ser abandonado<sup>7</sup>.

No entanto, tais circunstâncias levam a crer que, na prática científica em si, os aspectos particulares e internos de cada ciência predominam sobre os aspectos gerais; o que, em última análise, derruba a possibilidade de se constituir um só método científico para todas

---

<sup>7</sup> Quanto ao ideal da Ciência Unificada, é interessante se avaliar os empenhos epistemológicos e institucionais dos Círculos de Viena & Berlim nas décadas de 1920 e 1930 (KRAFT, 1953) e contrapô-los mais adiante, por exemplo, com os trabalhos editados por Peter Galison e David J. Stump em *The Disunity of Science*, 1996.

as ciências. Naturalmente, esta generalização privilegiaria algumas áreas em detrimento de todas as outras, além de enfraquecer a possibilidade de novos métodos se legitimarem e enriquecerem as ciências. Portanto, deve-se admitir uma simples constatação: *a Ciência é plural*. Apesar da divisão analítica do conhecimento se justificar muito mais nas limitações humanas do que em alguma garantia epistêmica de que seja possível compreender a realidade por partes, esta divisão só atinge algum êxito de integração através do empenho coletivo ao longo de vários anos, décadas e séculos. É na pluralidade que jaz a riqueza das ciências, não nas tentativas de reduzi-las a um só método que corresponda a critérios gerais e normativos.

Os problemas da pluralidade teórica, da legitimação do conhecimento científico, do estabelecimento de critérios de demarcação e da garantia de um método científico universal foram encarados pela filosofia da ciência desde a sua origem (remontando-se a William Whewell, em meados do século XIX, considerado o primeiro a assumir a filosofia da ciência como atividade intelectual própria e tarefa pessoal, traçando seus contornos como campo de investigação autônomo e especializado na formulação de discursos de legitimação da ciência). Tais problemas se estendem por todo o século XX; passando pelo verificacionismo do positivismo/empirismo lógico dos Círculos de Viena/Berlim, pelo falseacionismo de Popper e a chamada metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos, ao apogeu do método científico através do trabalho de diversos autores, dentre eles Mario Bunge (*La Investigación Científica*, 1969), até o surgimento gradual de posturas contrárias ao estabelecimento de critérios de demarcação rígidos, à ascensão de um só método universal para todas as ciências, além da reestruturação completa do papel da filosofia da ciência enquanto legitimadora do conhecimento científico.

Em 1962, Thomas Kuhn publica *A Estrutura das Revoluções Científicas*, unindo a função normativa da filosofia da ciência com a função descritiva da história da ciência. Nele, Kuhn apresenta uma concepção de ciência orientada historicamente, coloca em questão a ingenuidade das concepções de progresso científico e elabora uma estrutura de análise histórica capaz de apontar os processos cíclicos da Ciência; os períodos de ciência normal (que se caracterizam pela vigência de um paradigma) vão se refinando, acrescentando anomalias e problemas acerca do paradigma vigente, até que paradigmas alternativos surjam para competir, instaurando uma crise (período de ciência extraordinária); quando um novo paradigma substitui o anterior, ocorre o que Kuhn chama de “revolução científica”. O problema da incomensurabilidade entre um paradigma vigente e seus antecessores colocou em xeque as noções de progresso até então estabelecidas, sendo uma de suas teses mais atacadas posteriormente, além dos problemas com relação ao próprio conceito de paradigma,

extremamente ambíguo ao longo do livro. No entanto, pode-se afirmar que a obra de Kuhn teve uma catártica influência nas gerações seguintes, principalmente no estabelecimento de filosofias da ciência atreladas à fundamentação histórica e sociológica da pesquisa científica.

Antagonizando-se ao enrijecimento de um método universal para toda a Ciência, além dos problemas da demarcação e contra a todo caráter normativo da epistemologia e da filosofia da ciência, o trabalho de Paul Feyerabend em *Contra o Método* pode ser visto como um divisor de águas neste sentido:

Em 1975, Feyerabend reuniu suas novas teses e concepções a respeito da ciência em seu famoso livro chamado *Contra o Método*. Entre as teses nele defendidas, surge o conceito de pluralismo. Este conceito entrou em choque com a visão de ciência que se sustentava até então basicamente porque 1) não pressupunha mais fronteiras entre a ciência e outros discursos, 2) desconsiderava a importância de uma metodologia universal para a ciência, 3) não garantia mais a superioridade desta, 4) não a tornava um conhecimento verdadeiro ou mais próximo da verdade e, finalmente, 5) duvidava do pressuposto de que um mundo regido por uma única concepção (considerada a melhor), científica ou não, é necessariamente um mundo melhor para se viver.

O conceito de pluralismo aplica-se tanto à metodologia científica (pluralismo metodológico) quanto à relação entre culturas e tradições diversas (pluralismo cultural). Apesar de ter sido creditado como anticientificista, Feyerabend pretendia com o conceito de pluralismo metodológico garantir ao cientista a liberdade na escolha de seus métodos de pesquisa.

(ARAUJO, 2012,p.132)

É curioso o fato de filósofos como Bachelard, por exemplo, décadas anteriores ao trabalho de Feyerabend, já atestarem a necessidade de uma posição “ecclética” da filosofia ao se analisar as ciências:

[...] Chegaremos então, para caracterizar a filosofia das ciências, a um pluralismo filosófico que é o único capaz de informar os elementos tão diversos da experiência e da teoria, tão longe de estarem todos ao mesmo nível de maturidade filosófica. Definiremos a filosofia das ciências como uma filosofia dispersa, como uma filosofia distribuída. Inversamente, o pensamento científico nos aparecer-se-á como um método de dispersão bem ordenada, como um método de análise muito aguçada, para os diversos filosofemas agrupados maciçamente nos sistemas filosóficos. (BACHELARD, 1940, p.27)

Assim, por um lado se manifesta a necessidade de um pluralismo filosófico ao se analisar a Ciência por parte de Bachelard e, por outro, manifesta-se a própria pluralidade característica da Ciência em Feyerabend, que vai além ao defender que a postura filosófica mais adequada diante do conhecimento científico seria o anarquismo epistemológico. Contrapondo-se ao pensamento de Lakatos, mas ao mesmo tempo reconhecendo suas interseções, afirma Feyerabend num dos últimos capítulos de sua obra:

[...] Eu teria encerrado, a esta altura, meu ensaio em defesa de um anarquismo epistemológico, não fosse o fato de não se notar redução no empenho com que, em ciência e filosofia, se busca o legal e o ordenado e não tivesse tal empenho ganho um novo e hábil defensor na pessoa de Imre Lakatos. A tarefa que Lakatos se propõe — fazer crescer o número dos Amigos da Razão e restituir confiança a racionalistas hesitantes e apreensivos — é tarefa que, sob certo prisma, não se rodeia de dificuldades. Bastam, com efeito, umas poucas frases bem torneadas para despertar o temor do Caos na mais esclarecida audiência e levá-la a desejar ardentemente regras simples e dogmas simples que lhe sejam dados seguir sem a necessidade de, a todo instante, reconsiderar as questões. [...]

(FEYERABEND, 1975, p.289)

Reconsiderar suas próprias questões é um alicerce para qualquer área do conhecimento que pretenda se desenvolver. A análise da metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos pode ser reconhecida como um estágio de profundo amadurecimento da filosofia da ciência do século XX, com vastas aplicações na história da ciência e uma poderosa síntese com as epistemologias predecessores. Devido ao seu aspecto plural, Feyerabend o denomina como um “anarquista disfarçado” e reconhece a importância dele na construção de sua obra, mas o acordo entre os dois não foi total.

Paralelamente, a partir da década de 1970 ocorre a chamada virada sociológica por parte de autores como Barry Barnes e David Bloor, que sob a influência direta da obra de Kuhn, formulam o chamado Programa Forte da Sociologia da Ciência, que se caracterizava por atribuir total responsabilidade pela produção de crenças científicas às causas sociais e o total antagonismo ao estabelecimento de critérios de demarcação. Severas críticas se sucederam; Larry Laudan, apesar da concordância no aspecto não demarcacionista, opôs-se a diversas características “radicais” do Programa Forte, buscando uma suavidade entre os aspectos cognitivos e sociais na avaliação da Ciência. Ao final dos anos 1970, autores insatisfeitos com o radicalismo do construtivismo social descendente do Programa Forte e também com aspectos da filosofia da ciência tradicional, passaram a integrar os esforços da filosofia, da história e da sociologia da ciência em estudos híbridos, com o intuito de investigar a *real* natureza da ciência como prática experimental e como cultura, utilizando abordagens também empíricas; são pesquisadores que atravessaram a década de 1980 e 1990 até nosso século e o conjunto de suas obras é designada por *Science Studies*. Bruno Latour, Peter Galison, Andrew Pickering, David Stump, entre outros, dão continuidade à sociologia da ciência dos anos 1970-1980, com diferenças otimizadas que levaram suas pesquisas mais adiante. Segundo o Prof. Antônio Augusto Videira:

O tipo de investigação hoje designado por *Science Studies* prolonga a sociologia da ciência dos anos 1970-1980. Contudo, existem algumas diferenças que são inequívocas: i) os *Science Studies* rejeitam o reducionismo brutal do Programa Forte de David Bloor; ii) são mais prudentes com relação às implicações relativistas do constructivismo; iii) o interesse da análise concentra-se no local, nos múltiplos setores da atividade científica; iv) evitam-se noções que pecam por excesso de generalidade; v) o que a ciência é será pensado somente em termos daquilo que na ciência se *faz*, aqui e agora; vi) os *Science Studies* libertam da pretensão positivista a uma pureza que no passado representou o seu coeficiente ideológico.

Na base dos procedimentos adotados pelos *Science Studies*, encontra-se a negação da validade da separação entre contexto da descoberta e contexto da justificação. O contra-argumento que os *Science Studies* fornecem para recusar esta separação é: compreender a ciência é tentar entender a dinâmica da prática científica e tentar explicar de que modo acontecem as mudanças e as estabilizações na prática científica.

(VIDEIRA, 2005, p.79)

A separação entre contexto da descoberta e contexto da justificação é rejeitada por autores dos *Science Studies* e remonta a uma tradição milenar desde os matemáticos gregos da antiguidade, entre eles Euclides, ao diferenciarem o método analítico do método sintético, passando por distinções análogas na obra de Aristóteles, na de pensadores medievais, até a distinção entre análise e síntese retomada por Galileu, Descartes e Newton no século XVII, entre outros filósofos naturais. O astrônomo John Herschel, já no século XIX, defendeu que a forma como um cientista concebe suas hipóteses, ou sua descoberta, não entra em questão no momento em que forem verificadas. Mais adiante, tal distinção é refinada e fortalecida pelos trabalhos dos Círculos de Viena e Berlin. No manifesto de 1929, intitulado de *A Concepção Científica do Mundo – O Círculo de Viena*, escrito por Hahn, Neurath e Carnap, a diferenciação entre tais contextos está implícita ao afirmarem:

[...] *Algo é ‘real’ por estar enquadrado pela estrutura total da experiência.* A intuição, especialmente realçada como fonte de conhecimento pelos metafísicos, não é recusada absolutamente pela concepção científica do mundo. Exige-se, porém, e busca-se gradativamente uma justificação racional ulterior de todo conhecimento intuitivo. Todos os meios são permitidos ao pesquisador; o que for descoberto deve, porém, resistir a exame posterior.

(HAHN; NEURATH; CARNAP, 1929, p.12)

Portanto, admite-se uma clara separação entre a maneira de se abordar o contexto em que uma teoria é concebida, uma “descoberta científica” proporcionada (contexto da descoberta), e outra no contexto em que esta teoria é validada, onde prevalece as razões e fatos para considerá-la verdadeira (contexto da justificação). Na primeira são abordados os aspectos factuais, o estágio inicial de invenção e construção de hipóteses e teorias, a ação da imaginação e da criatividade que constituem o processo de gênese destas; na segunda estão em jogo os enunciados objetivos e os aspectos normativos de verificação e aceitação do valor

de verdade de uma teoria, a reconstrução lógica desta e o exame de sua adequação em relação às evidências empíricas. Karl Popper também recorre a tal distinção na *Lógica da Pesquisa Científica* (1934), mas é na obra de Hans Reichenbach (*Experience and Prediction: an Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*, 1938) que tais termos foram empregados, bem como o significado dos mesmos. Apesar da concepção original de Reichenbach ter sido mais sofisticada do que a interpretação de seus epígonos (para ele, a separação entre contextos jamais implicou uma supressão da descoberta científica como objeto da filosofia da ciência), a efetiva separação foi vista como uma pedra angular no projeto de legitimação das ciências por parte da filosofia; adotando-se o pressuposto de que questões circunstanciais, origens históricas, condições socioeconômicas, políticas e psicológicas não fazem parte do processo de validação de uma teoria, tais condições do contexto da descoberta jamais poderiam colocar em xeque o estatuto da verdade científica, enquanto conhecimento supostamente objetivo, lógico, racional, impessoal, correspondente à experiência e, portanto, perene (uma vez que é validado). Em *Contra o Método*, Feyerabend já sugere abolir completamente os vigores desta distinção e tal derrocada é levada adiante pelos autores dos *Science Studies*. Análogo ao que afirma David Stump: o contexto da descoberta reduz a filosofia da ciência à epistemologia (esta em sentido filosófico tradicional, autônoma e reducionista) fazendo a tarefa da filosofia da ciência ser a de certificar que a ciência é conhecimento (ou que ela é racional) <sup>8</sup>.

A rejeição da separação entre contexto da descoberta e contexto da justificação; a investigação dos aspectos locais e específicos de cada ciência; a integração entre a filosofia, a história e a sociologia da ciência como fontes de instrumentos metodológicos úteis para a percepção entre ciência, cultura e sociedade; a crítica à condição hermética dos cientistas como forma de diminuir o fosso entre ciência e sociedade; todos estes aspectos híbridos, entre outros, são características essenciais presentes nos *Science Studies* e justificam, em parte, a longa proliferação de trabalhos que atravessaram a virada do século e abarcam nossos dias, fundindo-se com as pesquisas contemporâneas de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Finalmente, ao discorrer sobre a pluralidade das ciências em face à filosofia, percebe-se que as epistemologias e filosofias da Ciência são tão híbridas quanto a própria pluralidade que a Ciência nos proporciona. Como afirma a pesquisadora Cristina A. Machado:

---

<sup>8</sup> “The dismissal of discovery reduces philosophy of science to epistemology by making the task of philosophy of science that of certifying that science is knowledge (or that it is rational)”. (STUMP, 1996, p.445)

A questão que se segue é: qual é o papel da filosofia da ciência hoje? Durante muito tempo, acreditou-se que seu papel fosse normativo, prescritivo e metodológico: no entanto, este projeto fracassou. Os critérios de demarcação e o chamado método científico não deram conta de distinguir ciência de não ciência. O próprio método revelou-se menos neutro, asséptico e universal do que se esperava, assumindo formas diversas, de acordo com o contexto em que se aplica. E a questão “o que é ciência?” afigura-se mais nebulosa do que nunca não só diante dos problemas em escala planetária que temos diante de nós atualmente, mas, sobretudo, diante da complexidade que a prática científica adquiriu nas últimas décadas. (MACHADO, 2012, p.126)

O excesso de antagonismos e contraposições traça uma história da filosofia da ciência extremamente fragmentária e desprovida de consensos em longo prazo; uma história de querelas que ocupam a dianteira de debates momentâneos e depois se cansam, dando lugar a novas abordagens e novos empenhos, mas também a posturas que são reavaliadas<sup>9</sup>. Ao mesmo tempo, jaz uma latente riqueza na diversidade destas posturas e na correspondência com um século tão turbulento quanto foi o século XX. Podemos enxergar na pluralidade das contribuições de diversos autores (dentre eles cientistas, filósofos, historiadores e sociólogos) diversas fontes para o amadurecimento da compreensão da Ciência contemporânea, possibilitando o alcance de uma epistemologia mais rica, consistente e fecunda para a prática científica.

Mesmo diante da hibridez e da longa estrada que se projetam os trabalhos dos *Science Studies*, a Ciência aparentemente apresenta um organismo próprio (cognitivo, plural, tecnológico e sócio-econômico-político) que evolui independente das asserções por parte das chamadas ‘metaciências’ aqui recorridas (evolui, não necessariamente na condição de progresso social, cultural ou cognitivo). A carência de abordagens epistemológicas, filosóficas e críticas na formação dos novos cientistas, lança ‘dia após dia’ profissionais das ciências ingênuos e operacionalistas, talvez até nefastos diante dos aspectos formais, cognitivos, éticos, estéticos, sociais, culturais e ecológicos das ciências que desempenham.

Torna-se preciso conceber uma maior amplitude para a Epistemologia (elevando a tarefa epistemológica aos níveis Heurísticos, Axiológicos e Sociais), amplitude esta de caráter intervencionista com auto reconhecimento enquanto prática científica, filosófica e social. Tal caráter não se remonta a mais um modelo normativo a ser proposto, pelo contrário: é na queda das epistemologias gerais e normativas, favorecendo o desenvolvimento de epistemologias

---

<sup>9</sup> Um forte exemplo é a retomada do positivismo lógico na década de 1990. Após meio século de severos ataques e contraposições às doutrinas dos Círculos de Viena & Berlim, a importância do movimento como algo além de suas concepções filosóficas passou a ser reavaliada; o contexto sociopolítico de seu surgimento, os empenhos institucionais do grupo e a relevância de suas análises epistemológicas acerca das teorias científicas que emergiam na época (principalmente por parte da física), tornaram-se objetos de pesquisa de novos autores (ver, por exemplo, FRIEDMAN, 1999); GIL, 2012), além da retomada por parte de instituições e pesquisadores que dão continuidade às suas doutrinas (consultar: The Institute Vienna Circle – *Society for the Advancement of the Cientific World Conception*: [http://www.univie.ac.at/ivc/e\\_institut/](http://www.univie.ac.at/ivc/e_institut/)).

específicas, que pautaremos este trabalho. Tais epistemologias específicas dever-se-ão ser elaboradas em níveis heurísticos, axiológicos e sociais; capazes de atuar em problemas pontuais das ciências e propor efetivas soluções. *Trata-se portanto de uma epistemologia com finalidade.* Não mais auxiliar filosófica do conhecimento científico, sim efetivamente capaz de proporcionar um conhecimento científico-filosófico e engendrar as ciências particulares. Através do desenvolvimento em longo prazo de epistemologias específicas (desenvolvendo um programa de pesquisa desempenhado em coletivo e atuante nos mais diversos ramos das ciências) talvez assim, no futuro, possamos finalmente almejar traços de uma possível (mas consistente) Epistemologia Geral.

### 3) UM PROGRAMA DE PESQUISA EPISTEMOLÓGICA

Enfim, chega-se à principal meta deste capítulo; que não é encerrar premeditadamente definições epistemológicas em si ou responder de antemão ‘o que é ciência?’, sim propor um efetivo programa de pesquisa que permita superar os desafios aqui expostos e alcançar as contribuições pretendidas. Perceba que desde a introdução deste capítulo a definição para a epistemologia introduzida foi mais provocativa do que admitida, evitamos exemplificações pontuais (dados da história e do presente da Ciência que serão cruciais para fundamentar um trabalho ulterior) e não postulamos ou enfatizamos nenhuma teoria do conhecimento científico em si; ou seja, aquelas questões primaciais do tipo – o que é ciência? Quais são seus métodos? Qual é o valor e a natureza do conhecimento científico? – foram adiadas, deixadas de lado, no lugar das perguntas: o que é a Epistemologia? Qual concepção de tarefa epistemológica pretendemos exercer?

Após destacar a abrangência de estudos que seu campo passou a designar, além do reconhecimento como prática científica, filosófica e social, foram propostos seus três níveis de análise e atuação; que consistem muito mais numa integração (sistematização) entre diferentes trabalhos e tendências já existentes, do que algo necessariamente novo a ser proposto. No entanto, certas condições de contorno foram sendo admitidas quanto ao que é a Ciência (transitória e inacabada, em constante transformação; “fenômeno” desempenhado em níveis cognitivos, valorativos e sociais; amplamente plural), além de pretensões que propõem tarefas para a Epistemologia que caberão aos futuros integrantes deste programa realizá-las. As pretensões referidas são com relação ao potencial da Epistemologia de se voltar diretamente para a prática científica, intervindo, atuando e contribuindo cientificamente. Aqui não se distingue o papel do epistemólogo ao do puro cientista, pois os dois devem coincidir

num só coletivo e o fim de seus trabalhos são os mesmos – analisar, contribuir e aprimorar a Ciência.

A principal vantagem de se propor um programa de pesquisa antes mesmo de construir uma epistemologia em si é baseada na seguinte constatação:

*Acredita-se que um programa de pesquisa epistemológica, desempenhado em coletivo e atuante nos mais diversos ramos das ciências, pode ser capaz de construir uma epistemologia consistente com a prática científica do presente, plural e evolutiva.*

Aquele que se dispor a responder ‘o que é a Ciência?’ premeditadamente (ou simplesmente ‘o que é *ciência*?’, admitindo-se esta nuance), pode ser questionado consecutivamente: o que é a física? O que é a química? O que é a biologia? As geociências? As ciências humanas? A linguística? As ciências da saúde?... Caso insista em fornecer respostas e definições gerais, pode-se afunilar cada vez mais tais perguntas (no caso da física, por exemplo: o que é a mecânica clássica? A teoria da relatividade? A mecânica quântica? A física de partículas?... etc.). Como consequência inevitável, suas definições gerais não privilegiarão necessariamente as particularidades de cada área, além do discurso generalista ser alvo de suprema superficialidade (ou de pretensiosa normatização). Modestamente, está longe do alcance de qualquer pessoa hoje, individualmente, compreender e definir o que é toda a Ciência (e responder ‘o que é *ciência*?’ talvez deva ser uma tarefa posterior); saber a fundo sobre todos os ramos e especialidades; o que caracteriza especialmente cada área do conhecimento científico; quais são seus métodos e quais critérios de racionalidade são aplicados, prevalecidos; como o embasamento experimental e teórico é construído; além de toda a dinâmica humana e social que interferem diretamente no conhecimento a ser elaborado.

A complexidade e pluralidade das ciências contemporâneas impõem imensos desafios epistemológicos e a necessidade de se abandonar toda filosofia da ciência de caráter geral e normativo. Ao se analisar a história da filosofia da ciência, percebemos um excesso de antagonismos e contraposições; diante da pluralidade tanto filosófica quanto científica, falta o reconhecimento de que grande parte destes trabalhos possui seu domínio de validade e de possível contribuição, mas não encerra (de forma desassociada) a totalidade do que se pretende aqui atingir. Falta, portanto, princípios de complementaridade que integrem as diferentes contribuições epistemológicas do passado em atual disposição, principalmente ao se avaliar o século XX.

## ASSERÇÕES PRÉVIAS

Os três níveis propostos para a análise epistemológica pressupõem as seguintes asserções:

- (i) A Epistemologia tem como objeto de investigação o conhecimento científico, proporcionado pelo “fenômeno” da ciência; tal fenômeno é determinado por aspectos cognitivos, valorativos e sociais (que se influenciam mutuamente).
  - (i.1) Os aspectos cognitivos são os que se atribuem ao conhecimento em si (lógicos, metodológicos, teóricos, experimentais, etc.).
  - (i.2) Os aspectos valorativos são os que se atribuem ao sujeito (ou coletivo) na elaboração e aplicação do conhecimento (éticos, estéticos, subjetivos e circunstanciais, etc.).
  - (i.3) Os aspectos sociais são os que se atribuem aos sujeitos do conhecimento nas relações entre si e com todo o meio social (institucionais, pedagógicos, culturais, governamentais e para com toda a sociedade).
  
- (ii) A *Epistemologia Heurística* dá ênfase aos aspectos cognitivos; a *Epistemologia Axiológica* aos aspectos valorativos; e a *Epistemologia Social* aos aspectos sociais; portanto formam uma relação triunívoca – ou seja, são simetricamente importantes na análise (e fundamentação) da forma do conhecimento científico e se influenciam mutuamente.
  
- (iii) Portanto, uma epistemologia específica só é capaz de proporcionar uma análise completa de um domínio das ciências quando elevada a estes três níveis de abordagem e integração.
  
- (iv) As ciências possuem problemas de aspectos cognitivos, valorativos e sociais. Os problemas de aspectos cognitivos são os que usualmente se consideram as *questões da ciência*, no entanto, os problemas de aspectos valorativos e sociais também são problemas das ciências e influenciam as questões cognitivas e suas resoluções, e vice-versa.
  
- (v) Toda epistemologia específica deve ter finalidade; ou seja, ao se aplicar uma análise epistemológica a certo domínio da Ciência, naturalmente esta análise apontará problemas deste domínio e só se completará ao alcançar possíveis soluções. Problemas metacientíficos também são problemas das ciências, ao passo que proporcionam às questões científicas novas abordagens e resoluções.

Os aspectos que aqui se tenta categorizar como cognitivos, valorativos e sociais ainda são demasiadamente gerais, mas necessários ao passo em que está se tentando propor um programa de pesquisa que possa atuar nos mais diversos ramos das ciências. Para ilustrar, por exemplo, no caso da física: *o princípio de constância da velocidade da luz*, onde a velocidade

da luz no vácuo ( $c \approx 300.000 \text{ km/s}$ ) é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais, e é independente do movimento da fonte – este princípio representa um aspecto cognitivo de uma das teorias da física que é a Teoria da Relatividade Especial. Este princípio também depende de outros aspectos cognitivos que fazem parte da física para se integrar a esta ciência (teóricos, experimentais, quantitativos, metodológicos, etc.); além disto, aspectos valorativos também determinam a aceitação deste princípio entre uma comunidade de físicos (a estética empregada, os valores gerais de cada um, o compromisso ético dos que o empregam, etc.); mais além ainda, para que este princípio faça parte desta ciência, existem aspectos sociais que determinam sua integração (condições pedagógicas de ensino, artigos e manuais que o defendam e o lecionem, instituições que preservem e passem seu conteúdo adiante, condições materiais, culturais e sociais de aceitação, estudo e difusão, etc.). Todos estes aspectos (ainda que ilustrados aqui de forma sucinta e superficial) se influenciam mutuamente e são determinantes para que este conhecimento faça parte de uma ciência, no caso, da física. É ingênuo pensar que o conhecimento científico é determinado apenas por aspectos cognitivos, assim como é prepotência alegar que todo este conhecimento é determinado somente por aspectos valorativos ou sociais. As questões históricas também englobam todos os três níveis de abordagem.

