



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

Joanne Simon Flausino

Realidade Vaga e a Perspectiva Inconsistente: um estudo metateórico sobre a elaboração de teorias físicas.

Florianópolis
2020

Joanne Simon Flausino

Realidade Vaga e a Perspectiva Inconsistente: um estudo metateórico sobre a elaboração de teorias físicas.

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutora em Filosofia.

Orientador: Prof. Décio Krause, Dr.

Florianópolis
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Flausino, Joanne Simon

Realidade vaga e a perspectiva inconsistente : um
estudo metateórico sobre a elaboração de teorias físicas /
Joanne Simon Flausino ; orientador, Décio Krause, 2020.
203 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa
de Pós-Graduação em Filosofia, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Filosofia. 2. Realidade Vaga. 3. Elaboração de
Teorias Científicas. 4. Inconsistências. 5. Perspectivismo
Científico. I. Krause, Décio. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Filosofia. III.
Título.

Joanne Simon Flausino

Realidade Vaga e a Perspectiva Inconsistente: um estudo metateórico sobre a elaboração de teorias físicas.

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Christian de Ronde, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ederson Safra Melo, Dr.
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Frederico Firmino de Souza Cruz, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Jonas Rafael Becker Arenhart, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutora em Filosofia.

Prof. Ivan Ferreira da Cunha, Dr.
Coordenador do Programa

Prof. Décio Krause, Dr.
Orientador

Florianópolis, 28 de maio de 2020.

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo amor e suporte. Aos meus pais Eunice e João e à minha irmã Sarah. Aos meus tios e primos. Em especial para: Elizabete, Edione, Giovana, Narciso, André, Vitor, Carolina e Lucas. Ao meu avô Alcebíades. Aos meus falecidos avós Pedrinha, Hilda e João.

Agradeço ao meu orientador Décio Krause pela paciência e confiança durante todos esses mais de dez anos.

Agradeço o financiamento da Capes pelo apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço aos meus professores por todo aprendizado. Em especial para: Cezar, Antônio, Newton, Jonas, Ivan, Adonai, Christian, Ederson, Nazareno, Felipe, Ariadne, Leo, Alexandre, Hebeche, Cláudia, Braida, Lupi, Dutra, Valdirene, André, Mercedes, Édson, Osni e Eduardo.

Agradeço à UFSC por toda estrutura a qual aproveitei desde a infância. Onde aprendi a andar de bicicleta frente à reitoria, onde aprendi a nadar antes da piscina ser coberta, onde aprendi minha primeira arte marcial, o karatê, e que hoje sou faixa preta. Depois, onde pude concluir minhas graduações e pós-graduações e ainda poderei concluir outras por vir.

Um agradecimento especial ao Lauro. Muito obrigada, amigo.

Agradeço aos meus psicólogos Mônica e Anderson e aos meus psiquiatras Paulo e Daniel.

Agradeço aos meus amigos do Grupo de Pesquisa e Lógica em Fundamentos da Ciência (CNPq) pela parceria durante todo esse processo: Raoni, Paola, Félix e Kherian.

Agradeço aos amigos da filosofia pelas conversas construtivas e consoladoras. Em especial para: Camila, Marcus Vinícius, Ana, Thaise, Bebel, José, Bruno, Tais, Carol, Messias, Renato, Lázaro, Éverton e Júlio.

Agradeço aos amigos do coração por estarem presentes em algum ou em muitos momentos nesta caminhada. Em especial para: Moisés, Nika, Bárbara, Ken, Fabi, Catarina, Lais, Nina, Lucas de Abreu, Bruno, Kátia, Luiza, Raphael, Matheus, Thales, João, Luan, Isadora, Big, Renatinho, Mayara, Marluci, Érika, Letícia e Cubeta.

Agradeço aos meus amigos da física pelo companheirismo nas muitas horas difíceis vivenciadas dentro do curso. Em especial para: Jana, Élcio, Maíra, Isabela, Heloíse, Daiana, Leonardo e Valéria.

Agradeço aos meus alunos por me ensinarem e me motivarem em todas as aulas. Em especial para: Nicole, Camila, Tassiane, Lucian, Fernanda, Valquíria, Juliana, Isadora, Rodrigo, Juliane, Luise, Mari, Gustavo, Clara, Garibaldi, Natália, Samira

e Gabriela.

Um agradecimento especial ao pessoal do PPGFil, Sci-hub, Libgen e Sereno Café.

Agradeço a toda família Rico Domingues, especialmente por proporcionar um ambiente de trabalho flexível o suficiente para que pudesse escrever esta tese.

Muito Obrigada!

Thank You!

Merci Beaucoup!

Vielen Dank!

Děkuju!

どうもありがとうございました！

*“Not only the Universe is
stranger than we think, it is
stranger than we can think.”
(Werner Heisenberg)*

