

**Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ),
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza (CCMN),
Observatório do Valongo (OV).**

**O NEOPOSITIVISMO & A FILOSOFIA
DO ESPAÇO-TEMPO**

Aluno: Filipe Pamplona Nascimento Gonçalves.

Orientador: Carlos Benevenuto Guisard Koehler (HCTE / UFRJ)

Projeto de Conclusão de Curso para a obtenção do título de Astrônomo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CCMN - OBSERVATÓRIO DO VALONGO
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA



PROJETO FINAL

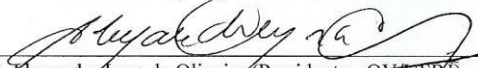
RELATÓRIO DA COMISSÃO JULGADORA

ALUNO: Filipe Pamplona Nascimento Gonçalves (DRE 106037690)

TÍTULO DO TRABALHO: "O NEOPOSITIVISMO & A FILOSOFIA DO ESPAÇO-TEMPO".

DATA DA DEFESA: 13 de dezembro de 2012 às 14:00h

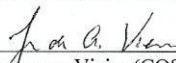
MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA:




Prof. Alexandre Lyra de Oliveira (Presidente - OV/UFRJ)




Prof. Carlos Beneyenuto Guisard Koehler - (Orientador - HCTE/UFRJ)



Prof. Jorge de Albuquerque Vieira (COS/PUC/SP)

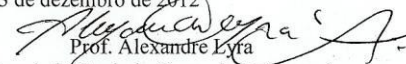


Prof. José Adolfo S/de Campos - (Suplente - OV/UFRJ)

CANDIDATO: 

Filipe Pamplona Nascimento Gonçalves

Rio de Janeiro, 13 de dezembro de 2012


Prof. Alexandre Lyra
Coord. de Grad. do Curso de Astronomia

*“[...] Ou com tua aula de física
Querias mostrar que o tempo
Não é um fio inteiriço
Mas se desfia em fragmentos?*

*Em se mostrar como espaço
Ou mostrar que o espaço tem
O tempo dentro de si,
Que eles são dois e ninguém?
[...]”*

(JOÃO CABRAL DE MELO NETO)

Esta monografia é dedicada ao Observatório do Valongo – à “maternidade” que torna possível os sonhos de astrônomos neste país, já desde a graduação.

Seguindo uma direção interdisciplinar e epistemológica, este trabalho pode ser visto como um compêndio didático e introdutório aos interessados em filosofia, astronomia e física; transcorrendo (i) a *Filosofia da Ciência*, (ii) a *Filosofia Científica do Neopositivismo* e (iii) suas análises epistemológicas da Teoria da Relatividade Geral, que configuram a chamada ‘*Filosofia do Espaço-Tempo*’ – por fim, trazendo as provisórias conclusões de um trabalho que continua em andamento.

Dedico esta monografia, portanto, aos aprendizes do Valongo que prezam pelo conhecimento epistemológico de suas ciências.

Agradecimentos ao Prof. JORGE ALBUQUERQUE VIEIRA, pela introdução aos estudos da filosofia através de seu curso – *Perspectiva Astronômica* – o qual influenciou toda a gênese da minha carreira; ao Prof. ALEXANDRE LYRA, pelas prodigiosas discussões e indicações bibliográficas que culminaram na ideia desta monografia; e ao Prof. CARLOS KOEHLER, o qual permitiu que todo este trabalho se consolidasse, assim como tantos outros que virão.

Agradeço também à Prof^a. TERESA STUCHI e ao Prof. JOÃO TORRES, docentes do Instituto de Física da UFRJ, pelas breves, mas inspiradoras iniciações científicas que ajudaram na minha formação.

Finalmente, agradeço aos dois parceiros do Triângulo Mineiro que vieram empreitar esta carreira ao meu tempo – LOLOANO CLAUDIONOR DA SILVA e DIOGO BELLONI – mentes das quais preservo profundo respeito e admiração.

A todos os demais cúmplices, minha eterna gratidão.

RESUMO

A ascensão do pensamento científico no mundo contemporâneo é produto de um processo contínuo, iniciado desde o Renascimento até os dias de hoje, onde a escola neopositivista se destaca por ter consolidado isto, mas num certo radicalismo que levou a uma boa parte de suas posturas serem refutadas posteriormente, até mesmo por seus próprios integrantes. No entanto, é nítido que a ciência de hoje ainda preserva um caráter altamente positivista, seja na postura, método, ou no auto-entendimento (consciente ou inconsciente) de grande parte de seus pesquisadores.

Além das enormes contribuições nos campos da lógica e da epistemologia, o mais importante para os propósitos deste trabalho, no que diz respeito ao Neopositivismo, é justamente o fato do movimento ter surgido nas primeiras décadas do século XX, formado por pesquisadores de ampla formação física, matemática e filosófica, onde muitos se destacaram pelas análises e contribuições às novas físicas que estavam surgindo na época – a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica – além das novas descobertas astronômicas que mudaram a concepção cosmológica do século XX.

O objetivo deste trabalho é mostrar como uma corrente filosófica foi capaz de trazer notáveis contribuições a uma teoria física que perdura até hoje, que inclusive sustenta a nossa atual concepção científica de formação do Universo, além de trazer à tona discussões fundamentais acerca dos conceitos de espaço, tempo e matéria; as diferenças entre geometria matemática e geometria física; os pilares filosóficos que sustentam o pensamento científico e como a Astronomia se insere em cada contexto, desde a Teoria da Ciência à Filosofia do Espaço-tempo.

Palavras-chave: neopositivismo, teoria da relatividade, epistemologia, espaço-tempo, cosmologia.

ABSTRACT

The rise of scientific thought in the contemporary world is the product of an ongoing process, started from the Renaissance to the present day, where the neopositivist school have consolidated this, but with a certain radicalism that led to a part of their postures be posteriorly refuted, even by its own members. However, it is clear that the science of today still preserves a highly positivist character, whether in the posture, method, or in the self-understanding (conscious or unconscious) of much of its researchers.

Besides the enormous contributions in the fields of logic and epistemology, the most important for the purposes of this study, with regard to Neopositivism, is precisely the fact that the movement has arisen in the first decades of the twentieth century, formed by researchers from broad physical, mathematical and philosophical training, where many stood out by the analysis and contributions to new physics that were emerging at that time – the Theory of Relativity and Quantum Mechanics – beyond the new astronomical discoveries that changed the cosmological conception of the twentieth century.

The objective of this work is to show how a philosophical current was able to bring outstanding contributions to a physical theory that continues today, including that supports our current scientific view about the origin of the Universe, as well as bring up discussions about the fundamental concepts of space, time and matter, the differences between mathematical and physical geometry; the philosophical pillars that underpin scientific thinking and how astronomy is inserted in each context, since the Theory of Science to the Philosophy of Space-time.

Keywords: neopositivism, theory of relativity, epistemology, spacetime, cosmology.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| Introdução | 10 |
| I. A FILOSOFIA DA CIÊNCIA | 12 |
| 1) As Disciplinas Filosóficas | 13 |
| 2) A Teoria da Ciência | 15 |
| 2.1) Lógica | 15 |
| <i>Os princípios lógicos</i> | 17 |
| 2.2) Gnosiologia | 19 |
| <i>Principais teses gnosiológicas</i> | 20 |
| 2.3) Epistemologia | 22 |
| <i>Epistemologia da Astronomia</i> | 26 |
| 3) A Cosmologia | 27 |
| <i>Causalidade e Causação</i> | 30 |
| <i>Determinismo e Indeterminismo</i> | 32 |
| II. O NEOPOSITIVISMO – A Filosofia Científica | 35 |
| 1) As Origens do Positivismo e da Filosofia Analítica | 35 |
| (De Comte, Mach à Bertrand Russell & Wittgenstein) | |
| <i>A Lei dos Três Estados</i> | 36 |
| <i>Ernst Mach & O Empiriocriticismo</i> | 37 |
| <i>A Astronomia no Positivismo</i> | 38 |
| <i>A Filosofia Analítica</i> | 40 |
| 2) Os Círculos de Viena & Berlin | 43 |
| <i>Moritz Schlick</i> | 45 |
| <i>O Empirismo Lógico</i> | 47 |
| <i>Rudolf Carnap</i> | 50 |
| <i>Hans Reichenbach</i> | 53 |
| III. A FILOSOFIA DO ESPAÇO-TEMPO | 56 |
| 1) Os Conceitos Elementares da Realidade Física | 59 |
| <i>A Matéria</i> | 60 |

| | |
|---|-----------|
| <i>O Espaço</i> | 61 |
| <i>O Tempo</i> | 62 |
| 2) Os Princípios da Relatividade Geral & Especial | 64 |
| <i>Noções da Teoria Especial da Relatividade</i> | 64 |
| <i>Noções da Teoria Geral da Relatividade</i> | 75 |
| 3) A Interpretação Neopositivista | 83 |
| IV. CONCLUSÕES & PERSPECTIVAS FUTURAS | 89 |
| Referências Bibliográficas | 93 |
| <i>Rondó das Estrelas</i> | 95 |

INTRODUÇÃO

O objeto direto de investigação desta monografia é o possível conjunto de interseção formado por dois outros grandes conjuntos, dois grandes complexos do conhecimento humano, que ao longo dos últimos séculos tornaram-se estritamente diferentes e mergulharam num grau de alienação mútua que assola os meios acadêmicos até hoje – trata-se das possíveis interseções entre a Filosofia e a Ciência.

Nascidas na Grécia Antiga (como as conhecemos hoje) e desde então aliadas na compreensão da realidade objetiva do mundo, estas duas áreas do conhecimento ainda estiveram fortemente interligadas durante a Idade Moderna, onde pensadores como LEIBNIZ e DESCARTES possuíam formação tanto científica quanto filosófica, trazendo contribuições em ambas as áreas. Em KANT, já no século XVIII, ainda encontramos uma filosofia de caráter ressonante com o conhecimento científico de sua época, mas os grandes sistemas filosóficos que o sucederam passaram a ter nenhuma conexão com a ciência de seu tempo – estamos falando do Idealismo Alemão, a filosofia natural de SCHELLING e o idealismo absoluto de HEGEL, que influenciaram predominantemente a filosofia do século XIX; os componentes especulativos, racionais e analíticos do sistema de KANT foram preservados, enquanto a intrínseca relação com a Ciência foi renunciada (isto num tempo em que campos científicos como o eletromagnetismo, a espectroscopia, os avanços na química e o evolucionismo biológico, por exemplo, cresciam com toda a força).

Em contrapartida, ainda no século XIX, o positivismo de COMTE trazia uma resposta radicalmente oposta à metafísica absoluta que dominava o cenário filosófico europeu, erguendo uma filosofia de ascensão do pensamento científico que teve grande repercussão, especialmente nas obras de ERNST MACH e na filosofia analítica do século XX, de onde se origina o Neopositivismo dos Círculos de Viena e Berlin. Apesar do alto grau de especialização, especificação e desenvolvimento das diversas áreas do conhecimento no século XX, novos profissionais nos campos da epistemologia e de áreas interdisciplinares surgiram, revitalizando a importância da filosofia para o progresso da Ciência. Além do mais, grande parte dos problemas encarados pela física do século XX foram problemas de cunho filosófico no século XIX, sendo a Teoria da Relatividade um grande exemplo de como a fundamentação filosófica é determinante para o pensamento científico.

Tendo em vista toda esta problemática – das possíveis relações e interseções entre a Ciência e a Filosofia – e, como projeto de final de curso, relevando a importância deste tema para o domínio da Astronomia, o caminho escolhido nesta monografia segue três paralelos que se “unem no infinito”; primeiramente abordaremos a Filosofia da Ciência como um todo, argumentando sobre as bases filosóficas que sustentam o pensamento científico; em segundo lugar, trataremos do Neopositivismo e suas origens, onde o pensamento científico determina de uma vez por todas o caráter da filosofia, fundindo-se numa atividade única; e em terceiro lugar, extrairemos do Neopositivismo as análises da Teoria da Relatividade que culminaram na filosofia do espaço-tempo.

A Astronomia se insere, portanto, em cada ponto ao tratarmos da ciência em geral e de maneira específica ao questionarmos uma epistemologia da Astronomia, ao contextualizarmos a Astronomia no Positivismo e ao tratarmos dos conceitos de espaço, tempo e matéria dentro da Teoria da Relatividade Geral – teoria esta que projeta nossos olhares sobre todo o Cosmo, principalmente nas grandes escalas. Entende-se assim que a maior parte da nossa compreensão acerca dos astros se baseia na nossa compreensão física do Universo, onde a física, por si mesma, é a ciência elementar de fundamentação filosófica mais determinante.

I. A FILOSOFIA DA CIÊNCIA

“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) ¹

O primeiro capítulo desta monografia dedica-se exclusivamente à Teoria da Ciência dentro do sistema filosófico, acrescentando-lhe aqui uma parte da Teoria do Mundo que corresponde à Cosmologia; esta não só em sua acepção física e astronômica, mas antes de tudo como disciplina filosófica ².

A filosofia, como matriz de todo conhecimento científico, é, ao mesmo tempo, em sua parte teórica, a ciência de todo conhecimento. Seus objetos são o pensamento e o conhecimento científicos, ou seja, o instrumento espiritual 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 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.

¹ Referência [15], Pág. – 127. {Todo termo [N] utilizado ao longo deste trabalho designará sua correspondente *Referência Bibliográfica*, número ‘N’, apresentada ao final da monografia.}

² Este capítulo pode ser visto como um *compêndio didático* da proposta de introdução à filosofia do autor LUÍS WASHINGTON VITA (Ref. [15]), em muito influenciada por JOHANNES HESSEN (Ref. [4]), atendo-se nos princípios da Teoria da Ciência e da Cosmologia, além das incrementações próprias deste trabalho.