Compreende-se assim porque uma teoria do conhecimento científico deve se erigir em níveis heurísticos, axiológicos e sociais. Após as asserções prévias expostas e esta breve ilustração, retomemos as questões das diferentes contribuições epistemológicas e filosóficas da Ciência ao longo dos séculos XIX, XX e XXI.

A riqueza e os problemas do excesso de antagonismos e contraposições ao longo da história da filosofia da ciência acarretam duas características que devem ser superadas (diante dos passos iniciais de um programa de pesquisa a ser proposto): a primeira é o fato de nenhuma teoria do conhecimento científico ou filosofia da ciência em geral ter atingido a unanimidade entre os diversos autores. Ou seja, na discordância de ideias, conceitos e visões, coube a cada um (ou coletivo) expor suas próprias conclusões; a segunda diz respeito às tendências filosóficas de se buscar critérios definitivos e universais, dissonantes com o próprio caráter evolutivo e plural da Ciência. Ou seja, a Ciência do início do século XX não foi a mesma após duas guerras mundiais e muito menos a mesma do final do século XX. Apesar de algumas teorias científicas terem se sustentado e outras não, muitas outras surgiram e aquelas mesmas foram se modificando (refinando suas abordagens e ampliando seus horizontes de atuação), além do fato de a dinâmica da prática científica sofrer constantes transformações; isto em parte justifica o fato das filosofias da Ciência se diversificarem tanto

ao longo das décadas (apesar das idiossincrasias de cada autor), mas também identifica uma característica presente em muitos trabalhos e que deve ser superada; uma filosofia da ciência (ou Epistemologia, em nossa abordagem) não pode ser estática e nem unívoca, sim plural e evolutiva, tal qual o objeto de estudo que se pretende investigar.

Esta segunda característica (do caráter estático e unívoco de muitas abordagens em filosofia da ciência), pode ser superada através de uma simples mudança de postura diante do programa de pesquisa a ser proposto: este programa não deve partir de critérios que se assumam perenes e unívocos, deve ser um programa flexível e aberto diante da evolução gradual das ciências e que admita a pluralidade teórica e conjuntiva do conhecimento científico, portanto capaz de se constituir também pluralista (unificações teóricas são possíveis quando não caem em detrimento com as particularidades de cada domínio a ser explorado; a busca por princípios gerais faz parte do olhar filosófico, mas deve ser levada adiante mantendo-se a plena consistência com a variabilidade dos elementos a serem agrupados – entre a generalização reducionista e a pluralidade, que vingue a pluralidade).

A primeira característica (que remonta ao excesso de antagonismos e contraposições, à diversidade das contribuições epistemológicas que se têm acesso), transmite um profundo desafio a ser superado diante do novo programa de pesquisa, que acaba desembocando nas seguintes perguntas: com base em quais autores iniciaremos nossa análise? Quais são as principais influências deste programa de pesquisa? – seria um sedutor caminho adotar certos autores e seus pensamentos para daí adentrar aos domínios do que se pretende analisar; isto funciona como um “belo escudo” para uma proposta acadêmica, mas uma total castração às virtudes e empenhos que nossa geração deve realizar. As contribuições são muitas e a diversidade entre elas é vasta; além disto (torna-se a afirmar) é preciso reconhecer que grande parte destes trabalhos possui seu domínio de validade e de possível contribuição, seja para o entendimento do presente ou do momento histórico em que se erigiram.

#### A CONVENÇÃO DOS AFLUENTES

Imaginando-se um “rio de influências” que percorre os séculos XIX e XX até este início do século XXI, cada contribuição representa um afluente que desemboca num dado momento histórico de sua elaboração. Portanto, podem-se unir as contribuições que vão desde William Whewell, John Herschel, Ernst Mach, Ludwig Boltzmann, Henri Poincaré (do século XIX para a virada do século XX) até as contribuições da primeira fase da filosofia analítica, através de Bertrand Russell, Wittgenstein, passando pelos Círculos de Viena e Berlim a

Popper, Bachelard, Thomas Kuhn, Lakatos, Mario Bunge, Feyerabend, do Programa Forte da Sociologia aos *Science Studies*, alcançando as contribuições dos estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade contemporâneos, entre outros <sup>10</sup>.

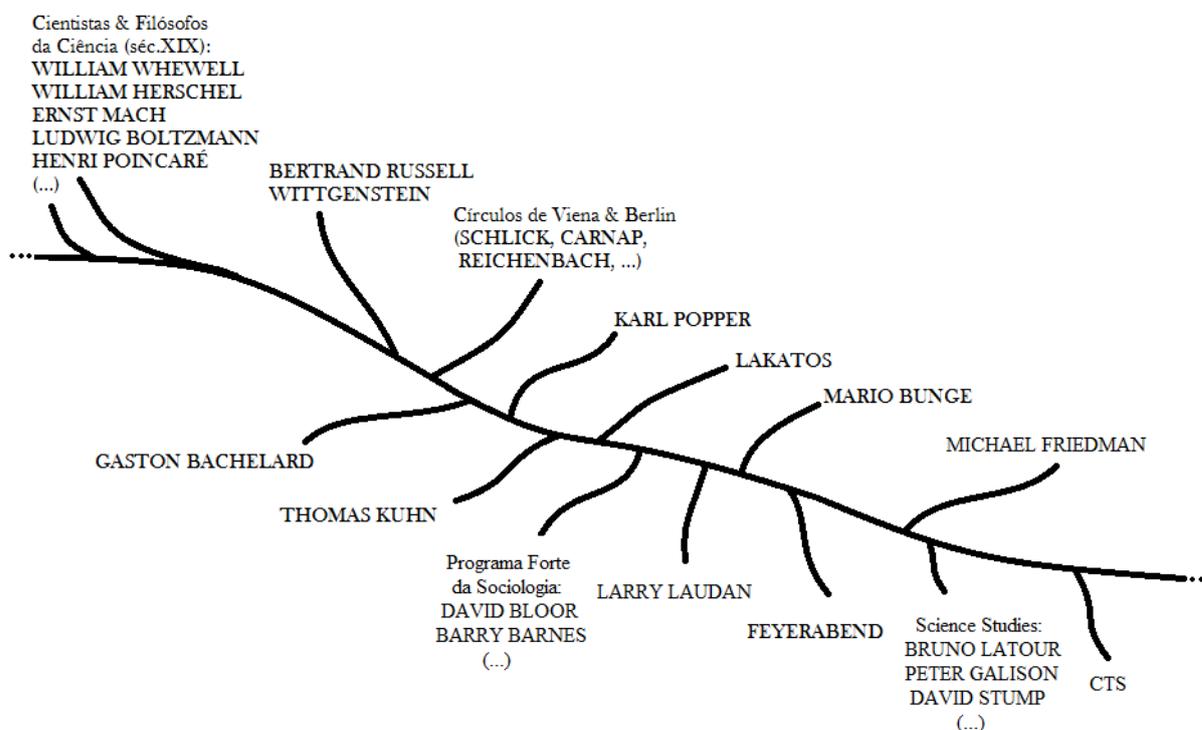


Figura 1 - A Convenção dos Afluentes.

Com base nesta ilustração, pode-se finalmente anunciar, como passo inicial deste programa de pesquisa, o que se nomeia por *Convenção dos Afluentes*:

*A pluralidade das ciências determina a pluralidade epistemológica. Cada epistemologia e filosofia da ciência, ao longo dos séculos XIX, XX e XXI, são afluentes de possíveis contribuições para a análise de domínios particulares da Ciência contemporânea, ou do momento histórico em que se erigiram, podendo ser aplicáveis ou não. A foz da convenção dos afluentes é o próprio Programa de Pesquisa Epistemológica aqui proposto.*

Estar aberto a todos representa não estar calcado em nenhum. Este princípio de complementaridade entre diferentes contribuições se aproximaria, por exemplo, ao que

<sup>10</sup> Obviamente, muitos outros autores podem e devem ser aqui englobados. Aqueles autores cujos nomes são aqui negligenciados, isto se justifica por motivos de brevidade ou pelo fato do autor deste artigo não ter tido nenhum contato prévio mais a fundo, pautando nesta direção apenas alguns entre tantos expoentes.

Feyerabend designou por *anarquismo epistemológico*; mas se afasta completamente em sua intenção, que não consiste em defender uma postura anárquica da epistemologia diante das ciências, muito menos em rejeitar certas contribuições de seus predecessores. Consiste literalmente em integrar tais expoentes para daí superá-los; o reconhecimento de que a Epistemologia deve ser pluralista não requer necessariamente tal postura anárquica, apesar de seus paralelos, devendo-se ressaltar que tal convenção é aderida apenas como passo inicial do programa de pesquisa, podendo posteriormente ser suplantada, fundamentada em futuras conclusões, ou até mesmo se tornar mais aberta e deliberativa.

Esta convenção parte do consentimento de que, ao se deparar com as obras destes diversos autores, suas contribuições parecem ser muito mais complementares do que mutuamente excludentes, além de terem validade diante dos domínios específicos em que apoiam seus argumentos e em seus ideais de ciência, pertinentes com o momento histórico e o meio social em que se erigiram. O problema, por exemplo, de se determinar quais critérios de racionalidade devem prevalecer na prática científica, na demarcação entre ciência e não ciência, na confirmação ou refutação de uma dada teoria, representa um ótimo exemplo de integração entre diferentes correntes de pensamento. Isto porque a prática científica não se reduz ao estabelecimento de um só critério de cientificidade universal; tanto o pensamento verificacionista, indutivista, quanto o falseacionista, dedutivista, por exemplo, podem ser identificados pontualmente como formas ideais de se validar uma teoria como científica – tanto o êxito do falseamento quanto o da confirmação indutiva de uma teoria estão cotidianamente presentes na prática e, apesar de aparentemente se contraporem, integram-se diante da pluralidade formal da Ciência (este, dentre muitos outros exemplos, podem e devem ser fundamentados num trabalho ulterior).

Além disto, ao longo da história da filosofia da ciência, constatamos ser comum entre muitos autores a tendência de se fundar análises privilegiando certas características e as assumindo como determinantes para suas conclusões gerais; isso diante da pluralidade das ciências se justifica pelo fato de todas estas análises se aplicarem a domínios específicos, mas não possuem necessariamente validade universal, como muitos autores presumem ter. Ao se abdicar da condecoração de certos pensadores como detentores da palavra final, estar-se-á permitindo uma maior compreensão e sua possível superação, respeitando a validade local e histórica de seus pensamentos.

Como tópicos derradeiros desta quarta sessão, discorrer-se-á sucintamente sobre a forma de um programa de pesquisa em epistemologia; como deve ser pensada, quais princípios e metas podem ser adotados e qual o primeiro alvo para sua aplicação.

## O PROGRAMA DE PESQUISA EPISTEMOLÓGICA:

### ESTRUTURA

As ideias básicas com relação ao que seja um programa de pesquisa científica, a utilização deste tipo de esquema conceitual na orientação histórica e epistemológica ao se analisar a Ciência, possuem como ponto de partida a metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos, além do amadurecimento através de aplicações entre diversos autores em história da ciência (dentre eles, por exemplo, Elie Zahar). No entanto, o que se pretende introduzir neste artigo não é o conceito de um programa de pesquisa científica (estritamente), sim de um programa de pesquisa epistemológica.

Segundo Lakatos, um programa de pesquisa é constituído por um núcleo rígido (*hard core*) no qual se abrigam as teorias convencionadas como irrefutáveis. Em torno do núcleo, numa área chamada de cinto protetor, encontram-se as teorias que podem ser refutadas, substituídas e modificadas. Esta estrutura é garantida por duas heurísticas: uma negativa, que impede o núcleo de ser refutado; e uma positiva, que atua sobre as teorias do cinto protetor no sentido de testá-las.

“A heurística negativa especifica o ‘núcleo’ do programa, que é “irrefutável” por decisão metodológica dos seus protagonistas; a heurística positiva consiste num conjunto parcialmente articulado de sugestões e palpites sobre como mudar e desenvolver as “variantes refutáveis” do programa de pesquisa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção “refutável”. (LAKATOS, 1970, p.165)

Um programa de pesquisa pode ser rejeitado caso seu rival dê conta de suas explicações bem-sucedidas e o supere em força heurística, que é a capacidade que um programa tem de prever teoricamente novos fatos <sup>11</sup>. Diante de qualquer ideal científico onde posturas dogmáticas jamais são aceitáveis para a ciência, uma heurística negativa e a aceitação de um núcleo de teorias e pressuposições irrefutáveis parece ser algo totalmente impertinente à pesquisa científica. No entanto, é com certa cautela conservadora e êxito inovador que o progresso cognitivo das ciências se torna possível.

Esta forma de se pensar um programa de pesquisa, nos moldes de Lakatos, não se remonta às noções de programas institucionais que fomentam grupos de pesquisadores associados. Trata-se de uma organização conceitual para se avaliar, sob orientação histórica e epistemológica, como as teorias científicas evoluem e se consolidam cognitivamente. Por exemplo, ao se referir ao Programa de Einstein, da teoria da relatividade especial e geral, não significa que ele e seus coadjuvantes, como Minkowski, Weil e Poincaré, estivessem

---

<sup>11</sup> Como exemplo de superação neste sentido, na história da física moderna ver, por exemplo: ZAHAR, 1973.

inseridos juntos num programa institucional específico e defendendo estas teorias. Trata-se de uma forma lógica (bastante pertinente) de se avaliar a evolução cognitiva das ciências.

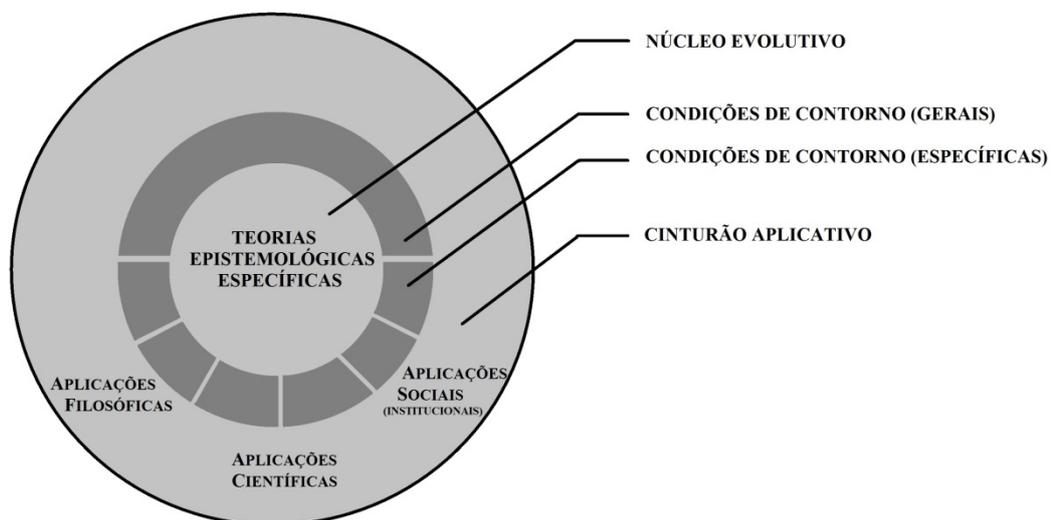
A proposta de um programa de pesquisa epistemológica vai além desta construção conceitual de Lakatos. Em primeiro lugar, não se define um núcleo rígido de teorias do conhecimento que julgamos irrefutáveis e que pressuponham aspectos gerais das ciências. Este *hard core* será substituído por um (a) *soft core* (núcleo suave, flexível e evolutivo) que permita que suas teorias epistemológicas fundamentais sejam sempre revistas, refutadas e substituídas gradualmente por outras mais maduras, dependendo do domínio a ser investigado e da necessidade de reestruturação na medida em que o programa amadureça; isto garante o caráter evolutivo e plural defendido anteriormente – plural na medida em que o programa possa ser aplicado a diferentes ramos das ciências, por isso seu núcleo de epistemologias deve se adequar às particularidades de cada domínio. Naturalmente, na medida em que as análises agregarem diferentes áreas do conhecimento e identificarem suas interseções, este núcleo inicial amadurecerá de forma consistente e deliberativa.

Em segundo lugar, este núcleo evolutivo é circundado por duas estruturas conceituais prevaletentes: primeiro pelas (b) *condições de contorno* e segundo pelo (c) *cinturão aplicativo*. Como o núcleo é flexível e evolutivo, não é ele que define as características essenciais do programa de pesquisa epistemológica – a pedra angular, os “axiomas” e as asserções prévias que caracterizam este programa se fundam no conceito de ‘condições de contorno’ que introduzimos da seguinte maneira:

*São as condições de contorno que definem as características primaciais do programa de pesquisa epistemológica com ênfase no desenvolvimento de epistemologias específicas. Analogamente à resolução de equações diferenciais, onde as condições de contorno determinam as soluções específicas do problema, aqui as condições de contorno são as pressuposições gerais e específicas que permitem o desenvolvimento das epistemologias (que constituem o núcleo evolutivo do programa) aplicadas a diferentes domínios das ciências (cinturão aplicativo).*

As *condições de contorno específicas* devem ser adotadas diante de cada domínio das ciências particulares a ser analisado, permitindo a adequação do programa de pesquisa ao desenvolvimento das epistemologias locais. Portanto, cabem ser investigadas e adotadas posteriormente, quando finalmente enfrentarmos as primeiras aplicações do programa. As *condições de contorno gerais* são as que definem as características metacientíficas e

metaepistemológicas que assumimos e argumentamos ao longo de todo este artigo, e determinam o caráter geral deste programa de pesquisa epistemológica (sistemizadas mais adiante).



**Figura 2 – Estrutura do Programa de Pesquisa Epistemológica**

Por fim, o *cinturão aplicativo* pode ser visto como o “campo de batalha” onde as teorias epistemológicas específicas são testadas e aplicadas, sendo onde suas finalidades se consolidam. O núcleo evolutivo e o cinturão aplicativo estão diretamente conectados (determinam-se mutuamente), pois as teorias epistemológicas, caso se mostrem inconsistentes ou ineficientes diante dos domínios que se propõem analisar (e alcançar contribuições), essas vão sendo refutadas e adequadas às finalidades pretendidas e às possíveis soluções aos problemas expostos. Naturalmente, a escolha de um domínio específico de uma dada ciência e das condições de contorno adequadas, além da demarcação dos objetivos e das finalidades que justifiquem sua análise, configuram o passo inicial da pesquisa epistemológica. Posteriormente, ao se idealizar uma teoria epistemológica consistente com seu domínio, suas aplicações podem propiciar contribuições tanto científicas (para as áreas em que se aplique), quanto para a filosofia e para as contribuições sociais que esta teoria pode exercer.

Na medida em que análises epistemológicas de diversas áreas das ciências particulares se consolidem, as interseções entre as epistemologias específicas poderão começar a ser avaliadas e fundidas, permitindo o amadurecimento do programa como um todo, ou seja, o avanço da própria Epistemologia.

## CONDIÇÕES DE CONTORNO GERAIS

Podemos sistematizar as condições de contorno gerais (já enunciadas ao longo do artigo) que definem a postura e o caráter geral deste programa de pesquisa (enquanto proposta em fase de consolidação, tais condições poderão ser refinadas e melhor pautadas posteriormente):

### 1) A Pluralidade das Ciências;

- 1.1) A Ciência é plural.
- 1.2) Negação do caráter geral e normativo de toda epistemologia.
- 1.3) Impossibilidade e inviabilidade de se adotar um só método científico universal (o que não significa que trabalhos desta verva, de autores do passado, não possam ser frutíferos e enriquecer o programa).

### 2) Aserções prévias i, ii, iii, iv e v (resumidamente);

- 2.1) Relação triunívoca entre os aspectos cognitivos, valorativos e sociais da Ciência; são ambos determinantes para o conhecimento científico e se influenciam mutuamente.
- 2.2) Epistemologia → Heurística, Axiológica e Social.
- 2.3) A análise epistemológica se completa ao atingir e integrar os três níveis.
- 2.4) Os problemas das ciências são de aspectos cognitivos, valorativos e sociais.
- 2.5) Toda epistemologia deve ter finalidade; problemas metacientíficos também são problemas das ciências.

### 3) A Convenção dos Afluentes;

- 3.1) A pluralidade das ciências determina a pluralidade epistemológica.
- 3.2) Integração entre as diferentes contribuições em filosofia da ciência ao longo dos séculos XIX, XX, e XXI; todas elas podem ter parcial consistência com o domínio e o período histórico em que se aplicam, mas não encerram (separadamente) a totalidade de ‘o que é a Ciência’ e ‘o que deve sê-la’.

### 4) Associação entre Contexto da Descoberta e Contexto da Justificativa;

- 4.1) A relação entre contexto da descoberta e da justificativa é biunívoca.
- 4.2) A distinção pode ser utilizada como abordagem (desde que prevaleça suas relações), mas jamais como uma efetiva separação.
- 4.3) A legitimação das ciências não cabe à Epistemologia, pelo contrário; a esta cabe o papel de análise, indagação crítica, ruptura e contribuição. Ao epistemólogo cabe o papel de legitimação da própria Epistemologia.

## 5) Critérios de Demarcação;

- 5.1) Rejeição do estabelecimento de critérios de demarcação gerais e normativos. No entanto, tais critérios são recorrentes na prática e no senso comum social, portanto não podem ser negligenciados.
- 5.2) Os critérios de demarcação possuem características negativas e positivas; as primeiras ocorrem quando se colocam de forma geral, reducionista e normativa, por isto mesmo ineficientes na demarcação entre ciência e não ciência diante da pluralidade científica; as segundas características, positivas, devem-se por garantirem boas práticas e melhor orientação nas atribuições entre o que é científico e o que não diante da sociedade.
- 5.3) Os critérios de demarcação são determinados por aspectos cognitivos, valorativos e sociais, influenciando na classificação das ciências e nos contextos sociopolíticos que acarretam seus adventos.
- 5.4) Apesar da inviabilidade do estabelecimento de critérios gerais, é possível se demarcar entre o que faz parte ou não de uma dada teoria ou de uma ciência particular como um todo. Por isto, deve-se adotar o estabelecimento de *critérios de demarcação específicos*.
- 5.5) Tais critérios devem ser investigados pelas epistemologias específicas, em níveis heurísticos, axiológicos e sociais, consistentes com os domínios específicos da ciência particular em que se apliquem.

## 6) O Programa de Pesquisa Epistemológica;

- 6.1) Ênfase total no desenvolvimento de epistemologias específicas.
- 6.2) Deve ser desempenhado em coletivo.
- 6.3) Caráter plural e evolutivo; aplicável a diferentes ramos das ciências.
- 6.4) As condições de contorno específicas são adotadas na análise particular.
- 6.5) O núcleo flexível e o cinturão aplicativo se correspondem.
- 6.6) As aplicações científicas, filosóficas e sociais determinam a finalidade e a adequação das teorias que constituem o núcleo do programa.
- 6.7) Prevalece somente a heurística positiva (antidogmática); tanto sobre o núcleo, quanto sobre as condições de contorno utilizadas.
- 6.8) Desenvolvimento da pesquisa epistemológica & aplicação:
  - 6.8.1) Escolha de um domínio específico das ciências para se introduzir a análise (uma ciência particular ou interdisciplinar, uma teoria específica ou até mesmo uma conjuntura interna de uma teoria).
  - 6.8.2) Estabelecimento das condições de contorno específicas que fomentarão as teorias epistemológicas e desenvolverão os passos iniciais na constituição do núcleo do programa.
  - 6.8.3) Cinturão aplicativo: finalidades e aplicações ao domínio da ciência escolhido.
  - 6.8.4) Podemos, portanto, conjecturar três estágios para a análise epistemológica:
    - 1º) fase descritiva: o estabelecimento da teoria epistemológica consistente

com o domínio da ciência escolhido. 2º) fase de ruptura: diante das problemáticas soerguidas, devem-se identificar as características que precisam ser suplantadas e amadurecidas no programa, contribuindo para as teorias. 3º) fase final: soluções alternativas e aplicações.

6.8.5) As interseções entre as epistemologias específicas desenvolvidas representarão o amadurecimento do programa.

É preciso salientar que toda a estrutura conceitual aqui proposta se aplica peculiarmente a este programa de pesquisa. Outras pesquisas epistemológicas não necessariamente se adéquam ou se adequaram a estas posturas, estruturas e ênfases projetadas neste trabalho. No entanto, as ambições sempre preservam suas proximidades.

#### PRIMEIRA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA À FÍSICA

*Alvo: A Teoria da Relatividade Especial*

**Objetivo:** realizar uma análise epistemológica completa (em níveis heurísticos, axiológicos e sociais) da Teoria da Relatividade Especial (TRE). Este será o primeiro passo do programa para o desenvolvimento de uma Epistemologia da Física, onde princípios e definições epistemológicas extraídas da análise desta teoria específica propiciarão sua indagação crítica, questionamentos, contribuições e o futuro desenvolvimento de epistemologias das demais teorias que constituem esta ciência particular. A física é o alicerce de grande parte das contribuições em filosofia da ciência e um passo crucial para a compreensão dos critérios de cientificidade que influenciaram a consolidação de outras áreas do conhecimento científico.

**Justificativa:** a escolha da Teoria da Relatividade Especial como primeira proposta de aplicação do programa de pesquisa se justifica por amplos motivos. Em primeiro lugar, esta teoria pertence ao quadro canônico do desenvolvimento da física moderna (do início do século XX em diante), possui validade e aplicações contemporâneas, é compatível com as demais teorias físicas em voga; dá continuidade ao Eletromagnetismo clássico do século XIX e se une à Mecânica Quântica na chamada Eletrodinâmica Quântica, consolidada na década de 1950 e em sua generalização posterior, a Teoria Quântica de Campos, inserindo-se no atual modelo padrão da física que fundamenta as concepções mais vigentes dos estudos de partículas elementares às escalas cosmológicas do Universo. Além disto, pode ser vista como

um primeiro passo para os estudos da gravitação, proporcionados pela generalização de seus princípios na Teoria da Relatividade Geral. Do ponto de vista desta ciência, portanto, não há dúvidas que a TRE constitui uma pedra angular na compreensão da física contemporânea.