RESUMO

Este é um trabalho de investigação metateórica sobre a filosofia da ciência, com especial ênfase nas teorias quânticas. Partimos de uma visão possível acerca das etapas da formação de uma teoria científica para discutir em que medida inconsistências aparecem em cada uma dessas etapas e quais as suas consequências. O esquema de elaboração de teorias, como vamos designá-lo, é visto na parte (I), e não pretende ser um esquema 'universal', no sentido de se adaptar a qualquer teoria científica, mas certamente cobre uma boa variedade delas, em especial as teorias da física, com as quais estaremos mais preocupados. As etapas que consideraremos, e que são discutidas uma a uma em capítulos específicos, partem da suposição da existência de uma *realidade* externa (R), discutida no capítulo (2) e/ou de uma *realidade empírica* (ou *fenomênica*) (F), composta pelos dados fenomênicos que o cientista dispõe ou 'captura' de (R). Nossa tese é a de que a realidade externa, que assumimos existir, não é bem delineada ('sharp'), mas *vaga*, com contornos esfumados e sem que possamos precisar o seu 'conteúdo'. O que podemos fazer é elaborar *teorias* (informais e formais/axiomáticas) sobre ela, calcadas nos dados fenomênicos que essa realidade nos impinge. Como veremos, pode-se adotar uma visão anti-realista e ignorar-se ou negar-se R , partindo-se de F ; isso será discutido no capítulo (3). A partir de R/F , o cientista elabora o que chamamos de *proto-teoria*, ou *teoria informal* (P) para dar conta dos dados fenomênicos, e que supostamente (em uma atitude realista), dirão respeito a R . As proto-teorias, vistas no capítulo (4) são via de regra desenvolvidas informalmente, ou seja, sem o recurso do método axiomático ou de qualquer formalização. Trata-se de algo como a física de Galileu ou da teoria da seleção natural de Darwin. Não há, em princípio, qualquer menção à lógica subjacente, mediante a qual explicitam-se as formas permitidas de inferência. Podemos dizer que o "cientista padrão", como o físico profissional, trabalha no nível das proto-teorias. Os resultados que obtém referem-se a F e, indiretamente, a R e, quando necessário (o que geralmente acontece), revisam-se as P para que abarquem uma gama maior de experimentos e resultados, como veremos. No entanto, o cientista preocupado com fundamentos, e em especial o filósofo da ciência, não se contenta com esses três níveis, procedendo uma análise meta-teórica das teorias P , o que via de regra, o levará muitas vezes a questionar F e até mesmo R . Trata-se do nível das teorias *stricto sensu* (T), vistas no capítulo (5). Por uma *teoria*, pelo menos em princípio e a menos que seja dito explicitamente algo em contrário, entenderemos uma formulação axiomática ou formal que busca refletir alguma proto-teoria. Uma teoria T é algo que merece ser estudada por si só. Tomemos o exemplo da aritmética. A partir da proto-teoria dos números naturais que conhecemos da escola (basicamente composta pelas operações fundamentais), pode-se elaborar versões axiomáticas/formais, como as aritméticas de primeira ($Ar1$) e de segunda ordens ($Ar2$). Ambas são 'aritméticas' e dão conta das operações básicas e de muito mais, mas têm propriedades muito diferentes. Este exemplo será invocado à frente como motivação para nossa discussão sobre o *pluralismo* de teorias possíveis. O mais interessante é que, dada uma teoria T , a ela pode-se associar uma variedade de *modelos* (M) distintos, na verdade uma infinidade deles. Constata-se que há teorias *categóricas*, como $Ar2$, e não *categóricas*, como $Ar1$. Como os modelos, pelo menos intencionalmente, refletem 'realidades' surge a questão de se há algum critério para que algum deles possa ser selecionado como nosso *modelo intencional*, ou *pretendido*. No capítulo sobre modelos (6), discutimos esse ponto, em particular sobre a variedade

de significados associados à palavra 'modelo'. Em cada uma dessas etapas, damos o devido destaque às inconsistências, começando por precisar esse termo. Veremos que há sentido em se falar em 'inconsistências' em cada uma delas, ainda que haja diferenças entre as diversas formas de inconsistências. Após esses capítulos iniciais, nos quais discutimos as etapas do processo que delineamos, concluímos com uma discussão filosófica sobre o perspectivismo científico e com a apresentação de dois estudos de caso: Eletrodinâmica Clássica e Átomo de Bohr.

Palavras-chave: Realidade Vaga. Inconsistências. Paraconsistência. Lógica Subjacente. Elaboração de Teorias Científicas. Modelos. Realidade. Fenômenos. Proto-Teoria.

ABSTRACT

This is a meta-theoretical research work on the philosophy of science, with a special emphasis on quantum theories. We start from a possible view on the stages of the formation of a scientific theory to discuss the extent to which inconsistencies appear in each of these stages and what are their consequences. The theory elaboration scheme, as we will call it, is seen in the part (I), and is not intended to be a 'universal' scheme, in the sense of adapting to any scientific theory, but it certainly covers a good variety of them, especially the theories of physics, with which we will be most concerned. The steps we will consider, and which are discussed one by one in specific chapters, start from the assumption of the existence of an external *reality* (R), discussed in the chapter (2) and/or an *empirical reality* (or *phenomenal*) (F), composed of the phenomenal data that the scientist disposes of and 'captures' (R). Our thesis is that the external reality, which we assume to exist, is not well delineated ('sharp'), but *vague*, with smoky contours and without being able to specify its 'content'. What we can do is to elaborate *theories* (informal and formal/axiomatic) about it, based on the phenomenal data that this reality imposes on us. As we will see, one can adopt an anti-realistic view and ignore or deny R , starting from F ; this will be discussed in the chapter (3). Starting at R/F , the scientist elaborates what we call *proto-theory*, or *informal theory* (P) to account for phenomenal data, and which is supposedly (in an attitude realistic), will relate to R . The proto-theories, seen in the chapter (4) are usually developed informally, that is, without the use of the axiomatic method or any formalization. It is something like Galileo's physics or Darwin's theory of natural selection. In principle, there is no mention of the underlying logic, by which the permitted forms of inference are made explicit. We can say that the "standard scientist", like the professional physicist, works at the level of proto-theories. The results obtained refer to F and, indirectly, to R and, when necessary (which usually happens), the P is reviewed to cover a wider range of experiments and results, as we will see. However, the scientist concerned with fundamentals, and especially the philosopher of science, is not satisfied with these three levels, proceeding with a meta-theoretical analysis of the P theories, which as a rule, will often lead him to question F and even R . This is the level of the *stricto sensu* theories (T), seen in the chapter (5). By a *theory*, at least in principle and unless explicitly stated otherwise, we will understand an axiomatic or formal formulation that seeks to reflect some proto-theory. A T theory is something that deserves to be studied on its own. Take the example of arithmetic. From the proto-theory of natural numbers that we know from the school (basically composed of fundamental operations), axiomatic/formal versions can be developed, such as first (Ar1) and second-order (Ar2) arithmetic. Both are 'arithmetic' and account for basic operations and more, but have very different properties. This example will be invoked ahead as a motivation for our discussion of the *pluralism* of possible theories. The most interesting thing is that, given a T theory, it can be associated with a variety of different *models* (M), in fact, an infinity of them. It turns out that there are *categorical* theories, like Ar2, and not categorical, like Ar1. As the models, at least intentionally, reflect 'realities', the question arises whether there is any criterion for any of them to be selected as our *intentional model*, or *intended*. In the chapter on models (6), we discuss this point, in particular about the variety of meanings associated with the word 'model'. In each of these steps, we give due emphasis to inconsistencies, starting by specifying this term. We will see that it makes sense to talk about 'inconsistencies' in each of them, although there are