A filosofia então – considerada em seu aspecto teórico – não é simplesmente a ciência do conhecimento e do pensamento, mas é, acima de tudo, a ciência das normas e das leis gerais imanentes no pensamento e no conhecimento, de onde procedem, por sua vez, as regras e leis de todo pensamento e conhecimento especiais. Com efeito, as ciências especiais não investigam estas leis e regras gerais, porquanto são simplesmente admitidas como pressuposições evidentes e indiscutíveis de toda ciência. Estes supostos podem ser de duas espécies: *hipóteses do conhecimento* e *hipóteses do pensamento*. No primeiro caso temos, por exemplo, as seguintes hipóteses do conhecimento: *o suposto de uma realidade independente da consciência, o da realidade objetiva e da tridimensionalidade do espaço, a legitimidade da aplicação dos conceitos de tempo, número e causalidade ao mundo corpóreo, admitido como real*. Estes supostos são denominados ‘*pressuposições materiais*’, sendo portanto as *suposições do pensamento* a aceitação do valor geral absoluto das formas de nosso juízo e de nosso raciocínio e sua aplicação indiscutível no método das ciências.

Assim, o estudo geral da filosofia não se mostra como um pré-requisito básico ao cientista para seu trabalho técnico e intra-contextual, mas para aqueles que almejam significativas contribuições, a compreensão das bases filosóficas que tais conhecimentos alteram, repercutem e se apoiam é fundamental.

1) *As Disciplinas Filosóficas*

Método e sistema integram a essência do saber científico, no qual o segundo representa seu aspecto de conteúdo e o primeiro seu aspecto formal. Em outras palavras: ‘sistema’ é o conjunto ordenado de conhecimentos ou conteúdos de uma ciência; e método, o caminho seguido para construir e atingir esse conjunto. Daí afirmar A. J. AYER (1910-1989; filósofo neopositivista britânico): “*A filosofia se distingue das outras artes e ciências mais pelo método do que pelo objeto*”.

Durante grande parte da época moderna até hoje foram realizados muitos esforços para apresentar a filosofia em diversas disciplinas sistematizadas, mas uma única conclusão parece certa se adotamos o método da indução histórica: que a filosofia possui um grau de flexibilidade maior que nenhum outro conhecimento humano. Daí a filosofia ser, de certo modo, tudo.

Diante do exposto, atendendo à sistematicidade da filosofia vinculada à sua problematicidade, no presente trabalho a filosofia é dividida em três partes: I – Teoria

da Ciência (integrada pela Lógica, pela Gnosiologia e pela Epistemologia, ou seja, a primeira é a doutrina formal da ciência que estuda as estruturas do pensamento; a segunda é a doutrina material da ciência; e a terceira, uma subespécie da segunda); II – Teoria dos Valores (pela Axiologia, Ética, Estética e Filosofia da Religião, ou Hierosofia); III – Teoria do Mundo (pela Cosmologia e pela Antropologia Filosófica, ou Antroposofia).

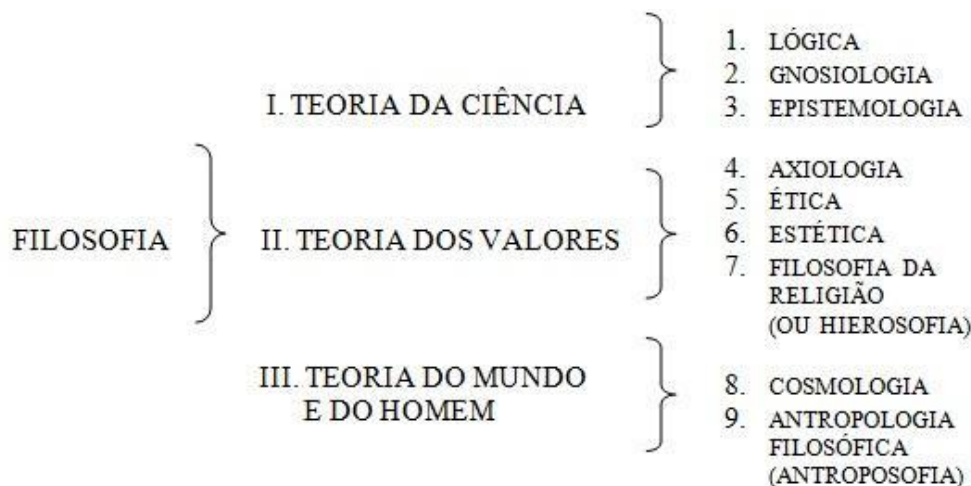


Figura 1: As Disciplinas Filosóficas.

Dentro da Teoria dos Valores a Axiologia representa sua vertente mais geral, sendo esta própria designada por ‘filosofia dos valores’ – ou seja, o conjunto das ciências normativas e a crítica da noção de valor, em geral. Ao sairmos do campo da análise formal e objetiva do conhecimento, deparamo-nos com o problema dos valores que empregamos a todas as coisas; o que, em última instância, determinará nossos sistemas de aversões e juízos fundamentais. De forma complementar, a Ética representa a ciência que se ocupa dos objetos morais em todas as suas formas, ou seja, a filosofia da moral; a Estética é a teoria geral da sensibilidade, o estudo teórico da arte e da reflexão sobre o evento artístico; por fim, a Filosofia da Religião (ou Hierosofia), como o próprio nome sugere, estuda a totalidade dos nossos sistemas de crenças e fundamentações religiosas.

Dentro da Teoria do Mundo e do Homem, a Antropologia Filosófica (ou Antroposofia) representa a parte da filosofia que investiga a estrutura essencial do homem, ou seja, é a doutrina que determina a essência e estrutura do ser humano em sua integridade e unidade, seu lugar no universo, sua relação com a realidade última, metafísica e seu sentido da existência, tanto individual como histórica e social.

As demais disciplinas filosóficas – que compõem a Teoria da Ciência (Lógica, Gnosilogia e Epistemologia) e a Cosmologia – serão abordadas separadamente neste capítulo, introduzindo alguns conceitos fundamentais que serão utilizados posteriormente, tanto na compreensão do empirismo lógico como na síntese da filosofia do espaço-tempo para a Relatividade Geral.

2) *A Teoria da Ciência*

Entre a filosofia e as disciplinas filosóficas perdura uma relação e um vínculo, diferindo entre elas mais a forma do que o conteúdo. Esta autêntica divisão da filosofia em nove áreas distintas (influenciada por JOHANNES HESSEN em seu '*Tratado de Filosofia*', 1957) distingue-se das divisões tradicionais, onde áreas como a metafísica, ontologia ou a filosofia da história podem ser vistas como disciplinas independentes, mas aqui se entende que tais conteúdos já estão intrínsecos e percorrem a maior parte destes grupos estabelecidos, não tendo que necessariamente constituir disciplinas filosóficas independentes.

A proposta de se abordar alguns pontos da Teoria da Ciência nesta monografia tem o intuito de demonstrar como algumas questões fundamentais do conhecimento, no plano filosófico, apresentam-se (ou se apresentaram, num dado momento histórico) de suma importância para a investigação científica e, na maior parte das vezes, já se encontram pré-estabelecidas para o trabalho científico.

2.1) Lógica

A Lógica é o estudo filosófico do raciocínio válido. Ela examina de forma genérica as formas que a argumentação pode tomar, quais dessas formas são válidas e quais são falaciosas, podendo então ser definida como uma atividade genérica e essencial do pensamento, obtida pela análise do pensamento expresso, ou seja, pela estrutura da linguagem.

O conceito de forma lógica é central e assenta na ideia de que a validade de um argumento é determinada pela sua forma, não pelo seu conteúdo. A partir disto, podemos distinguir diferentes ramos da Lógica:

- Lógica informal: é o estudo da argumentação em língua natural.

- Lógica formal: é o estudo da inferência com conteúdo puramente formal. Uma inferência possui um *conteúdo puramente formal* se ele pode ser expresso como um caso particular de uma regra totalmente abstrata, isto é, uma regra que não é sobre qualquer coisa em particular. As obras de ARISTÓTELES contêm o primeiro estudo formal da lógica (*Organon*, onde se encontra a teoria do silogismo e etc.). A lógica formal moderna segue e amplia o trabalho de ARISTÓTELES.
- Lógica simbólica: é o estudo das abstrações simbólicas que capturam as características formais da inferência lógica. A lógica simbólica é frequentemente dividida em dois ramos:
 - Lógica proposicional (*ou cálculo sentencial*): sistema formal no qual as fórmulas representam *proposições* que podem ser formadas pela combinação de proposições atômicas, usando *conectivos lógicos* e um sistema de *regras de derivação*, que permite que certas fórmulas sejam estabelecidas como "teoremas" do sistema formal.
 - Lógica de predicados: também conhecida como *cálculo de predicados*, estuda a validade dos argumentos formados com sentenças nas quais ocorrem quantificadores (como *todo*, *algum* e *nenhum*).
- Lógica matemática: é uma extensão da lógica simbólica em outras áreas, em especial para o estudo da teoria dos modelos, teoria da demonstração, teoria dos conjuntos e teoria da recursão.

O evoluir da Lógica, desde os gregos até os nossos dias, não obedece a uma linha ascendente, de contínuo “progresso”, mas uma figura senoidal, com três períodos de grande desenvolvimento: de ARISTÓTELES ao estoicismo; a Idade Média nos séculos XII, XIII, XIV e parte do XV; e a época contemporânea a partir de GEORGE BOOLE (1815-1864) – matemático e filósofo britânico, criador da Álgebra Booleana, fundamental para o desenvolvimento da computação moderna – ou GOTTLIB FREGE (1848-1925) – criador da lógica matemática moderna. Nos períodos intermediários ocorreram movimentos de retrocesso, em parte por excessiva simplificação, em parte por esquecimento da tradição, mas houve, certamente, exceções em tais períodos (como, por exemplo, as contribuições de LEIBNIZ no século XVII).

No século XIX, enquanto todos os trabalhos referidos estavam sob a influência da matemática, e especialmente da aritmética, a tal ponto que podia se falar de um processo de *matematização* da lógica, FREGE introduz uma profunda revolução fundando a matemática na lógica. Noções fundamentais a respeito do número em termos de lógica de classes; a edificação de uma lógica sentencial com a correspondente análise da quantificação; a análise da designação e da significação; a importante distinção entre uso e menção dos signos – eis aí algumas das contribuições de FREGE para a fundamentação da matemática e da lógica.

Paralelamente se levavam a cabo, por vários matemáticos (WEIERSTRASS, DEDEKIND, CANTOR, PEANO), trabalhos de grande importância na fundamentação da aritmética. Especialmente influente foi o sistema de PEANO para a fundamentação da aritmética à base de cinco axiomas e três elementos primitivos: número, zero e sucessor. O descobrimento, por BERTRAND RUSSELL (1872-1970), dos paradoxos lógicos dentro da lógica quantificacional de FREGE, obrigou a uma tarefa de refundamentação da matemática. Essa tarefa culminou no *Principia Mathematica* (três volumes; 1910, 1912 e 1913), de RUSSELL e WHITEHEAD, um dos grandes elos na história da lógica contemporânea.

A partir daí a lógica atual tem avançado a passos de gigante com relação a toda a história dessa disciplina, correspondendo os últimos cem anos (fazendo uma grossa comparação) ao evoluir de ARISTÓTELES a BOOLE. As ideias de RUSSELL, especificamente, foram cruciais para o desenvolvimento da filosofia analítica no século XX. Sua obra procura estabelecer que as verdades matemáticas podem ser expressas como um sistema simbólico lógico e que toda verdade matemática pode ser deduzida, em última instância, de um pequeno conjunto de axiomas lógicos. Ele entende a Lógica como a essência da filosofia, já que seus métodos proporcionam as ferramentas idôneas para resolver muitos dos problemas que até aquele momento estiveram sujeitos ao caráter vago da filosofia. Tais ideias foram levadas adiante por WITTGENSTEIN (1889-1951) em sua obra *Tractatus Logico-Philosophicus* (1922), fundamentando o Atomismo Lógico – concepção de grande influência para a corrente neopositivista e que será tratada no próximo capítulo desta monografia.

– Os princípios lógicos –

Toda ciência parte de certos princípios. Estes princípios são juízos – afirmações – sem os quais é impossível construir o sistema em que cada ciência consiste. Pode-se,

em alguns casos, considerá-los evidentes, e em outros simplesmente convencionais; mas sempre são pontos de partida obrigatórios para construir o sistema de relações. Os princípios lógicos também são juízos, afirmações, mas ao invés de constituírem o ponto de partida de determinado sistema de relações, isto é, de uma determinada ciência, constituem *o ponto de partida de todas as ciências*, pois são princípios do próprio pensamento, aos quais toda ciência recorre. O pensamento, considerado em si mesmo, tem princípios que são prévios aos princípios especiais de qualquer ciência. Estes são os *princípios lógicos*, de validade universal, que fazem possível o próprio pensamento.

_ *Princípio de identidade*: existe uma realidade e essa realidade *é a que é*, ou seja, *é uma* (por exemplo: ‘A é A’, ou ‘A = A’).

_ *Princípio da não contradição*: a realidade *é a que é e não outra* (por exemplo: ‘A é B’ e ‘A não é B’ não podem ser verdadeiros os dois).