Em segundo lugar, do ponto de vista histórico, é uma teoria que se projeta para mais de um século; seu surgimento é abordado em diversos trabalhos em história e filosofia da ciência, disponibilizando uma vastíssima literatura sobre o tema. Do ponto de vista filosófico, as consequências da teoria se tornam mais impactantes ainda, a ruptura com conceitos fundamentais da mecânica clássica e da filosofia da natureza predecessor é considerado um dos momentos revolucionários da física. Em terceiro lugar, trata-se de uma teoria implementada institucionalmente nos cursos superiores, pós-graduações e institutos de pesquisa em física do mundo inteiro, especialmente os do nosso país; permitindo que as análises epistemológicas alcancem os níveis sociais e institucionais desejados. É nas nossas cercanias que devemos pautar as maiores contribuições.

Por último, é extremamente fecundo se postular o quanto o desenvolvimento de uma Epistemologia Heurística, Axiológica e Social da TRE pode consolidar um trabalho de tamanha contribuição não só para a Epistemologia em si, mas para as próprias questões cognitivas, valorativas, estéticas, pedagógicas e institucionais associadas a esta teoria. Um trabalho de forte implementação pedagógica, científica e filosófica pode ser gerado, além da chance dos cientistas pertencentes ao coletivo, atuantes nestes empenhos e indagações, poderem alcançar novas abordagens e, por que não, resultados científicos. Não há por que se demarcar que um coletivo formado por filósofos e cientistas não seja capaz de gerar contribuições internas às ciências.

#### 4) CONCLUSÕES PARCIAIS

Remontando-se à definição sintética para a epistemologia que se iniciou o capítulo – *a ciência cujo objeto de investigação é a própria ciência* – argumentou-se sobre sua inviabilidade, mas também sobre sua eficácia parcial enquanto prática científica. O fato de seu campo de investigação estar precisamente fundado no conjunto de interseção entre a filosofia e a ciência e sua aceção tradicional se inserir no sistema da filosofia, por si só, já demonstram a incompletude desta definição. Ocorre que a inconsistência de se definir a epistemologia como uma área puramente científica não anula a possibilidade dela se constituir também como uma prática científica; por *prática científica* entendemos o conjunto de todas as atividades que se remontam ao desenvolvimento das ciências, desde os trabalhos internos

(desempenhados pelos cientistas) aos trabalhos metacientíficos (também desempenhados pelos cientistas, mas não somente por eles), também aptos a fornecerem contribuições às ciências.

Depois do redimensionamento da tarefa epistemológica e dos passos iniciais deste programa de pesquisa, torna-se pertinente propiciar uma redefinição (mesmo que provisória) para a Epistemologia, nos moldes aqui compreendidos e englobando também sua acepção tradicional:

*A Epistemologia é o conjunto das teorias do conhecimento científico, responsáveis pela indagação crítica da forma da Ciência em níveis heurísticos, axiológicos e sociais, a partir disto se revertendo ao próprio conteúdo das ciências. Sua natureza é interdisciplinar, fundamentada na interseção entre a filosofia e as ciências particulares, constituindo-se uma prática científica, filosófica e social.*

O papel do epistemólogo se eleva, portanto, a uma dimensão interdisciplinar capaz de engendrar análises das ciências com base nelas mesmas, nos seus desenvolvimentos históricos, nos fundamentos filosóficos do conhecimento científico e nas esferas sociopolíticas e culturais da Ciência; destacando problemas de natureza metacientífica ao seu alcance de resolução, podendo se reverter em contribuições de natureza tanto científica, quanto filosófica e social.

Quanto ao programa de pesquisa epistemológica, a meta principal deste capítulo foi alavancar seus pontos de partida, expondo as ideias e posturas iniciais para sua futura lapidação; obviamente este trabalho não se encerra em si mesmo, pelo contrário, propicia que toda sua estrutura seja revisada, avaliada e enriquecida por outras visões. O principal passo seguinte será a formação do coletivo que dará efetiva existência ao programa e ao desenvolvimento de suas primeiras aplicações. É desafiador pensar que mesmo uma análise completa de uma única teoria científica já transborda as competências de um só pesquisador, por mais que ele tenha ampla formação. O entendimento propiciado pela imersão científica e pelos estudos filosóficos, pedagógicos, sociológicos e historiográficos necessários para a constituição de uma única aplicação do programa estão fora do alcance individual e, mesmo se estivessem, a análise jamais se constituiria tão rica quanto se fomentada por um grupo que integre suas formações, competências e habilidades. O lema é: não há nada que não se possa conquistar “*with a little help from my friends*” (como diria Lennon e McCartney...).

A escolha da Teoria da Relatividade Especial como primeiro alvo aplicativo do programa, apesar de ter ampla justificação, foi condicionada também pelas procedências e formações acadêmicas que o autor desta dissertação e os primeiros candidatos a integrarem este coletivo possuem (no caso, provenientes da astronomia, da física, da filosofia e da matemática). É crucial que o programa se desenvolva com outras aplicações na física e para além da física, englobando também áreas fora do escopo das ciências matemáticas e da natureza. Para isto, os esforços na formação do coletivo mais amplo e híbrido o possível são fundamentais.

O objetivo final deste capítulo é que ele sirva de convite a todos os interessados nesta proposta para se integrarem, criticarem e participarem deste tão ambicioso quanto necessário empenho coletivo.

## II. EMPIRISMO LÓGICO: OS CÍRCULOS DE VIENA E BERLIM

## PREÂMBULO II

No primeiro capítulo já foram introduzidos, referencialmente, alguns expoentes da filosofia da ciência no século XX, além de alguns problemas e impasses da área. Este segundo capítulo se propõe a desenvolver de forma histórica e conceitual um dos mais importantes afluentes daquele “rio de influências” que percorre a história da filosofia da ciência no século XX (Figura 1); que são os Círculos de Viena e Berlim, proponentes do que se designou tanto por neopositivismo, quanto por empirismo ou positivismo lógico. Uma corrente filosófica coletiva, que elevou para si a concepção científica (do mundo) ao maior patamar do conhecimento humano; influenciando a maior parte das gerações seguintes, seja refutando ou compartilhando seus pensamentos tão radicais quanto fortemente fundamentados.

Os Círculos de Viena e Berlim se consolidaram na década de 1920 e atuaram até meados da década de 1930, quando se dispersaram pela ascensão nazista e com a morte de um dos seus principais fundadores, Moritz Schlick, em 1936. Entre tantos, destacam-se Rudolf Carnap, defensor e fundamentador das ideias neopositivistas, e Hans Reichenbach, que colaborava com o grupo de Viena e foi um dos fundadores do Círculo de Berlim, que dialogava paralelamente com as ideias austríacas (preservando contraposições internas). As influências diretas herdadas por estes pensadores se originam no empirismo de David Hume, no positivismo de Auguste Comte, no empiriocriticismo de Ernst Mach e na Filosofia Analítica oriunda do início do século XX, além dos desenvolvimentos da lógica, da matemática e da física moderna.

Primeiramente faremos um breve esboço cronológico destas influências para depois tratarmos dos Círculos de Viena e Berlim diretamente, de onde extrairemos as obras fundamentais que completam os estudos do próximo capítulo. A maior parte desta segunda unidade adota uma exposição quase que “enciclopédica” sobre o tema, o mais “neutra” o possível (assumindo este risco tendencioso), reservando ao final suas considerações críticas para englobá-las posteriormente no conjunto de toda a dissertação.

**Palavras-chave (específicas): positivismo, filosofia analítica, empirismo lógico.**

## 1) AS ORIGENS DO POSITIVISMO E DA FILOSOFIA ANALÍTICA

(De Comte, Mach à Bertrand Russel & Wittgenstein)

A reação da ciência contra a filosofia tradicional no século XIX resulta, como maior influência, do positivismo de Comte. A objeção à formulação de hipóteses, onde os processos naturais poderiam ser apenas descritos, mas não explicados; este tipo de programa está ligado, em certos aspectos, ao estado geral de otimismo científico da época. Quando se percebe que o empreendimento científico alcançou certo grau de plenitude, com seus fins à vista, muitas vezes pode emergir uma atitude análoga a esta com relação à teoria. Uma teoria poderosa (como a de Newton, por exemplo: ao tratar da propagação de raios luminosos, foi conveniente lhe aferir que “não concebe hipótese alguma”) ela encontrará emprego suficiente por certo tempo sem necessidade aparente de tais hipóteses. Chegou-se a acreditar que a física newtoniana, em certo momento histórico, resolveria todos os problemas “importantes” da física, sendo natural que insistissem no aspecto descritivo à custa da explicação, ou seja, na não necessidade da reformulação de suas hipóteses fundamentais por detrás da teoria. Os filósofos idealistas tenderam, à maneira de Hegel, a reunir todos os ramos da investigação num sistema amplo e compreensivo. Os cientistas, em contraposição, acharam que suas pesquisas não deviam submergir numa filosofia monística.

Como doutrina que só se atém aos fatos e às relações entre os fatos, o Positivismo, fundado no século XIX pelo francês Auguste Comte (1798-1857), constitui a reação mais contrária à filosofia tradicional, especialmente à metafísica<sup>1</sup>. Para Comte, a filosofia haveria de ser “positiva”, restringindo-se aos resultados das ciências naturais e se convertendo numa *teoria do saber científico*. A partir destas bases, Comte estabelece sistematicamente os fundamentos da *sociologia*, a ciência da sociedade que ele classifica como o saber superior e de maior transcendência futura para a humanidade.

Suas obras fundamentais são o ‘*Curso de Filosofia Positiva*’ (1830-1842) e o ‘*Sistema de Política Positiva*’ (1852-1854), onde justifica sua doutrina formulando a **Lei dos Três Estágios**, que explica a evolução das sociedades ocidentais de acordo com a maneira como abordaram a explicação do mundo dos fenômenos:

---

<sup>1</sup> Neste contexto, entende-se por metafísica a chamada *filosofia primeira*, que busca descrever os fundamentos, as condições, as causas ou princípios primeiros mais gerais, transcendentais, bem como o sentido e a finalidade da realidade como um todo ou dos seres em geral. No entanto, os objetos da metafísica (como mente, alma e matéria, a existência de Deus, as categorias ontológicas, etc.), não são acessíveis à investigação empírica; pelo contrário, são “realidades transcendentais” que só podem ser descobertas pelas “luzes da razão”, mas por a metafísica constituir um conhecimento que tem por natureza jamais ser comprovado (de forma empírica e factual), sempre foi preterida pelas correntes empiristas da filosofia moderna e radicalmente atacada pelo positivismo.

- I. *Primeiro estágio* – o teológico; onde a mente humana explica os fenômenos de maneira fictícia, apelando para causas sobrenaturais. Em lugar de perguntar pelo “como” das coisas, indaga “por que” e “para que”.
- II. *Segundo estágio* – o metafísico; onde a indagação das causas já é feita no terreno da natureza, mas de forma abstrata.
- III. *Terceiro estágio* – o científico; onde finalmente se abandona o saber “causal” e a mente se limita a observar os fatos e a estabelecer leis positivas (descritivas) a partir deles.

O Positivismo, em consequência, é a filosofia que corresponde ao estágio científico da humanidade, já que sucede de forma lógica à antiga metafísica. Ao mesmo tempo, para Comte o positivismo é também uma religião, já que herda, como ciência social, aquela força coesiva do coletivo que se encontra nas religiões tradicionais. O estágio positivo se caracteriza, segundo Comte, pela subordinação da imaginação e da argumentação à observação. Cada proposição enunciada de maneira positiva deve corresponder a um fato, seja particular, seja universal. Isto não significa, porém, que Comte defendera um empirismo puro, ou seja, a redução de todo conhecimento à apreensão exclusiva de fatos isolados. A visão positiva dos fatos abandona a consideração das causas dos fenômenos (procedimento teológico ou metafísico) e torna-se a pesquisa de suas leis, entendidas como relações constantes entre fenômenos observáveis. Quando procura conhecer fenômenos psicológicos, o espírito positivo deve visar às relações imutáveis presentes neles — como quando trata dos fenômenos físicos, como o movimento ou a massa; só assim conseguiria realmente explicá-los. Segundo Comte, a procura de leis imutáveis ocorreu pela primeira vez na história quando os antigos gregos criaram a *astronomia matemática*. Na época moderna, o mesmo procedimento reaparece em Bacon, Galileu e René Descartes, os fundadores da filosofia positiva, para Comte.

Segundo ele, as ciências se classificam de acordo com a maior ou menor simplicidade de seus objetos respectivos. A complexidade crescente permite estabelecer a sequência: matemáticas, astronomia, física, química, biologia e sociologia (ou *física social*). As matemáticas possuem o maior grau de generalidade e estudam a realidade mais simples e indeterminada. A astronomia acrescenta a força ao puramente quantitativo, estudando as massas dotadas de forças de atração. A física soma a qualidade ao quantitativo e às forças, ocupando-se do calor, da luz, etc., que seriam forças qualitativamente diferentes. A química trata de matérias qualitativamente distintas. A biologia ocupa-se dos fenômenos vitais, nos

quais a matéria bruta é enriquecida pela organização. Finalmente, a sociologia estuda a sociedade, onde os seres vivos se unem por laços independentes de seus organismos. A sociologia é vista por Comte como o fim essencial de toda a filosofia positiva.

Sua influência é tão grande no século XIX que ele rapidamente é adotado em outros países e desenvolvido de forma consequente por pensadores de amplas áreas do conhecimento. No entanto, sua vertente filosófica voltada para as ciências matemáticas e da natureza pode ser dividida em três fases de influência progressiva: a primeira é o próprio *Positivismo Comteano*, a segunda é o *Empiriocriticismo* do físico e filósofo austríaco Ernst Mach (1838-1916), e a terceira e última corresponde ao *Neopositivismo* do Círculo de Viena, onde as ideias positivistas se unem ao caráter analítico da filosofia do início do século XX.

#### ERNST MACH E O EMPIRIOCRITICISMO

As obras filosóficas e científicas de Mach exerceram profunda influência no pensamento do século XX. Seus primeiros livros contêm os fundamentos de uma nova teoria filosófica, o *Empiriocriticismo*, onde defendeu a concepção positivista: nenhuma proposição das ciências naturais é admissível se não for possível verificá-la empiricamente. Os rigorosos critérios de verificação que utilizou o conduziram à eliminação não só de conceitos metafísicos da física teórica (como éter, substância, espaço e tempo absolutos, etc.), assim como conceitos de moléculas e átomos hoje em voga (ou seja, da hipótese que afirma a existência de um elemento estrutural básico da matéria).

Uma de suas obras mais influentes – *A Ciência da Mecânica* (1883) – fornece uma explicação positivista/empiriocrítica da mecânica. Ao fazê-la, Mach evita cuidadosamente o emprego da terminologia escolástica, que até certo ponto encontrara espaço na física newtoniana (escolástico se remonta ao método de pensamento crítico dominante no ensino das universidades medievais europeias por volta de 1100 a 1500; aqui podendo ser entendida como uma tentativa de harmonizar a relação entre crença e razão, com base em hipóteses transcendentais atribuídas à natureza, gerando uma linguagem de acesso ao “mundo empírico” que se utiliza de termos que não refletem diretamente a experiência, mas se entendem como referentes às propriedades naturais). Um termo como ‘força’ serve de exemplo: *força* não é algo que se possa ver, tudo o que podemos dizer é que os corpos se movem de determinadas maneiras. Assim, Mach elimina a força e a define em função do conceito puramente cinemático da aceleração. Não pretende ali produzir uma mecânica mais poderosa do que a de sua época, mas permitir um apuramento de sua linguagem. O exercício

positivista, neste sentido, seria uma aplicação da *navalha de Ockham* ao que parecia ser um crescimento supérfluo de conceitos científicos inúteis.

A ‘Navalha de Ockham’ é um princípio lógico atribuído ao frade franciscano inglês, Guilherme de Ockham (século XIV). O princípio afirma que a explicação para qualquer fenômeno deve assumir apenas as premissas estritamente necessárias à explicação do mesmo e eliminar todas as que não causariam qualquer diferença aparente nas predições da teoria: *as entidades não devem ser multiplicadas além da necessidade*. O princípio recomenda assim que se escolha a teoria explicativa que implique o menor número de premissas assumidas e o menor número de entidades. “*Se em tudo o mais forem idênticas as várias explicações de um fenômeno, a mais simples é a melhor*” (Guilherme de Ockham). Isto é tido como uma das máximas heurísticas (regra geral) que aconselham economia e simplicidade, especialmente nas teorias científicas; no caso da física, o espelhamento de ideias análogas nas obras de Mach e sua influência posterior foram extremamente relevantes para o enrijecimento da noção de método científico, para a preocupação com a apuração da linguagem científica, além de toda uma cultura de pensamento que se estende aos empiristas lógicos.

Seguindo a linha de pensamento formulada por David Hume (1711-1776)<sup>2</sup>, Mach nega a se pronunciar sobre a natureza da realidade (se psíquica ou física) para permanecer no plano fenomênico. Para ele, todas as afirmações empíricas (incluindo as científicas) poderiam ser reduzidas a afirmações sobre as sensações. O caráter de qualquer lei científica é apenas o descritivo, sendo a matemática uma ferramenta na descrição quantitativa e geométrica do mundo, mas sem nenhuma relação ontológica ou metafísica com a realidade, apenas uma linguagem. A escolha entre hipóteses igualmente plausíveis e relativas ao mesmo fato seria uma questão de economia de pensamento.

Em ‘*The Analysis of Sensations: and the relations of the physical and the psychical*’ (1897), Mach se utiliza de uma ampla abordagem interdisciplinar que fortalece as bases do Empiriocriticismo para além da física, afirmando como os grandes resultados alcançados pela ciência física no seu período não se restringem a sua própria esfera, mas abraçam os de outras ciências que “empregam sua ajuda”. A tarefa da ciência para Mach não poderia consistir senão em: i) investigar as leis das relações entre as representações [psicologia]; ii) descobrir

---

<sup>2</sup> A filosofia proposta pelo escocês David Hume leva o empirismo até suas últimas consequências. Hume é o pensador britânico mais importante do século XVIII, e um dos mais influentes do Iluminismo. Nele, já ocorre uma ruptura com a metafísica, tal como havia sido entendida no século XVII por Descartes, Leibniz, Spinoza e outros. Seu ponto de referência constante é a metodologia empregada por Newton. A filosofia não deve partir de hipóteses, mas de uma análise crítica da experiência, e a metafísica, entendida como explicação das causas últimas, deve ser preterida. Essa guinada introduzida por Hume é muito importante e influenciará de modo decisivo as filosofias de Kant e, posteriormente, a do próprio positivismo.

as leis das relações entre as sensações (as percepções) [física]; iii) explicar as leis da relação entre as sensações e as representações [psico-física].

Na discussão entre “realidade” e “aparência”, usualmente atribuímos “realidade” aos objetos físicos que idealizamos (dotando-os de plena existência em matéria) e “aparência” às sensações (estas vulneráveis, possivelmente “ilusórias”); para Mach, nossas idealizações sobre os objetos, imaginando-os como “reais”, estas sim correm o risco de serem ilusões – não sendo os objetos (os corpos), mas as cores, os sons, as pressões, os espaços, os tempos, (o que chamamos comumente de sensações), que constituem os verdadeiros elementos do universo. Os objetos, portanto, passam a serem entendidos como “propriedades” ou “efeitos”.

Colours, sounds, temperatures, pressures, spaces, times, and so forth, are connected with one another in manifold ways; and with them are associated dispositions of mind, feelings, and volitions. Out of this fabric, that which is relatively more fixed and permanent stands prominently forth, engraves itself on the memory, and expresses itself in language. Relatively greater permanency is exhibited, first, by certain complexes of colours, sounds, pressures, and so forth, functionally connected in time and space, which therefore receive special names, and are called bodies. Absolutely permanent such complexes are not.

(MACH, 1897, p.02)

Mach sustenta o *princípio do paralelismo completo entre o psíquico e o físico*, não reconhecendo uma separação entre os dois domínios (o psíquico e o físico); este princípio segue de maneira quase que necessária, mas pode-se também enunciá-lo sem o auxílio desta concepção fundamental, tornando-se apenas um princípio heurístico de pesquisa. *Uma entidade física corresponde a toda entidade psíquica, e vice-versa*. A crença geral em questão mostra-se correta em muitos casos, e pode-se defender que ela é provavelmente correta para todos os casos, como alega Mach, constituindo um pressuposto necessário para toda pesquisa exata. Ao mesmo tempo, sua visão defendida é diferente de outras, como as que afirmam que “o físico e o psíquico são dois aspectos de uma única realidade”. Em primeiro lugar, Mach afirma que sua visão “não tem sustentação metafísica alguma, mas corresponde somente à expressão generalizada das experiências” (MACH, 1987, p.61).

Mach esteve profundamente envolvido nas revoluções da física, embora se mantendo um crítico da nova física, tanto como ele tinha sido da antiga. Tanto Max Planck quanto Albert Einstein o homenagearam por ter sido a pessoa que criou uma cultura crítica dentro da qual se desenvolveram as ideias deles. No entanto, eles também vieram a criticar o que eles viram como a recusa inflexível de Mach em aceitar essas novas ideias.

## A FILOSOFIA ANALÍTICA

A concepção analítica da filosofia se expande por todo o século XX até nossos dias. Embora existam diferentes correntes dentro do que se chama ‘filosofia analítica’, todas elas apresentam traços em comum: seu acentuado caráter empirista, que também remonta ao empirismo de Hume; um retorno parcial ao positivismo, como recusa da metafísica, uma vez que só a ciência proporciona um “conhecimento válido” sobre a realidade; sua concepção de que a tarefa da filosofia pode limitar-se à análise lógica da linguagem comum ou da científica.

Wittgenstein, com sua obra ‘*Tractatus Logico-Philosophicus*’, e Bertrand Russell marcam o momento inicial da filosofia analítica. O segundo grande momento é representado pelo neopositivismo do Círculo de Viena e, finalmente, Karl Popper e os filósofos da linguagem comum. Para a compreensão dos primeiros passos dos Círculos de Viena e Berlim, portanto, o *Atomismo Lógico* proposto por Russell e o *Tractatus* de Wittgenstein são essenciais.

Na filosofia britânica do início do século XX, as tendências neoidealistas de Francis H. Bradley eram combatidas por um realismo de novo cunho; George E. Moore volta a sustentar que a realidade é independente do pensamento. À margem deste *neorealismo*, mas partidário da mesma orientação antimetafísica de Moore, Bertrand Russell penetra no campo da lógica matemática a partir das contribuições decisivas de Gottlob Frege e Giuseppe Peano, e escreve, junto com Alfred N. Whitehead, o *Principia Mathematica* (1910, 1912 e 1913; em três volumes).

O *Principia* é considerado pelos especialistas como um dos mais importantes trabalhos sobre a interdisciplinaridade entre matemática, lógica e filosofia, com dimensão comparável ao *Organon* de Aristóteles. Este compêndio é uma tentativa de concluir todas as verdades matemáticas (da época) baseando-se num rol extremamente bem definido de axiomas e regras de dedução, usando uma linguagem lógico-simbólica própria.

Em 1918, Russell ministrou em Londres um curso que se compôs de oito conferências e que se intitulou ‘*The Philosophy of Logical Atomism*’ (A Filosofia do Atomismo Lógico). Tais conferências foram publicadas neste mesmo ano, contudo só apareceram sob a forma de livro em 1956, quando foram incluídas em uma coletânea de ensaios denominada ‘*Logic and Knowledge*’ (Lógica e Conhecimento). A expressão “*atomismo lógico*” foi empregada por Russell para indicar a sua filosofia que tem como ponto de partida uma reflexão sobre os fundamentos da matemática:

A razão pela qual chamo minha doutrina de Atomismo Lógico é porque os átomos aos quais desejo chegar, como a espécie de último resíduo da análise, são átomos lógicos e não átomos físicos. Alguns deles serão o que chamo de 'particulares' – coisas tais como pequenos sinais de cores ou sons, coisas momentâneas – e alguns deles serão predicados ou relações e assim por diante. (RUSSELL, 1918, p.60)

Ele é partidário do logicismo, cuja tese fundamental é que a matemática é redutível à lógica. Talvez fosse melhor dizer que, segundo o logicismo, a matemática é redutível à lógica; esta também denominada lógica matemática, lógica simbólica, ou ainda lógica algorítmica. De fato, com o intuito de provarem sua tese básica, Russell e os demais defensores do logicismo desenvolveram bastante a lógica, contribuindo para dotá-la de um algoritmo simbólico análogo ao simbolismo da álgebra comum, criando a nova ciência da lógica. Russell já expusera suas teses, em linhas gerais, na obra *'The Principles of Mathematics'* (Os Princípios da Matemática, 1903). Entretanto, foi somente com o *Principia* que o logicismo adquiriu sua maturidade. Ele sugere que, em filosofia, deve-se proceder de modo a passar dos dados inegáveis, das coisas óbvias, que são vagas e ambíguas, para algo preciso, claro, definido, que verificamos por intermédio da reflexão e da análise. Surge então a filosofia analítica.

Ainda em 1918, quando era docente no Trinity College de Cambridge, Russell entrou em contato com o estudante vienense Ludwig Wittgenstein. O resultado desse encontro fortaleceu as ideias do Atomismo Lógico, no entanto, o acordo entre os dois não foi total e coube a Wittgenstein formular, no *'Tractatus Logico-Philosophicus'* (1922), sua versão mais acabada. A partir daí, a tese básica do atomismo lógico transcendeu os campos da lógica e da matemática, tornando-se uma doutrina de análise da linguagem que acessa o mundo empírico.

A principal tese do *Tractatus* é a de que a estrutura dos fatos se comunica com a estrutura da linguagem, quer dizer, entre as duas – linguagem e realidade – existe um isomorfismo. A linguagem representa ou retrata a realidade, da mesma forma que uma pintura. Essa teoria é conhecida como *teoria da imagem*, expressão própria (obviamente traduzida) de Wittgenstein. A análise lógica da linguagem deve permitir a descoberta da estrutura do real, com a certeza de que sua análise equivale à análise dos fatos. A linguagem que retrata a realidade não é a linguagem corrente, cheia de imprecisões e deficiências, mas uma linguagem ideal, logicamente perfeita.