differences between the different forms of inconsistencies. After these initial chapters, in which we discussed the stages of the process we have outlined, we conclude with a philosophical discussion about scientific perspectivism and with the presentation of two case studies: Classical Electrodynamics and Bohr Atom.

Keywords: Vague Reality. Inconsistencies. Paraconsistency. Underlying Logic. Elaboration of Scientific Theories. Models. Reality. Phenomena. Proto-Theory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>The Great Smoky Dragon</i> Copyright Field Gilbert	38
Figura 2 – <i>Comprimento de onda λ para o hidrogênio</i>	155
Figura 3 – Um elemento de E_+	197
Figura 4 – Um elemento de \mathcal{E}_+	198
Figura 5 – Um elemento de \mathcal{E}'_+	199

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
I	DO REAL AO MODELO: DESTRINCHANDO O PROCESSO DE ELABORAÇÃO DE TEORIAS FÍSICAS	23
2	REALIDADE	24
2.1	VAGUEZA	25
2.2	A REALIDADE VAGA, 1	28
2.3	OBJETIVIDADE FRACA E NÃO-SEPARABILIDADE	31
2.3.1	Objetividade Fraca	32
2.3.2	Não-Separabilidade	33
2.4	REALIDADE VAGA, 2: O CONCEITO	35
2.5	REVISITANDO A NOÇÃO DE OBJETIVIDADE FRACA	42
2.6	PONDERAÇÕES FINAIS	46
3	DADOS FENOMÊNICOS	48
3.1	O PAPEL DE F NA TENTATIVA DE RESOLUÇÃO DE DIFICULDADES	49
3.1.1	Dificuldade 1	50
3.1.2	Dificuldade 2	51
3.1.3	Descrivendo F	51
3.1.4	Dificuldade 3	52
3.1.5	Dificuldade 4	53
3.2	DISTINÇÃO ENTRE F E RV	56
3.3	PANORAMA ULTERIOR	58
4	PROTO-TEORIAS	62
5	TEORIAS	65
5.1	AXIOMATIZAÇÃO	67
6	MODELOS	73
II	PERSPECTIVA INCONSISTENTE	79
7	O QUE É UMA INCONSISTÊNCIA?	80
8	INCONSISTÊNCIAS NA FÍSICA	84
9	INCONSISTÊNCIA EM RV	90
10	INCONSISTÊNCIA EM F	94
11	INCONSISTÊNCIA EM P	96
12	INCONSISTÊNCIA EM T	97
13	INCONSISTÊNCIA EM M	99
14	CHUNK AND PERMEATE	102

14.1	UMA RECONSTRUÇÃO RACIONAL	102
14.2	PERMEABILIDADE E PRESERVAÇÃO DA CONSISTÊNCIA	105
14.3	ESTRATÉGIA VS MODELO	106
14.4	APLICAÇÕES	110
15	PERSPECTIVISMO	112
15.1	PERSPECTIVISMO EM FILOSOFIA DA CIÊNCIA	112
15.1.1	<i>Modi res considerandi</i>	113
15.2	PROCESSO PERSPÉCTICO	115
15.3	FORMALIZAÇÃO EM PERSPECTIVA	117
15.4	A POSSIBILIDADE DE ESCOLHA	119
15.4.1	Pluralidade	121
15.5	PRAGMATISMO E RELATIVISMO	121
III	ESTUDOS DE CASO	124
16	ELETRODINÂMICA CLÁSSICA	125
16.1	CARACTERÍSTICAS DA ELETRODINÂMICA CLÁSSICA	126
16.2	A INCONSISTÊNCIA	130
16.3	DEFESA DA INCONSISTÊNCIA	132
16.4	ANÁLISE DA INCONSISTÊNCIA	133
16.5	IMPORTÂNCIA DA INCONSISTÊNCIA	139
16.6	PONDERAMENTOS FINAIS	142
17	ÁTOMO DE BOHR	146
17.1	INCONSISTÊNCIA E O ÁTOMO DE BOHR	147
17.2	SOBRE O ÁTOMO DE BOHR E SEUS RESULTADOS	154
17.3	APLICANDO “CHUNK AND PERMEATE” AO ÁTOMO DE BOHR . . .	159
17.4	PONDERAMENTOS FINAIS	162
18	CONCLUSÃO	165
	REFERÊNCIAS	174
	ANEXO A – E.P.R.	186
A.1	ASPECTOS FORMAIS	186
A.2	ASPECTOS CONCEITUAIS	189
A.3	VARIÁVEIS OCULTAS	195
	ANEXO B – DESIGUALDADES DE BELL	200
B.1	NÃO-SEPARABILIDADE	202