_ *Princípio do terceiro excluído*: a realidade *é um sistema de partes determinadas reciprocamente*. ‘A é B’ e ‘A não é B’ não podem ser falsos os dois. Se nego qualquer destes juízos, não tenho outra alternativa senão afirmar o outro. Sempre, ao julgar, estou na verdade ou no erro, não havendo terceiras possibilidades.

Por mais básicos e auto evidentes que pareçam, podemos pensar que em certos domínios semânticos estes princípios podem ser questionados, ou pelo menos relativizados, mas no fundo eles sempre prevalecem sobre quaisquer questões, pois questioná-los já suscita uma nova aplicação deles mesmos, sendo esta a aparente forma irreduzível em que o pensamento humano interage e constrói seu conhecimento.

Sem precisar adentrar aos conteúdos específicos da Lógica, a partir deste breve esboço, percebemos como um ramo da filosofia é capaz de trazer notáveis fundamentações para o pensamento de diversas áreas, sendo hoje o estudo da Lógica crucial tanto para as linguagens de programação, artificiais, quanto para a compreensão da linguística e do próprio conhecimento científico. A linguagem científica tem como ideal, ao contrário da linguagem natural, a eliminação dos subentendidos, das alusões e, na medida do possível, das metáforas. Ainda que nem sempre seja factível definir com toda precisão os termos empregados, tende-se a que cada expressão seja explícita,

eliminando-se as ressonâncias subjetivas, que são consideradas do ponto vista científico como virtudes inapreciáveis para sua linguagem: clareza, precisão, univocidade, rigor e impessoalidade são características que fazem da linguagem lógica uma das linguagens científicas.

2.2) Gnosiologia

Entendendo-se por ‘conhecimento’ o que resulta do ato de conhecer, no qual se aspira ao saber teórico das situações objetivas – sendo, portanto, o ‘conhecer’ a apreensão teórica dos objetos, seus modos e relações, e o ‘conhecimento’ o resultado da atividade cognoscitiva – sua indagação é tarefa da disciplina filosófica denominada ‘gnosiologia’ ou ‘teoria do conhecimento’.

Diferente do papel da Lógica, que estuda o pensamento e suas relações entre si, a Gnosiologia estuda a relação entre o sujeito que conhece e o objeto conhecido; ou seja, enquanto a primeira pergunta pela *correção formal do pensamento*, isto é, pela sua concordância consigo mesmo, pelas suas próprias formas e leis, a outra pergunta pela *verdade do pensamento*, isto é, pela sua concordância com o objeto. Nesse sentido, pode-se definir a Gnosiologia como a *teoria do pensamento verdadeiro*, em oposição à Lógica, que seria a *teoria do pensamento correto*.

O primado da questão ontológica sobre a gnosiológica no pensamento antigo e medieval não impediu, com efeito, que, com escassas exceções, tenham-se esgotados na Grécia todas as posições possíveis no problema do conhecimento. Contudo, somente na época moderna e, em particular, somente a partir de IMMANUEL KANT (1724-1904) que atinge a Gnosiologia maior importância dentro da área filosófica. Na filosofia antiga encontramos numerosas reflexões gnosiológicas, especialmente em PLATÃO e ARISTÓTELES, mas as investigações gnosiológicas estão englobadas nos textos metafísicos e psicológicos. Já na Idade Moderna, LOCKE, LEIBNIZ, BERKELEY e HUME trazem notáveis contribuições, mas é na *Crítica da Razão Pura* (1781) de KANT, sua obra gnosiológica capital, que ele procura dar uma fundamentação crítica do conhecimento científico da natureza. Ele mesmo chama ao método de que se serve nela de “método transcendental”, investigando não a origem psicológica, mas sim a validade lógica do conhecimento. Não pergunta – como o método psicológico – de que maneira surge o conhecimento, mas sim como é possível o conhecimento, sobre que bases, sobre que pressupostos supremos ele se assenta. Tal plano transcendental, já preparado desde

a crítica renascentista e revezado por uma linha que compreende todos os grandes pensadores dos séculos XVI e XVII é, efetivamente, o que outorgou à esfera gnosiológica sua independência com relação às frequentes invasões da crítica psicológica, das implicações lógicas ou das especulações metafísicas. Por isso se fala propriamente de gnosiologia só a partir de KANT, com o que não se nega a existência anterior do problema, mas unicamente sua autonomia e hierarquia dentro do sistema de saberes filosóficos.

Portanto, a Gnosiologia representa a importante parte da filosofia que trata da teoria do conhecimento, isto é, da natureza, do valor e dos limites de nossa faculdade de conhecer. Sendo assim, os problemas da *possibilidade*, da *origem*, da *essência* e das *formas* do conhecimento estarão no âmago do questionamento gnosiológico, distinguindo-se dentre eles as mais diversas correntes e posturas do pensamento filosófico. O problema do conhecimento da verdade, seus critérios e suas categorias completam a problemática gnosiológica, constituindo uma rede de inúmeras possibilidades e posturas que o homem pode ter diante do processo cognitivo.

– Principais teses gnosiológicas –

- O Problema da *Possibilidade* do Conhecimento:
 - Dogmatismo;
 - Criticismo;
 - Relativismo;
 - Perspectivismo;
 - Historicismo;
 - Pragmatismo;
 - Ficcionalismo;
 - Cepticismo;
- O Problema da *Origem* do Conhecimento:
 - Racionalismo;
 - Empirismo;
 - Intelectualismo;
 - Apriorismo;
- O Problema da *Essência* do Conhecimento:
 - Objetivismo;

- Subjetivismo;
- Realismo;
- Idealismo;
- Fenomenismo;
- O Problema das Formas do Conhecimento:
 - Conhecimento intuitivo;
 - Conhecimento discursivo;
 - Conhecimento compreensivo;
- O Problema do Conhecimento da Verdade:
 - A verdade como *concordância*;
 - A verdade como *coerência*;
 - A verdade como *eficácia*;
 - A verdade como *verificabilidade*;
 - A verdade como *propriedade física*;

Tais teses e distinções dos problemas da Gnosiologia possuem um esboço muito maior, mas cabe aqui serem apenas citadas. Cada ponto que precisarmos dentro dos propósitos desta monografia será posteriormente referenciado e desenvolvido (como a influência do empirismo no pensamento neopositivista). O importante é ressaltarmos que todas estas diferentes teses compõem e percorrem os pensamentos de cada ser humano individualmente, mas no que tange ao conhecimento científico, percebe-se que ele lida com diferentes tipos de verdade (como coerência, concordância, verificabilidade e etc.); possui caráter racionalista, mas o empirista deve fundamentalmente prevalecer; busca uma essência objetivista e o mais realista possível; e evita possibilidades dogmáticas, cépticas e fictícias de quaisquer conhecimentos. Tais análises são fundamentais para a teoria do conhecimento científico, sendo esta compreendida pela Epistemologia, que pode ser vista como uma subárea da Gnosiologia.

Obs.: Antecipando uma importante distinção, ‘Gnosiologia’ e ‘Epistemologia’ não são sinônimos – apesar de esta sinonímia ocorrer em muitos países, estando o primeiro vocábulo praticamente em desuso, substituído pelo segundo – eles se distinguem um do outro. Portanto, *gnosiologia* é equivalente à *teoria do conhecimento*, e *epistemologia* é a *teoria do conhecimento científico-natural* ou *teoria do saber das ciências*, cabendo à primeira indagar as origens, o valor e os limites da faculdade de

conhecer, e à epistemologia o estudo crítico dos princípios, das leis, dos postulados e das hipóteses científicas. Em suma, a primeira é a teoria abstrata, *a priori*, do conhecimento; a segunda é a teoria concreta, *a posteriori*, do conhecimento, caracterizando-se a gnosiologia por ser mais “filosófica” – Teoria Geral do Conhecimento – e a epistemologia por ser mais “científica” – Teoria do Conhecimento Científico.

2.3) Epistemologia

Assim como as ciências se distinguem na multiplicidade de seus ramos – física, química, matemáticas, biologia, psicologia e etc. – também podem ser consideradas tanto do ponto de vista de seu conteúdo quanto de sua forma. O *conteúdo* é a matéria da qual se ocupam (a botânica das plantas, a astronomia dos céus, a aritmética dos números, etc.); a *forma* é a estrutura cognoscitiva que lhe dá o caráter científico, diferenciando tais conhecimentos daqueles que, procurando o próprio objeto, não constituem ciência, pois permanecem sempre saber vulgar. No plano superior, no próprio âmago da Ciência, conteúdo é a lei, a teoria, o princípio, etc., enunciados por ela; forma é a estrutura lógica onde uma determinada afirmação pode ser feita e pode ter valor de lei, teoria e princípio científicos. *A Epistemologia é precisamente a indagação crítica da forma da Ciência e não de seu conteúdo.*

Daí não pertencerem à Epistemologia muitas questões que, até hoje, são inseridas na temática epistemológica, tais como, por exemplo, o problema do indeterminismo, da descontinuidade, do evolucionismo ou, em suma, todas as questões e problemas que a Ciência de vez em quando propõe com suas afirmações ou teorias. Tais questões ou problemas pertencem, de um lado, à própria Ciência e, do outro, à Cosmologia, emanando o progresso científico da própria Ciência, cabendo à Cosmologia intervir naquelas afirmações científicas que transbordam de seus limites para confinarem nos limites de um domínio que não lhes compete, como demonstra a história das ciências. Determinismo e causalidade, mecanismo e finalismo, continuidade e descontinuidade, espaço e tempo, constituição dos corpos e movimento, etc., são questões que apresentam um aspecto científico e outro filosófico, e a filosofia que deste último se ocupa é a Cosmologia (ou Filosofia da Natureza), e não a Epistemologia. Esta se atém ao exame da ciência no seu aspecto formal, e se por vezes lhe cabe julgar esta ou aquela afirmação científica, isto será apenas uma decorrência da estrutura lógica

sobre a qual se apoia; e se, por exemplo, refuta uma lei ou um princípio ou uma teoria, que a Ciência formula e afirma, será apenas para mostrar que a afirmação ultrapassou o seu fundamento, deixando de se adequar à sua natureza de lei ou teoria ou princípio científicos.

Desta maneira, fica perfeitamente claro o âmbito dos problemas epistemológicos que, por sua vez, dividem-se numa parte *geral* e outra *especial*. À *epistemologia geral* cabe o estudo da estrutura cognoscitiva comum a todas as ciências; e à *epistemologia especial* o estudo da estrutura cognoscitiva particular de cada ciência. A pergunta mais genérica, que em si resume toda a problemática da Epistemologia, pode exprimir-se assim: “Qual é a natureza e o valor do conhecimento científico?” Portanto, indaga das suas formas de posição e dos seus métodos para obtê-la; indaga qual é a natureza e o valor dos conceitos científicos, das leis, das teorias, dos princípios, das hipóteses, das definições, etc., que constituem o edifício da Ciência; e também indaga qual é a natureza e o valor da indução, da dedução, do experimento, da síntese, da análise, etc., que são por assim dizer os andaimes do edifício científico. Os primeiros são os *resultados*; os segundos, os *métodos*, e ambos devem ser criticamente avaliados enquanto procedimentos cognoscitivos. “*Através da Epistemologia a Ciência adquire consciência de si mesma e do seu lugar na plenitude da vida espiritual, da qual constitui um dos momentos mais importantes, integrando-se assim no sistema da filosofia*”³.

Semelhantemente ao que vimos na Gnosiologia, cuja história é recente, datando da Idade Moderna, sem com isso negar a existência de preocupações gnosiológicas na Antiguidade e na Idade Média, a Epistemologia pode ser datada também da Idade Moderna, quando a Ciência deixou de ter como base principal a filosofia para adotar a física. Até o Renascimento a única epistemologia possível seria uma filosofia da filosofia, e a partir daí transformou-se numa filosofia da Ciência, isto é, crítica de um saber diferente do saber filosófico.

O problema epistemológico adquire consciência de si mesmo, sobretudo como problema do método de pesquisa científica, no século XVII, quando ocorre o esplêndido desenvolvimento da Ciência alimentado pela dupla fonte de ideias novas: FRANCIS BACON (1561-1626) e RENÉ DESCARTES (1596-1650), modelando os próprios conceitos epistemológicos no empirismo baconiano e no racionalismo cartesiano. O

³ Referência [15], Pág. – 114.

ambiente iluminístico do fim do século XVIII cede seu lugar, por breve tempo, ao romantismo que, se teve grande importância na evolução da gnosiologia e da metafísica com os grandes sistemas, de KANT a HEGEL, não trouxe muita contribuição ao desenvolvimento das doutrinas propriamente epistemológicas. O século XIX é o século do positivismo, cuja doutrina do saber científico é também positivista – teoria do saber que se nega a admitir outra realidade que não sejam os fatos e a investigar outra coisa que não sejam as relações entre os fatos – enfim, através do positivismo a concepção científica chega à sua plenitude, prevalecendo sobre as demais. Tais posições fecundaram diferentes doutrinas no século XX, tão complementares quanto contraditórias, defrontando-se a Epistemologia hoje com seus máximos problemas, sob o estímulo poderoso das novas teorias científicas.

Modernamente se entende por ‘ciência’ um conjunto de conhecimentos em torno de um determinado objeto, obtidos com determinados critérios metódicos e sistemáticos num organismo logicamente construído. Esse conceito desenvolveu-se à base das ciências naturais, particularmente da física, tida como modelo do saber científico, pois, precisando sempre melhor como próprio objeto o aspecto quantitativo dos fenômenos, consegue descrevê-los com exatidão, submetendo-o a leis, dominando-os e empregando-os, através da técnica, para seus fins.