O mundo é constituído de elementos factuais (*átomos*). Estes elementos não são objetos ou coisas: são *fatos atômicos*. Os fatos atômicos estão representados na linguagem por *proposições atômicas*. Existem outros tipos de proposições, as moleculares, construídas a

partir das proposições atômicas por meio de conectivos lógicos, tais como “e”, “ou”, “não”, “se...”, “então”. A verdade ou a falsidade das proposições moleculares é uma *função de verdade* das proposições atômicas, quer dizer, sua verdade ou falsidade depende da verdade ou falsidade das proposições atômicas de que se compõem. Por outro lado, a verdade da proposição atômica só pode ser estabelecida a partir dos fatos que expressa.

Disto deriva que a única linguagem com sentido é aquela que se refere aos fatos. Tudo o que é abordado pela metafísica tradicional, por não se constituir de *fatos*, não pode ser expresso, e só o que cabe é o silêncio: “*Aquilo de que não pode se falar deve ser calado*”. Esta é a última tese do *Tractatus*. A tarefa da filosofia só pode ser a de indicar o que não pode ser dito, apresentando-nos claramente o que pode ser dito. As próprias proposições do *Tractatus* são proposições que, por não falarem de fatos, carecem de significado empírico.

Todo o *Tractatus* tem o caráter de instrumento, como uma escada que nos permitiu chegar à linguagem ideal, mas que nem sempre é capaz de se aplicar aos campos mais complexos do conhecimento. O excesso de rigor e formalismo pode se adequar bem às ciências físicas, matemáticas, etc., mas para questões mais complexas da vida, da sociedade e do ser humano, o excesso da linguagem lógica às vezes pode truncar seu conhecimento, sendo necessário uma medida certa de coloquialismo e abertura para se tratar problemas ainda fora do alcance formal e exato humano – este último pensamento é o que caracteriza, de certa maneira, as questões levantadas posteriormente pelos filósofos da linguagem comum e pelo próprio Wittgenstein, que anos depois, ao publicar sua segunda obra (também de grande influência) – as ‘*Investigações Filosóficas*’ (1953) – segue uma orientação radicalmente diferente, passando a levar em conta outros aspectos importantes da linguagem.

A mudança de concepção é tão grande que se costuma falar de um *primeiro Wittgenstein*, o do *Tractatus*, e um *segundo Wittgenstein*, o das *Investigações*, embora mantenha o mesmo interesse pela linguagem e pelo método da análise como forma de clarificação filosófica. O primeiro Wittgenstein teve uma poderosa influência na filosofia do Neopositivismo, embora ele nunca a tenha aprovado. Agora, sobre um panorama histórico e conceitual, buscaremos o entendimento das ideias do empirismo lógico que, apesar de em grande parte serem refutáveis ou não, contribuíram e contribuirão de forma decisiva para a análise da Teoria da Relatividade e da Filosofia do Espaço & Tempo apresentadas no próximo capítulo.

## 2) OS CÍRCULOS DE VIENA E BERLIM

Em 1907 o matemático Hans Hahn, o economista Otto Neurath e o físico Philipp Frank começaram a se reunir informalmente, em Viena, para discutir problemas de filosofia da ciência. O intuito fundamental era o de conciliar uma concepção essencialmente empirista da Ciência, sob influência das doutrinas de Ernst Mach, e o reconhecimento da importância inegável da lógica, da matemática e da física teórica na construção de teorias. Esse projeto, inicialmente vago, antecipava contudo o que seria uma das principais preocupações filosóficas do Círculo de Viena, grupo de filósofos e cientistas preocupados com a filosofia da ciência, constituído a partir daquele núcleo inicial, sob a orientação intelectual do físico e filósofo alemão Moritz Schlick.

A orientação fundamental do Círculo de Viena é a de um empirismo que parte de Hume e que vê na experiência a única fonte válida de conhecimento, com a consequente recusa da metafísica, entendida como conhecimento à margem da experiência sensível. A esse empirismo se soma o interesse pela linguagem: uma vez que todo conhecimento positivo sobre a realidade provém das ciências, a filosofia assume a tarefa da análise da linguagem científica, e o instrumento desta análise é a lógica formal, que recebeu um grande impulso com a publicação do *Principia Mathematica*, de Russell e Whitehead. A filosofia deixa de ser uma especulação vã e dogmática e adquire o rigor e o caráter “inequívoco” da ciência, da qual se transforma em auxiliar (filosofia *da* ciência). O modelo exclusivo de racionalidade é o da racionalidade científica.

A originalidade do positivismo lógico se apoia na reformulação do problema do alcance e dos limites de nossa linguagem. O conhecimento científico se expressa em proposições; é preciso determinar, portanto, qual é a natureza de tais proposições. Neste ponto, os positivistas lógicos seguem Hume e Kant e distinguem dois tipos de proposições: as proposições formais (“relações de ideias”, segundo Hume; “analíticas”, segundo Kant), que são as proposições das ciências formais (lógica e matemáticas); e as proposições fáticas ou empíricas (“juízos de fato”, segundo Hume; “sintéticas”, segundo Kant). As proposições da lógica e das matemáticas se caracterizam por não oferecerem, necessariamente, quaisquer informações sobre os fatos da realidade, do mundo empírico; portanto, sua verdade não depende deles, mas se estabelece a partir de sua forma lógica: são necessariamente verdadeiras (tautologias)<sup>3</sup> ou necessariamente falsas (contradições).

---

<sup>3</sup> Proposições tautológicas se caracterizam por sua validade estar contida nelas mesmas, por necessidade lógica, não carecendo de quaisquer comprovações externas. Um argumento é tautológico quando ele se explica por si próprio.

As proposições das ciências fáticas (física, química, biologia, sociologia, etc.) proporcionam informações sobre a realidade e sua verdade depende, portanto, dos fatos, que dependem da comprovação empírica do que enunciam. As proposições que não pertençam a um dos dois tipos devem ser refutadas por carecerem de significado. Através da obra de Schlick e da interpretação lógico-positivista do *Tractatus* de Wittgenstein, introduz-se aqui tais distinções.

#### MORITZ SCHLICK

Schlick nasceu em Berlim, em 1882. Após quatro anos de estudo de física na Universidade de Berlim, sob a orientação de Max Planck, apresentou em 1904 uma dissertação sobre a reflexão da luz em meios não homogêneos, que lhe valeu o título de doutor. Interessado em filosofia e descontente com as correntes de inspiração neokantiana e fenomenológica, então dominantes no cenário filosófico alemão, Schlick começou a refletir sobre o que é o conhecimento científico e por que a filosofia tradicional não constituiu um corpo de conhecimentos admissíveis. Essas reflexões orientaram boa parte de suas atividades no período de 1911 a 1917, resultando na publicação, em 1918, de sua *Teoria Geral do Conhecimento*. Entretanto, em sua obra dedicada às questões da física, *Espaço e Tempo na Física Contemporânea* (publicada um ano antes), Schlick já se voltava contra a tese kantiana de que as leis relativas ao espaço e ao tempo são ao mesmo tempo  *sintéticas e a priori* <sup>4</sup>, ou seja, referentes ao domínio da experiência, mas não deriváveis diretamente de nenhuma experiência.

Essa crítica da noção de proposição  *sintética a priori*  prenunciava um dos temas dominantes de seu pensamento posterior, ao ponto de afirmar que as doutrinas do Círculo de Viena poderiam se resumir a  *um empirismo que nega a possibilidade de juízos sintéticos a priori* , sendo feita sob influência parcial do convencionalismo de Henri Poincaré (1854-1912), que afirmava que as leis mais gerais da natureza, como as leis gerais do espaço e do

---

<sup>4</sup> Na *Crítica da Razão Pura* (1781), Kant afirma que toda ciência está fundamentada em juízos analíticos ou sintéticos, ou seja, afirmações que se referem ao domínio do pensamento ou da experiência, respectivamente. No caso dos juízos analíticos, estes são univocamente de origem  *a priori*  (ou seja, originam-se na razão, no próprio pensamento e a ele se referem, como no caso das proposições da lógica), já os juízos sintéticos podem ter tanto origem  *a posteriori*  (isto é, através das sensações, dos dados da experiência e referentes a ela mesma) quanto  *apriorística*  (se referem à experiência, mas se originam puramente no pensamento, como as noções de espaço, tempo e a geometria). Assim, segundo Kant, existem três classes de juízos: analíticos  *a priori* , sintéticos  *a posteriori*  e sintéticos  *a priori* . Esta última classe foi fortemente atacada na filosofia do lógico-positivista, negando a tese kantiana de que certos juízos referentes à experiência, ao mundo real, podem ser formulados puramente na razão. Isto levou à rejeição da tese kantiana para a natureza do espaço e tempo e da geometria, trazendo à tona uma reformulação de tais conceitos que engendraram uma nova filosofia do espaço e tempo unida à física moderna, que será abordada no próximo capítulo.

tempo, não são deriváveis da experiência e nem verdades lógicas, mas convenções usadas na sistematização dos dados empíricos.

Na *'Teoria Geral do Conhecimento'*, a crítica de Schlick ultrapassa os limites da física, generalizando-se em termos da noção geral de conhecimento. Examinando todas as espécies de proposições que Kant conferira caráter *sintético a priori*, Schlick concluía que cada uma delas poderia ser precisamente reformulada; ou como uma verdade logicamente necessária, e portanto *analítica*, não *sintética*, ou como dotada de conteúdo empírico determinante de seu valor de verdade, e portanto *a posteriori*, não *a priori*. Proposições admitidas por convenção não deveriam ser encaradas como *leis* em sentido próprio, mas como *regras* de organização dos dados empíricos. Todo conhecimento independente de quaisquer fatos particulares seria simplesmente lógico e todo conhecimento factual seria simplesmente empírico, não restando lugar algum para um conhecimento factual *a priori*, projeto que Schlick descobriu na essência da filosofia tradicional.

Se a metafísica, alvo principal de suas objeções, mantém uma aparente relevância teórica, é porque, diz Schlick, a linguagem garante a possibilidade de usos não científicos de suas expressões, nem sempre nitidamente distintos dos usos propriamente científicos. Proposições científicas seriam as univocamente verdadeiras ou falsas, opondo-se, por exemplo, a proposições que aparecem em um texto “poético”, para as quais não se colocaria a questão da verdade. As regras da gramática não seriam, pois, suficientes para fazer distinção entre, de um lado, sequências de expressões que constituem proposições científicas e, de outro, sequências despidas de relevância para o conhecimento. Seria necessário completar a gramática, acrescentando-lhe um inventário de regras lógicas, capazes de determinar com rigor os limites do conjunto de proposições cientificamente relevantes. Schlick concebia a natureza dessas regras a partir da ideia de que todo conhecimento é descrição de relações entre elementos dados empiricamente, sendo ilusório o projeto de conhecer o *conteúdo* (essência) dos fenômenos. Esse conteúdo seria acessível não teoricamente, mas por meio de uma experiência intuitiva e emocional. A pretensão metafísica de conhecer o conteúdo, a essência das coisas reais, envolveria, pois, uma contradição. Para Schlick, a grande parte das teses que compõem sistemas metafísicos seriam simplesmente proposições sem significado de conhecimento, sequências de expressões construídas em desacordo com as regras lógicas da linguagem, e, portanto, nem verdadeiras nem falsas, mas, do ponto de vista do conhecimento, não significativas. A aparente cientificidade de que elas se revestem, diz Schlick, exprimiria tanto a inadequação da gramática como critério para a edificação da linguagem da ciência,

quanto a possibilidade de conferir à metafísica um significado emotivo, análogo ao que cabe ao discurso poético.

Nessa primeira fase do pensamento de Schlick, estão presentes muitos dos pontos que caracterizarão mais tarde as doutrinas do Círculo de Viena, cabendo ressaltar que suas duas obras até aqui citadas (*Espaço e Tempo na Física Contemporânea*, 1917, e *Teoria Geral do Conhecimento*, 1918) são prévias ao seu posterior contato com o *Tractatus Logico-Philosophicus* de Wittgenstein (1922). Em primeiro lugar, a convicção de que a lógica, a matemática e as ciências empíricas esgotam o domínio do conhecimento possível, salientava já a estreita relação entre matemática e lógica enquanto formas de conhecimento analítico, sem conteúdo factual, onde a validação factual é estabelecida somente através das ciências empíricas. Nesse sentido, Schlick partilhava da convicção de Mach, segundo a qual, todo conhecimento da realidade deve poder reduzir-se, em última análise, à descrição da experiência, descrição que, entretanto, requer instrumentos analíticos, investigados pela lógica e pela matemática. Outro ponto que, posteriormente, ressurgiria no Círculo de Viena, diz respeito ao estatuto da filosofia. Mais do que um *projeto fracassado*, Schlick tendia a encontrar na filosofia tradicional um *projeto impossível*, e, nos sistemas metafísicos, mais do que teses falsas, teses sem sentido (empírico). A esse respeito, porém, a primeira posição de Schlick é ainda mais amena que a assumida em Viena, alguns anos depois. Ela não implica ainda na recusa em conceder à filosofia qualquer relevância teórica, mas apenas na recusa em concedê-la nas condições requeridas pela filosofia tradicional. Schlick reconhece que algumas questões filosóficas são de natureza factual, e, nesta medida, admitem soluções satisfatórias, *a partir de uma análise dos resultados das ciências empíricas*.

## O POSITIVISMO LÓGICO

### *A Consolidação do Círculo de Viena*

Em 1922, Schlick aceitou o convite para ocupar a cadeira de filosofia das ciências indutivas, na Universidade de Viena (cadeira antes ocupada por Ludwig Boltzmann e Ernst Mach). Rapidamente reuniu um grupo de filósofos e cientistas, ligados pelo interesse comum por certos tipos de problemas, bem como pela atitude francamente empirista assumida diante dos mesmos. Faziam parte do grupo inicial Otto Neurath, Philipp Frank, Hans Hahn, Herbert Feigl, Friedrich Waismann, Kurt Gödel, Karl Menger, Victor Kraft, entre outros. Concordando com o empirismo clássico, quanto ao caráter empírico de todo conhecimento

factual, os membros do Círculo de Viena, contudo, julgavam insatisfatória a concepção da matemática e da lógica como sistemas de proposições muito gerais (ou seja, que se entendam como conhecimentos referentes à natureza, além de seu domínio analítico), capazes de estabelecer indutivamente fatos empíricos particulares. O progresso das duas ciências no início do século e o alargamento de seus limites, com o desenvolvimento da teoria de conjuntos, parecia obrigar os novos empiristas a encontrar outra maneira de fundamentar a cientificidade do domínio lógico-matemático.

Dentro desse panorama crítico, foi decisivo para os membros do Círculo de Viena a leitura empirista que fizeram do *'Tractatus Logico-Philosophicus'* de Wittgenstein. Ao elevar a concepção do “mundo” a um conjunto de *fatos atômicos*, o estado atual do “mundo” se determina pelo conjunto de fatos atômicos que efetivamente ocorrem. Assim, toda proposição só é significativa, ou seja, fornece alguma informação acerca da realidade, na medida em que afirme a ocorrência de certos fatos atômicos e exclua a ocorrência de outros. O valor de verdade de uma proposição deve, pois, poder ser determinado a partir do conhecimento da ocorrência, ou não ocorrência, dos fatos atômicos envolvidos. Imaginando-se uma linguagem capaz de exprimir cada fato atômico, toda proposição significativa poderia ser reduzida a uma combinação de proposições atômicas mediante *funções de verdade*, de modo a ficar o valor de verdade da proposição complexa univocamente determinado pelos valores de verdade das proposições atômicas componentes.

Segundo esse critério, três espécies de proposições deixariam de merecer o nome de significativas. A primeira espécie seria a das verdades lógicas, a segunda a das verdades matemáticas – estas são reconhecidas como independentes dos fatos e por isto mesmo vazias de significado, sua aplicabilidade ao mundo se deve ao fato de sua estrutura derivar da própria linguagem de acesso ao mundo, podendo por isto serem usadas nas ciências naturais, mas que por si só não conferem significado algum – e a terceira espécie de proposições não significativas seria a das proposições filosóficas que transcendem a análise da linguagem, que tentam se apresentar como conhecimentos efetivos do mundo, mas que não se reduzem a um complexo de proposições atômicas, ou seja, no fim das contas não possuem fundamento algum verificável. Para eles, o conhecimento do mundo é esgotado no nível das ciências naturais, não restando à filosofia nenhuma função teórica independente.

Uma primeira lição derivada do *Tractatus* – a identificação dos fatos atômicos a fatos empíricos – levou o Círculo de Viena a formular o *Princípio da Verificabilidade*:

*O significado de uma proposição reduz-se ao conjunto de dados empíricos imediatos, cuja ocorrência confere veracidade à proposição e cuja não ocorrência a falsifica; o significado de uma proposição são suas condições empíricas de verdade. Em termos linguísticos, uma proposição factual será significativa se for possível reduzi-la a uma combinação de proposições que exprimam fatos da experiência imediata, proposições protocolares, mediante funções de verdade.*

De acordo com este princípio, o significado de uma proposição consiste em seu método de verificação: só se conhece o significado de uma proposição quando se conhece como ela pode ser verificada – quando se conhecem as condições em que uma proposição é verdadeira. Tal princípio já levantou, desde o primeiro momento, importantes problemas, e houve uma série de gradações. Em primeiro lugar, só se exige verificabilidade, possibilidade de verificação (especificação de quais as condições em que uma proposição pode ser verificada), mas não verificação de fato. Se a proposição é verificável, tem significado cognoscitivo; se é verificada de fato, também é verdadeira. Por exemplo: a proposição “Existe vida fora da Terra” tem significado cognoscitivo, já que em princípio pode ser verificada. Mas a proposição “Deus existe” não é significativa, visto que não podemos dar nenhum procedimento pelo qual possa ser verificada. A questão não é a falsidade de tais proposições, mas uma coisa mais radical: antes de decidir sua verdade ou falsidade, elas têm de ser verificáveis; se não são, é porque nem sequer são proposições, mas pseudoproposições.

Um dos problemas fundamentais diz respeito às proposições universais, tais como “Todos os corvos são negros”, que não podem ser verificadas por meio de verificações completas ou concludentes, uma vez que não é possível a comprovação empírica de todos os casos. Além disto, as proposições científicas não apenas são universais, mas são formadas por termos teóricos, não observáveis diretamente na experiência.

Uma segunda lição extraída do *Tractatus* conduziu os pensadores de Viena, analogamente a Wittgenstein, a retirar significado factual das proposições lógicas e matemáticas, que são entendidas como tautologias, ou seja, verdades independentes do significado das expressões componentes e inteiramente determinadas, enquanto verdades, por sua estrutura sintática particular. Finalmente, uma terceira lição impôs a irrelevância teórica da filosofia, na qualidade de suposto conhecimento não científico, isto é, não empírico, do mundo.

Para o Círculo de Viena, se cabe a uma disciplina função teórica distinta das funções próprias das ciências empíricas, da matemática e da lógica, esta função se reduz à análise e

clarificação do discurso propriamente científico, bem como ao estabelecimento de suas condições de legitimidade. Enquanto proposições acerca do mundo, porém, as teses filosóficas não passariam de sequências de sinais despidas de qualquer sentido, visto que, por definição, este sentido não se reduz a um conjunto de experiências particulares.

Outro propósito programático do Círculo de Viena era o de uma ciência unificada. A unificação da ciência seria dada pela utilização de um único método (a indução: estabelecimento de proposições universais a partir da observação de casos particulares) e uma única linguagem (a linguagem *observacional*). O ideal da ciência unificada se apoia na tese fisicalista: todos os fatos são, em última instância, acontecimentos físicos, o que permite que todas as ciências, tanto as naturais quanto as sociais, possam se expressar numa linguagem em comum e num vocabulário único. A ciência unificada pressupõe, portanto, um claro reducionismo: a redução de todas as ciências à física.

A possibilidade ou não de conferir à filosofia um novo estatuto teórico, contudo, constituiu um dos pontos de discórdia no interior do Círculo de Viena. A influência de Wittgenstein na formação das doutrinas do Positivismo Lógico só é comparável em importância ao papel desempenhado pelo alemão Rudolf Carnap.

#### RUDOLF CARNAP

Nascido em Ronsdorf, em 1891, Carnap estudou matemática, física e filosofia na Universidade de Jena, onde foi aluno de Frege, que, juntamente com Russell, marcou profundamente sua formação intelectual. Em 1921, doutorou-se em Jena com a dissertação '*O Espaço: uma Contribuição à Teoria da Ciência*'. Neste trabalho que procura determinar as diferenças lógicas entre os conceitos matemáticos, físicos e intuitivos de espaço, e remeter à ignorância destas diferenças alguns problemas filosóficos acerca do espaço, já se encontram alguns traços característicos de seu pensamento maduro. Em particular, surge claramente a tendência a tomar problemas filosóficos como frutos de mal entendidos, que seriam resultantes de análises lógicas defeituosas, a serem corrigidas com o uso dos instrumentos da lógica de Frege e Russell. Na dissertação aparece também a tendência de conciliar uma postura basicamente empirista com os modernos métodos lógicos e matemáticos.

O trabalho de Carnap foi bem recebido no Círculo de Viena, a ponto de Schlick convidá-lo, em 1926, a assumir um cargo de professor-assistente na Universidade de Viena. Carnap passou a participar ativamente das discussões do grupo, convertendo-se rapidamente em um dos seus membros mais proeminentes. Além de inúmeros artigos, escreveu nesse

período as duas obras que levaram mais adiante, de modo minucioso e preciso, o projeto fundamental do positivismo lógico: ‘*A Construção Lógica do Mundo*’ (1928) e ‘*A Sintaxe Lógica da Linguagem*’ (1934). A primeira se apresenta como parte da realização do projeto geral de mostrar como as leis científicas poderiam ser reformuladas em uma linguagem exprimindo diretamente a experiência imediata, e que, portanto, exprimiria claramente seu significado efetivo. A segunda visa determinar o verdadeiro estatuto teórico da filosofia, bem como demonstrar conclusivamente a impertinência dos projetos filosóficos tradicionais.

A participação de Carnap contribuiu em muito para dar ao Círculo o caráter de movimento organizado. Em 1928, formou-se a *Sociedade Ernst Mach*, com objetivos de “propagar e ampliar uma atitude científica” e “criar os instrumentos intelectuais do empirismo moderno”. Em 1929, Carnap, Hahn e Neurath preparam um manifesto sob o título ‘*A Concepção Científica do Mundo: O Círculo de Viena*’, onde procuram sistematizar as teses básicas do empirismo lógico e traçar suas origens históricas.

Sentindo-se ilhados no ambiente filosófico alemão, dominado pelo idealismo de filiação kantiana, o grupo vienense desenvolveu intenso intercâmbio com grupos empiristas de outros países. Enquanto os contatos na Alemanha limitavam-se aos debates com Wittgenstein e com o *Círculo de Berlim* (formado por Hans Reichenbach, David Hilbert, Richard Von Mises, Kurt Grelling, entre outros, que discorreremos mais à frente), as doutrinas do Círculo encontraram ampla ressonância na Inglaterra e nos Estados Unidos. O trabalho de divulgação incluiu a realização de congressos internacionais, dentre os quais destacamos:

- 1) *Congress for Epistemology of the Exact Sciences* (em Praga, 1929); concomitante com a reunião da Sociedade Física Alemã e a Associação Germânica de Matemáticos, também em Praga, no mesmo período.
- 2) *Congress for Epistemology of the Exact Sciences* (em Koenigsberg, 1930); em conexão com o *Congresso Alemão de Físicos e Matemáticos* – os tópicos principais foram os problemas de fundamentação da Matemática e da Mecânica Quântica.
- 3) *International Congress of Scientific Philosophy* (em Paris, 1935); o congresso foi promovido pelo governo francês e pelos institutos científicos de Paris, tendo como discurso de abertura a participação de Russell, entre políticos e gerais. 170 membros de mais de 20 países participaram. Dali em diante o movimento se firmou como um movimento internacional.
- 4) *Comittee for International Unified of Logical Symbolism* (Alemanha, 1935); realizado por Carnap, em busca de uma padronização da terminologia empregada na lógica simbólica, promovendo a comunicação em âmbito internacional para os

trabalhos da área, além da cooperação e promoção da Enciclopédia Internacional da Ciência Unificada, recomendada por Neurath.

- 5) *Second International Congress for Unity of Science* (em Copenhague, 1936); dedicado especialmente ao problema da causalidade, com particular atenção à física quântica e à biologia. Aproximadamente 100 membros, de diversos países da Europa e dos Estados Unidos, participaram. Niels Bohr abriu a conferência. Joergensen enfatizou que a iniciativa deste e dos congressos anteriores provinha do Círculo de Viena, e as ideias fundamentais do novo movimento filosófico deveriam ser enaltecidas e creditadas a eles.
- 6) *Third International Congress for Unity of Science* (em Paris, 1937); com o propósito de discutir o planejamento da enciclopédia da ciência unificada.
- 7) *Fourth International Congress for Unity of Science* (em Cambridge, 1938); tendo como tema principal a linguagem da ciência, sua padronização e discussão epistemológica. G. E. Moore fez a abertura principal e mais uma vez o comparecimento foi internacional.
- 8) *Fifth International Congress for Unity of Science* (Estados Unidos, 1939); foi o último desta série de congressos internacionais promovidos pelo grupo, a Segunda Guerra Mundial pôs fim a eles. No entanto, a ascensão do positivismo lógico para o cenário internacional já estava mais do que consolidada, e nesta altura a maioria já não vivia na Áustria ou na Alemanha.

Uma série de encontros e conferências foram se sucedendo, tornando o Círculo de Viena um movimento filosófico e científico de âmbito internacional (além dos próprios congressos de epistemologia, os integrantes do Círculo tiveram ampla participação e colaboração com os importantes congressos para a unificação da Ciência e da Mecânica Quântica, como o de Copenhague em 1936). A partir de 1930, o Círculo passou a dispor de publicações próprias para a comunicação de seus trabalhos. Em colaboração com Hans Reichenbach, Carnap passou a editar a revista *'Erkenntnis'*, Neurath organizou uma coleção de monografias denominada *'Ciência Unificada'*, Schlick e Frank cuidaram de uma coleção de livros intitulada: *'Escritos para uma Concepção Científica do Mundo'*. Mas, ao mesmo tempo, o grupo começou a se desintegrar. Em 1931, Carnap mudou-se para Praga e, em 1935, sob pressão do nazismo, resolveu fixar-se nos Estados Unidos, onde permaneceria até sua morte, em 1970. Também Feigl estabeleceu-se nos Estados Unidos, em 1931, seguido por Menger e Gödel. Hahn faleceu em 1934 e, em 1936, Schlick foi assassinado a caminho da Universidade de Viena por um estudante. Neurath fez uma última tentativa para manter vivo o

movimento, transferindo, sob pressões políticas, a revista *Erkenntnis* para Haia, com o novo título de *'The Journal of Unified Science'*. Em Chicago, Carnap planejou uma série de opúsculos a serem reunidos numa *Enciclopédia da Ciência Unificada*. Projetaram-se novos congressos, mas a Segunda Guerra Mundial e a morte de Neurath retiraram do movimento sua coesão inicial.