1 INTRODUÇÃO

Houve um grande número de tentativas, por parte de filósofos, de dar uma caracterização de como ocorre o progresso e mesmo a criação de uma teoria científica. Sabemos que um grande progresso nesse particular foi alcançado quando do surgimento do *método indutivo* com Galileo, Francis Bacon, Roger Bacon, Tycho Brahe e muitos outros (LINDBERG; WESTMAN, 1990), quando Aristóteles deixou de ser a fonte segura para qualquer informação científica e as pesquisas experimentais despontaram. Para essa escola, uma teoria científica deveria ser baseada em dados experimentais, generalizando-se observações e chegando-se à descrição de casos gerais.

Mais recentemente, podemos destacar Karl Popper, que esquematizou o progresso de uma teoria com o seu célebre esquema (POPPER, Karl R., 1975, p.120)

$$P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2, \quad (1)$$

onde P_1 refere-se a algum problema do qual partimos, TT diz respeito a uma teoria ou situação experimental, a qual pode ser errônea total ou parcialmente, e que será submetida a um processo de eliminação de erros EE , de onde surgirão novos problemas P_2 . Como diz ele, "esses novos problemas não são em geral criados intencionalmente por nós, mas emergem autonomamente do campo de novas relações que não podemos deixar de trazer à existência com cada ação, por pouco que pretendamos fazer"(POPPER, Karl R., 1975, loc.cit.). Saliente-se que a partir de P_2 uma nova etapa aparece, como novas TT , EE e outro P_3 . O processo é de fato dinâmico, tendo em vista a posição desse filósofo de que mesmo que tenhamos alcançado a *verdade* em algum domínio, jamais saberemos disso e tenderemos a substituir a teoria mesmo assim.

Nosso objetivo, nesta tese, é descrever uma maneira alternativa de se olhar para as etapas na formulação de uma teoria científica, isso feito de tal modo que seja mais fácil destacar momentos em que inconsistências podem aparecer em tal desenvolvimento. Interessará, evidentemente, oferecer soluções para se lidar com essas inconsistências em cada uma das etapas.

Ainda no século XX, o movimento denominado de *positivismo lógico* também tentou dar as tintas sobre o que seria uma teoria científica.¹ Dentro de sua filosofia, tinha-se o o princípio da verificação. Afirmava-se que apenas as declarações verificáveis através da observação direta ou da prova lógica seriam significativas. Por ser visto como muito rígida pelos seus oponentes, essa ideia sofreu dificuldades como uma

¹ Notemos que caracterizar uma teoria é diferente de caracterizar a criação de uma teoria. Os positivistas separavam contexto de descoberta de contexto de justificação. Popper também.

abordagem para teorias científicas. Para eles, uma teoria científica deveria se comportar de maneira a depender profundamente de axiomatização e lógica de primeira ordem, certamente admitindo algumas variações (SUPPE, 1977).

O nosso esquema também é ilustrado por uma ‘equação’, a saber,

$$R \rightarrow F \rightarrow P \rightarrow T \rightarrow M, \quad (2)$$

que será delineada nos capítulos que se seguem. Nesse esquema, R representa uma *realidade* possível a qual está sendo investigada. F congrega os *dados fenomênicos* que o cientista acessa e que para ele dizem respeito, ao menos parcialmente, a R ; por sua vez, P representa uma *proto-teoria* que é elaborada para dar conta dos dados fenomênicos ou experimentais ou ainda, dependendo da índole filosófica do cientista, da própria R . Exemplos típicos de proto-teorias são a mecânica de Galileu e a teoria da seleção natural de Darwin.

Essas são, aproximadamente, as etapas com as quais se ocupa o cientista ‘comum’, aquele que quer obter resultados em sua área de pesquisa e que não se ocupa muito, ou talvez nada, com filosofia. No entanto, ainda há etapas a considerar. O cientista dotado de índole filosófica, e principalmente o filósofo, quer mais. Quer proceder uma análise metateórica do que foi feito até aqui, em particular pode desejar entender os detalhes de P , como por exemplo, quais são os seus pressupostos básicos, quais são os conceitos fundamentais dos quais se vale, como realiza inferências, qual o seu alcance em aplicações, e assim por diante. Para isso, elabora uma *teoria* estrito senso, T . Para congrega todos os fatores mencionados, T terá que ser uma teoria axiomática, ou mesmo formal, dependendo da situação. Isso, no entanto, não é tudo. Uma teoria axiomática ou formal dá origem a uma infinidade de *modelos* em sentido lógico, ou seja, estruturas matemáticas que *satisfazem* seus postulados. Isso dá origem a uma discussão importante, que será tratada no capítulo 6.

Esta tese está organizada do seguinte modo. No próximo capítulo, discutimos algo sobre R , adotando uma postura realista híbrida de que sim, existe uma ‘realidade’ independente, ainda que seja *vaga* e que não possa ser conhecida em todos os seus detalhes. Como veremos, tudo o que temos são *teorias* (ou proto-teorias) sobre porções dessa realidade. No capítulo seguinte, discorreremos sobre os dados fenomênicos adquiridos pelo cientista em sua tarefa de compreender R .