Assim entendida, a Ciência difere não só do conhecimento vulgar, mas também da filosofia (a qual não se satisfaz apenas com a descrição exata, ainda que legítima, mas quer penetrar na estrutura e na causa do real). Antes do século XVI, e particularmente antes do desenvolvimento da física por parte de GALILEU e NEWTON, o conceito de um saber científico distinto do saber filosófico não era claro. O termo ‘ciência’ significava então – sob o modelo da filosofia – um conhecimento explicador e silogístico: explicador enquanto dá as causas ou razões daquilo que está sendo disputado; silogístico enquanto não argumenta de forma “provável” ou contingente, mas rigorosamente deduzida dos primeiros princípios, coerente e necessária.

A distinção entre a Ciência e a filosofia nasceu principalmente da progressiva autonomia das ciências particulares e, sobretudo, da constituição da ciência quantitativa da natureza, à qual se deu durante muitos anos a qualificação de *ciência*, com exclusão das ciências históricas, consideradas até então simplesmente como uma “arte”. Mesmo em KANT a história é excluída da esfera da Ciência, ao mesmo tempo em que, com o predomínio da Gnosiologia sobre a Ontologia, a própria filosofia e, no fundo, a

metafísica, convertem-se paulatinamente numa reflexão sobre o saber científico, sobre sua justificação, fundamentos e limites.

Paralelamente a esta projeção da filosofia sobre a Ciência se formou, ao mesmo tempo, um novo conceito da própria Ciência que chegou, finalmente, a englobar todas as esferas do efetivo ou possível saber científico, desde a matemática até a sociologia, desaguando, por um lado, numa discriminação mais ou menos rigorosa entre a Ciência e a filosofia e, por outro, nos ensaios de classificação das ciências que, de um modo plenamente consciente, vem se sucedendo desde BACON até hoje.

É fora de dúvida que a filosofia jamais contribuiu em nada para o desenvolvimento da Ciência, pois nenhum filósofo, *enquanto filósofo*, nunca descobriu uma prova matemática ou uma lei física, e se certos filósofos – como, por exemplo, DESCARTES, LEIBNIZ, MACH ou RUSSELL – notabilizaram-se por suas descobertas científicas, isto ocorreu porque atuaram como homens de ciências e não como filósofos. Todavia, é também fora de dúvida que seria difícil à ciência pura crescer e se multiplicar por longo tempo sem a ingestão de uma certa dose de puro pensamento teórico que pode ser descrito como “pensamento filosófico”. Não é por acaso que os físicos mais criadores, no curso do século passado, tenham cultivado a filosofia, como EINSTEIN, HEISENBERG, POINCARÉ, entre outros. Daí o acerto da afirmação de JAMES R. NEWMAN (1907-1966; matemático e historiador da matemática, norte-americano) ao dizer que: *“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”*. Assim sendo, parece que uma espécie de “atmosfera filosófica” resulta tão imprescindível para a produção e fomento da ciência pura, como uma “atmosfera científica” é indispensável para o desenvolvimento da técnica. Em suma, a filosofia não engendra a Ciência – não pelo lado da técnica. Mas uma certa “densidade” de “atmosfera filosófica” é (ou pode ser) tão frutífera para o desenvolvimento da ciência pura, como uma certa “densidade” de pura investigação científica é indispensável para o desenvolvimento da tecnologia.

Dentro do sistema filosófico, cabe então à Epistemologia estabelecer os objetos de cada ciência, determinando-lhes os caracteres diferenciais, fixando-lhes as relações e os princípios comuns, as leis de desenvolvimento e o método particular. Pode ela tratar dos aspectos da Ciência em geral, ou de cada segmento específico, mostrando-se

essencial para os propósitos desta monografia que alguns aspectos epistemológicos da física e da astronomia sejam abordados.

– Epistemologia da Astronomia –

Dentro da classificação das ciências, a astronomia apresenta em parte sua autonomia pelos objetos de estudo da qual investiga, ou seja, os astros e os fenômenos compreendidos além da Terra, sendo considerada por muitos como a mais antiga das ciências, pelo seu papel fundamental no crescimento das civilizações através das orientações celestes. Mas hoje, como produto de uma crescente síntese histórica ressonante com a evolução da física, o astrônomo literalmente pode ser visto como o físico com objeto de estudo no espaço, ou simplesmente o cientista que busca compreender o mundo celeste através da aplicação das leis da física, apoiando-se nos critérios de indução que presumem que as leis válidas na Terra e em suas proximidades sejam as mesmas para regiões distintas do Universo, e vice-versa.

Porém, diferente da maior parte das áreas científicas, onde a base experimental é acessível, reproduzível e testável, o que particulariza o conhecimento astronômico das demais é que sua base é puramente observacional, com raríssimas exceções nos estudos de meteoritos, sondas, satélites e outros campos em que a tecnologia humana já permite um contato mais direto com os objetos de estudo. No entanto, através desta única base experimental somos capazes de conceber explicações que tangem desde os princípios da formação do Universo, como funcionam os interiores estelares, a mecânica dos corpos celestes, as possibilidades de vida além da Terra, os padrões de distâncias estelares, galácticas e até mesmo conceber previsões fundamentais acerca da periodicidade dos astros mais próximos aos mais distantes. A astronomia lida com questões fundamentais da natureza humana, e o fascínio diante do Cosmo sempre foi agente de profundas contribuições para os mais distintos ramos do conhecimento humano.

Tendo em vista que a astronomia, entre todas as ciências, constitui um conhecimento de natureza particularmente diferente das demais, cabe a ela uma epistemologia específica que saiba se adequar aos seus métodos observacionais e seus tipos de inferências, diferindo nesse aspecto da própria física, que é capaz de, na maior parte de seus ramos, lidar diretamente com seus objetos de estudo, ou pelo menos manipulá-los sobre convenções estabelecidas pelas teorias para daí conceber suas inferências e conclusões próprias. Alguns aspectos da teoria do conhecimento

astronômico e físico serão abordados no terceiro capítulo desta monografia, onde ao nos depararmos com as questões mais fundamentais da realidade física, que são os conceitos de espaço, tempo e matéria, estaremos diante de uma fundamentação capaz de repercutir sobre todos os ramos das ciências da natureza, mais especialmente na Cosmologia, que antes de ser um ramo científico pode ser visto como um ramo filosófico, estabelecendo noções fundamentais da filosofia da natureza para que as demais ciências possam daí se construir.

Por ora, apresentar-se-á a Cosmologia em sua faceta mais filosófica, mas já introduzindo algumas questões que serão levadas adiante posteriormente. O objetivo desta introdução é simplesmente apontar como grandes questões “científicas”, na verdade, estão no âmbito da filosofia de serem definidas, principalmente no que confere aos fundamentos do pensamento e de suas linguagens.

3) A Cosmologia

Entendendo-se por ‘natureza’ o conjunto de todas as coisas corpóreas e dos fenômenos a elas vinculados, inclusive os processos e agentes que, de fato ou presumidamente, encontram-se em sua base, cuja existência e cujo modo de ser são independentes da nossa vontade e da nossa ação, não há dúvida alguma que seu estudo cabe à *Cosmologia*, entendida, primariamente, como a *filosofia da natureza física*⁴; que tem como objetivo pensar os problemas fundamentais referentes às coisas materiais e seus fenômenos (espaço, tempo, movimento, medida, energia, matéria e etc.), que a partir daí, unindo-se ao caráter teórico científico, torna-se capaz de conceber explicações aos questionamentos mais fundamentais acerca do passado, presente e futuro do Universo.

⁴ O autor L. W. VITA (Ref. [15]) designa a *Cosmologia*, em sua acepção filosófica, como a *filosofia da natureza inorgânica*; o termo ‘*inorgânica*’ era atribuído pelo fato de os principais objetos de investigação desta área serem os conceitos mais elementares e fundamentais da realidade física (como energia, espaço, tempo e matéria), portanto não lidando diretamente com os problemas da organização da matéria em sua forma mais complexa, orgânica, biológica ou psicológica, apesar de lidar com ela tanto na micro quanto na larga escala. No entanto, levando-se em conta a atual concepção da *Cosmologia*, substituímos o termo ‘*natureza inorgânica*’ por ‘*natureza física*’, evitando-se gerar possíveis confusões ao atual leitor e designando com maior precisão os problemas que a *Cosmologia* de acepção filosófica trata, relativos ao *cosmo* em geral, porém mais direcionados à abordagem física da natureza, do Universo.

Assim sendo, a Cosmologia não é uma disciplina fronteira entre a filosofia propriamente dita e a ciência da natureza, nem tem por objeto a interpretação metafísica dos resultados desta última para organizá-los numa “imagem do mundo”, tarefa esta peculiar à *Cosmogonia*. Como campo parcial da filosofia, cabe-lhe expor e esclarecer os problemas implicados por toda investigação científica da natureza (ex: determinismo e indeterminismo, causalidade e causação, etc.) que não podem ser abordados com os recursos e métodos desta. Isto é, ao invés de tomar como base os resultados da ciência natural, considera-os como problemas indo além de toda ciência da natureza. Por isso a Cosmologia se distingue das chamadas ‘ciências naturais’, já que suas indagações e seu método transcendem as indagações e o método destas ciências.

A Cosmologia não é uma ciência experimental, ou seja, a sua cientificidade não consiste no método experimental, mas naturalmente não pode ignorar os resultados experimentais que podem criar novos problemas, como os primeiros problemas se originaram de óbvias experiências, podendo, inclusive, os resultados experimentais contribuir para enriquecer as velhas soluções com novas especificações. Na história do pensamento europeu houve três épocas de pensamento cosmológico positivo, isto é, épocas nas quais a ideia da natureza se colocou no centro do pensamento e se converteu em tema de intensa e prolongada reflexão, adquirindo deste modo características novas que, por sua vez, imprimiram um aspecto novo à ciência pormenorizada da natureza baseada naquela ideia. Essas três épocas se referem à ideia que os gregos tiveram da natureza, à ideia renascentista e à ideia moderna da natureza.

Assim como a ciência grega da natureza se baseava na analogia entre a natureza macrocós mica e o homem microcós mico (o homem tal como se revela a si mesmo em sua própria autoconsciência), e a ciência renascentista da natureza se baseava na analogia entre a natureza (que é obra de Deus) e as máquinas (que são obras do homem), assim também a visão moderna da natureza, que começa a adquirir expressão no fim do século XVIII e, a partir de então vai ganhando volume e solidez conforme chega aos nossos dias, baseia-se na analogia entre os processos do mundo natural tal como são estudados pelos homens de ciência e as vicissitudes dos assuntos humanos tal como são estudados pelos historiadores, no que diz respeito às ideias de processo, mudança, desenvolvimento e evolução.

Na atualidade, a Cosmologia – chamada com frequência de ‘Cosmologia Teórica’, de acepção mais científica do que filosófica – é considerada como uma disciplina científica, intimamente ligada à astronomia, à física teórica e à matemática,

porém distinta, em princípio, delas. Seu principal tema consiste na construção de “modelos de universo” que sejam ao mesmo tempo logicamente coerentes e não incompatíveis com os dados fundamentais da ciência experimental da natureza. As características gerais do Universo, sua extensão no espaço, duração no tempo e, ocasionalmente, origem e desenvolvimento, constituem as principais preocupações dos cosmólogos contemporâneos, assumindo por vezes nítida posição cosmogônica.

Nesse sentido, as respostas dadas à base da física teórica e das observações físicas e astronômicas no século XX foram variadas; universo estático e fechado, dinâmico e aberto, forma esférica, cilíndrica ou hiperbólica, curvatura do espaço positiva ou negativa, etc. Os principais modelos de universo propostos na primeira parte do século, após o advento da Teoria da Relatividade Geral, foram: o de EINSTEIN (esférico, estático, finito e sem fronteiras), o de DE SITTER (dinâmico e “vazio” – solução de vácuo das equações de EINSTEIN), o de FRIEDMANN e LEMAÎTRE (dinâmico, sem fronteiras e expansivo).

A questão da expansão do Universo, suscitada pela deslocação das raiais espectrais das galáxias distantes para o vermelho, observadas em 1929 por EDWIN HUBBLE, deu lugar a muitos debates cosmológicos. No geral a expansão foi admitida, mas as dificuldades que oferecia eram solucionadas de diversas maneiras. Alguns cosmólogos, como LEMAÎTRE, admitiam um “átomo primitivo” que ao “explodir” engendrou o Universo; outros, como BONDI, GOLD e HOYLE, propuseram a tese da criação contínua da matéria, com o fim de explicar a presença permanente desta nos lugares do Universo que deveriam estar “vazios” devido à expansão; outros, como GAMOW, apresentaram a teoria consoante a qual, de um estado primordial da matéria, produziu-se num brevíssimo intervalo de tempo a série dos elementos primordiais existentes no Universo.

É fácil ver que todas estas teorias, não obstante apoiadas em observações astronômicas e empregando instrumental matemático, propõem-se problemas que já haviam sido tratados pelas antigas cosmologias e que inclusive algumas de suas soluções se parecem extraordinariamente com várias delas, como é o caso da concepção de uma “matéria primordial”, ou de uma eterna expansão e concentração do Universo, ou de uma criação contínua da matéria. Após a “descoberta” da *Radiação Cósmica de Fundo*, em 1964, pelos radioastrônomos PENZIAS e WILSON (já prevista por GAMOW, como uma radiação isotrópica e de espectro bem definido que teria se originado há bilhões de anos atrás, numa época próxima ao início do universo), o

modelo inspirado no “átomo primitivo”, intitulado de *‘Teoria do Big Bang’*, superou os demais e até hoje constitui nosso modelo cosmológico mais aceito.