Curiosamente, esta desintegração coincidiu com o início de um processo de absorção do empirismo lógico por outras correntes de origem empirista, o que fez com que o grupo de Viena perdesse sua singularidade, e fosse conduzido a um amenizamento progressivo das rígidas posições iniciais. Posteriormente, os próprios integrantes do Círculo passaram de forma desassociada a reformular suas ideias, principalmente Carnap, que se voltou para os fundamentos lógicos da probabilidade e buscou novas interpretações quanto ao *princípio da verificabilidade*, reformulando-o e o substituindo. Como o próprio Victor Kraft afirma anos depois em seu livro – *'The Viena Circle'* (1953):

Ao se analisar o trabalho do Círculo de Viena não se pode perder de vista o fato de que ele não foi concluído, mas subitamente interrompido. Muito das abordagens reducionistas e dos radicalismos podem ser explicados como estágios iniciais de um desenvolvimento inacabado. O fato das visões adotadas pelo Círculo terem mudado muitas vezes, como foi ilustrado pelo abandono de Carnap por seus pontos de vistas sintáticos mais unilaterais, demonstra de fato que soluções mais maduras estariam por vir no Círculo de Viena, somente se o trabalho pudesse ter sido continuado. [...] Porém, a maneira com que o Círculo de Viena se esforçou para clarear os fundamentos do conhecimento, profundamente e compreensivelmente, e o grau de clareza e rigor usados nesta tarefa foram de grande talento, sem paralelos na recente filosofia germânica. Há muito a se aprender com o Círculo de Viena até mesmo por aqueles que discordam dos seus pontos de vista. (KRAFT, 1950, p.vi)

#### HANS REICHENBACH & O CÍRCULO DE BERLIM

Concomitantemente, o Círculo de Berlim foi fundado no meio da década de 1920 e teve sua dissolução com a ascensão nazista na década de 1930, por grande parte de seus integrantes terem descendência judaica e serem obrigados a abandonar o país. Seguindo uma orientação análoga ao positivismo lógico do grupo de Viena, com o qual era associado, no entanto preservando notáveis divergências tanto em pensamento quanto pela orientação de seus trabalhos (de propensão menos “positivista” e mais empirista, tornando-se mais propício designar o segmento de Berlim por *empirismo lógico*; além do fato de seus trabalhos terem aplicação mais direta ao domínio das ciências do que ao campo estritamente filosófico), a redução da corrente lógico-empirista ao movimento de Viena, comum em muitas abordagens, desagradava um dos principais fundadores do Círculo de Berlim já em sua época, como

afirma nesta passagem de uma carta a Ernst Von Aster, em 1935, quando se encontrava exilado em Istanbul:

First of all I have to say that I very much regret that you almost always write only about the Vienne Circle, so the it almost appears as if this entire philosophical movement had originated only in Vienna and Prague. Our Berlin group was just active as the Vienna Circle, and within the movement there was just as active as the Vienna Circle, and within the movement there was never any doubt about this. Not only because a large part of the scholarly work of [the movement] was written in Berlin – along with my works there were those by Dubislav, Grelling, Herzberg also belongs here and a few younger [authors] – organizational work was also performed in Berlin. Every two or three weeks our Society for Scientific Philosophy brought together a group of 100 to 300 people for lectures and discussions; all of our problems were discussed thoroughly in my seminars and colloquia, and, last but not least, *Die Erkenntnis*, surely the most important link in the chain of our organizational work, was founded in Berlin and edited from there. This Berlin Circle has now been dispersed by the Hitler government, but it lives on as a virtual unit. Especially now that our work has been hit so hard by the political developments, it is important to me that this work is at least mentioned in the history of our movement.

(REICHENBACH para E. A. Aster, Istanbul, 03 de Junho de 1935; Archive of Scientific Philosophy, University of Pittsburgh, Reichenbach Pappers. Traduzido para o inglês pelo próprio autor. p.41)

Foi também formado por físicos e matemáticos com amplo interesse filosófico acerca das novas teorias científicas da época. Reichenbach, Kurt Grelling (1886-1942), Walter Dubislav (1895-1937), Carl Gustav Hempel (1905-1997), Richard Von Mises (1883-1953) e o importante matemático David Hilbert (1862-1943) eram os principais integrantes do Círculo de Berlim.

Porém, entre todos os integrantes, o que mais se destacou nas análises epistemológicas das novas físicas, especialmente na Teoria da Relatividade, foi o próprio fundador do grupo. Hans Reichenbach estudou engenharia, física, matemática e filosofia em Berlin, Gottingen e Munique durante a década de 1910. Entre seus professores e colaboradores mais próximos estavam o filósofo neokantiano Ernst Cassirer, o próprio Hilbert, os físicos Max Planck, Max Born e Arnold Sommerfeld. Reichenbach se graduou em filosofia em 1915 com uma dissertação sobre a teoria de probabilidade intitulada de: *‘O Conceito da Probabilidade para a Representação Matemática da Realidade’*, publicada em 1916.

Durante o período de 1917 a 1920, enquanto trabalhava como físico e engenheiro, Reichenbach se dedicou às leituras de Albert Einstein sobre a Teoria da Relatividade em Berlim. Fascinado pela nova teoria, em poucos anos ele publicou quatro livros de suma importância sobre o assunto: *‘The Theory of Relativity and A Priori Knowledge’* (1920), *‘Axiomatization of the Theory of Relativity’* (1924), *‘From Copernicus to Einstein’* (1927) e *‘The Philosophy of Space & Time’* (1928). Este último, particularmente, consolida todo o trabalho anterior e fundamenta definitivamente a sua interpretação física e filosófica sobre a

Teoria da Relatividade, tendo sido considerado por muitos de seus contemporâneos um derradeiro tratado sobre os conceitos de espaço, tempo e matéria na nova física.

Com as indicações de Einstein, Planck e Max Von Laue, em 1926 Reichenbach se torna professor assistente do departamento de física da Universidade de Berlim. Suas colaborações com os Círculos de Viena se intensificam, tornando-se editor-chefe da revista *'Erkenntnis'*, em 1930, junto à Rudolf Carnap (como já dito anteriormente). Mas em 1933, logo após Adolf Hitler se tornar chanceler da Alemanha, Reichenbach foi demitido da Universidade de Berlim devido à sua família ter descendência judaica. Emigrou para a Turquia e posteriormente para os Estados Unidos, tornando-se professor da Universidade da Califórnia, em 1938, onde esteve até sua morte, em 1953. Seus trabalhos após o Círculo de Berlim deram continuidade ao empirismo lógico e à análise de teorias científicas; publicou *'The Theory of Probability'* (em 1935, ainda na Universidade de Istanbul, Turquia), *'Experience e Prediction'* (1938), *'The Philosophical Foundations of Quantum Mechanics'* (1944), *'Elements of Symbolic Logic'* (1947), entre outros. Em 1951, seu livro *'The Rise of Scientific Philosophy'* consolida o projeto lógico-empirista sobre a ascensão de uma filosofia científica, propriamente dita, e Reichenbach se destaca por demonstrar a importância da análise filosófica para o próprio progresso das teorias científicas, onde ciência e filosofia se unem definitivamente. Seus últimos trabalhos foram sobre a natureza das leis científicas e a filosofia do tempo – *'Nomological Statements and Admissible Operations'* (1954) e *'The Direction of Time'* (1956) – publicados postumamente.

Nas tentativas de encontrar substitutos científicos ao que eles chamavam injuriosamente de 'metafísica', os filósofos científicos tropeçaram muitas vezes nas suas próprias dificuldades metafísicas. Isto, de certo modo, não surpreende porque, embora pudessem rejeitar com alguma justiça as especulações metafísicas dos filósofos, mostravam-se propensos a esquecer que a própria investigação científica se realiza com base em certas pressuposições. (BETRAND RUSSELL, 1946, p.417)

### III. A FILOSOFIA DO ESPAÇO & TEMPO

### PREÂMBULO III

Existe um vasto conjunto de interseção entre a ciência e a filosofia e é possível trabalhar nele, contribuindo tanto para a ciência quanto para a filosofia como um todo. O problema do espaço & tempo, dentro dos fundamentos da física, da astronomia e da matemática, encontra-se no âmago deste conjunto de interseção (que abrange os próprios domínios da física, da astronomia, da matemática, da cosmologia, da filosofia da natureza e, determinantemente, da epistemologia).

Partindo-se das contribuições às teorias do espaço na História da Física (cronologicamente referenciadas por Max Jammer em seu livro, *Concepts of Space*, 3ª Ed., 1993); podemos destacar duas obras de grande influência no século XX: *The Philosophy of Space & Time* de Hans Reichenbach (1927; Dover, 1957) e *Philosophical Problems of Space and Time* de Adolf Grünbaum (1963). Constata-se que diferentes teorias do espaço e do tempo podem ser propostas com base nas mesmas teorias científicas, o que as diferem são as interpretações e os fundamentos epistemológicos em que se apoiam; assim como o advento de novas teorias e pensamentos por parte da física e da matemática também abre caminho para que tais conceitos sejam revistos e, possivelmente, reedificados (as geometrias não euclidianas, o advento da Teoria da Relatividade Especial e Geral e da Mecânica Quântica, por exemplo, são pontos de partida para praticamente todas as teorias do espaço e tempo no século XX).

**Palavras-chave (específicas): história da física moderna, cosmologia, espaço-tempo.**

*“Quis mostrar que o espaço-tempo não é necessariamente algo a que possamos atribuir uma existência separada e independente dos objetos da realidade física. Objetos físicos não estão no espaço. Estes objetos são espacialmente estendidos. Assim, o conceito de ‘espaço vazio’ perde seu significado”.*

(ALBERT EINSTEIN, 1916)

*“The most fundamental conceptions in physics are those of Space and Time”.*

(MORITZ SCHLICK, 1917)

## 1) INTRODUÇÃO HISTÓRICA

Publicado inicialmente em 1954, com uma proeminente apresentação de Albert Einstein, o livro *Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics*, de Max Jammer, foi reeditado pelo autor em 1993, contendo um capítulo a mais sobre os avanços recentes na filosofia do espaço físico. Portanto, além de proporcionar a compreensão do desenvolvimento histórico deste conceito desde a Antiguidade (atrelando-se ao desenvolvimento do conceito de tempo na física a partir da Idade Moderna), o livro encerra um enorme conjunto de referências para se extrair as contribuições prestadas até o início da década de 1990, permitindo ao estudante o posterior aprofundamento nas obras dos autores ali minuciosamente citados. Como afirma Jammer logo na introdução do livro:

O espaço, especialmente na filosofia moderna, é objeto de vasta bibliografia metafísica e epistemológica. De Descartes a Alexander e Whitehead, quase todos os filósofos fizeram de suas teorias do espaço uma das pedras angulares de seus sistemas. A teoria da relatividade resultou em um enorme aumento da literatura sobre o espaço e o tempo. Sob a influência do positivismo lógico, as implicações físicas das recentes teorias do espaço foram reconhecidas, ao passo que as obras dos séculos XVIII e XIX ficaram quase completamente confinadas a considerações puramente metafísicas ou psicológicas. (JAMMER, 1954, p.23)

O quinto capítulo era o último da primeira edição (de 1954), tratando-se do conceito de espaço (e tempo) na ciência moderna, onde o autor terminava o livro afirmando:

[...] nosso conhecimento das propriedades de grande e pequena escala do espaço físico está intimamente relacionado com o progresso na cosmologia e na microfísica, respectivamente. Enquanto estes ramos da pesquisa científica não conseguirem fornecer soluções satisfatórias para suas questões fundamentais, o problema do espaço terá de ser classificado como uma questão em aberto. (JAMMER, 1954, p.255)

Primeiramente, é preciso compreender que uma teoria do espaço e tempo deve estar rigorosamente embasada nos estudos da *geometria* e da *cronometria*, associada às teorias físicas e, obviamente, às teorias de medições; a partir daí tal teoria se constitui pelo processo de análise epistemológica e interpretação dos termos matemáticos, quantitativos e qualitativos, suas possíveis relações com o “mundo empírico”, sua validade lógica e aplicação formal; os instrumentos necessários para a consolidação de uma teoria do espaço e tempo, portanto, vão além do arsenal científico e se associam, inevitavelmente, a posturas filosóficas – estão além do caráter operacional da ciência, elevando-a ao patamar da filosofia da natureza, capaz de se reverter ao próprio conhecimento científico e engendrar as teorias científicas, revisando-as, fortalecendo-as, refutando-as ou até mesmo propondo novas. Entende-se assim porque o problema do espaço e tempo transborda o domínio hermético das ciências e o da própria filosofia, não se definindo nem por um lado, nem pelo outro, mas precisamente na interseção entre eles.

Quarenta anos depois, no sexto e último capítulo incorporado ao livro, Jammer demonstra como o problema do espaço (e tempo) ainda permanece em aberto, mas não deixa de apontar os significativos avanços que muitos autores proporcionaram na segunda metade do século XX. É neste contexto em que ele argumenta sobre a grande influência que as obras de Hans Reichenbach e Grünbaum exerceram, sendo expoentes e representantes do chamado *relacionismo*. Referindo-se à *Filosofia do Espaço & Tempo*, de Reichenbach, e aos *Problemas Filosóficos do Espaço e do Tempo*, de Grünbaum, Max Jammer alega serem estes os “dois livros que mais influenciaram o desenvolvimento da moderna filosofia do espaço” e diz logo em seguida:

[...] o relacionismo despertou grande interesse, principalmente por causa da influência de Reichenbach e Grünbaum. Originalmente publicado em 1927, o livro de Reichenbach [*Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*] só ganhou fama depois de ter sido lançado em inglês, em 1957. Em 1977, ele foi chamado de a maior obra da filosofia da ciência no século XX. (JAMMER, 1993, p.278)

Com relação às contribuições históricas de Max Jammer, deve-se salientar que o livro *Concepts of Space* é apenas o primeiro de uma série de quatro livros que discorre sobre o desenvolvimento de conceitos fundamentais na História da Física (*Concepts of Force*,

*Concepts of Mass* e *Concepts of Simultaneity*, respectivamente); todos eles se associam como guias de referências e pontos de partida para a compreensão histórica dos fundamentos da física.

#### DE NEWTON A EINSTEIN

As incomparáveis descobertas precedentes ao século XX enriqueceram bastante o conhecimento humano sobre a natureza física. Numa visão histórica reducionista (tão aplicada nos manuais de ensino de física), é conveniente afirmar que os conceitos de espaço e de tempo a partir de Newton permaneceram intactos até o ano de 1905. Os esforços dos físicos da época estavam mais voltados a entender o substrato que ocupa o espaço e o tempo do que estes conceitos fundamentais em si: seus trabalhos conduziram ao entendimento, de forma cada vez mais acurada, da constituição da matéria e das leis dos eventos que ocorrem no *vácuo*, ou como se pensava, no *éter*. Espaço e tempo eram considerados, de certa forma, como recipientes contendo este substrato e fornecendo sistemas fixos de referência, com o auxílio dos quais as relações mútuas entre os corpos e os eventos deveriam ser determinadas: concisamente, seus conceitos condiziam com o que Newton expressou nas palavras bem conhecidas:

*Absolute, true and mathematical time flows in virtue of its own nature uniformly and without reference to any external object'; and 'absolute space, by virtue of its own nature and without reference to any external object, always remains the same and is immovable. (NEWTON, 1729)*

Do ponto de vista da teoria do conhecimento, a objeção foi rapidamente suscitada contra Newton, por não haver sentido em se falar de espaço e tempo sem referência a nenhum objeto (crítica esta representada por Leibniz e Huygens, que podem ser considerados os primeiros “relativistas modernos” dentro da física); mas, a princípio, os físicos não teriam por que problematizar esta questão: eles simplesmente buscavam explicar os fenômenos observados de uma maneira usual, refinando e modificando suas ideias com relação à constituição e o comportamento da matéria e do “éter”.

Um exemplo deste procedimento foi a hipótese apontada por Fitzgerald, qualitativamente em 1889, e por H. A. Lorentz, quantitativamente em 1892, que todo corpo que se move com relação ao éter é submetido a uma determinada contração espacial ao longo da direção de movimento (a chamada *contração de Lorentz-Fitzgerald*), que depende da velocidade do corpo (de acordo com o chamado *fator de Lorentz*). Esta hipótese auxiliar foi

colocada com o objetivo de explicar por que parecia impossível detectar movimentos retilíneos ‘absolutos’ no experimento proposto por Michelson e Morley<sup>1</sup> onde, de acordo com as ideias físicas prevalecentes na época, isto deveria ser possível (portanto, até o artigo ‘*A Experiência Interferencial de Michelson*’ escrito por Lorentz, em 1895, a hipótese permanecia sendo *ad-hoc*, ou seja, auxiliar; não derivável de nenhum componente teórico fundamental). O caminhar das descobertas físicas tornou evidente que esta hipótese não seria permanentemente satisfatória, e isto previa que as novas considerações acerca do movimento físico teriam que ser fundadas em reflexões de natureza físico-filosófica, fundamental.

Coube a Einstein reconhecer que há um modo muito mais simples de explicar os resultados negativos do experimento de Michelson-Morley. Nenhuma hipótese física auxiliar seria requerida, bastando se reavaliar o princípio de relatividade, de acordo com o qual nenhum movimento retilíneo uniforme ‘absoluto’ poderia ser detectado<sup>2</sup>, e o fato de que a concepção de movimento só tem significado físico quando referido a um corpo material de referência. Percebera que só um exame crítico acerca dos fundamentos de nossas noções de espaço e de tempo era necessário. Sendo isto feito, os próprios resultados do experimento de Michelson-Morley se apresentam como autoevidentes, e neste patamar de clareamento passa a ser construída uma teoria física de extrema completude, que desenvolve as consequências de um princípio fundamental; esta foi a chamada ‘Teoria Especial da Relatividade’, porque, de acordo com ela, a relatividade dos movimentos é válida apenas para o caso especial de movimento retilíneo uniforme.

O princípio especial da relatividade, certamente, dá um considerável passo adiante dos conceitos newtonianos de espaço e tempo, mas não satisfaz plenamente a mente filosófica, visto que esta teoria restrita é válida apenas para movimentos retilíneos uniformes. Do ponto de vista filosófico é desejável estar apto a dizer que *todo* movimento é relativo, não somente uma particular classe de translações uniformes. De acordo com a teoria especial, movimentos irregulares ainda corresponderiam a algum tipo de caráter absoluto; com relação a eles nós não estaríamos aptos para falar de espaço e tempo ‘sem referência a um objeto’. Mas desde o ano de 1905, quando Einstein elevou o princípio especial da relatividade para todo o domínio

---

<sup>1</sup> A chamada experiência de Michelson-Morley, uma das mais importantes e famosas experiências da história da física, foi levada a cabo em 1887 por Albert Michelson (1852 - 1931) e Edward Morley (1838-1923). O experimento pretendia detectar o movimento relativo da matéria (no caso, do planeta Terra) através do éter estacionário. Os resultados negativos desse experimento são geralmente considerados as primeiras evidências fortes contra a teoria do éter, e iniciariam uma linha de pesquisa que eventualmente levou à relatividade especial, na qual o éter estacionário não teria qualquer função.

<sup>2</sup> O *Princípio de Relatividade* foi proposto por Galileu em sua obra – ‘*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*’ (1632). Anos mais tarde, Newton no ‘*Principia Mathematica*’ (1687), observou que as leis da Mecânica, bem com a Lei da Gravitação Universal, não sofrem qualquer alteração ao se substituir um referencial por outro que esteja em movimento uniforme relativo ao primeiro.

da física, e não somente para a mecânica (sob a influência de Poincaré, que desde 1895 já publicava suas reflexões sobre o assunto, afirmando ser o princípio válido para qualquer tipo de fenômeno e não somente para fenômenos mecânicos), Einstein se empenhou em formular um princípio generalizado que é válido não apenas para movimentos retilíneos uniformes, mas para qualquer movimento arbitrário que seja. Seus esforços levaram a uma feliz conclusão no ano de 1915, adquirindo extremo sucesso. Seus conceitos levaram um grau tão extremo de relativização de todas as determinações de espaço e tempo, que a partir dali parece ser difícil estendê-los adiante; estas determinações de espaço e tempo dali por diante foram inseparavelmente conectadas com a matéria, mantendo sentido apenas quando se referem a ela. Acima de tudo, elas conduziram a uma nova teoria do fenômeno gravitacional que leva os conceitos físicos muito além do tratamento de Newton. Espaço, tempo e gravitação desempenham papéis na física de Einstein fundamentalmente diferentes daqueles assinalados na física de Newton.

Voltando-se ao ponto de crítica atribuída ao “reducionismo histórico” presente nos manuais (assim como nestes últimos parágrafos, espelhados na introdução da obra ‘*Space and Time in Contemporary Physics*’ de Moritz Schlick, 1917 – Ref.[45]), afirmando que tais conceitos “permaneceram intactos de Newton até o ano de 1905”; obviamente esta redução favorece uma direção didática nos manuais e um poder de síntese aos livros sobre o assunto, mas ultraja completamente a hibridez e a complexidade dos debates científicos, filosóficos e culturais que ocorreram neste longo período de mais de dois séculos (de 1687, do *Principia* de Newton ao experimento de Michelson-Morley até os artigos de Einstein, em 1905) e que na obra de Max Jammer (*Concepts of Space*, por exemplo) evidencia-se exatamente o oposto: o quão os conceitos de espaço e tempo estiveram na dianteira dos sistemas filosóficos e debates científicos e sofreram sim profundas gradações até a resolução entre Lorentz, Poincaré e Einstein no início do século XX.

No caso específico do desenvolvimento da Teoria da Relatividade Especial, o artigo “*Why did Einstein’s Programme Supersede Lorentz’s?*” de Elie Zahar (1973) aponta a importância dos esforços de Lorentz em sua Teoria do Éter (ou *Teoria do Electron*), com os apoios de Poincaré, onde seu “programa de pesquisa” se estendeu desde o ano de 1892 até meados de 1915, rivalizando com a Teoria da Relatividade Especial de Einstein, onde ambas possuíam o mesmo patamar de descrição empírica diante dos resultados experimentais da época, apesar da teoria de Einstein possuir uma “inversão de princípios” que permitia alcançar os mesmos resultados de maneira muito mais simples. No entanto, a Teoria do Éter de Lorentz correspondia ao núcleo da física canônica da época (seu *hard core*, na terminologia

de Lakatos); que eram as Equações de Maxwell para o campo eletromagnético, as Leis de Newton para o movimento e as Transformações de Galileu. Além disto, sua teoria já havia tido sucesso na descrição do Efeito Zeeman (que lhe concedeu o prêmio Nobel em 1902) e também descrevia os resultados negativos do experimento de Michelson-Morley como autoevidentes (após o artigo de 1895, onde a contração espacial aparece como uma hipótese auxiliar, Lorentz depois a deriva de uma hipótese fundamental – a Hipótese das Forças Moleculares – onde a contração aparente é derivada das relações estruturais da matéria em pequena escala ao se propagar em altas velocidades, próximas à da luz; deixando de ser em todos os sentidos uma hipótese *ad-hoc*, segundo Elie Zahar, provendo do que Lorentz chamou de as “oscilações dos electrons” em pequenas escalas, responsáveis pelos efeitos macroscópicos observáveis).

O chamado ‘Teorema dos Estados Correspondentes’, apresentado posteriormente, já atestava a generalidade da invariância das leis da eletrodinâmica independente do movimento do observador, onde qualquer observador em movimento uniforme com relação ao éter pode aplicar as mesmas equações da eletrodinâmica, assim como um observador no referencial do éter. Lorentz desenvolve o conceito de *tempo próprio* (ou tempo local, sem dar uma interpretação realista a ele, mas como um aparato matemático da teoria que, anos mais tarde, Poincaré aponta como sendo a ideia mais engenhosa e contribuidora da teoria de Lorentz) e, para explicar efeitos de segunda ordem, chega às suas transformações (as *Transformações de Lorentz*) – em seu procedimento, as transformações de Galileu não são invalidadas teoricamente, sendo o ponto de partida que, somado aos efeitos da propagação eletromagnética e as interações entre as forças moleculares conduzem às suas transformações, mas sendo estas interpretadas apenas como efeitos fenomenológicos a serem constatados nas observações; a velocidade da luz, portanto, também se torna na teoria de Lorentz uma constante intransponível fenomenologicamente.

Numa análise aprofundada, é possível perceber como os princípios da relatividade especial e da constância da velocidade da luz no vácuo (independente do movimento da fonte), além de grande parte do aparato matemático e do conceito de tempo próprio, todos estes aspectos amplamente explorados por Einstein na Teoria da Relatividade Especial, já estavam embrionariamente presentes na Teoria de Lorentz. O que era deduzido de hipóteses fundamentais na teoria de Lorentz, com denso revestimento matemático baseado na física canônica da época, chegando a seus teoremas e relações secundárias, Einstein deduz de maneira mais simples e considera estes seus pontos de partida, seus princípios especiais.

---

Tais inversões de princípios e reinterpretações de Einstein que consistiram seus grandes êxitos iniciais, deduzindo os mesmos aspectos quantitativos da teoria de Lorentz de forma muito mais simples (sucesso perante a “navalha de Ockham”); o que levou Hans Reichenbach a afirmar em *‘Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre’*, que a Teoria da Relatividade Especial consistia numa reformulação axiomática da eletrodinâmica em vigência), mas até o ano de 1905 não promovia nenhum êxito empírico adicional; as duas teorias se rivalizaram e por Lorentz já ser um físico renomado e sua teoria ostentar toda a física canônica em voga, o momento de ciência extraordinária mantinha um cenário heterogêneo das convicções entre os físicos. Vale observar que até o ano de 1905, em seu artigo *‘Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento’*, Einstein parecia não deter nenhum conhecimento direto sobre os experimentos de Michelson-Morley e a teoria do Electron, além do principal artigo de Lorentz publicado um ano antes; *‘Fenômenos Eletromagnéticos num Sistema que se move com Velocidade inferior à da Luz’* (1904).