O capítulo seguinte diz respeito às proto-teorias. As proto-teorias são via de regra desenvolvidas informalmente, ou seja, sem o recurso do método axiomático ou de qualquer formalização. Não há qualquer menção à lógica subjacente, mediante a qual explicitam-se as formas permitidas de inferência. No entanto, como salientaremos, há que se tomar cuidado; a abordagem de Patrick Suppes na axiomatização de teorias científicas tampouco explicita a lógica subjacente, mas é uma abordagem axiomática.

Isso será tornado claro no capítulo mencionado.

O capítulo seguinte trata das *teorias* estrito senso. Por uma *teoria*, pelo menos em princípio e a menos que seja dito explicitamente algo em contrário, entenderemos uma formulação axiomática ou formal que busca refletir alguma proto-teoria. Bom salientar, como veremos, que muitas vezes pode-se omitir a proto-teoria e partir diretamente de F para T , mas isso será discutido oportunamente.

No capítulo sobre modelos 6, discutiremos de que modo uma teoria T dá origem a uma infinidade de modelos, e em particular estaremos interessados na variedade de significados associados à palavra ‘modelo’.

Outra questão importante, que será abordada na parte II, diz respeito à perspectiva da formação das teorias científicas, em especial da física, dando-se atenção para as várias etapas desse processo e como inconsistências podem surgir em cada uma dessas etapas. Em cada uma delas, damos o devido destaque às inconsistências, começando por precisar esse termo. Veremos que há sentido em se falar em ‘inconsistências’ em cada uma delas, ainda que haja diferenças entre as diversas formas de inconsistências. Para isso, assumiremos uma postura realista particular que denominaremos ‘Realidade Vaga’.² O estudo das teorias científicas, em especial as da física, é uma preocupação que surgiu no âmbito da ciência nos últimos cem anos. Trata-se de um estudo metateórico. De fato, até então as preocupações eram com as teorias em si e com o que era possível realizar em seu escopo. Por exemplo, atualmente sabemos das limitações da física clássica para lidar com determinados problemas que fizeram surgir as grandes teorias do século XX, como as teorias da relatividade e a teoria quântica. Porém, tratava-se da elaboração das teorias e não da discussão metateórica daquilo que elas continham ou poderiam conter. Um exemplo disso é a teoria do Átomo de Bohr, que para muitos é inconsistente. A análise dessa inconsistência pertence ao estudo metateórico da teoria e é precisamente essa área que nos interessa abordar.

Em 1900, na sua célebre lista de 23 Problemas da Matemática, David Hilbert colocou, no sexto deles, exatamente o estudo da axiomatização das teorias da física. Podemos dizer, talvez, que essa data marca o início dos estudos metateóricos das teorias físicas.

A partir da perspectiva realista que defendemos, aceitamos parcialmente, como Bernard D’Espagnat, que há uma ‘realidade’ ou ao menos uma porção dela, em análise pelo cientista. No entanto, ao contrário de d’Espagnat, para nós não se trata de uma realidade que se apresenta, nas palavras dele, ‘velada’, escondida por um véu que tentamos desvendar. Nossa aceção é mais forte, trata-se de uma ‘Realidade Vaga’ em sentido forte. Deixaremos para depois a discussão metafísica dessa realidade (o

² Com a intenção de adotar uma postura realista, precisamos que ela seja de tal forma que dê respaldo para as inconsistências que estudaremos. Precisamente por estarmos preocupados sobre contradições na ‘realidade’. Por isso, nossa atitude realista particular: Realidade Vaga.

que ela é) para nos concentrarmos nas etapas do desenvolver científico de grande parte das teorias científicas.

Abordaremos a formação de uma teoria científica a partir da hipótese de que ela se dá em etapas (DA COSTA; KRAUSE, 2008). A primeira etapa é reconhecer que a Realidade Vaga (*RV*) é parcialmente acessível. Todavia, aquilo que dispomos está no que denominamos de *F*; trata-se, em um sentido kantiano, de algo fenomênico, aquilo que é dado para nós e sobre o que trabalhamos. Em cada uma das etapas, podem surgir inconsistências de várias formas, por isso teremos de estudar caso a caso. Veremos de que maneira podemos encontrar inconsistências em *RV* e em *F*, como são as inconsistências em *P* e em *T* e, por fim, como podemos lidar com inconsistências em *M*.

O problema de se trabalhar com teorias científicas supostamente inconsistentes é um tema certamente relevante dentro da filosofia da ciência e da lógica. É evidente, pela bibliografia recente (VICKERS, 2013), que a questão sobre a existência de inconsistências em ciência ainda é discutida dentro da filosofia. Ao constatar-mos a existência de inconsistências de diferentes naturezas nas disciplinas científicas, interessa-nos estudar como acomodá-las na prática científica, já que, através da lógica clássica, se tivermos um conjunto de premissas inconsistentes, isto é, um conjunto tal que duas dessas premissas sejam contraditórias (este tipo de inconsistência denominaremos ‘inconsistência formal’), então a teoria acarretará qualquer sentença bem formada de sua linguagem.³ Como podemos perceber, o resultado da junção de inconsistência formal e lógica clássica é desastroso. O conjunto de premissas inconsistentes ‘explode’ e torna a teoria, da qual estas premissas fazem parte, *trivial*. Entretanto, ao adotarmos como hipótese um enfoque lógico não-clássico, tornar-se-á possível trabalharmos com teorias inconsistentes de modo não-trivial. Depois disso, através de uma abordagem calcada em uma lógica não-clássica, estudaremos quais possibilidades existem para evitar o advento da trivialidade dentro de uma teoria científica. Portanto, levando em consideração a existência de várias teorias reconhecidas como sendo exemplos paradigmáticos de teorias inconsistentes, como a Teoria do Átomo de Bohr, parece-nos relevante um exame crítico das inconsistências encontradas na ciência, pois através dele podemos verificar a importância desse tema dentro da filosofia da ciência – e também da lógica –, o que provavelmente nos ajudará a compreender melhor as teorias científicas e o avanço da ciência.