No entanto, não cabe a este esboço inicial maiores abordagens sobre a história da Cosmologia moderna, e nem se aprofundar, por enquanto, na nossa atual teoria de formação do Universo, mas somente enfatizar como a Cosmologia, hoje de aceitação mais científica, física e astronômica, parte de pressupostos e fundamentos que estão além do domínio científico de definição, podendo ser vista, antes de tudo, como uma disciplina filosófica, constituindo a chamada filosofia da natureza inorgânica na Teoria do Mundo.

– Causalidade e Causação –

A relação intrínseca compreendida na conexão necessária de causa e efeito, ou de antecedente e conseqüente, chama-se ‘causalidade’. O vocábulo ‘causa’ exprime, tanto do ponto de vista filosófico como do senso comum, aquilo pelo qual uma coisa é, ou seja, pelo que gera um ‘efeito’. Como primeiro elemento construtivo nasce a ideia de que a lei causal sempre se relaciona com um fato; o causal se refere a conexões sujeitas a leis de causas dadas e de efeitos que lhes seguem. Existe relação causal sempre que os dois acontecimentos ou dois grupos de acontecimentos se encontrem relacionados por meio de uma lei, em função da qual, e partindo de um deles, possa deduzir-se alguma coisa sobre o outro. A lei causal sempre é uma relação entre fatos e não se pode confundir com a lei lógica de princípio a consequência.

O chamado ‘princípio de causalidade’ é formulado nos seguintes termos: “*não há nada sem causa*” (e não “todo efeito tem uma causa”, o que é uma tautologia). A causalidade empírica nada mais é que o fenômeno sem o qual outro fenômeno jamais se produz. No fundo de toda atividade consciente do homem, quando pensa ou faz alguma coisa, está subjacente algum conceito de *causação*. Porém, há fatos que pedem uma razão que não seja uma causa. O nexos lógico, por exemplo, é diverso do nexos causal. Nesta pergunta: “por que os ângulos de um triângulo são iguais a dois retos?”, a resposta é uma demonstração lógica. A conclusão é deduzida. Não se trata de uma causa que precede e um efeito que lhe segue; trata-se de uma conexão atemporal que se revela por meio de um processo dedutivo.

Três são os axiomas da causação:

1. *O que acontece tem uma causa;*
2. *Onde há uma diferença no efeito há uma diferença na causa;*

3. *Toda causa é o efeito de uma causa anterior e todo efeito é a causa de um efeito posterior;*

De acordo com o terceiro axioma, a causação é contínua, mesmo quando os acontecimentos são descontínuos. A causação não é uma série de passos ou etapas chamados ‘causas’ e ‘efeitos’. Revela-se tanto na persistência como na mudança; revela-se tanto no equilíbrio quanto no desequilíbrio, na regularidade da sequência como na interrupção da regularidade.

Diante disso, como interpretar os postulados da teoria quântica, que ao transgredir a concepção causalista clássica abriram caminho para uma série de reinterpretações à causalidade muitas vezes equivocadas? Baseando-se na sua “lei de indeterminação”, HEISENBERG reavalia todo o processo causal, a partir do momento em que observar-se um fenômeno interfere diretamente em sua própria manifestação. Com isto, reconheceu HEISENBERG que o meio de que nos valem para determinar a posição do elétron é a energia de certa longitude de onda luminosa. Esta longitude de onda, consoante a teoria quântica, comunica uma mudança de velocidade e de direção ao elétron colocado assim em observação, de modo que ao medirmos tais grandezas, quanto maior for a precisão da posição da partícula, menor é a precisão em que determinamos sua velocidade, e vice-versa.

Cumprir observar, todavia, que esta impossibilidade de medir, ao mesmo tempo, a posição e a velocidade precisas do elétron não é devida a nenhuma indeterminação inerente à natureza das coisas, mas a uma relação causal entre nossos instrumentos de medida e os objetos medidos. Significa que temos que nos contentar, por ora, dentro de certos limites, com a *probabilidade* em lugar do *conhecimento exato*. Tal conclusão não significa, em hipótese alguma, uma negação da causalidade em seus próprios termos (como muitos profissionais, além do domínio da física, procuram erroneamente alegar). O ‘princípio da incerteza’ de HEISENBERG não é, realmente, um princípio de indeterminismo. Sem dúvida, toda descoberta insólita, incluindo a de PLANCK, obriga-nos a reelaborar nossas ideias sobre a causalidade, e onde queira que isto aconteça, sempre existe alguém disposto a anular esse princípio. De resto, é o próprio PLANCK quem afirma: “*A ciência física, juntamente com a astronomia, a química e a mineralogia, baseiam-se na validade rigorosa e universal do princípio de causalidade*”. Resumindo seu ponto de vista acerca da causalidade, escreve PLANCK: “*O pensamento científico é idêntico ao pensamento causal, a tal ponto que a meta última de toda*

ciência é a aplicação plena e completa do princípio de causalidade ao objeto de estudo”⁵.

– Determinismo e Indeterminismo –

Chama-se ‘determinista’ a teoria que afirma que todos os fenômenos, inclusive os volitivos, são determinados pelas circunstâncias nas quais se produzem, isto é, são o efeito necessário de uma causa, de modo que, dado determinado antecedente, resultam necessariamente determinados consequentes. Oposta ao determinismo, a teoria chamada ‘indeterminista’ afirma que todos os fatos, inclusive os volitivos, carecem de uma determinação necessária. Em sua acepção cosmológica, o vocábulo ‘determinismo’ define o conjunto das condições necessárias de um fenômeno e, enquanto princípio da ciência experimental, afirma que existem relações necessárias (leis) entre os fenômenos, de tal sorte que todo fenômeno é rigorosamente condicionado pelos que o precedem ou acompanham, enquanto o vocábulo ‘indeterminismo’ define a doutrina que estabelece, como princípio, a indeterminação (isto é, ausência de determinação) ou contingência (isto é, sem razão de ser, gratuito, destituído de necessidade lógica).

O ideal do determinismo absoluto foi expresso pelo matemático e astrônomo LAPLACE (1749-1827) da seguinte maneira: *“Uma inteligência que conhecesse num dado momento todas as forças que atuam na natureza e a situação de todos os seres que se compõe, que fosse suficientemente vasta para submeter estes dados à análise matemática, poderia exprimir numa única fórmula os movimentos dos maiores astros e dos menores átomos. Nada seria incerto para ela, e tanto o futuro como o passado estariam presentes ante seu olhar”⁶*. Portanto, o determinismo não deve ser confundido com o fatalismo ou com o destino, os quais são expressões de um acaso cego, de uma necessidade inteligente, ou de um desígnio inescrutável que move teologicamente todos os seres do Universo. Ao contrário, o determinismo se refere à condicionalidade mútua de todos os fenômenos num sistema fechado e é aplicado, geralmente, ao mundo físico, constituindo uma hipótese metafísica sobre a estrutura desse mundo. Esta hipótese pode converter-se numa crença ou ser admitida como um princípio de trabalho, mas em nenhum destes casos deixa de enunciar uma tese metafísica sobre a constituição da realidade.

⁵ Citações de PLANCK presentes em ‘Referência [15], Pág. – 222’.

⁶ Citação de LAPLACE presente em ‘Referência [15], Pág. – 222’.

Assim sendo, *determinismo* pode ser entendido como doutrina sobre uma relação necessária entre todos os acontecimentos e fenômenos, e de seu condicionamento causal. Quer dizer, tudo está determinado, condicionado ou provocado por determinadas causas. A física de hoje não deixa de ter o caráter determinístico sobre seus experimentos e construções teóricas, enquanto parte do pressuposto de que todos os fenômenos no Universo obedecem a determinadas leis e a relações de causalidade compreendidas ou não até o momento. No entanto, o que as novas físicas reconhecem é a indeterminação provocada pelas limitações de nosso aparato instrumental e pelas formas que concebemos de se chegar ao objeto de estudo, a partir do momento em que observar um fenômeno interfere diretamente em sua própria manifestação. Isto não significa que a física moderna, mais precisamente a mecânica quântica, seja ‘indeterminista’ por simplesmente reconhecer suas limitações e buscar uma nova forma de lidar com elas, através de previsões probabilísticas e não exatas. Isto não é, no caso, suficiente para designar o caráter da física de hoje como indeterminístico, pelo contrário, apesar de reconhecermos que não temos conhecimentos totais sobre as forças, leis e parâmetros que regem a natureza, a forma que buscamos compreender a realidade física é determinística e causal.

Desfechando este primeiro capítulo, sobre a *Filosofia da Ciência*, cabe aqui apenas algumas considerações finais acerca da importância dos princípios filosóficos para a construção do conhecimento científico e para sua compreensão. De forma genérica, através da Lógica, da Gnosiologia e da Epistemologia (a Teoria da Ciência como um todo) podemos compreender como o pensamento se constrói e apura suas conexões com a realidade – dos princípios lógicos, da relação entre a lógica e a matemática e destas com o mundo, passando pela teoria geral do conhecimento até chegar à teoria do conhecimento científico; a indagação dos métodos, das leis, das teorias e suas classificações sistemáticas – tudo isto nos leva a uma compreensão melhor dos pilares que sustentam a Ciência e de quaisquer outras formas de conhecimento, nos quais esta primeira prevalece pela legitimidade, rigor e domínio na compreensão da natureza.

A Cosmologia, em sua acepção filosófica, fundamenta conceitos mais diretos ao trabalho científico, dos quais este necessita para seu desenvolvimento teórico. Tudo isto consolida o que chamamos de compreensão da realidade; na verdade, estamos inseridos em uma realidade só, os fatos e fenômenos não se dividem sistematicamente, mas nossa

compreensão analítica e sistemática se mostra mais fácil de ser apreendida e desenvolvida desta forma. Por isso separamos a Ciência da filosofia, a biologia da física e etc. Na verdade, tudo se mostra como entendimento de uma realidade única. Portanto, não é de se surpreender que os laços entre a filosofia e a Ciência sejam mais estreitos do que se imagina, distinguindo-se elas mais pelo método do que pelo conteúdo, complementando-se mutuamente.

II. O NEOPOSITIVISMO

– A Filosofia Científica –

Consolidando o principal propósito do capítulo anterior, que fora designar a importância da análise filosófica para o conhecimento científico, agora apresentaremos uma das mais influentes correntes filosóficas do século XX, que elevou a concepção científica ao maior patamar do conhecimento humano e influenciou a maior parte das gerações seguintes, seja refutando ou apoiando seus pensamentos tão radicais quanto fortemente fundamentados.

O Círculo de Viena se consolidou na década de 1920 e atuou até meados da década de 1930, quando acabou se dispersando pela ascensão nazista e com a morte do seu fundador, MORITZ SCHLICK, em 1936. Destaca-se também RUDOLF CARNAP, grande defensor e fundamentador das ideias neopositivistas, além de HANS REICHENBACH, frequentador das reuniões do grupo e fundador do Círculo de Berlin, que dialogava paralelamente com as ideias de Viena.

As influências diretas herdadas por estes pensadores se originam no empirismo de HUME, no positivismo de COMTE e no empiriocriticismo de ERNST MACH, além da Filosofia Analítica oriunda do início do século XX. Primeiramente faremos um esboço cronológico destas influências para depois tratarmos dos Círculos de Viena e Berlin, de onde extrairemos as obras fundamentais que completam os estudos do próximo capítulo.

1) As Origens do Positivismo e da Filosofia Analítica

(De Comte, Mach à Bertrand Russel & Wittgenstein)

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 contra a

metafísica⁷. Para COMTE, a filosofia tem de ser “positiva”, e isto significa que deve se restringir aos resultados das ciências naturais e se converter numa *teoria do saber científico*. A partir dessas 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 Estados**, que explica a evolução das sociedades ocidentais de acordo com a maneira como abordaram a explicação do mundo dos fenômenos:

- I. *Primeiro estado* – 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 quê” e “pra quê”.
- II. *Segundo estado* – o metafísico; onde a indagação das causas já é feita no terreno da natureza, mas de forma abstrata.
- III. *Terceiro estado* – o científico; finalmente se abandona o saber causal e a mente se limita a observar os fatos e a estabelecer leis positivas a partir deles.

O Positivismo, em consequência, é a filosofia que corresponde ao estado científico da humanidade, já que sucede de forma lógica à velha 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.

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 voltada para as ciências matemáticas e da

⁷ 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 pela 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.

natureza pode ser dividida em três fases de influência progressiva: a primeira é o próprio *Positivismo Comtiano*, a segunda é o *Empiriocriticismo* do físico e filósofo austríaco ERNST MACH (1838-1916), e a terceira e última corresponde ao *Neopositivismo* dos Círculos de Viena e Berlin, onde as ideias positivistas se unem ao caráter analítico da filosofia do início do século XX.

– Ernst Mach & 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 conduziram à eliminação não só dos conceitos metafísicos da física teórica (como éter, substância, espaço e tempo absolutos, etc.), mas também dos conceitos de moléculas e átomos (ou seja, da hipótese que afirmava a existência de um elemento estrutural básico da matéria).

Seguindo a linha de pensamento formulada por DAVID HUME (1711-1776)⁸, 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

⁸ 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.

pensamento. Sua visão positivista foi uma das fontes do positivismo lógico, posteriormente elaborado pelo Círculo de Viena.

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 de 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 Astronomia no Positivismo –

O estado positivo caracteriza-se, 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. Isso não significa, porém, que COMTE defenda 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 de 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 classificam-se de acordo com a maior ou menor simplicidade de seus objetos respectivos. A complexidade crescente permite estabelecer a seqüência: 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*”⁹.