Na coletânea de artigos históricos chamada *‘Textos Fundamentais da Física Moderna – I. O Princípio da Relatividade’*, que disponibilizou na língua portuguesa, entre outras, os principais artigos sobre o desenvolvimento da Teoria da Relatividade (dois de Lorentz, sete de Einstein, um de Minkowski e um de H. Weyl); o prefaciador da edição lusitana, Prof. Manuel dos Reis, físico e historiador da ciência, atesta:

---

O segundo trabalho de Lorentz [1904] contém uma teoria complicada, destinada a explicar o resultado negativo dessa e das outras experiências realizadas com o mesmo objetivo, teoria obtida (um tanto imperfeitamente) mediante hipóteses apropriadas relativas à influência do vento de éter sobre a forma e dimensões dos electrões e sobre as forças moleculares, donde proveriam deformações nos corpos em movimento de que resultaria apresentarem-se os fenômenos electro-magnéticos, observados em qualquer sistema animado de translação uniforme, a obedecer às mesmas leis que num sistema imóvel. As imperfeições foram corrigidas por Poincaré, num trabalho elaborado dentro das ideias de Lorentz. Figura no trabalho de Lorentz a célebre transformação que tem o seu nome, e a demonstração de que ela deixa invariante a forma das equações de Maxwell para o vácuo; Poincaré estendeu a demonstração ao caso geral, e pôde enunciar o seu postulado da relatividade. Porém esta relatividade era só fenomenológica; segundo a teoria, continuava a existir um corpo de referência privilegiado (embora se furtasse necessariamente a ser detectado), de que não se prescindia por ser considerado suporte necessário do campo eletromagnético. Independentemente desta teoria, que só veio a conhecer mais tarde, Einstein rompeu com tal preconceito, considerando como perfeitamente equivalentes todos aqueles sistemas de referência e substituindo ao princípio newtoniano do tempo absoluto o princípio da constância da velocidade da luz, contido nas equações de Maxwell, para obter a transformação cinemática perante a qual essas equações deviam ser covariantes, como efetivamente verificou que sucedia, ficando assim fundada a teoria da relatividade especial. (REIS, 1971, p.ix)

---

## 2) OS PRINCÍPIOS DA RELATIVIDADE ESPECIAL E GERAL

Até agora, neste capítulo, abordamos a Teoria da Relatividade de forma qualitativa e indireta, circundada por outras questões ou suscitada previamente, em decorrência do contexto histórico e filosófico que viemos até agora expondo o assunto e problematizando as questões relativas ao espaço e tempo. Mas em que sentido os princípios e resultados da teoria de Einstein determinam uma nova interpretação para os conceitos de espaço, tempo e matéria? Quais são estes princípios e qual sua “hierarquia” axiomática? Como estes conceitos se unificam após a Relatividade Geral? Qual o diferencial da interpretação lógico-empirista e por que ela exerceu tamanha influência nas filosofias do espaço e tempo ao longo do século XX?

Todas estas questões concluem os propósitos deste capítulo nesta dissertação, mas aqui se tenta respondê-las sem precisar fazer uma exposição detalhada da Teoria da Relatividade e de seu aparato matemático, atendo-se na interpretação dedutiva e intuitiva de seus princípios e conceitos, suas considerações cosmológicas e suas consequências diretas para a filosofia do espaço e tempo; ao leitor já familiarizado com este domínio da física, é dispensável tais noções introdutórias da teoria da relatividade neste subcapítulo 2), podendo ir direto à Interpretação Lógico-Empirista (3).

### 2.1) NOÇÕES DA TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL

Maxwell, em 1861, após formular as equações básicas do campo eletromagnético, deduziu delas a existência de ondas eletromagnéticas, propagando-se com a velocidade da luz, levando-o a inferir que a luz é uma onda eletromagnética. A confirmação experimental da *teoria eletromagnética da luz* resultou das experiências de Hertz, em 1888, em que produziu ondas eletromagnéticas (de rádio) e mostrou que tinham propriedades análogas à da luz.

Tentativas de detectar um suporte material onde tais ondas se propagassem e de identificar movimentos com relação a um referencial absoluto culminaram na experiência de Michelson e Morley, em 1887, cujo resultado foi negativo, juntamente com outras evidências da inexistência do éter (ou pelo menos da não necessidade de aplicação de tal conceito).

A Teoria da Relatividade Especial parte de dois postulados:

- (A) PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE ESPECIAL: *As leis físicas são as mesmas em todos os referenciais inerciais.*
- (B) PRINCÍPIO DE CONSTÂNCIA DA VELOCIDADE DA LUZ: *A velocidade da luz no vácuo ( $c \approx 300.000 \text{ km/s}$ ) é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais, e é independente do movimento da fonte.*

Esses dois princípios, porém, são incompatíveis com a mecânica newtoniana, tornando necessário modificá-la – o primeiro nega o conceito de um referencial inercial absoluto e preferencial, ou seja, da existência de um espaço absoluto no qual os objetos físicos estejam situados e no qual as leis da física só podem ser aplicadas em sua forma mais simples com relação a ele; e o segundo princípio, no caso, exige que sejam alteradas as transformações de Galileu e sua *lei de composição de velocidades*<sup>3</sup>, já que a luz não altera sua velocidade no vácuo, independente do movimento da fonte. As modificações necessárias, tomando os dois princípios como pontos de partida, foram propostas por Albert Einstein (como já dito anteriormente), em 1905, em seu trabalho ‘*Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*’. Ao que tudo indica, Einstein não conhecia os resultados do experimento de Michelson e Morley quando formulou a relatividade especial; eles não são mencionados no seu artigo.

Na introdução ao seu trabalho, ele comenta de início a descrição aparentemente assimétrica dos efeitos de indução eletromagnética entre um ímã e um fio condutor, conforme seja o ímã ou o fio que se move, quando só importa o movimento relativo. Este fato é um reflexo das Equações de Maxwell não serem invariantes perante as Transformações de Galileu, mas serem perante as Transformações de Lorentz (que abordaremos a seguir), conforme as próprias palavras de Einstein:

Exemplos deste tipo, bem como as tentativas malogradas de detectar um movimento da Terra em relação a um “éter”, sugerem que os fenômenos eletrodinâmicos, da mesma forma que os mecânicos, não têm quaisquer propriedades compatíveis com a ideia de repouso absoluto. Sugerem, pelo contrário, que as mesmas leis da eletrodinâmica e da ótica serão válidas em todos os referenciais para os quais valem as leis da mecânica. Vamos elevar esta conjuntura à

---

<sup>3</sup> A *lei clássica de composição de velocidades*, de Galileu, considera que se temos uma fonte (S) que se desloca com velocidade  $v$  com relação a um observador “parado” (S’), ao emitir um sinal de luz este observador deverá medir uma velocidade do sinal maior ou menor do que  $c$ , acrescida do movimento da fonte:  $c' = c - v$ . A velocidade da luz será menor do que  $c$  quando os dois se afastam e maior do que  $c$  quando se aproximam, o que de acordo com os princípios da teoria da relatividade é impossível.

categoria de um postulado, e vamos introduzir outro postulado, que é só aparentemente incompatível com o primeiro, a saber, que a luz sempre se propaga no vácuo com uma velocidade ‘c’ bem definida, independente do estado de movimento da fonte emissora. (EINSTEIN,1999)

Por uma análise dos conceitos físicos de tempo e de espaço demonstrou-se que não existe incompatibilidade entre o princípio da relatividade e a lei de propagação da luz. Pelo contrário, por uma adesão firme e sistemática a estas duas leis se pode chegar a uma teoria lógica que está ao abrigo de toda objeção.

### AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

Os estudos pioneiros de Hendrik Lorentz, Joseph Larmor e George Fitzgerald sobre os fenômenos eletrodinâmicos e ópticos em corpos em movimento mostraram que as experiências neste terreno conduzem, necessariamente, a uma teoria dos fenômenos eletromagnéticos que tem como consequência inevitável a constância da velocidade da luz no vácuo. Por isso, os teóricos mais eminentes estavam mais inclinados a abandonar o princípio da relatividade, apesar de não se haver encontrado um único fato experimental que estivesse em contradição com este princípio tão simples. Isto sustentaria o conceito de um “éter estacionário” (tão vigente na época), a partir do qual os corpos se movem relativos a ele; e tendo a luz velocidade constante, independente do movimento da fonte, os corpos que se movessem com velocidades muito altas, comparáveis à da luz, estariam sujeitos a sofrer uma considerável *contração espacial* e uma *dilatação temporal* com relação àquele suposto referencial estacionário. A partir desta ideia, Lorentz chegou às equações de movimento que substituem e generalizam as transformações de Galileu na mecânica newtoniana:

Sendo as coordenadas  $(x, y, z, c.t)$  no referencial S; e  $(x', y', z', c.t')$  no referencial S' <sup>4</sup>; onde S' se move com velocidade  $v$  constante com relação à S, tal que  $|\mathbf{v}| \equiv v$ ; sendo o eixo  $x$  adotado como a direção de propagação; e satisfazendo as relações (onde as origens se coincidem quando um sinal luminoso é enviado de S para S' em  $t = t'=0$ )

---

<sup>4</sup> Um referencial é entendido como um conjunto “infinito” de observadores, cada um em repouso relativo com relação ao outro e tendo seus relógios padrões sincronizados. De modo abstrato, o conjunto infinito de observadores que compõem um referencial é idealizado, de modo que para cada evento existe um observador presente no mesmo lugar onde ele ocorreu, o que estabelece a coordenada espacial do evento. Este observador também determina, através da leitura de seu relógio, o instante de tempo em que este evento ocorre. Consideraremos referenciais dotados de um sistema de coordenadas retangulares. Assim, por referencial inercial entendemos qualquer referencial em que o corpo, livre de forças, não é acelerado.

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2.t^2 = 0 \leftrightarrow x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2.t'^2 = 0,$$

chega-se às seguintes transformações  $(x, y, z, t) \rightarrow (x', y', z', c.t')$ :

$$x' = \gamma(x - v.t),$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}.x\right),$$

chamadas de *Transformações de Lorentz*, onde  $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v^2/c^2)}$ .

Para o caso limite, onde  $v \ll c$ ;  $\gamma \rightarrow 1$ , e  $(v/c^2) \rightarrow 0$ , assim as Transformações de Lorentz se reduzem às *Transformações de Galileu*

$$x' = x - v.t,$$

$$y' = y, z' = z \text{ e } t' = t.$$

Podemos generalizar tais transformações para qualquer direção de propagação (não apenas no eixo  $x$ ), mas os resultados qualitativamente continuam sendo os mesmos. Os efeitos cinemáticos imediatos das Transformações de Lorentz são os da (a) *contração espacial* e da (b) *dilatação temporal*, que veremos a seguir.

#### (a) A Contração de Lorentz-Fitzgerald

Chama-se valor próprio de uma grandeza física o valor dessa grandeza medido num referencial onde o objeto ao qual está associada encontra-se em repouso. Consideremos então uma barra que está em repouso ao longo do eixo  $O'x'$  no referencial  $S'$ , com suas extremidades nos pontos  $x_1'$  e  $x_2'$ . O comprimento próprio da barra é então

$$l_0 \equiv x_2' - x_1'.$$

O comprimento  $l$  da mesma barra no referencial  $S$ , uma vez que ela está se deslocando com velocidade  $v$  em relação a este referencial, será dado por

$$l \equiv x_2(t) - x_1(t),$$

onde  $x_1(t)$  e  $x_2(t)$  são os pontos em S que coincidem com as extremidades da barra no mesmo instante  $t$ , ou seja, simultaneamente em relação à S. Assim, através das Transformações de Lorentz temos

$$x_1'(t) = \gamma (x_1 - v.t), \quad x_2'(t) = \gamma (x_2 - v.t).$$

Subtraindo estas duas equações, temos

$$x_2'(t) - x_1'(t) = \gamma (x_2 - x_1) = \gamma.l = l_o.$$

$$\text{Portanto, } l = l_o / \gamma = l_o \cdot \sqrt{1 - (v^2 / c^2)}.$$

Sendo  $v < c$ , o fator  $\gamma$  é sempre maior do que um ( $\gamma > 1$ ), assim percebe-se que uma barra com comprimento próprio  $l_o$  em movimento, será observada num referencial em repouso com um comprimento  $l$  sempre menor do que  $l_o$  – esta é a chamada *contração de Lorentz-Fitzgerald* – o comprimento da barra em movimento é menor do que seu comprimento próprio.

Este efeito já havia sido sugerido por Lorentz e por Fitzgerald antes da Teoria da Relatividade para explicar o resultado nulo do experimento de Michelson e Morley. A hipótese sustentava o princípio (B) da constância da velocidade da luz, mas ainda considerava a presença de um referencial inercial absoluto. Coube a Einstein deduzir tais transformações combinando este princípio fundamental com o princípio da relatividade (A), de onde o efeito da contração espacial é naturalmente obtido, assim como a dilatação temporal.

#### (b) A Dilatação dos Intervalos de Tempo

Consideremos um relógio em repouso no referencial S', por exemplo, na origem O' das coordenadas. O tempo  $t'$  marcado por esse relógio é, portanto, o *tempo próprio* (que chamaremos de  $\tau$ , ao invés de  $t'$ ). A coordenada tempo  $t$  correspondente em S obtém-se da transformação de Lorentz inversa, fazendo  $x' = 0$ ,

$$t = \gamma \cdot t' = \gamma \cdot \tau$$

de forma que a relação entre intervalos de tempo  $\Delta\tau = t_2' - t_1'$  em S' (tempo próprio do relógio em repouso) e os intervalos de tempo correspondentes em S, onde o relógio está se movendo é

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \gamma \Delta \tau = \Delta \tau / \sqrt{1 - (v^2/c^2)}.$$

Como  $\gamma$  é sempre maior do que 1 ( $\gamma > 1$ ), o intervalo de tempo do relógio em movimento será maior do que dele em repouso. Portanto, *o movimento contrai os comprimentos, mas dilata os intervalos de tempo*. Ou seja, o relógio situado no referencial em movimento sofrerá uma dilatação em cada intervalo de seu batimento, fazendo com que o tempo determinado por ele entre dois instantes seja sempre maior do que o do relógio que se situa no referencial em repouso.

### RESULTADOS GERAIS DA TEORIA

É notável perceber como uma simples reformulação axiomática de princípios permitiu que, de resultados experimentais e hipóteses já formadas na época, chegasse aos resultados já alcançados de forma mais simples e visualizasse resultados mais surpreendentes ainda, como a relação entre massa e energia que citaremos mais adiante.

Das considerações precedentes, pode-se ver claramente que a Teoria da Relatividade (Especial) surgiu da eletrodinâmica e da óptica. Nestes domínios ela não modificou muita coisa nos enunciados da teoria, mas simplificou significativamente o edifício teórico, isto é, a derivação das leis. O que é ainda mais importante: reduziu drasticamente o número de hipóteses mutuamente independentes sobre as quais a teoria repousa. Ela tornou a teoria de Maxwell-Lorentz tão plausível, que teria sido universalmente aceita pelos físicos mesmo que a experiência não tivesse falado com tanta eloquência em seu favor.

A mecânica clássica tinha necessidade de ser modificada a fim de poder ficar em harmonia com a Teoria da Relatividade Especial. Mas esta modificação só afeta substancialmente as leis no caso de movimentos rápidos, nos quais as velocidades  $v$  da matéria não são pequenas demais em comparação com a velocidade da luz. (BUNGE, 1969, p.41)

Além da reinterpretação do conceito de simultaneidade, que naturalmente foi relativizado (como a luz se propaga com velocidade finita e constante em todos os referenciais, a informação que carrega de dois ou mais eventos pode percorrer intervalos de tempo e distâncias diferentes para se chegar a diferentes observadores, por isso, dois eventos que parecem ser simultâneos para um observador podem não ser para o outro – sendo necessário especificar tanto as coordenadas temporais quanto as espaciais dos eventos, em cada referencial, para então saber em quais ocasiões eles serão observados simultaneamente ou não), o resultado de caráter geral mais importante que a teoria especial de Einstein nos conduz se refere ao conceito de massa. A física pré-relativística tem dois princípios de

conservação de suma importância: a Lei de Conservação da Energia e a Lei de Conservação da Massa. Na mecânica clássica estes dois princípios são aparentemente independentes um do outro, mas na Teoria da Relatividade eles são combinados num princípio único – *a massa passa a depender da velocidade do corpo, ou seja, da energia cinética a ele atribuída, assim como a energia depende da massa*, de acordo com a seguinte relação

$$E = \frac{m_o c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = mc^2,$$

onde  $m_o$  é o valor próprio de  $m$ , obtido quando a partícula está em repouso – chamado também de *massa de repouso*.

$$m(v) = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad m_o \equiv m(0).$$

O valor  $E_o = m_o.c^2$  é a *energia de repouso* (para  $v = 0$ ) que o corpo carrega consigo independente de qualquer movimento. Estas equações justificam a questão da velocidade da luz ser *intransponível e inalcançável* por qualquer partícula que contém massa diferente de zero; quanto maior a velocidade da partícula, maior é a sua massa relativística e inercial, portanto, maior é a dificuldade de continuar a acelerá-la. Quando  $v \rightarrow c$ , logo  $m(v) \rightarrow \infty$  e  $E \rightarrow \infty$ , portanto, para acelerarmos uma partícula até a velocidade da luz é necessário dar uma energia infinita para ela, o que é impossível. As únicas partículas que podem se mover na velocidade da luz são aquelas, teoricamente, desprovidas de massa (que o valor da massa deve ser considerado zero, dentro das margens de erros experimentais), como é caso do fóton – a partícula elementar na Mecânica Quântica responsável pelas interações eletromagnéticas.

Através destes resultados gerais, entende-se que a massa inercial de um corpo não é uma constante, mas varia de acordo com a variação de sua energia [3]. Portanto, a massa inercial de um sistema de corpos pode ser considerada como uma medida de sua energia. Assim, a *Lei da Conservação da Massa* coincide com a *Lei da Conservação da Energia*, sendo válidas na medida em que o sistema não absorve e nem emite energia. Esta é mais uma das simplificações teóricas que a Teoria da Relatividade concebe, unificando duas leis fundamentais da mecânica clássica numa só.

## O ESPAÇO-TEMPO QUADRIDIMENSIONAL DE MINKOWSKI

Os conceitos de espaço e tempo que gostaria de desenvolver perante a vós se erguem do solo da Física Experimental. Aí reside sua força. Suas tendências são radicais. Doravante, o espaço por si só, e o tempo por si só, irão desvanecer-se em sombras e somente uma espécie de união entre os dois preservará uma realidade independente. (MINKOWSKI, 1908)

O espaço é um contínuo tridimensional. Isto significa que podemos descrever a posição espacial de qualquer ponto (em repouso) por meio de três números, ou seja, por três coordenadas  $(x, y, z)$ , onde para cada ponto existem pontos “vizinhos” cujas posições podem ser determinadas por coordenadas tão próximas quanto quisermos, o que justifica seu aspecto de continuidade. 1

O mundo dos eventos físicos, proposto pelo matemático alemão Hermann Minkowski (1864-1909), chamado simplesmente de “mundo”, ou “universo”, é composto por quatro dimensões no sentido espaço-temporal – ou seja, compõe-se de eventos individuais (“pontos de universo”), cada um descrito por quatro números, sendo eles as três coordenadas espaciais e uma quarta temporal  $(x, y, z, c.t)$ . O produto entre o tempo e a velocidade da luz passa a ser considerado uma dimensão a mais associada ao espaço tridimensional, formando o contínuo espaço-tempo, onde todo evento físico passa a ser descrito necessariamente nesse espaço vetorial de quatro dimensões.

A Teoria da Relatividade torna natural e explícita a visão quadridimensional de “mundo”, pois nela o tempo deixa de ser independente e absoluto (como era na física clássica), passando a se relacionar com as coordenadas espaciais e com a velocidade, dependendo delas mutuamente – como mostra a quarta equação das transformações de Lorentz:

$$t' = (t - \frac{vx}{c^2}) / \sqrt{1 - (v^2/c^2)}.$$

No entanto, a importância da descoberta de Minkowski vai além. Ela consiste no reconhecimento de que o contínuo quadridimensional da Teoria da Relatividade, em suas propriedades formais, manifesta um comportamento semelhante ao contínuo tridimensional do “espaço euclidiano”.

Podemos descrever as coordenadas  $(x_1, x_2, x_3, x_4)$  como

$$x_1 = x,$$

$$x_2 = y,$$

$$x_3 = z,$$

$$x_4 = ct.$$

Assim, a transformação relativística de  $(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow (x_1', x_2', x_3', x_4')$  preserva a identidade

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - x_4^2 = x_1'^2 + x_2'^2 + x_3'^2 - x_4'^2.$$

Assim como na geometria analítica (euclidiana), se introduzimos um novo sistema cartesiano de coordenadas  $(x_1', x_2', x_3')$  com origem coincidente com o original, então estas novas coordenadas são funções lineares homogêneas de  $x_1, x_2, x_3$ , que satisfazem identicamente à equação

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = x_1'^2 + x_2'^2 + x_3'^2.$$

Desta forma, podemos considerar o espaço de Minkowski, do ponto de vista formal, como um espaço pseudo-euclidiano quadridimensional (*pseudo* pelo fato do sinal do quarto coeficiente ser negativo, ao contrário dos outros três que preservam a assinatura euclidiana; para ser puramente euclidiana, os quatro sinais deveriam ser iguais, o que não ocorre nesta notação quadridimensional que estamos apresentando). Inicialmente, nem Poincaré nem Einstein se mostraram interessados pela abordagem de Minkowski à Teoria Especial da Relatividade, apresentada poucos anos depois da publicação de Einstein. Poincaré foi da opinião de que fundir o espaço e o tempo numa só entidade matemática era uma convenção que podia até ser cômoda, mas que não passava disso. Einstein escreveu dois artigos (com Jakob Laub, ex-aluno do próprio Minkowski) em 1908, destinados a explicar aos físicos como os resultados da Relatividade podiam ser obtidos recorrendo a uma matemática muito mais elementar do que aquela apresentada por Minkowski, considerando a obra deste último uma “erudição supérflua”. Mas em 1916, Einstein veio a reconhecer que a generalização da Teoria da Relatividade foi consideravelmente facilitada por Minkowski, considerando-o o primeiro matemático a aperceber-se da equivalência formal entre as coordenadas espaciais e a coordenada temporal, empregando isto na teoria, e que sem este grande passo, talvez, a Teoria Geral da Relatividade não tivesse “saído da infância”.

Ao apresentarmos este breve esboço histórico e conceitual da Teoria Especial da Relatividade pudemos apontar alguns resultados que já preveem uma reformulação completa das noções de espaço, tempo e matéria na física do século XX, em contraste com o “edifício teórico” que a física clássica engendrou e se sustentou pelos três longos séculos anteriores. Uma nova filosofia da natureza emerge ao considerarmos os resultados desta teoria, que antecipam a generalização e a unificação total proposta pela Relatividade Geral que a sucedeu dez anos depois.

Em primeiro lugar, a queda dos conceitos de espaço e tempo absolutos cede lugar à relatividade de todos os referenciais inerciais, não sendo possível estabelecer um preferencial; no entanto, o princípio da relatividade em 1905 é dado em sua forma restrita, válido apenas para referenciais com movimentos relativos retilíneos e uniformes (o que ocorre para movimentos relativos acelerados e curvos? As leis da física continuam sendo as mesmas?). Em segundo lugar, as transformações de Lorentz apontam para a dependência da coordenada temporal com o espaço, ou seja, espaço e tempo deixam de existir em absoluto e passam a coexistir mutuamente, formando o contínuo espaço-temporal erigido por Minkowski. Para a física clássica, o tempo absoluto pode ser visto como se houvesse um “relógio no centro do Universo” que marcasse o tempo uniformemente e igualitário para todas as regiões, independente dos corpos estarem em constante movimento relativo ou não, enquanto a Relatividade demonstra que o tempo é relativo e depende das circunstâncias locais de cada observador – para observadores em circunstâncias físicas diferentes o tempo se propaga de maneira diferente. A unificação do espaço com o tempo foi um mérito já da própria teoria especial.

Ao concebermos a constância da velocidade da luz no espaço, independente do movimento relativo das fontes, deduz-se consequências mais surpreendentes ainda para o âmbito cosmológico; temos como primeira implicação o fato da velocidade da luz ser intransponível por qualquer elemento ou fenômeno material, ou seja, uma velocidade limite da qual nenhuma informação ou corpo em movimento pode ultrapassar. Isto, por si só, já implica uma nova visão cosmológica, onde tudo no Universo tem um tempo finito para se propagar, ao contrário da noção de ação à distância (instantânea) da física clássica. Temos portanto um problema: *se nada no Universo se propaga com velocidade maior que a da luz, como se comporta a força gravitacional?* Este foi um dos principais problemas resolvidos pela teoria geral de Einstein. Se a Teoria Especial da Relatividade já apontava uma unificação do espaço com o tempo e uma relação das massas dos corpos com sua energia (quer dizer, uma relação direta da matéria com o espaço-tempo, onde a interação dinâmica da matéria no espaço-tempo altera sua propriedade mais substancial, que é a massa), coube portanto à Teoria da Relatividade Geral a unificação derradeira entre espaço-tempo-matéria. Na Relatividade Especial, o contínuo espaço-tempo ainda tem caráter absoluto, ou seja, atua sobre a matéria, mas a matéria não atua sobre ele. Na Relatividade Geral veremos que esta relação também é recíproca, com a matéria atuando sobre o espaço-tempo e sendo a delimitadora de suas propriedades fundamentais.