Quando os cientistas notam uma inconsistência em uma teoria física, eles tendem a cessar todas as experiências designadas a testar sua veracidade, pois, dado que é contraditória, supõem de antemão que a teoria não pode ser verdadeira. Desse modo, se assumirmos que os cientistas estão preocupados com a verdade, parece

³ Notemos que uma inconsistência acarreta trivialidade em um estudo formal, não na prática. Nosso estudo terá por objetivo acomodar inconsistências em um estudo formal, metateórico das teorias.

que algo precisa ser modificado na teoria a fim de que ela possa continuar a ser sustentada. Esse tipo de atitude perante teorias científicas inconsistentes baseia-se na intuição de que a presença de uma contradição numa teoria indica que há algo de errado com ela. Sob uma perspectiva lógica, essa intuição parece estar apoiada na lógica clássica,⁴ na qual vale a chamada ‘lei da explosão’, que, *grosso modo*, afirma que de uma contradição tudo se segue.⁵ Por ora, cabe-nos ressaltar que a intuição supracitada é partilhada, por exemplo, pelo filósofo da ciência Karl Popper:

Se fossemos aceitar contradições, então deveríamos desistir de qualquer tipo de atividade científica: isto significaria o completo colapso da ciência. Isso pode ser mostrado pela prova de que se duas proposições contraditórias são admitidas, qualquer proposição deve ser admitida; pois de duas proposições contraditórias qualquer proposição pode ser inferida de forma válida . . . Uma teoria que envolve uma contradição é assim inteiramente inútil como teoria. (POPPER, K., 1940, p. 48)

Apesar da colocação de Popper, nos últimos anos tem sido crescente o número de alegações de que cientistas às vezes trabalham com teorias científicas inconsistentes, mesmo estando conscientes disso, e que tais teorias podem ser extremamente úteis (DA COSTA NEWTON E FRENCH, 2003). Segundo Shapiro (SHAPIRO, 2014) e Feyerabend (FEYERABEND, 1957), por exemplo, inconsistências podem existir – e de fato existem – nas ciências, mas isso não destrói e nem afeta o empreendimento científico. Destarte, se concordamos com a hipótese de que cientistas e filósofos não rejeitam ou não deveriam rejeitar teorias científicas inconsistentes, o que deveríamos fazer quando nos depararmos com uma teoria científica desse tipo?

Uma resposta para essa pergunta surge através do desenvolvimento da lógica. Em 1948, Stanisław Jaskowski (JAŚKOWSKI, 1948) citou a presença de inconsistências em campos como a dialética, como uma motivação para o desenvolvimento de lógicas paraconsistentes (que não eram assim chamadas à época).⁶ – lógicas

⁴ Poderíamos, de forma mais ampla, dizer que essa intuição parece estar apoiada já na lógica tradicional – cunhada por Aristóteles – onde uma contradição consiste de uma incompatibilidade ou incongruência lógica entre duas ou mais proposições.

⁵ Explicitaremos no decorrer desta tese em que consiste tal lei.

⁶ Precusores reconhecidos das lógicas paraconsistentes foram Jan Łukasiewicz e Nicolai Vasiliev. Independentemente um do outro, sugeriram em 1910 e 1911 que lógicas ‘não-aristotélicas’ poderiam ser obtidas ao se revisar as leis da lógica aristotélica, em especial questionando a validade universal do princípio da não-contradição (ARRUDA, 1980, p. 6). Desse modo, esses lógicos sugeriram rejeitar o princípio de não-contradição. Apesar de não ter efetivamente construído um sistema de lógica paraconsistente, Łukasiewicz inspirou seu aluno Jaskowski e esse construiu uma lógica chamada discussiva (ou discursiva) em 1948. A lógica discussiva de Jaskowski é um sistema de cálculo proposicional paraconsistente. Ele foi motivado a criar sua lógica discussiva pela necessidade de abordar questões como sistematizar teorias que contêm contradições e estudar teorias onde contradições são originadas por imprecisão e para investigar teorias empíricas cujos postulados ou premissas são contraditórios (DA COSTA; KRAUSE; BUENO, 2007, p. 657). Em 1911, 1912 e 1913, inspirado pelos trabalhos de Lobachewski em geometrias não-euclidianas, inicialmente chamadas de geometrias imaginárias, Vasiliev anteviu uma ‘lógica imaginária’, isto é, uma lógica não-aristotélica onde o princípio de não-contradição não seria válido em geral. A despeito disso, Vasiliev não acreditava que existissem contradições ‘reais’ no mundo, mas somente em um mundo criado pela mente humana,

em que a preciosa lei de não-contradição de Aristóteles é revogada, juntamente com certas regras de inferência. Assim, uma resposta plausível à questão acima é que deveríamos adotar uma lógica paraconsistente a fim de que possamos continuar a trabalhar com teorias científicas inconsistentes, sem que se gere a chamada ‘explosão lógica’, provinda da lógica clássica.⁷

Para compreender em que consiste a *explosão lógica*, é preciso, em primeiro lugar, explicitar a noção de inconsistência com a qual estamos trabalhando.⁸ Quando utilizamos uma linguagem lógica, dizemos que uma teoria (um conjunto de fórmulas fechado por dedução) é inconsistente se ela tem duas teses (teoremas) contraditórias, α e $\neg\alpha$ (onde α é uma fórmula da linguagem da teoria e ‘ \neg ’ é o seu símbolo de negação); caso contrário, ela é consistente. Na maioria dos casos, quando há teses contraditórias, o sistema também tem sua conjunção como tese, a saber, a expressão $\alpha \wedge \neg\alpha$, uma contradição.