Apesar de a astronomia ter sido considerada por COMTE como uma das ciências fundamentais que atingiram a “positividade”, o que era considerado dentro do conhecimento astronômico da época como ‘ciência positiva’, em si, restringia-se à astronomia de posição e à mecânica celeste. Toda a cosmologia, planetologia, ideias de formação do Sistema Solar e do Universo, postulações quanto à natureza física e química dos astros, ou seja, ideias e estudos já muito presentes nos pensamentos de grandes astrônomos, físicos, matemáticos e filósofos da época (como, por exemplo, LAPLACE e sua hipótese nebular, entre outras), por ainda carecerem de base empírica e observacional, ou por não terem grandes propósitos utilitários, para os positivistas elas caíam no domínio da metafísica e, por isso mesmo, não eram dignas de maiores investigações.

No entanto, tais estudos e concepções na astronomia começaram a tomar um caráter diferente, mais propriamente científico, já no século XIX com o advento da espectroscopia e as descobertas das novas formas de luz, não visíveis a olho nu (radiação infravermelha, ultravioleta, raios-X, raios gama, ondas de rádio, microondas). COMTE publicou parte de suas obras mais influentes entre 1830 e 1856, falecendo em 1857 e, logo em 1859, KIRCHHOFF (1824-1887) e BUNSEN (1811-1889) já publicavam seus trabalhos sobre a radiação térmica, encontrando um meio de determinar a composição das estrelas através da análise de seus espectros, e com isto mostrando que o Sol contém os mesmos elementos que a Terra, embora em proporções e condições diferentes (devido à pressão, temperatura, etc.) e com isto descobriram também elementos até então desconhecidos (césio e rubídio, descobertos em 1861, com o estudo da composição química do Sol através do seu espectro).

As Leis de Kirchhoff para a Radiação Térmica selam uma nova era de estudos para a astronomia contemporânea e a descoberta dos diferentes comprimentos de onda da luz (desde a radiação infravermelha por WILLIAM HERSCHEL, em 1800, e as descobertas posteriores ao longo do século XIX) permitiu, posteriormente, a observação aprimorada de distintas regiões e profundidades da esfera celeste, além das inferências quanto à composição química dos astros e sua evolução. Por isso, muito do

⁹ Citações extraídas de ‘Referência [1], Págs. – X, XI e XII’.

conhecimento astronômico que até então se baseava em hipóteses e postulados, a partir da segunda metade do século XIX já pôde ser incrementado sobre bases científicas mais sólidas. Portanto, as demais áreas da astronomia que eram mal vistas pelos *positivistas comteanos*, como ‘ciência positiva’ em si, para os positivistas futuros já foram vistas como reais triunfos da Ciência, sendo superestimadas por MACH e pelos neopositivistas do início do século XX, onde estes últimos, no caso, não só a astrofísica, mas também a cosmologia e outras áreas eram objetos de profunda investigação e influência teórica nos seus pensamentos.

– 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; o retorno 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 deve 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 (1902-1994) e os filósofos da linguagem comum. Nossos intuítos agora se baseiam no entendimento dos Círculos de Viena e Berlin (que é de onde extrairemos os grandes trabalhos sobre a ‘Filosofia do Espaço-Tempo’), portanto a compreensão do *Atomismo Lógico* proposto por RUSSELL e WITTGENSTEIN se mostra fundamental.

O Atomismo Lógico

Na filosofia britânica do início do século XX, as tendências neo-idealistas de FRANCIS H. BRADLEY (1846-1924) eram combatidas por um realismo de novo cunho. GEORGE E. MOORE (1873-1958) volta a sustentar que a realidade é independente do pensamento. À margem desse *neo-realismo*, mas partidário da mesma orientação antimetafísica de MOORE, BERTRAND RUSSELL penetra no campo da

lógica matemática a partir das contribuições decisivas de GOTTLIB FREGE e GIUSEPPE PEANO (1858-1932), e escreve, junto com ALFRED N. WHITEHEAD (1861-1947), 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. Esse compêndio é uma tentativa de concluir todas as verdades matemáticas 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 – '*A Filosofia do Atomismo Lógico*', 1956)¹⁰

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 logística; 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 logística. RUSSELL já expusera suas teses, em linhas gerais, na obra '*The Principles of Mathematics*' (Os Princípios da Matemática, 1903).

¹⁰ Referência [10], Pág. – 10.

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 de WITTGENSTEIN. A análise lógica da linguagem vai 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 alguns elementos simples (*átomos*). Esses elementos simples não são objetos ou coisas: são *fatos atômicos*. Os fatos atômicos estão representados na linguagem por *proposições atômicas*. Existe outro tipo 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.

Disso 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*”. Essa é a última tese do *Tractatus* de WITTGENSTEIN. 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.

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 muito 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 neopositivistas que, apesar de em grande parte serem refutáveis ou não, contribuíram e contribuirão de forma decisiva para a análise da Relatividade Geral e da Filosofia do Espaço-Tempo apresentadas no próximo capítulo.

2) *Os Círculos de Viena & Berlin*

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, matemática e 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 conseqüente 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 da ciência, a filosofia assume a tarefa da análise da linguagem científica, e o instrumento dessa 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 empirismo lógico se apóia 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. Nesse ponto, os neopositivistas 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)¹¹ ou necessariamente falsas (contradições).

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.

¹¹ 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.

Através da obra de SCHLICK e da interpretação neopositivista do *Tractatus* de WITTGENSTEIN entenderemos melhor estas distinções.

– Moritz Schlick –

SCHLICK nasceu em Berlin em 1882. Após quatro anos de estudo de física na Universidade de Berlin, sob a orientação de MAX PLANCK (1858-1947), 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 uma *Teoria Geral do Conhecimento*. Entretanto, em sua obra dedicada às questões de 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*¹², 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, a ponto de afirmar que as doutrinas do Círculo de Viena poderiam se resumir a *um empirismo que nega a possibilidade de juízos*

¹² 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 Neopositivismo, 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-tempo para a física moderna, que será abordada posteriormente.

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 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 aparência de 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 aparência de 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. Em primeiro lugar, a convicção de que a lógica, a matemática e as ciências empíricas esgotam o domínio do conhecimento possível, salientando-se a estreita relação entre matemática e lógica enquanto formas de conhecimento analítico, sem conteúdo factual. Nesse sentido, SCHLICK partilhava da convicção de MACH, segundo a qual, todo conhecimento 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. 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, nessa medida, admitem solução satisfatória, *a partir de uma análise dos resultados das ciências empíricas*.

– O Empirismo Lógico –

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, HEBERT FEIGL, FRIEDRICH WAISMANN, KURT GODEL, 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, estabelecidas indutivamente a partir dos fatos empíricos particulares. O progresso das duas ciências no início do século e o alargamento de seus limites, com o desenvolvimento da teoria dos 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. Para eles, o “mundo” seria um conjunto de *fatos atômicos*, e o estado atual do “mundo” se determinaria 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 isso 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 isso 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.

O Princípio da Verificabilidade

Uma primeira lição aprendida no *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 esse 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 disso, as proposições científicas não apenas são universais, mas são formadas por termos teóricos, não observáveis diretamente na experiência.

O ideal da Ciência Unificada

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 apóia 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.

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, essa 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, esse sentido não se reduz a um conjunto de experiências particulares. 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 Empirismo 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*'. Nesse trabalho que procura determinar as diferenças lógicas entre os conceitos matemáticos, físicos e intuitivos de espaço, e remeter à ignorância dessas 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 empirismo 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 prepararam 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 chamado *Círculo de Berlin* (formado por HANS REICHENBACH, DAVID HILBERT, RICHARD VON MISES, KURT

GRELLING, entre outros, que compartilhavam da mesma orientação filosófica do grupo de Viena), as doutrinas do Círculo encontraram ampla ressonância na Inglaterra e Estados Unidos. O trabalho de divulgação incluiu a realização de congressos internacionais, o primeiro em Praga, em 1929. Em setembro de 1930, eles organizaram, junto ao grupo de Berlin, um congresso para a epistemologia das ciências exatas em Koenigsberg, em conexão com o congresso alemão de físicos e matemáticos; os tópicos principais eram os problemas fundamentais da matemática e da Mecânica Quântica. 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 (1891-1953), 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 GODEL. 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, essa 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”.

(V. KRAFT – Viena, Março de 1950) ¹³

– Hans Reichenbach –

Analogamente, o Círculo de Berlin foi fundado nos primeiros anos 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 a mesma orientação do empirismo lógico do grupo de Viena, com o qual era associado, foi também formado por físicos e matemáticos com amplo interesse filosófico acerca das novas teorias científicas da época. REICHENBACH (o fundador do Círculo), 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 Berlin.

¹³ Referência [6], Págs. – vii, viii.

Porém, entre todos os integrantes neopositivistas, 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, DAVID 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 Berlin. 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, sendo considerado por muitos 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 Berlin. Suas colaborações com os Círculos de Viena e Berlin 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 Berlin 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 Berlin 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 neopositivista 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.

Após as considerações sobre a Filosofia da Ciência e o Neopositivismo, tratadas nestes dois primeiros capítulos, onde temas científicos também foram paralelamente suscitados, espera-se que um pouco do entendimento sobre as possíveis relações, interseções e colaborações entre a Ciência e a filosofia tenham sido fortalecidas. Todo este panorama histórico e conceitual desenvolvido vai de encontro à Filosofia do Espaço-Tempo que trataremos no próximo capítulo, com base nas próprias obras neopositivistas já citadas.

III. A FILOSOFIA DO 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)¹⁴

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

(MORITZ SCHLICK)¹⁵

EINSTEIN apresentou a Teoria da Relatividade Geral em 1915, publicando em 1917 o artigo; *‘Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade Geral’*. Em menos de um ano, SCHILICK já publicava 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 seus aspectos cosmológicos. Em 1921, CARNAP apresenta sua dissertação – *‘O Espaço: uma Contribuição à Teoria da Ciência’* – e durante a década de 1920, REICHENBACH publicou seus quatro livros fundamentando a nova teoria, onde o último – *‘The Philosophy of Space & Time’* – consolida esta série de contribuições do Neopositivismo para a teoria de EINSTEIN; sendo nestas obras (preciosas não só pelo conteúdo e pela fundamentação lógica, mas também pelo contexto da época em que foram lançadas) que basearemos nossos estudos deste capítulo.

O eixo principal escolhido, de acordo com os propósitos desta monografia, foi a obra pioneira de SCHLICK – por equilibrar as discussões físicas e filosóficas com um tratamento qualitativo da própria Teoria da Relatividade¹⁶. O trabalho de CARNAP

¹⁴ Referência [3], Pág. – 9.

¹⁵ Referência [13], Pág. – 2.

¹⁶ Como auxílio, incrementa-se também a obra divulgadora de EINSTEIN – *‘A Teoria da Relatividade Especial e Geral’* [3] – e o livro do Prof. M. NUSSENSZVEIG – *‘Curso Básico de Física, Vol.4’* [8].

desempenha um papel intermediário, mas foi possível acessá-lo apenas através de referências e citações. Já a obra de REICHENBACH acarreta um aprofundamento muito maior, tanto na lógica simbólica quanto no aparato matemático da Relatividade Geral (axiomatizando a teoria e trazendo uma definitiva fundamentação dos conceitos de espaço, tempo e matéria na nova física), mas seus resultados serão abordados aqui de forma qualitativa, cogitando-se um tratamento aprofundado para futuros trabalhos em níveis de pós-graduação.

Entretanto, completadas as sínteses do primeiro e segundo capítulos, sobre a Filosofia da Ciência e o Neopositivismo, ressaltando as conexões entre a Ciência e a filosofia, agora abarcaremos nos conceitos elementares que fundamentam nossa realidade física, nossa compreensão do Universo e que, impreterivelmente, podem ser vistos como um grande exemplo de fundamentação filosófica em direta conexão com o conhecimento científico.

De Newton a Einstein

Espaço e Tempo são os conceitos mais fundamentais da física. As incomparáveis descobertas precedentes ao século XX enriqueceram bastante o conhecimento humano sobre a natureza física, mas deixaram estes conceitos 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 nos conduziram a entender, de forma cada vez mais acurada, a constituição da matéria e as 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, Isaac. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, 1687. Trad. p/inglês: Andrew Motte, 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 referencia a nenhum objeto (crítica esta representada por LEIBNIZ e HUYGENS, que podem ser considerados os primeiros “relativistas modernos”); 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 colocada por H. A. LORENTZ e FITZGERALD, 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*), que depende da velocidade do corpo. Esta hipótese foi colocada com o objetivo de explicar por que parecia impossível detectar movimentos retilíneos ‘absolutos’ no experimento proposto por MICHELSON e MORLEY ¹⁷ onde, de acordo com as ideias físicas prevalentes na época, isto deveria ser possível. 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 filosófica. Coube a EINSTEIN reconhecer que há um modo muito mais simples de explicar os resultados negativos do experimento de MICHELSON e MORLEY. Nenhuma hipótese física especial seria requerida, sendo necessário reavaliar o princípio de relatividade, de acordo com o qual nenhum movimento retilíneo uniforme ‘absoluto’ poderia ser detectado ¹⁸, 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

¹⁷ 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.

¹⁸ 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.

experimento de MICHELSON e MORLEY se apresentam como auto-evidentes, e neste patamar de clareamento passa a ser construída uma teoria física de extrema completude, que desenvolve as conseqüências 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 aos 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 referencia a um objeto’.