## 2.2) NOÇÕES DA TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL

Abordaremos neste breve esboço o *Princípio Geral da Relatividade* e o caminho de idéias percorrido para se chegar até ele – do Princípio de Equivalência à nova teoria da gravitação, a curvatura do espaço-tempo e algumas considerações cosmológicas. Einstein propôs-se a reformular a teoria da gravitação de forma a torná-la compatível com as limitações impostas pela relatividade restrita. Uma das principais pistas que encontrou para auxiliá-lo nessa tarefa foi um fato que já havia despertado a atenção de Newton ao formular sua *Teoria da Gravitação Universal*, mas jamais havia encontrado explicações: *a equivalência entre a massa inercial e a massa gravitacional*.

O campo gravitacional, ao contrário do campo elétrico e magnético, apresenta uma propriedade de fundamental importância: *corpos que se movimentam sob a ação exclusiva do campo gravitacional experimentam uma aceleração que não depende em absoluto nem do material nem do estado físico do corpo*. Esta lei pode ser formulada de outra maneira, onde de acordo com a lei do movimento de Newton temos

$$\text{Força} = \text{massa inercial} \times \text{aceleração}$$

$$(\mathbf{F} = m_i \cdot \mathbf{a}).$$

Onde a “massa inercial” é uma constante característica do corpo acelerado. Por outro lado, se a força aceleradora é a gravidade (no caso, constante), temos

$$\text{Força} = \text{massa gravitacional} \times \text{intensidade do campo gravitacional}$$

$$(\mathbf{F}_g = m_g \cdot \mathbf{g}).$$

Onde a “massa gravitacional” também é uma constante característica do corpo. Destas duas relações segue-se que

$$\text{Aceleração} = \left( \frac{\text{massa gravitacional}}{\text{massa inercial}} \right) \times \text{intensidade do campo gravitacional}$$

$$(\mathbf{F} = m_i \cdot \mathbf{a} = \mathbf{F}_g = m_g \cdot \mathbf{g} \rightarrow \mathbf{a} = [m_g/m_i] \cdot \mathbf{g}).$$

Como mostra a experiência, para um dado campo gravitacional constante a aceleração deve sempre ser a mesma, independente da natureza e do estado do corpo, então a relação

entre a massa gravitacional e a massa inercial também deve ser a mesma para todos os corpos. Vale então o princípio: a massa gravitacional e a massa inercial de um corpo são iguais uma à outra.

Como o próprio Einstein afirmara: “*A mecânica clássica registrou este importante princípio, mas não o interpretou*”. (EINSTEIN, 1999, p.58)

### O PRINCÍPIO DE EQUIVALÊNCIA

As leis da mecânica na presença de um campo gravitacional uniforme são as mesmas que resultariam, na ausência de campo, num referencial uniformemente acelerado. Portanto, não é possível distinguir entre as duas situações por experiências de mecânica, ou seja, não é possível saber se numa região que sofre uma aceleração constante (como no interior de uma nave, por exemplo) se o resultado da aceleração é produto de uma força gravitacional que atua no referencial dado, ou se o referencial que está em movimento uniformemente acelerado. Na prática, este tipo de aceleração e a gravitacional são indistinguíveis, podendo ser uma interpretada como a outra, o que generaliza o princípio de relatividade de Galileu.

Em 1908, Einstein estendeu esta conclusão a todas as leis físicas, formulando o *Princípio de Equivalência*:

“Num recinto suficientemente pequeno para que o campo gravitacional dentro dele possa ser tomado como uniforme, em queda livre dentro desse campo, todas as leis físicas são as mesmas que num referencial inercial na ausência do campo gravitacional”. (EINSTEIN, 1999, p.225)

Como seu próprio enunciado afirma, o *Princípio de Equivalência* tem de ser aplicado *localmente*, em pequenos recintos, que podemos chamar de *referenciais localmente inerciais*. A equivalência entre a massa inercial e a gravitacional é um resultado experimental anterior à formulação do Princípio de Equivalência (como foi dito anteriormente: “já havia despertado a atenção de Newton”; em seguida foram elaborados vários testes experimentais, destacando-se o experimento de Loránd Eötvös, coevo de Lorentz e Einstein, que em 1908 demonstrou a equivalência ser válida para uma precisão bilhonésima (diferença entre a massa inercial e gravitacional menor que  $10^{-9}$ ).

A ideia fundamental da relatividade geral é que “*todos os sistemas de coordenadas gaussianas são essencialmente equivalentes para a formulação das leis gerais da natureza*” (PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE GERAL).

Deve-se notar que esta definição do Princípio da Relatividade Geral foi dada por Einstein em 1916, e é nela que vamos nos basear. No entanto, outras formulações são possíveis, inclusive versões mais atualizadas e precisas, mas em prol do contexto histórico e filosófico que estamos tratando, ou seja, o ‘Neopositivismo e a Filosofia do Espaço-tempo’, no qual os próprios integrantes se basearam nas publicações diretas de Einstein; seus artigos e materiais da época; podemos nos limitar à abordagem da Teoria da Relatividade em seus primórdios.

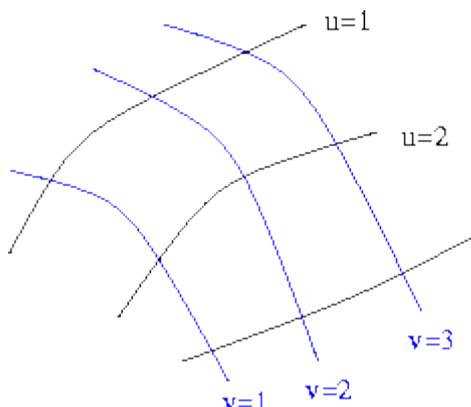
#### O que seria um *Sistema de Coordenadas Gaussianas*?<sup>5</sup>

É um sistema de coordenadas em que se introduz uma distinção clara entre a coordenada tipo-tempo ( $c.t$ ) e as outras 3 coordenadas espaciais (por ex.:  $x, y, z$ ). Isto concorda com a nossa visão intuitiva de eventos ocorrendo no espaço tridimensional ( $\mathbb{R}^3$ ).

Chamemos as 3 coordenadas puramente espaciais de  $(u, v, w)$ ; mas para simplificar, eliminemos uma das coordenadas espaciais ( $w$ ), ficando só com  $(u, v)$ . Considerando um sistema de curvas arbitrárias, não justapostas, em uma superfície qualquer. Em uma direção designemos as curvas por  $u$  ( $u = 1, u = 2, u = 3, \text{etc.}$ ); de forma que entre as curvas  $u = 1$  e  $u = 2$ , ou entre quaisquer outras, podemos imaginar um número infinito de curvas, correspondendo aos números reais. Tais curvas não se intersectam e somente uma delas passa por cada ponto da superfície, de modo que um valor perfeitamente definido de  $u$  pode ser estabelecido para cada ponto.

---

<sup>5</sup> Proposto primariamente por Carl Friedrich Gauss (1777-1855).



**Figura 3 - Coordenadas Gaussianas.**

Podemos estabelecer outro sistema  $v$  de curvas arbitrárias sobre a mesma superfície, de modo que apenas um valor de  $u$  e  $v$  possam ser estabelecidos para cada ponto da superfície. Chamamos estes pontos de coordenadas gaussianas da superfície. Dois pontos próximos terão coordenadas  $P$  e  $P'$ , da seguinte maneira:

$$P: u, v$$

$$P': u + du, v + dv.$$

Onde  $du$  e  $dv$  são pequenos. A distância puramente espacial  $dl$  entre estes pontos será dada por

$$ds^2 = g_{11}.du^2 + 2g_{12}.du.dv + g_{22}.dv^2,$$

onde  $g_{11}$ ,  $g_{12}$  e  $g_{22}$  dependem de  $u$  e  $v$ ;  $g_{ik}$  representa a métrica no sistema de coordenadas  $\{u,v\}$ . Caso mudem as coordenadas, a métrica continua sendo a mesma, porém com novos coeficientes em função das novas coordenadas, ou seja, *a métrica é uma propriedade intrínseca do espaço e variar o sistema de coordenadas não significa alterar a "métrica"*.

Somente para o caso especial em que a superfície seja euclidiana e as coordenadas cartesianas, isto é, independentes, podemos escrever:

$$ds^2 = du^2 + dv^2.$$

Podemos generalizar as coordenadas de Gauss para um contínuo de três ou mais dimensões. Para um contínuo de quatro dimensões ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ), como o espaço-tempo de Minkowski, podemos escrever que dois pontos "adjacentes" estão separados por uma distância  $ds$ , tal que

$$ds^2 = g_{11}.dx_1^2 + 2g_{12}.dx_1.dx_2 + \dots + g_{44}.dx_4^2.$$

Onde, nos casos mais gerais, os valores de  $g_{ik}$  podem variar com a posição e com o tempo

$$ds^2 = g_{ik}.dx^i .dx^k ,$$

Estando implícita a soma sobre todos os valores de  $i$  e  $k$  ( $i, k \rightarrow 1, 2, 3, 4$ ).

Por exemplo, para um sistema de coordenadas esféricas  $(r, \theta, \phi)$  temos

$$ds^2 = d(ct)^2 - dr^2 - r^2.d\theta^2 - r^2.\text{sen}^2\theta.d\phi^2.$$

Enquanto em coordenadas cilíndricas  $(r, \phi, z)$

$$ds^2 = d(ct)^2 - dr^2 - r^2.d\phi^2 - dz^2.$$

Enfim, de certa forma podemos dizer que Gauss mostrou com quais princípios podemos tratar as relações geométricas em superfícies curvas, com isto abrindo caminho para o método de Riemann (1826–1866) para tratar os contínuos não euclidianos multidimensionais.

O espaço-tempo não é euclidiano na presença de consideráveis campos gravitacionais, estes campos possuem a propriedade de curvâ-lo, distorcê-lo do seu caráter “plano” de forma que até a luz passa a sofrer influência destes campos gravitacionais. Como um campo gravitacional depende da matéria/energia que o gera, podemos inferir que a matéria tem a propriedade de curvar o espaço-tempo. A força gravitacional deixa de ser concebida como uma força de ação à distância (instantânea) e passa a ser interpretada como uma propriedade da matéria que distorce o espaço-tempo, influenciando diretamente na sua geometria intrínseca.

O Princípio da Relatividade Geral nos permite determinar a influência do campo gravitacional sobre o curso de todos os eventos que, no caso da ausência de campo gravitacional, desenrolam-se segundo leis conhecidas, isto é, leis que estão incluídas no quadro da Teoria Especial da Relatividade. A teoria da gravitação, assim deduzida do postulado da relatividade, permite-nos conceber uma série de resultados e fatos da experiência que talvez fossem inconcebíveis sem ela.

A *deflexão gravitacional da luz* foi um dos primeiros e mais importantes resultados observacionais extraídos da nova teoria. Foi prevista por Einstein para a deflexão pelo campo gravitacional do Sol e confirmada pelas observações realizadas na Ilha do Príncipe (costa atlântica da África) – sob a direção de Arthur Eddington – e em Sobral (Ceará) – expedição sob a direção de Andrew Crommelin – durante o eclipse solar de 1919, tendo grande repercussão. A explicação do *movimento do periélio de Mercúrio* (o qual a teoria de Newton

não é suficiente para calcular o movimento observado com boa precisão) e a nova expressão para o *deslocamento das linhas espectrais para o vermelho* (quando a luz atravessa um campo gravitacional e percorre grandes distâncias) de forma mais precisa também favoreceram a teoria <sup>6</sup>.

#### A CURVATURA DO ESPAÇO-TEMPO

A presença de um campo gravitacional modifica a métrica (geometria) do espaço-tempo. A geometria torna-se não euclidiana – isso corresponde à curvatura do espaço-tempo. Nos casos de modelos cosmológicos homogêneos e isotrópicos baseados na Teoria da Relatividade Geral, a curvatura pode ser espacialmente negativa ( $k < 0$ ) ou positiva ( $k > 0$ ), e em geral varia de ponto a ponto: é uma curvatura do espaço-tempo quadridimensional. Conforme foi mostrado por GAUSS e RIEMANN, tal curvatura pode ser obtida através da métrica  $g_{ik}$ , sendo a definição da geometria através da métrica uma característica da geometria riemanniana. Daí EINSTEIN afirmar que, “*desde muito, os matemáticos já haviam solucionado os problemas formais que conduzem à Teoria da Relatividade Geral*”. (1999,p.73)

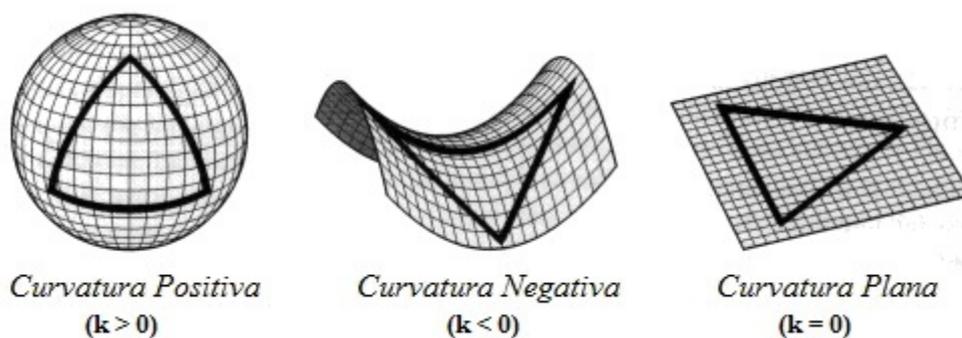


Figura 4 – Algumas possíveis Curvaturas Espaciais (caso Homogêneo e Isotrópico).

Os efeitos gravitacionais estão contidos na forma pela qual a métrica varia de ponto a ponto, ou seja, na curvatura do espaço-tempo. As equações de Einstein da relatividade geral relacionam essa curvatura com a presença de matéria (equivalente à energia), que produz o campo gravitacional. Na ausência de curvatura espaço-temporal, tem-se a métrica de Minkowski.

<sup>6</sup> Mais adiante, o retardo dos ecos de sinais de radar enviados para Mercúrio, Vênus e Marte, experimentos realizados em radiotelescópios por Shapiro, em 1968, além das observações recentes de pulsares, confirmaram mais ainda a teoria.

É importante observar, como foi salientado por Gauss, que a curvatura de uma superfície é uma propriedade *intrínseca*, que pode ser determinada a partir de medidas feitas *sobre* a superfície (sem sair dela). Por exemplo, o valor da razão entre o comprimento de uma circunferência e seu diâmetro numa superfície de curvatura positiva é sempre menor que  $\pi$  ( $C/2r < \pi$ ), assim como a soma dos ângulos internos de um triângulo esférico (curvatura positiva) é maior que  $180^\circ$ . Enquanto que numa curvatura negativa se dá o contrário e numa superfície de curvatura nula se preservam os resultados da geometria euclidiana. Assim, concebe-se que a geometria do espaço físico (não euclidiano) é mensurável, podendo se medir a sua curvatura em cada região do espaço-tempo.

A lei de movimento básica na relatividade geral, portanto, é uma extensão ao espaço-tempo curvo: postula-se que a linha de universo de uma partícula em queda livre no campo gravitacional é uma geodésica, e quando o campo é nulo, esta coincide com a trajetória retilínea em movimento uniforme nas regiões de curvatura zero.

#### CONSIDERAÇÕES COSMOLÓGICAS

Ao levarmos em conta a interpretação usual dada ao deslocamento das raias espectrais dos objetos distantes, das galáxias, para o vermelho, interpretada como uma expansão dada pela Lei de Hubble, percebemos que estamos num Universo dinâmico que possivelmente teve uma gênese que engendrou a expansão, sendo a Radiação Cósmica de Fundo um resquício desta inicial expansão do Universo, explicada pela *Teoria do Big Bang*.

Outras possibilidades cosmológicas a teoria geral da relatividade também permite (por ex.: o Universo Estático de Einstein), mas de todo jeito, o modelo padrão cosmológico de hoje concebe um universo não-euclidiano, homogêneo, isotrópico (nas grandes escalas) e em expansão; sendo esta expansão detectada empiricamente que nos leva à concepção de uma possível gênese científica do Universo, ou pelo menos o indício de um tempo em que a densidade da matéria foi maior e de elevada temperatura, ou seja, um momento de maior concentração que se expandiu até o Universo que observamos hoje.

### 3) A INTERPRETAÇÃO LÓGICO-EMPIRISTA

Os empenhos dos empiristas (ou positivistas) lógicos diante do problema do espaço e tempo possuem contribuições predecessores ao trabalho de Reichenbach. Einstein apresentou a Teoria da Relatividade Geral em 1915, publicando em 1917 o artigo: *Kosmologische*

*Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie (Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade Geral)*. Em menos de um ano, Moritz Schlick já publicava a sua monografia – *Space and Time in Contemporary Physics* – tornando-se o primeiro cientista a conceber uma interpretação filosófica para a tão recente teoria, apontando também suas consequências cosmológicas. Em 1921, Rudolf Carnap apresenta sua dissertação – *Der Raum: Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre (O Espaço: uma Contribuição à Teoria da Ciência)*, onde procura demonstrar que grande parte dos problemas concernentes à questão do espaço é proveniente de más formulações lógicas herdadas ao longo da história, deficientes ao se evidenciar o caráter empírico deste conceito, levando-o a equivocadas resoluções.

Em 1925, Carnap elabora um profundo estudo sobre a dependência das propriedades espaciais em relação às temporais, baseando-se exclusivamente nas seguintes relações: a coincidência espaço-temporal e a ordem temporal entre “pontos de mundo” (no sentido de Minkowski); procurando assim estabelecer dedutivamente a estrutura do espaço-tempo, apoiando-se na ideia de ordem temporal e dela procurando derivar as propriedades topológicas do espaço (Ref.[31.2]). No entanto, são nos trabalhos de Hans Reichenbach que se encontram as maiores contribuições do empirismo lógico às teorias do espaço e tempo com base no advento da Teoria da Relatividade Geral. Na década de 1920, Reichenbach publicou quatro livros consecutivos sobre o assunto: *Relativitätstheorie und Erkenntnis Apriori* (1920), *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre* (1924), *Von Kopernikus bis Einstein* (1926) e *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* (1927). Este último, particularmente, consolida todo o trabalho anterior e fundamenta definitivamente a sua interpretação física e filosófica sobre a Teoria da Relatividade, tendo sido considerado por muitos um derradeiro tratado sobre os conceitos de espaço, tempo e matéria na nova física. No seu estudo sistemático, de modo similar a Carnap, Reichenbach afirmou que as mensurações do espaço são redutíveis a mensurações do tempo, mas apenas do ponto de vista lógico, não confinando o caráter empírico de tais conceitos a uma hierarquia ontológica entre eles. Declarou explicitamente (no tópico §27. *The Construction of the Space-Time Metric*):

“[...] space measurements are reducible to time measurements. *Time is therefore logically prior to space.* [...] The topological neighborhood relations of space are therefore reduced to temporal relations and thus to causal relations”. (REICHENBACH, 1957, p.169)

Do ponto de vista da elaboração de uma teoria do espaço & tempo, discorreremos mais à frente como possíveis interseções entre estas ideias e recentes trabalhos podem ou não

serem levadas adiante, apesar dos ideais filosóficos já estarem muito além das doutrinas lógico-positivistas, o que não necessariamente refuta possíveis interseções com tais contribuições de predecessores; tal conceito de ordem temporal também foi desenvolvido por outros autores no século XX, como Robb <sup>7</sup>, Milne <sup>8</sup> e Basri <sup>9</sup>.

O *relacionismo* de Reichenbach sustenta que as proposições geométricas caracterizam relações entre corpos rígidos (infere-se, portanto, o espaço como uma propriedade relacional da matéria); e Grünbaum sustenta, por exemplo, que o comprimento não é um atributo intrínseco aos segmentos de reta, mas só existe em relação a um padrão específico (evidenciando o caráter empirista na abordagem do espaço físico). Os trabalhos de Grünbaum se projetam já na segunda metade do século XX; seu ensaio, *Geometry, Chronometry and Empiricism* (1962) e o livro *Philosophical Problems of Space and Time* (1963) trazem sua tese sobre o amorfismo métrico intrínseco do espaço e consolidam sua visão empirista e relacional, concernentes aos conceitos de espaço e tempo e seus processos de medição.

As contribuições de Reichenbach e Grünbaum hoje são pedras angulares que podem ser tomadas como pontos de partida para a investigação do problema do espaço e tempo em face das novas visões da física; tanto as interseções quanto as rupturas são cruciais para o amadurecimento de nossa compreensão rumo a melhores teorias. Com relação às contribuições históricas de Max Jammer, deve-se salientar que o livro *Concepts of Space* é apenas o primeiro de uma série de quatro livros que discorre sobre o desenvolvimento de conceitos fundamentais na História da Física (*Concepts of Force*, *Concepts of Mass* e *Concepts of Simultaneity*, respectivamente); todos eles se associam como guias de referências e pontos de partida para a compreensão histórica dos fundamentos da física.

Desde a Antiguidade a questão da natureza da geometria tem sido um problema decisivo para qualquer teoria do conhecimento. Os princípios da geometria, ou seja, os axiomas de Euclides, parecem possuir duas características que não são facilmente conciliáveis. Por um lado, eles se apresentam como auto-evidentes e, portanto, se afirmam por necessidade lógica. Por outro lado, sua validade não é puramente lógica, mas factual; em termos técnicos, eles não são analíticos, mas sintéticos. Isto é ilustrado pelo fato de que, na base de certas medidas de ângulos e comprimentos de corpos físicos, os resultados de outras medidas podem ser previstos. Kant, audaciosamente, aceitou a conjunção de ambas as características: a partir da validade aparentemente necessária dos princípios da geometria, ele

---

<sup>7</sup> A. A. Robb, *A Theory of Time and Space* (1913, 1914, 1936).

<sup>8</sup> E. Milne, *Kinematic Relativity* (1948).

<sup>9</sup> S. Basri, *A Deductive Theory of Space and Time* (1966).

concluiu que seu conhecimento é *a priori* (ou seja, independente da experiência), embora eles sejam sintéticos (referem-se à experiência). Quando os matemáticos construíram aproximadamente cem anos depois os sistemas de geometrias não-euclidianas, uma controvérsia surgiu sobre o método de determinação de qual dos sistemas, euclidiano ou aproximadamente não-euclidiano, corresponderia ao espaço da física. Gauss foi o primeiro a sugerir que a determinação deveria ser feita através de medições físicas. Mas a grande maioria dos filósofos e físicos que atravessaram o século XIX manteve a doutrina kantiana, de que a geometria é independente da experiência.

No início do século XX, Poincaré apontou para um novo aspecto da situação: não importam quais fatos observacionais sejam encontrados, o físico é livre para atribuir ao espaço físico qualquer uma das estruturas geométricas matematicamente possíveis, contanto que faça os ajustes apropriados nas leis da mecânica e da óptica e conseqüentemente nos sistemas de medidas. Esta foi uma importante concepção. Mas Poincaré foi longe demais ao afirmar que os físicos sempre escolheriam a estrutura euclidiana devido à sua simplicidade. A história refutou esta predição poucos anos mais tarde, quando Einstein utilizou certa geometria não-Euclidiana em sua teoria geral da relatividade (discutida anteriormente). Por meio desta, ele obteve um considerável ganho na simplicidade para descrever o sistema físico, apesar da perda na simplicidade da geometria.

Graças a este desenvolvimento, tornou-se claro que a situação referente à natureza da geometria segue adiante: é necessário haver uma distinção entre a pura geometria matemática e a geometria física. As proposições da geometria matemática são deduzidas logicamente, mas elas lidam apenas com estruturas abstratas e não condizem necessariamente com o espaço físico. A geometria física sim, busca descrever a estrutura do espaço físico; sendo ela, portanto, uma área da física. A validade de seus argumentos deve ser estabelecida empiricamente – assim como nas demais áreas da física – após as regras para as medições das magnitudes envolvidas, especialmente o comprimento, serem instituídas. (Na terminologia kantiana, a geometria matemática é de fato *a priori*, assim como Kant afirmou, mas somente porque ela é analítica. A geometria física é sintética, mas por ser baseada na experiência não apresenta nenhum aspecto apriorístico. Em nenhum dos dois ramos da Ciência que chamamos de “geometria” devem juízos sintéticos *a priori* ocorrer. Desta forma, a doutrina Kantiana no que diz respeito à natureza da geometria deve ser abandonada – esta constitui uma das grandes críticas contidas no trabalho pioneiro de Moritz Schlick e na interpretação neopositivista em geral.)

Na geometria física existem dois possíveis procedimentos para estabelecer uma teoria física do espaço. Primeiro, o físico pode livremente escolher as regras para medir as dimensões espaciais. Feita esta escolha, a questão da estrutura geométrica do espaço físico se torna empírica; deve ser respondida com base nos resultados dos experimentos. Alternativamente, o físico pode livremente escolher a estrutura do espaço físico; mas então ele deve ajustar as regras de medidas tendo em vista os fatos observacionais. (Apesar de Poincaré ter enfatizado este segundo caminho, ele não enxergou o primeiro claramente. Este ponto de vista teve que ser revisto por aqueles físicos e filósofos, dentre eles Reichenbach, que consideraram a visão de Poincaré sobre a geometria como não empirista, mas puramente convencionalista.)

A visão concernida com relação à natureza da geometria na física dá ênfase, por um lado, ao caráter empírico de toda a geometria física e, por outro lado, reconhece a importante função das convenções. Estes pontos de vista foram desenvolvidos ao longo da década de 1920 por cientistas e filósofos que estudaram a lógica e os problemas metodológicos concernidos pela teoria da relatividade, entre eles estavam Schlick, Reichenbach e Carnap.

É num certo “realismo crítico” e metodológico que as interpretações neopositivistas quanto à Teoria da Relatividade Geral e a existência do contínuo espaço-temporal se sucederam. No trabalho primordial de Schlick, *‘Space and Time in Contemporary Physics’* (1917), após suas exposições gerais apresentando a teoria especial e geral da relatividade ao leitor, seu primeiro intento é distinguir as noções de *espaço* e *tempo* trabalhadas pela filosofia tradicional, com caráter metafísico e psicológico, daquelas trabalhadas e relevantes para o pensamento científico, fundamentadas pela física. Portanto, passa a se falar de espaço e tempo em sua acepção objetiva e empírica, não relevando nenhuma acepção apriorística e psicológica para tais conceitos. Consequentemente, seu segundo passo é derrubar a tese kantiana para as noções de espaço e tempo, contrapondo elas às noções de espaço, tempo e matéria da nova física. O ponto de partida é a diferenciação entre o que é uma geometria física e uma geometria matemática, como exposto anteriormente.