Feitas essas considerações, podemos passar à explicação da lei da explosão ou ‘lei de Scotus’. Nota-se frequentemente que há sistemas lógicos em que, a partir de duas proposições α e β , não é lícito inferir a conjunção $\alpha \wedge \beta$. Contudo, a maioria dos sistemas lógicos usuais são *adjuntivos* nesse sentido e se a teoria for inconsistente, qualquer sentença bem formada de sua linguagem pode ser provada, devido à lei de Scotus (que pode ser formalmente apresentada do seguinte modo: $(\alpha \wedge \neg\alpha) \rightarrow \beta$ para β qualquer) que ‘explode’ o sistema levando-o à trivialidade.⁹

Ainda na parte II estudaremos uma técnica chamada *Chunk and Permeate*, que foi desenvolvida para lidar com teorias inconsistentes por meio de uma reconstrução racional de tais teorias. Em seguida, defenderemos uma postura perspectivista em

nomeando, então, sua lógica de ‘imaginária’. Com isso, formulou a hipótese de mundos imaginários onde os princípios aristotélicos não seriam válidos, apesar de não a ter trabalhado por completo (DA COSTA; KRAUSE; BUENO, 2007, p. 792). O primeiro lógico a construir um sistema formal de lógica paraconsistente foi Jaskowski em 1948. Ele foi motivado por teorias que contém contradições, teorias empíricas cujos postulados incluem hipóteses contraditórias e também por teorias onde contradições são causadas por imprecisões; estudou-as com o intuito de sistematizá-las. A lógica discussiva de Jaskowski era restrita ao nível proposicional, apesar de sua ampla variedade de aplicações. Outro precursor das lógicas paraconsistentes é o lógico americano David Nelson, que desenvolveu sistemas paraconsistentes em 1949 e 1959 (DA COSTA; KRAUSE; BUENO, 2007, p. 738). Newton da Costa, independentemente de Jaskowski, em 1958, começou a estudar sistemas contraditórios (COSTA, N. A. C. da, 1958, p. 6). Desde então, da Costa desenvolveu vários sistemas relacionados à paraconsistência, como a lógica paraclássica, apontando diferentes perspectivas para lidar com inconsistências, trabalhos que apareceram a partir de 1963 (DA COSTA; KRAUSE; BUENO, 2007, p. 892). O construtor de sistemas fortes de lógica paraconsistente suficientes para neles se ter uma matemática tão forte como a usual, efetivamente, foi Newton da Costa. Ele desenvolveu vários sistemas de lógica paraconsistente, incluindo, além de nível proposicional, também o nível de predicados, cálculos com igualdade, lógicas de ordem superior e teorias de conjuntos.

⁷ Pressupondo que as teorias operem naturalmente com a lógica clássica.

⁸ Para explicarmos no que consiste a *explosão lógica*, estamos nos utilizando de uma definição sintática de inconsistência. Isso não significa que teremos a mesma definição de inconsistência para todas as etapas que serão abordadas.

⁹ Existem formulações sem conjunção: $\alpha, \neg\alpha \vdash \beta$, e $\neg\alpha \vdash \alpha \rightarrow \beta$. O problema não é a adjunção, como ainda veremos.

relação à ciência e à filosofia da ciência.

Existem razões para tomarmos seriamente o estudo de teorias científicas inconsistentes. Primeiramente, precisamos ser cuidadosos e examinar os custos envolvidos ao trabalharmos com esse tipo de teoria. Um desses custos é a trivialidade. Como vimos, uma acusação comum feita a teorias científicas inconsistentes é que, se assumirmos como lógica subjacente a clássica, elas serão triviais; ou seja, tudo que se expresse em sua linguagem se seguirá como teorema. Desse modo, essas teorias inconsistentes careceriam de utilidade, pois supostamente não poderiam ser base para qualquer desenvolvimento científico. Esse é o principal apontamento contra inconsistências e é uma das razões pelas quais a palavra 'inconsistência' carrega sua má fama.

Outra razão pela qual as teorias científicas inconsistentes são consideradas cientificamente duvidosas é o fato de que, ao menos intuitivamente, ontologicamente falando, acreditamos que não existam inconsistências 'verdadeiras' na 'realidade'. Desse modo, se inconsistências não podem ser verdadeiras nesse sentido, ou pelo menos não completamente verdadeiras, não existem fundamentos para pensarmos que tais teorias são confiáveis. Afinal, se nenhuma teoria científica inconsistente sobre o mundo pode ser verdadeira, então, nenhuma teoria científica inconsistente é verdadeira, mesmo a longo prazo. Além disso, não saberíamos como chegar à consistência via inconsistência, já que como teorias científicas inconsistentes são triviais (via lógica clássica) não saberíamos quais partes de tal teoria preservar para um futuro desenvolvimento de uma teoria consistente. Dada a trivialidade (novamente, sob a ótica clássica) não teríamos como explorar consequências adicionais de uma maneira informativa, pois 'tudo' se seguiria nessa teoria. Sob essas circunstâncias, teorias científicas inconsistentes não parecem ser convenientes.