Mas desde o ano de 1905, quando EINSTEIN elevou o princípio especial da relatividade para todo o domínio 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 impossível 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.

1) *Os Conceitos Elementares da Realidade Física*
(*Espaço, Tempo & Matéria*)

Agora, antes de discutirmos os princípios da Teoria da Relatividade especificamente, apresentar-se-á um breve esboço acerca dos conceitos elementares da

realidade física, buscando indagar sua natureza e problematizar suas propriedades aparentemente evidentes, mas que quando questionadas, botam em xeque qualquer caráter de uma teoria física.¹⁹

– A Matéria –

A substância que constitui os corpos que compõe tudo quanto cai sob nossos sentidos, denomina-se ‘matéria’. Em amplos setores da ciência natural moderna, a matéria é o indeterminado, entendido, porém, como uma indeterminação que jamais se apresenta puramente, mas com certas propriedades, como neste enunciado de BOUTROUX (1845-1921; filósofo francês): “Os elementos da matéria podem reduzir-se à extensão e ao movimento”. A dificuldade de chegar, mesmo na Ciência, a uma definição da matéria, deriva desta impossibilidade de separar as propriedades da matéria dela própria.

Todavia, como o mundo se compõe de entes físicos, sua materialidade é evidente, explicando-se a diversidade dos fenômenos naturais como uma manifestação das diversas formas da matéria em movimento, sendo ela, portanto, a fonte única e a causa última de todos os processos naturais. No ciclo da matéria nada é eterno a não ser a matéria em eterna mudança, em eterno movimento. Por isso ela, como categoria cosmológica, foi entendida como alguma coisa que serve para designar a realidade objetiva que é dada ao homem em suas sensações e que existe independente delas.

A matéria está dotada de certas propriedades essenciais, das quais a principal é o movimento, pois se move no espaço e no tempo – formas objetivas de sua existência. Nossas representações sobre sua estrutura estão em função do nível atingido pela Ciência. Assim, os novos progressos científicos que ocorreram nos fins do século XIX e no século XX modificaram e enriqueceram nossos conhecimentos sobre sua estrutura (a radioatividade, a teoria eletrônica, a física de partículas, etc.).

Registra a história da Cosmologia algumas teorias explicadoras da estrutura da matéria, três delas são: o *atomismo*, segundo o qual ela é formada por átomos, isto é, partículas de matérias “indivisíveis” nas condições comuns, tanto pelas forças químicas como pelas forças físicas; o *mecanicismo*, segundo o qual a matéria é distinta da força

¹⁹ Escorços sobre ‘A Matéria’, ‘O Espaço’ e ‘O Tempo’ a seguir, baseados nos ‘Princípios de Cosmologia’ – Referência [15] – em concomitância com as obras neopositivistas aqui citadas.

(ou da energia) e que explica o conjunto dos fenômenos materiais pelo movimento; e o *dinamicismo*, segundo o qual existem forças irreduzíveis ao movimento e, ao invés de considerar a matéria como inerte, identifica-a com a força e a energia.

Atualmente o atomismo, como teoria sobre a constituição do real físico, parece ter se imposto definitivamente, constituindo-se num capítulo essencial, para não dizer o mais importante, da história da física contemporânea. Independente da dualidade onda-partícula imposta pela mecânica quântica, a ideia de que toda a matéria é composta por átomos dos quais, através da física de partículas, vamos sendo capazes de penetrar cada vez mais em sua estrutura, esta visão é prevalecente e de certo modo, irrefutável para a física moderna.

– O Espaço –

O vocábulo ‘espaço’ define o meio homogêneo e indefinido no qual se admite que estejam situados os objetos sensíveis. O espaço pode ser descrito como um objeto do mundo que nos é dado de um modo tão imediato como as coisas e suas propriedades, mas não é uma propriedade das coisas, pois as coisas têm suas propriedades enquanto não as têm, no mesmo sentido, o espaço; e também não é uma relação, pois pode ser medido com os corpos físicos. Como somente são mensuráveis os objetos homogêneos uns pelos outros, é o espaço um objeto físico; as coisas são dependentes do espaço. Mas também o espaço é dependente das coisas num aspecto: somente nos é dado ali onde há coisas.

O estado atual do problema cosmológico do espaço não é muito diverso da questão tal como foi formulada pela filosofia grega, quando era ele discutido, preferencialmente, numa oposição entre cheio e vazio, representando no plano científico a relação entre a matéria e o espaço, e significando no plano ontológico a contraposição entre o ser e o não ser. Atualmente, “o cheio” e “o vazio” voltam a colocar-se no centro de toda análise da significação de ‘espaço’, acentuando-se isto inclusive pelas consequências das novas concepções físicas da espacialidade. O espaço, como realidade determinada pela acumulação da matéria e, em virtude disto, a possível curvatura ou, pelo menos o caráter não-euclidiano do espaço, demonstra que não é possível desligar inteiramente o espaço da realidade que o “ocupa”. Por isso não se pode dizer que o espaço seja uma pura e absoluta exterioridade.

Na física, esta construção pode limitar-se à indicação de que as propriedades do espaço e da matéria se equivalem ou, para ser mais rigoroso, de que as propriedades do que as enunciam são equipolentes. Daí a nova geometrização da física e a nova fisicalização da geometria na física nova, que fez pensar a alguns numa ressurreição da posição cartesiana. Com isto, fica aberto novamente para o pensamento contemporâneo o problema do espaço, no qual voltam a ecoar, inevitavelmente, os velhos problemas.

– O Tempo –

O vocábulo ‘tempo’ define o meio homogêneo e “infinito” no qual nos parecem desenrolar-se os acontecimentos. Na sua acepção cosmológica, o conceito de ‘tempo’ é uma consequência das novas teorias físicas, em particular da Teoria da Relatividade e do espaço vetorial quadridimensional de MINKOWSKI. Aparentemente, estas doutrinas “científicas” acerca do tempo são independentes, pelo menos em seus motivos imediatos, das doutrinas filosóficas; bem observadas as coisas, porém, verifica-se que as relações entre as teorias filosóficas e as científicas estão relacionadas, como comprovam os fatos de alguns físicos terem assinalado a dívida que a física atual contraiu com anteriores discussões filosóficas acerca do tempo, na medida pelo menos em que consistiram num esclarecimento de significados. Por outro lado, as análises físicas implicam – como suposto ou como consequência – teses de índole filosófica.

Nesse sentido, o mais significativo, para o interesse filosófico, foi o intento de situar o tempo em oposição ao “tempo absoluto” de NEWTON. Certamente, para o grande cientista inglês, o absoluto do tempo era tanto sensorial como um necessário “ponto de referência” para as medições físicas. Este “ponto de referência” continua subsistindo na Teoria da Relatividade, mas independente de todo caráter absoluto. Cada sistema de referência tem, com efeito, “seu” tempo. Daí poder falar-se, como fez LORENTZ, de um “tempo local”, que EINSTEIN situou em lugar principal da teoria especial da relatividade. Mas este tempo local também não é, como acreditaram aqueles que interpretaram as novas teorias físicas no sentido de uma “ressurreição” do kantismo, o resultado de uma subjetivação do tempo, ou melhor, uma mera “forma do sentido interno” (para KANT, o tempo não é objetivo e real; nem substância, nem acidente, nem relação; é condição subjetiva que torna possível ao espírito humano coordenar os objetos sensíveis consoante lei determinada: é intuição pura). O tempo local é uma

dimensão num sistema de referência que é medido por um observador e que constitui o único acesso possível a qualquer compreensão – medição – física do Universo.

O problema se tornou mais explícito e, ao mesmo tempo mais agudo, quando, com MINKOWSKI e EINSTEIN, o tempo foi considerado como uma quarta dimensão. Isto significa que cada evento físico – o que MINKOWSKI chamou de um “ponto de universo” – está determinado por três coordenadas espaciais e uma coordenada temporal. Estas coordenadas formam “linhas de universo”, ou melhor, uma linha de universo é alguma coisa fisicamente determinada pelas coordenadas. Nenhum fenômeno físico pode, assim, ser medido e, portanto, fisicamente apreendido se não se determina mediante a coordenada do tempo. Todo fenômeno físico passa a depender da coordenada temporal para daí ser determinado. Desta forma, uma separação física entre espaço e tempo aparece como impraticável.

A discussão sobre este conceito do tempo referiu-se, como quase todas as discussões sobre as principais teorias da nova física, à seguinte questão: deve se tratar de uma “realidade” ou de uma “fórmula cômoda”. Ou seja, representar os fenômenos físicos em quatro coordenadas, onde três são espaciais e uma é temporal, significa dizer que o tempo e o espaço estão interligados ou isto simplesmente não passa de representação matemática, não tendo que evocar nenhuma designação a mais acerca da realidade física? Muitos consideram apenas como uma forma distinta de manipulação matemática, assinalando a impossibilidade de conjugar na realidade duas formas essencialmente diversas: a coexistência e a sucessão. Outros, ao contrário, interpretaram o contínuo espaço-temporal de um modo “realista”.

Os próprios físicos não estão de acordo sobre este ponto, ainda que o êxito obtido na operação sobre a realidade, por parte das novas teorias físicas, induziu a muitos considerar que a dimensão temporal não é simplesmente uma notação cômoda, ou uma mera variável dentro de uma equação cujo sentido real aparece, a princípio, como duvidoso. Se o contínuo espaço-temporal é, matematicamente, uma função contínua de quatro variáveis, fisicamente poderia ser “alguma coisa” que, mesmo sendo expressa mediante uma equação, teria que “identificar-se” com ela. Assim, a redução do tempo a uma mera variável na função contínua equivaleria – se fosse levada a suas últimas consequências – a sustentar que existe um vazio absoluto entre a realidade e sua expressão matemática e, portanto, a um completo “nominalismo matemático” na compreensão física da realidade.

De fato, tendo em vista a própria base da física atual e a tendência da teoria física à análise do significado de seus termos, a noção do tempo já não pode mais separar-se dos mesmos problemas filosóficos que referem o tempo, em sua conotação objetiva, a um observador. Portanto, 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.

2) Os Princípios da Relatividade Geral & Especial

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-tempo. Mas, afinal de contas, 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 neopositivista e por que ela contribuiu tanto, na época, para a então recente teoria?

Todas estas questões concluem os propósitos deste capítulo nesta monografia, mas buscaremos respondê-las aqui 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-tempo.

– Noções da Teoria Especial da Relatividade –

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 Especial da Relatividade 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 ($c \approx 300.000$ 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*²⁰, 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.

²⁰ 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.

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 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”.*²¹

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 H. A. 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),

²¹ Referência [21].

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' ²²; onde S' se move com velocidade \mathbf{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 $t = t' = 0$)

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

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

²² “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” – Referência [26], Pág-4.

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

$$x_2'(t) - x_1'(t) = \gamma (x_2 - x_1) = \gamma.l = l_0.$$

$$\text{Portanto, } l = l_0 / \gamma = l_0 \cdot \sqrt{1 - (v^2/c^2)}.$$

Sendo $v < c$, o fator γ é sempre maior do que um ($\gamma > 1$), assim percebe-se que uma barra com comprimento próprio l_0 em movimento, será observada num referencial em repouso com um comprimento l sempre menor do que l_0 – 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 τ , 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 $\Delta t = t_2 - t_1$ em S' (tempo próprio do relógio em repouso) e os intervalos de tempo correspondentes em S, onde o relógio está se movendo é

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

Como γ 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”²³.

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

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = mc^2,$$

onde m_0 é o valor próprio de m , obtido quando a partícula está em repouso – chamado também de *massa de repouso*.

²³ Referência [3]. Pág. – 41.

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

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. ‘Espaço e Tempo’ – 1908)²⁴

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

²⁴ Referência [22].

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 (x₁, x₂, x₃, x₄) como

$$x_1 = x,$$

$$x_2 = y,$$

$$x_3 = z,$$

$$x_4 = ct.$$

Assim, a transformação relativística de (x₁, x₂, x₃, x₄) → (x₁′, x₂′, x₃′, x₄′) 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 (x₁′, x₂′, x₃′) com origem coincidente com o original, então estas novas coordenadas são funções lineares homogêneas de x₁, x₂, x₃, 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”.

Por fim, como o grande físico MAX BORN declara em seu livro – *‘Physics and Relativity’* (1956): “A Teoria da Relatividade Restrita não foi, afinal, uma descoberta de um só homem. A contribuição de Einstein foi a pedra angular de um arco que Lorentz, Poincaré e outros construíram e que viria a suportar a estrutura erigida por Minkowski”.²⁵

Ao apresentarmos este breve esboço histórico e conceitual da Teoria Especial da Relatividade pudemos apontar alguns resultados que já prevêm 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

²⁵ Referência [12]. Pág. – 15.

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 o principal problema resolvido 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.

– Noções da Teoria Geral da Relatividade –

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

Força = massa inercial x 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

Força = massa gravitacional x 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 ²⁶. 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*”. ²⁷

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”. ²⁸

Como seu próprio enunciado afirma, o *Princípio de Equivalência* tem de ser aplicado *localmente*, em pequenos recintos, que podemos chamar de *referenciais*

²⁶ Experimento de EÖTVÖS, entre outros. Ver Referência [17], pág.18.

²⁷ Referência [3]. Pág. – 58.

²⁸ Referência [8], Pág. – 225.

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 gaussianos 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?²⁹

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, etc.*); de forma que entre as curvas *u = 1* e *u = 2*, ou entre quaisquer outras, podemos

²⁹ Proposto primariamente por CARL FRIEDRICH GAUSS (1777-1855).

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.