Segundo Reichenbach, a geometria física deriva da geometria matemática quando *definições coordenativas* apropriadas são utilizadas. Tais ‘definições coordenativas’ formam um conceito central na epistemologia de Reichenbach, sendo elas as definições que permitem que qualquer sistema formal (lógico ou matemático) possa ser aplicado à realidade, ou seja, as definições coordenativas são o que permite aplicar uma teoria científica ao mundo empírico, associando seus sistemas formais com os da realidade, mas sabendo que a princípio são coisas

distintas, diferentes linguagens, mas que quando associadas podem se comunicar; tais associações são as próprias definições coordenativas.

Neste mesmo sentido, o convencionalismo de Poincaré já desqualificava a busca por uma “geometria absoluta do espaço”, ou seja, da existência de uma geometria matemática que caracterizasse em absoluto o mundo físico. Mas para ele, qualquer geometria matemática, sistematicamente correta, poderia se aplicar à realidade, sendo isto apenas uma questão de convenção, cabendo ao físico saber escolher a geometria que descreve o comportamento dos corpos da maneira mais simples, como dito anteriormente. Por isso mesmo, a geometria euclidiana sempre se aplicou tão bem aos problemas da física clássica, por descrevê-la da maneira mais simples, mas até o século XX nenhuma comprovação empírica de uma possível curvatura do espaço havia sido evidenciada, mérito este que coube à teoria de Einstein nos “abrir os olhos”.

Desta forma, utilizando-se de certas diferenciações, Schlick ataca diretamente a tese kantiana com relação aos juízos sintéticos *a priori* (primeiramente aplicados às noções de espaço e tempo, depois em geral). Reforçando o ponto de vista já exposto; não tendo a geometria matemática nenhuma correspondência direta com a realidade, apenas coerência lógica, esta seria analítica *a priori*; tal correspondência é tratada pela geometria física, que busca aplicar tais sistemas matemáticos ao mundo físico, espaço-temporal, mas por tratar da experiência não possui nenhum caráter apriorístico, e sim sintético *a posteriori*.

Schlick expõe sua crítica e desconstrói o antigo pensamento vigente, abrindo campo para que novas teorias do espaço de aceção empirista surgissem, motivadas pela esfera de novas ideias possibilitadas pela Teoria da Relatividade. Coube a Carnap trilhar este caminho intermediariamente e a Reichenbach consolidá-lo – uma nova teoria do espaço era preciso, mas desta vez uma teoria que conciliasse a quadridimensionalidade da realidade física com as novas descobertas astronômicas que se incrementavam na época, expurgando todo e qualquer caráter especulativo e metafísico que sempre assombrou as teorias do espaço, que desta vez se construiriam com base na linguagem lógica que acessa o mundo empírico – nasce então a chamada ‘*Filosofia do Espaço-tempo*’ do Empirismo Lógico.

As definições acerca do espaço, do tempo e da matéria, por mais simples que pareçam (por constituírem os fundamentos da realidade física), formam um campo de complexa indagação e um dos exemplos mais notáveis de dependência entre a física e a filosofia. O trabalho científico parte de noções pré-estabelecidas acerca destes conceitos elementares, mas qualquer mudança na compreensão de seus fundamentos acarreta irremediavelmente profundas transformações científicas, tanto teóricas quanto no olhar que projetamos sobre os

experimentos – este foi o legado que a Teoria da Relatividade nos deixou, unindo primeiramente o conceito de espaço com o de tempo e, posteriormente, na relatividade geral, demonstrando que estes conceitos se unem com a matéria, coexistindo mutuamente e de forma indissociável.

Na tentativa de estabelecer dedutivamente a estrutura do espaço-tempo, alguns modernos filósofos da ciência basearam suas investigações na ideia de ordem temporal e dela procuraram derivar as propriedades topológicas do espaço. O profundo estudo feito por Carnap em 1925, sobre a dependência das propriedades espaciais em relação às temporais, por exemplo, baseou-se exclusivamente nas duas relações seguintes:

- (1) A coincidência espaço-temporal.
- (2) A ordem temporal entre os “pontos de mundo” (no sentido de Minkowski).

Posteriormente, em seu estudo sistemático do espaço e do tempo, Reichenbach afirmou de modo similar que as mensurações do espaço são redutíveis às mensurações do tempo. Declarou explicitamente: “O tempo é [...] logicamente anterior ao espaço” (1957, p.169) (no capítulo conclusivo desta monografia defende-se uma posição ainda prematura, mas diferente – *O Triângulo Lógico*). A partir daí, buscou-se uma construção axiomática do contínuo espaço-temporal que deu suporte à Teoria da Relatividade, reforçando suas ideias, onde independente da hierarquia lógica entre o espaço, o tempo e a matéria, estes coexistem juntos e são inseparáveis na realidade física – a própria *Teoria do Big Bang* atesta uma formação mútua destes conceitos, uma proposta de gênese científica para a realidade como um todo. Apesar do “senso comum” pensar que apenas a matéria toda estava concentrada numa pequena região do espaço, com o tempo absoluto se passando e de repente ela entrou em expansão – pelo contrário, a *Teoria do Big Bang* se aplica não só à expansão da matéria, mas à formação do espaço e do tempo como um todo – nela, falar-se de tempo antes da expansão não faz sentido, pois o espaço-tempo estaria, supostamente, totalmente curvado em torno da matéria de forma que as leis da física não seriam aplicáveis neste domínio, com a expansão primordial representando o surgimento da realidade física como um todo – o espaço, o tempo e a matéria (para a física que conhecemos hoje) se engendrariam ali.

As análises lógico-empiristas acerca da Teoria da Relatividade Geral alcançaram a maturidade através dos trabalhos de Reichenbach, que além de axiomatizar toda a Teoria da Relatividade (*‘Axiomatization of the Theory of Relativity’*, 1924), fundamentar seu desenvolvimento histórico (*‘From Copernicus to Einstein’*, 1927), aprimorar o rigor lógico e

tratar de suas consequências cosmológicas, apresentou uma busca por novas formas de visualização do contínuo espaço-temporal, quadridimensional, de Minkowski (*'The Philosophy of Space & Time'*, 1928) – tornando mais concebível sua representação na física.

Espera-se ter relevado ao leitor a importância das teorias do espaço & tempo, sendo uma área da física-matemática de direta correlação com a filosofia, daí sua construção epistemológica ser fundamental. Muitas outras teorias do espaço se seguem ao longo do século XX, como as obras de A. Robb (*'A Theory of Time and Space'*, 1936); E. Milne (*'Kinematic Relativity'*, 1948); J. L. Synge (*'A Plea for Chronometry'*, 1959); Basri (*'A Deductive Theory of Time and Space'*, 1966); entre outros. Tais obras possuem influências diretas do positivismo lógico ou não, mas poucos trataram das questões acerca do espaço-tempo com tanto rigor lógico e empírico, ao mesmo tempo, quanto os neopositivistas.

As contribuições do Empirismo Lógico diante das teorias científicas são muitas, estendendo-se também a grandes análises para a Mecânica Quântica, a Teoria de Probabilidades, etc. De certa forma, foram profissionais no século XX que ainda conciliavam o exercício do trabalho científico com o filosófico, sabendo que um é fecundo para o outro; tal interdisciplinaridade é carente nos centros acadêmicos de hoje, por um lado faltando base ao filósofo para tratar os problemas científicos, assim como ao cientista, sem a necessária compreensão lógica e filosófica, aliena-se do caráter epistemológico de sua ciência – condição esta tão vigente quanto necessária às novas formações.

## IV. CONCLUSÕES & PERSPECTIVAS FUTURAS

*“A verdade dos pensamentos comunicados aqui me parece intocável e definitiva, de modo que penso ter resolvido os problemas no que é essencial. Se não me engano, o segundo valor desse trabalho é mostrar quão pouco se consegue quando se resolvem tais problemas”.*

(WITTGENSTEIN)

Encerrados estes três capítulos paralelos, cabe ao quarto dissertar sobre as suas interseções e disponibilizar suas perspectivas futuras de teses. Em cada um dos capítulos foi apresentado um preâmbulo e conclusões parciais, como forma de dar maior autonomia à sua unidade e permitir que o leitor com interesses pontuais se direcione univocamente, dando maior completude ao interesse de cada leitura. No entanto, o potencial deste projeto se eleva ao demonstrar entre suas unidades as principais interseções.

Quanto aos *I. Princípios de um Programa de Pesquisa Epistemológica*, o próprio capítulo já se estabelece como um projeto futuro a ser desempenhado em coletivo, convidando os interessados a uma possível colaboração. Além disto, nele se estabelece um panorama crítico em face dos problemas da epistemologia e da história da filosofia da ciência ao longo do século XX, apontando seus impasses e soerguendo seu projeto como tentativa de superação. Sua maior riqueza é o próprio risco que assume, após destacar a necessidade conjunta de uma epistemologia que se desenvolva em níveis heurísticos, axiológicos e sociais e discorrer sobre a pluralidade das ciências, ele se propõe de forma criativa a elaborar os princípios do que pode ser chamado de um programa de pesquisa epistemológica e atenta para uma primeira aplicação, com base na Teoria da Relatividade Especial (neste capítulo a escolha da teoria para apenas como proposta com justificativa, mas ela volta a ser discorrida de forma histórica e conceitual no capítulo três, permitindo ao leitor um maior aprofundamento).

Após o panorama geral, crítico e criativo da primeira unidade, a escolha dos *II. Círculos de Viena e Berlim* na segunda se justifica amplamente não só como maior desenvolvimento de uma influente corrente da filosofia da ciência do século XX, mas pelos avanços institucionais do movimento lógico-empirista poderem espelhar muito

dos ímpetus institucionais que seriam necessários a um programa de pesquisa de índole científico-filosófica; ressalta-se aqui que este espelhamento não significa se basear diretamente nas doutrinas e no pensamento do Empirismo Lógico (a isto cabe a postura destacada pela Convenção dos Afluentes, integrando-a às demais), significa apreciar o fato dos Círculos de Viena e Berlim terem constituído um movimento institucionalizado e híbrido, com divergências internas e grande diálogo com a ciência de sua época, o que é raro entre boa parte dos movimentos filosóficos e autores conquistarem em sua própria época. Estas foram características importantes que levaram à retomada dos seus estudos e posturas parciais na década de 1990, hoje se contemplando trabalhos que não atacam de forma reducionista a importância do movimento e destacam sua relevância institucional, além daquelas com aplicações à lógica, à matemática e à física.

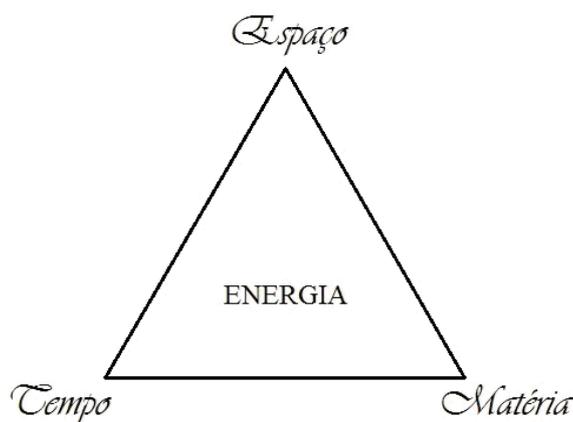
A segunda unidade forma um capítulo de transição, pois ao desenvolver um dos afluentes do primeiro, dá a contextualização necessária para o capítulo seguinte, sobre a *III. Filosofia do Espaço & Tempo* com base nas próprias obras de Carnap, Schlick e Reichenbach. É válido ressaltar que todas as análises e obras dos empiristas lógicos aqui abordadas, de ‘*Espaço e Tempo na Física Contemporânea*’ de Schlick (1917) à ‘*Filosofia do Espaço & Tempo*’ de Hans Reichenbach (1927), todas elas se remontam aos estágios iniciais do desenvolvimento do Empirismo Lógico e da própria formação dos Círculos de Viena e Berlim, contribuindo enquanto análises epistemológicas das teorias físicas e dos conceitos de espaço e tempo, portanto ainda não inerentes ao enrijecimento das doutrinas do movimento e mais enriquecedoras perante a reformulação das posturas lógico-empiristas e sua não aceitação por correntes contrárias.

Desta forma, os três capítulos se fecham completamente apresentando a proposta do programa e logo depois desenvolvendo um de seus afluentes, com aplicações no domínio da física, selando um trabalho de índole científico-filosófica, como foi pretendido. A proposta de tese com base no Programa de Pesquisa Epistemológica já está selada. Agora apresentaremos uma breve compreensão dos conceitos elementares da realidade física; espaço, tempo e matéria, apoiada no conceito de triângulo lógico. Ao final, o Apêndice A sela a proposta de contribuição às Teorias do Espaço & Tempo apoiada em recentes contribuições à física e à filosofia contemporânea – a *Hyperphysics* do recente grupo de pesquisa lusitano.

## O TRIÂNGULO LÓGICO

Concluindo a interpretação com relação aos conceitos elementares da realidade física, podemos dizer que espaço, tempo e matéria formam um *triângulo lógico*. Ou seja, um triângulo lógico onde cada elemento, cada ponto deste “triângulo”, só é provido de significado quando associado aos outros dois elementos correspondentes; se um elemento é preterido, os outros dois automaticamente perdem seus significados. Ou seja, espaço, tempo e matéria não existem em absoluto, são inseparáveis, não havendo sentido em se falar de um sem os outros dois, e vice-versa. E no centro deste triângulo talvez esteja a energia (unidade primordial que unifica todas as três e move todo o fenômeno da natureza) ou possa estar qualquer outra unidade física que combine as três fundamentais.

Na verdade, espaço, tempo e matéria formam uma categoria ontológica só, indissociável, representada pelo triângulo lógico. Se existe uma, existem as três. A única associação que existe em absoluto, portanto, é a de: espaço-tempo-matéria.



**Figura 5 - O Triângulo Lógico dos Conceitos Elementares da Realidade Física.**

Neste ponto, discorda-se da visão de ordem temporal e das tentativas de derivar as propriedades do espaço através do tempo, citadas no capítulo anterior. Ou seja, discorda-se da visão de Reichenbach ao dizer: “*O tempo é logicamente anterior ao espaço*”. Devemos admitir *espaço-tempo-matéria* como uma associação inseparável e coexistente na realidade física: o tempo (em sua forma objetiva) não é nada mais do que a sequencialidade da matéria no espaço; as propriedades da matéria se resumem à sua interação no espaço-tempo e o espaço é produto da distribuição da matéria que se move

no tempo. Estes conceitos se separam por um processo de abstração, mas empiricamente são indissociáveis, não fazendo sentido ressaltá-los separadamente. Por mais que esta discordância com as ideias antecessoras seja parcial e aqui argumentada apenas de forma intuitiva, ela abre caminho para a generalização de uma nova teoria do espaço, a teoria da completa coexistência, tanto lógica quanto empírica.

Esta associação definitivamente pôde ser estabelecida através da Teoria da Relatividade Geral, sendo as questões de espaço, tempo e matéria uma das principais provas de correlação entre a física e a filosofia; de como a ciência e a filosofia se interligam e se alimentam uma da outra, onde inovar os fundamentos da ciência requer renovar também as bases filosóficas fundamentais que ela se apóia.

Como prova de contribuição da análise da linguagem científica para a própria ciência, a escola lógica-empirista se destacou com grandes trabalhos voltados para as ciências da natureza, assim como pra lógica e pra epistemologia, como dito anteriormente. No entanto, muito além das desavenças com suas posturas mais radicais e da discordância de ideias, uma releitura dos trabalhos de mentes como Schlick, Carnap e Reichenbach se mostra eficaz, de grande relevância atual e ainda podem gerar bons frutos na contribuição ao estado contemporâneo da ciência.

*“Espaço, tempo e matéria;  
Tempo é matéria no espaço,  
Matéria no espaço e tempo...*

*Tempo no espaço é matéria,  
Espaço em matéria é tempo,  
Matéria no tempo é espaço.*

*Matéria no espaço-tempo;  
Espaço em tempo-matéria;  
Tempo em matéria-espaço;*

*Espaço-tempo-matéria.”*

(FILIPE PAMPLONA)

## REFERÊNCIAS

---

### I. PRINCÍPIOS DE UM PROGRAMA DE PESQUISA EPISTEMOLÓGICA:

- BACHELARD, Gaston (1884-1962). *L'épistemologie*. Presses Universitaires de France, 1971. Tradução: Fátima L. Godinho e Mário C. Oliveira. Edições 70, Lisboa, 2006.
- BUNGE, Mario. *Física e Filosofia*. Tradução: Gita K. Guinsburg. São Paulo, Perspectiva, 2000.
- La Investigación Científica: su Estrategia y su Filosofía*, Ed. Ariel, Barcelona, 1969.
- FEYERABEND, Paul (1924-1974). *Contra o Método*. Trad.: Octanny Mota e Leonidas Hegenberg. Rio de Janeiro: Ed. Francisco Alves, 1977.
- FRIEDMAN, Michael. *Reconsidering Logical Positivism*. Cambridge University Press, First Published 1999.
- GALISON, Peter & STUMP, David J. *The Disunity of Science*. Stanford University Press, California, 1996.
- HAHN, Hans, NEURATH, Otto, CARNAP, Rudolf. *A Concepção Científica do Mundo – O Círculo de Viena* (1929). Tradução presente em: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* 10, 1986, pág-5-20.
- HESSEN, Johannes (1889-1971). *Tratado de Filosofia*. Buenos Aires: Editora Sudamericana, 1970.
- JAKOBSON, Roman. *Linguística e Comunicação*. Trad.: Isidoro Blikstein e J. Paulo Paes. São Paulo, Editora Cultrix: 22ª Edição, 2010.
- KRAFT, Victor (1880-1975). *The Viena Circle*. Greenwood Press, Publishers New York, 1953.
- KUHN, Thomas. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Trad.: Beatriz Boeira e Nelson Boeira. 9ª Edição. São Paulo: Perspectiva, 2006.
- LAKATOS, Imre (1922-1974).
- Philosophical Papers I: the methodology of scientific research programmes*. Nova York: Cambridge University Press, 1989.
- O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica*. Em MUSGRAVE, A. (orgs.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix/EdUSP, 1979.
- REICHENBACH, Hans (1891-1953). *Experience and Prediction: An analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. University of California Press (7ª), 1970.
- VIDEIRA, Augusto. *A Filosofia da Ciência sob o signo dos Science Studies*. *Abstracta* 2: 1 pp.70–83, 2005.
- VIDEIRA, Augusto e MIGUEL, Leonardo. *A distinção entre os “contextos” da descoberta e da justificação à luz da interação entre a unidade da ciência e a integridade do cientista: o exemplo de William Whewell*. *Revista Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 33-48, 2011.

- VIDEIRA, Augusto (*organização*). *Perspectivas Contemporâneas em Filosofia da Ciência*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012.
- MIGUEL, Leonardo Rogério. *William Whewell: As Motivações e os Objetivos de um Filósofo da Ciência*. (Pág.13-44)
- GIL, Davi da Silva San. *O Positivismo Lógico e o Contexto Sociopolítico de seu surgimento*. (Pág.45-88)
- MACHADO, Cristina de Amorim. *Laudan, a Sociologia da Ciência e a Questão da Demarcação entre Ciência e Pseudociência*. (Pág.89-130)
- ARAÚJO, Priscila Silva. *Feyerabend e o Pluralismo*. (Pág.131-164)
- VITA, Luís Washington (1921-1968). *Introdução à Filosofia*. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1964.
- ZAHAR, Elie. *Why did Einstein's Programme supersede Lorentz's?* British Society for the development of science, 1970. Published in: *British Journal for the Philosophy of Science*, 1973: págs.211–275.

## II. EMPIRISMO LÓGICO: OS CÍRCULOS DE VIENA E BERLIM:

*\* Somam-se às referências do capítulo I...*

- CARNAP, Rudolf (1891-1970). *Logical Syntax of Language* (1937). Translated by Amethe Smeaton. New Fetter Lane, London, 2001.
- COMTE, Auguste (1797-1857). *Curso de Filosofia Positiva*. Os Pensadores. Editor: V. Civita. Trad.: J. Giannotti e Miguel Lemos. Abril Cultural, SP, 1978.
- DOS SANTOS, Luís Henrique. *Schlick & Carnap: Vida e Obra*. Os Pensadores. Abril Cultural e Industrial, São Paulo, 1980.
- MACH, Ernst (1838-1916).  
*The Science of Mechanics: a critical and historical account of its development* (1883).  
*The Analysis of Sensations: and the Relation of the Physical to the Psychical* (1897). Translated by C. M. Williams. Dover Publications, New York, 1959.
- MURZI, Mauro. *Reichenbach, Hans*. Encyclopedia of Philosophy, 2<sup>nd</sup> Edition, Macmillan Reference USA, 2006.
- PORTELA FILHO, R. (UFMA) & PORTELA, C. A. (UFMA). *Aspectos do Atomismo Lógico de Russell*. Cad. Pesq. São Luís, v.11, n.1, p.9-28 (2000).
- REICHENBACH, Hans (1891-1953). *The Rise of Scientific Philosophy*. University of California Press, 1951.
- RICHARDSON, Alan & UEBEL, Thomas (editors). *Logical Empiricism*. Cambridge University Press, 2008.
- STADLER, Friedrich. *The Vienna Circle: Context, Profile and Development*. (págs.13-40)
- HOFFMANN, Dieter. *The Society for Empirical/Scientific Philosophy*. (págs.42-57)

RUSSELL, Bertrand (1872-1970).

*A Filosofia do Atomismo Lógico* (1918). *Lógica e Conhecimento; Ensaios* (1950). Trad.: Pablo Mariconda. Os Pensadores XLII. São Paulo: Ed. Abril Cultural, 1976.

*História do Pensamento Ocidental* (1946). Trad.: Laura Alves e Aurélio Rebello. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.

*Temática Barsa* – Rio de Janeiro: Barsa Planeta, 2006. *Volume 3: Filosofia*.

WITTGENSTEIN, Ludwig (1889-1951). *Tractatus Logico-Philosophicus* (1922). Trad.: J.Giannotti, São Paulo: ED. Companhia Nacional, USP (1968).

---

### III. FILOSOFIA DO ESPAÇO & TEMPO

\* Somam-se às referências dos capítulos I e II...

BASRI, S. *A Deductive Theory of Space and Time* (North-Holland Publishing Company, 1966).

CARNAP, Rudolf (1891-1970).

*Der Raum: Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre.* (1921)

“Über die Abhängigkeit der Eigenschaften des Raumes von denen der Zeit”, *Kantstudien* (1925).

CARUSO, Francisco.

601 Books on Space. Maluhy & Co. 2012.

(editor) *Diálogos Sobre o Tempo*. Maluhy & Co, 2010. *Nota Sobre a Dimensionalidade do Tempo* (pags.1-8).

& XAVIER, R. M. *On the Physical Problem of Spatial Dimensions: an Alternative Procedure to Stability Arguments*. *Fundamenta Scientiae* 8 (1987), p.73-91.

& OGURI, Vitor. *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*. Elsevier, RJ, 2006.

EINSTEIN, Albert (1879-1955). *A Teoria da Relatividade Especial e Geral*. Trad.: Carlos A. Pereira – Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.

FRIEDMAN, Michael. *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and the Philosophy of Science* (1983)

GRUNBAUM, Adolf. (1923)

*Geometry, Chronometry and Empiricism* (1962).

*Philosophical Problems of Space and Time* (1963, 1973).

JAMMER, Max (1915-2010). *Conceitos de Espaço: A História das Teorias do Espaço na Física / Apresentação Albert Einstein*. Trad.: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, Ed. PUC-Rio, 2010.

LYRA, Alexandre (UFRJ) & CARVALHO, Marcelo (UFSC). *Unifying The Galilei and The Special Relativity*. [vixra.org/pdf/1301.0008v1]

MACH, Ernst (1838-1916). *Space and Geometry in the Line of Physiological, Psychological and Physical Inquiry*. Translated by Thomas McCormack. La Salle, Chicago, 1906.

MILNE, E. *Kinematic Relativity* (Londres: Oxford University Press, 1948).

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física Básica – Vol.4 / Ótica, Relatividade, Física Quântica. São Paulo: Blucher, 1998.

OHANIAN, Hans. *Gravitation and Spacetime*. New York – London: W. W. Norton & Company, 1976.

REICHENBACH, Hans (1891-1953).

*Relativitätstheorie und Erkenntnis apriori* (1920) English translation: 1965. *The theory of relativity and a priori knowledge*. University of California Press.

*Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre* (1924). English translation: 1969. *Axiomatization of the theory of relativity*. University of California Press.

*Von Kopernikus bis Einstein. Der Wandel unseres Weltbildes* (1926). English translation: 1942, *From Copernicus to Einstein*. Alliance Book Co.

*Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* (1928). English translation: Maria Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*. Dover, 1957.

ROBB, A. A. *A Theory of Time and Space* (Cambridge University Press, 1913, 1914, 1936).

SANTOS, José Carlos. *Minkowski, Geometria e Relatividade*. Revista Brasileira de História da Matemática (vol. 9, nº18, 2009, pp. 115–131).

SCHLICK, Moritz. *Space and Time in Contemporary Physics*. 3ªEd. Oxford Univ. Press, 1920.

SCHUTZ, Bernard. *A First Course in General Relativity*. Cambridge University Press. Second Edition, 2009.

#### TEXTOS FUNDAMENTAIS DA FÍSICA MODERNA:

Volume I – *O Princípio da Relatividade*.

Trad.: Mário José Saraiva. Lisboa: Fund. C. Gulbenkian, 1958.

LORENTZ, Hendrick. *A Experiência Interferencial de Michelson*, 1895.

LORENTZ, Hendrick. *Fenômenos Eletromagnéticos num Meio Sistema que se Move com Velocidade inferior à da Luz*, 1904.

EINSTEIN, Albert. *Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*, 1905.

MINKOWSKI, Hermann. *Espaço e Tempo*, 1908.

EINSTEIN, Albert. *Sobre a Influência da Gravidade na Propagação da Luz*, 1911.

EINSTEIN, Albert (1916). *Os Fundamentos da Teoria da Relatividade Geral*.

EINSTEIN, Albert (1917). *Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade Geral*.