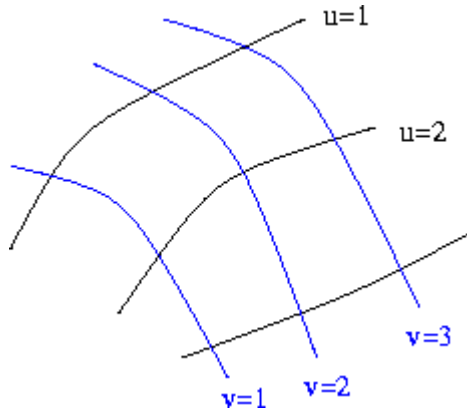


Figura 2 - Coordenadas Gaussianas.

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:

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

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, θ, ϕ) 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, ϕ, 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 curvá-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 ³⁰.

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 ($\mathbf{k} < \mathbf{0}$) ou positiva ($\mathbf{k} > \mathbf{0}$), 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*”. ³¹

³⁰ Mais adiante, o retardo dos ecos de sinais de radar enviados para Mercúrio, Vênus e Marte, experimentos realizados em radiotelescópios por SHAPIRO, em 1968 (Ref. [17], pág. 128), além das observações recentes de pulsares, confirmaram mais ainda a teoria.

³¹ Referência [3], Pág. – 73.

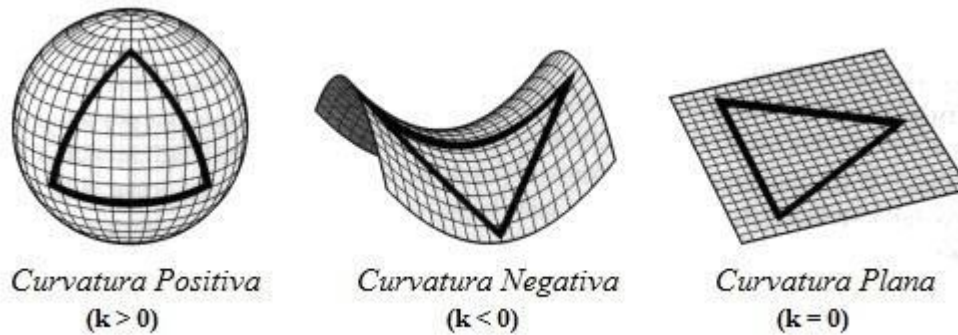


Figura 3 – Algumas possíveis Curvaturas Espaciais (caso Homogêneo e Isotrópico).

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.

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 π ($C/2r < \pi$), assim como a soma dos ângulos internos de um triângulo esférico (curvatura positiva) é maior que 180° . 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 raiais 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 Cós mica 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 Neopositivista

“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”.

(MAX JAMMER, 1953)³²

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 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

³² Referência [5], Pág. – 25.

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 RUDOLF 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 (Neopositivismo).

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 1925³³, 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”³⁴ (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 neopositivistas 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),

³³ ‘Über die Abhängigkeit der Eigenschaften des Raumes von denen der Zeit’. *Kant-Studien* 30 (Berlin). Pág. 331 – 345. Trabalho posterior à sua tese de 1921, citada no capítulo anterior (*O Espaço: Uma Contribuição à Teoria da Ciência*). Citação extraída de: Referência [5], Pág. – 26.

³⁴ Referência [11], Pág. – 169.

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 intuitivo seu entendimento e sua aplicação na física.

No momento, os propósitos deste capítulo nesta monografia estão cumpridos, deixando uma análise mais aprofundada da *Filosofia do Espaço-tempo* de CARNAP & REICHENBACH para teses posteriores. De todo jeito, espera-se ter relevado ao leitor a importância das teorias do espaço para a física e para a astronomia, sendo uma área 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.

A contribuição do Neopositivismo para as teorias científicas é enorme, 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 o cientista, sem o necessário entendimento lógico e filosófico, 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. *Viena*, 1918) ³⁵

A proposta geral deste trabalho foi abordar um possível conjunto de interseção entre a Filosofia e a Ciência, relevando este tema para o domínio da física e da astronomia. Para isto, no primeiro capítulo introduzimos noções da Teoria da Ciência, argumentando como a Lógica, a Teoria do Conhecimento (*Gnosiologia*) e a Epistemologia (*teoria do conhecimento científico*) se empenham para formar uma base filosófica que sustenta não só o pensamento científico, mas no caso da Epistemologia, essencialmente este. Neste mesmo capítulo, apresentamos a Cosmologia em sua acepção filosófica – a chamada *filosofia da natureza inorgânica* – que quando associada à astronomia e à física teórica adquire o estatuto científico que conhecemos hoje, mas que parte inicialmente de pressuposições que estão no campo da filosofia de serem definidas.

Como segundo passo, após as considerações gerais do primeiro capítulo, ao fazer esta monografia o autor julgou necessário escolher, especificamente, uma corrente filosófica capaz de ressaltar o conjunto de intersecção entre filosofia & ciência, como forma de exemplificar a proposta inicial. Naturalmente foi escolhido a corrente que mais elevou o conhecimento científico para todas as instâncias do pensamento, além da vantagem de ter sido formada na aurora da física moderna, contribuindo diretamente para a sua formação – trata-se do empirismo lógico, ou positivismo lógico, ou simplesmente – Neopositivismo. Após a abordagem histórica e conceitual (desde as origens do positivismo, da filosofia analítica e dos Círculos de Viena & Berlin) que

³⁵ Referência [16], Pág. – 54.

configuram os propósitos do segundo capítulo, faltava escolher algum trabalho desta corrente que exemplificasse suas contribuições epistemológicas à Ciência do século XX – tratando-se de um projeto de final de curso da graduação em astronomia, percebeu-se que os trabalhos que tangessem a Teoria da Relatividade Geral e a Cosmologia seriam mais significativos, por isso a *Filosofia do Espaço-tempo* foi escolhida, além do fato de suas referências serem atribuídas aos principais líderes da corrente neopositivista, ou seja, SCHLICK, CARNAP e REICHENBACH.

Desta forma delimitou-se o nosso tema – *O Neopositivismo & A Filosofia do Espaço-tempo* – onde pude perceber (agora se dando a liberdade de falar na 1ª pessoa, de forma singular) que para um profissional das áreas de física, matemática ou astronomia, com interesses na filosofia; as teorias do espaço e a *Filosofia do Espaço-tempo* formam um campo de grande interesse de trabalho, com muitas contribuições já feitas e muitas possibilidades atuais de contribuição. O que houve de maior interesse para esta monografia é o fato das questões com relação ao espaço, ao tempo e à matéria estarem no limite deste conjunto de intersecção, formado pela filosofia e pela física teórica.

Por fim, devo admitir que em nenhum de seus propósitos esta monografia chega a consolidar totalmente seus objetivos, e constituir uma tese! Ou um “tratado”! No entanto, abre o pensamento para questões que pretendo trabalhar ao longo de todo o mestrado e doutorado – pois exigem tanto o aprofundamento em teorias científicas (como a relatividade geral, a cosmologia, a teoria quântica, a astrofísica e etc.) quanto no aparato da lógica formal e da epistemologia como um todo (como na axiomatização da Teoria da Relatividade, por REICHENBACH).

Talvez, o único propósito consolidado nesta monografia seja o de dizer:

Existe um vasto conjunto de intersecção entre a filosofia e a ciência e é possível trabalhar nele, contribuindo tanto para a filosofia quanto para a ciência como um todo.

Assim, espera-se que este projeto de final de curso seja útil para despertar o interesse e introduzir os aprendizes do Observatório do Valongo, da física e da astronomia, aos assuntos da *filosofia científica*, que tem o mérito unir as atividades filosóficas e científicas numa única, aberta sempre a revisões.

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 talvez esteja 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.

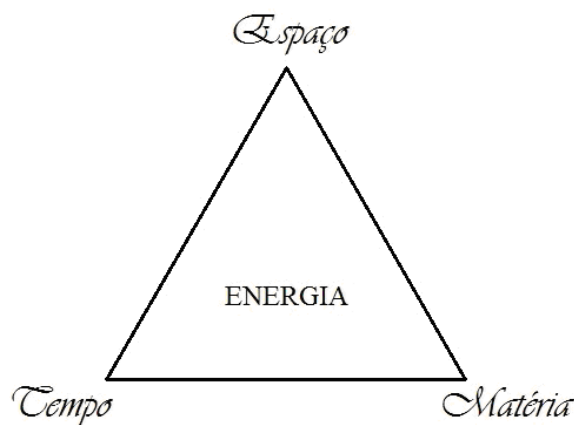


Figura 4 - O Triângulo Lógico dos Conceitos Elementares da Realidade Física.

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 neopositivista 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 grandes 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 BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COMTE, Auguste (1797-1857). *Curso de Filosofia Positiva*. Os Pensadores. Editor: V. Civita. Trad.: J. Giannotti e Miguel Lemos. Abril Cultural, SP, 1978.
- [2] DOS SANTOS, Luís Henrique. *Schlick & Carnap: Vida e Obra*. Os Pensadores. Abril Cultural e Industrial, São Paulo, 1980.
- [3] **EINSTEIN, Albert (1879-1955). *A Teoria da Relatividade Especial e Geral*. Trad.: Carlos A. Pereira – Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.**
- [4] HESSEN, Johannes (1889-1971). *Tratado de Filosofia*. Buenos Aires: Editora Sudamericana, 1970.
- [5] 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.
- [6] **KRAFT, Victor (1880-1975). *The Viena Circle*. Greenwood Press, Publishers New York, 1953.**
- [7] MURZI, Mauro. *Reichenbach, Hans*. Encyclopedia of Philosophy, 2nd Edition, Macmillan Reference USA, 2006.
- [8] NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de Física Básica – Vol.4 / Ótica, Relatividade, Física Quântica*. São Paulo: Blucher, 1998.
- [9] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza / OLIVEIRA SARAIVA, Maria de Fátima. *Astronomia & Astrofísica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.
- [10] 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).
- [11] **REICHENBACH, Hans (1891-1953). *The Philosophy of Space & Time*. New York: Dover, 1958.**
- [12] SANTOS, José Carlos. *Minkowski, Geometria e Relatividade*. Revista Brasileira de História da Matemática (vol. 9, nº18, 2009, pp. 115–131).
- [13] **SCHLICK, Moritz (1882-1936). *Space and Time in Contemporary Physics*. 3ª Edição. Dover, 1920.**
- [14] *Temática Barsa – Rio de Janeiro: Barsa Planeta, 2006. Volume 3: Filosofia*.
- [15] **VITA, Luís Washington (1921-1968). *Introdução à Filosofia*. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1964.**
- [16] WITTGENSTEIN, Ludwig. *Tractatus Logico-Philosophicus* (1922). Trad.: J.Giannotti, São Paulo: ED. Companhia Nacional, USP (1968).

- [17] OHANIAN, Hans. *Gravitation and Spacetime*. New York – London: W. W. Norton & Company, 1976.
- [18] RUSSELL, Bertrand. *A Filosofia do Atomismo Lógico* (1918). *Lógica e Conhecimento; Ensaios* (1950). Trad.: Pablo Mariconda. Os Pensadores XLII. São Paulo: Ed. Abril Cultural, 1976.

TEXTOS FUNDAMENTAIS DA FÍSICA MODERNA:

Volume I – *O Princípio da Relatividade*.

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

- [19] LORENTZ, Hendrick. *A Experiência Interferencial de Michelson*, 1895.
- [20] LORENTZ, Hendrick. *Fenômenos Eletromagnéticos num Meio Sistema que se Move com Velocidade inferior à da Luz*, 1904.
- [21] EINSTEIN, Albert. *Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*, 1905.
- [22] MINKOWSKI, Hermann. *Espaço e Tempo*, 1908.
- [23] EINSTEIN, Albert. *Sobre a Influência da Gravidade na Propagação da Luz*, 1911.
- [24] EINSTEIN, Albert (1916). *Os Fundamentos da Teoria da Relatividade Geral*.
- [25] EINSTEIN, Albert (1917). *Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade Geral*.
- [26] LYRA, Alexandre (UFRJ) & CARVALHO, Marcelo (UFSC). *Unifying The Galilei and The Special Relativity*. [vixra.org/pdf/1301.0008v1]

Rondó das Estrelas

As usinas do Universo,
Conhecidas como estrelas,
Em enigmas vê-se imerso
Ao tentar compreendê-las...

Nada como a noite clara
Da celeste imensidão,
Em que o homem se depara
Com o Cosmo – reina então!

Reina a dúvida na mente,
Reina a paz – estado etéreo.
Reina a busca inconsequente
Por respostas ao mistério...

O mistério que fascina
Cada astrônomo no mundo,
Relutando sua sina
Nesse estudo tão profundo;

Onde a luz que vem de longe
É sua única informante
Do que ocorre na tal fonte
De energia tão distante.

Mas a luz transporta vários
Níveis com informações,
Seus espectros legendários,
Lidos nas observações,

Dão-nos pistas da estrutura
Do estelar berço brilhado –
Quão mais longe se aventura
Mais nós vemos o passado!

Mais nós vemos que não somos
Nada além de uma faísca
De esperança em cromossomos
Que propagam quem se arrisca...

A viver! Amar! Viver
Nesta selva constelada!
Ser mais um solene ser
A indagar sua morada...

Onde estamos? Pr'onde vamos?
Quem nós fomos? Quem seremos?
Nossos rumos, nossos ramos,
Nesta nau perdeu-se os remos.

Segue o vento nos levando
Dentre as rotas mais sombrias,
Nesta Terra com céu brando
São os astros nossos guias.

Eis o Astrônomo!

(FILIPE PAMPLONA)