As acusações vistas podem ser combatidas se adotarmos um *framework* adequado em que os custos encontrados ao trabalharmos com inconsistências se transformarão em benefícios quando as acomodarmos apropriadamente. Assim, ao examinarmos com seriedade teorias científicas inconsistentes, vários benefícios podem surgir. Notemos que examinar seriamente não significa considerar teorias científicas inconsistentes como verdadeiras, mas sim tomá-las como empiricamente adequadas e/ou quase-verdadeiras. De um ponto de vista pragmático, podemos simplesmente considerá-las com propósitos de investigação científica e/ou tomá-las como ferramentas para previsões sobre dados de fenômenos científicos.

Por fim, na última parte III, procederemos a justificar o desenvolvimento do presente trabalho através de dois estudos de casos de teorias reconhecidas que são exemplos paradigmáticos de teorias inconsistentes, a saber, a Eletrodinâmica Clássica e o Átomo de Bohr. Essas teorias (ainda que informais) mesmo sendo consideradas inconsistentes, ajudaram cientistas a entender melhor o funcionamento de certos fenô-

menos físicos. Por meio de teorias inconsistentes, muito foi alcançado dentro do âmbito científico e é também trabalho do filósofo da ciência investigar essas teorias de modo rigoroso. Nesse sentido, pode-se visualizar a importância desse tema para entender melhor o progresso na ciência.

Parte I

Do Real ao Modelo: destrinchando o processo de elaboração de teorias físicas

2 REALIDADE

O modo de se elaborar uma teoria científica é controverso. Até mesmo o que vem a ser uma teoria científica não tem completo acordo entre os filósofos e cientistas (esses, obviamente, menos preocupados com essas coisas). A palavra 'científica' é dúbia, ainda que as pessoas em geral pensem que sabem discernir o que é científico do que não é. Teatro, por exemplo, não é 'científico', ainda que muita ciência seja utilizada em seu contexto (luz, som, etc.), sem que os atores e diretores tenham que se ocupar em entender como essas coisas funcionam, tarefa da ciência. Porém, a física (domínio ao qual nos restringiremos) parece ser 'científica'. Qual o critério? Haveria alguma forma possível de demarcação entre ciência e não-ciência? Esse problema, como é bem sabido, ocupa a mente dos filósofos há muito, sem que se tenha alcançado qualquer unanimidade sobre um *critério de demarcação*.¹ O tema é extenso, e não nos ocuparemos dele aqui. O que pretendemos é algo distinto: uma vez que concordemos que há atividade científica (postergando o que ela venha a ser exatamente, mas aceitando o senso comum), indagamos: em que essa atividade se baseia? Quais são seus objetivos?

Uma primeira resposta possível, calcada no senso comum, é a de que a ciência, sejam quais forem os seus limites, visa no conhecimento da *realidade*, do *mundo*.² Pretendemos *saber* como se dá o processo de evolução das espécies (hoje, por meio da teoria da seleção natural), o que há para além do horizonte de eventos em um buraco negro, o que significa dizer que a hipótese do contínuum é independente dos axiomas de ZF, supostos consistentes, etc.³ *Conhecimento*, esse parece ser o nosso objetivo. Porém, conhecimento do quê? A ideia intuitiva é a de que objetivamos o conhecimento dessa suposta *realidade*. Mas, o que é essa 'realidade'? Ela existe como algo independente de nós, que queremos analisá-la? Aqui, como se sabe, também há controvérsias, as quais também não fazem parte deste estudo. Mas, apenas para

¹ Um dos critérios de demarcação mais aceitos entre ciência e não ciência foi proposto por Karl R. Popper, a saber, o *falseacionismo*, segundo o qual uma teoria seria científica se pudesse ser falseada, falsificada (POPPER, K., 1940).

² É discutível se disciplinas como a psicologia, que tratam do 'mundo interior', são ou não parte da ciência. Em nossa opinião, dados os métodos que emprega, é parte da ciência; assim, o 'mundo' a ser conhecido seria tanto o 'mundo externo' quanto o 'mundo interno'. Em uma perspectiva cognitiva da psicologia, o foco central é o pensar humano e todos os processos baseados no conhecimento – atenção, memória, compreensão, recordação, tomada de decisão, linguagem, etc. Moldar o comportamento do paciente através da reflexão para adequá-lo à realidade pelo questionamento retórico e a reorganização de crenças. A perspectiva cognitivista se dedica assim à compreensão dos processos cognitivos que influenciam o comportamento - a capacidade do indivíduo de imaginar alternativas antes de se tomar uma decisão, de descobrir novos caminhos a partir de experiências passadas, de criar imagens mentais do mundo que o cerca - e à influência do comportamento sobre os processos cognitivos - como o modo de pensar se modifica de acordo com o comportamento e suas consequências (MATLIN, 2004).

³ Como se vê, colocamos a matemática como parte da ciência, dentro do que podemos denominar de *ciências formais*: lógica e matemática.

contextualizar o que assumimos, é conveniente destacar as disputas principalmente entre *realistas* e *idealistas*, dois grandes grupos que se subdividem em outros, que igualmente não comentaremos.

Enquanto que o idealismo assume que “o conteúdo do conhecimento humano está inevitavelmente determinado pela estrutura do pensamento humano”(GUYER; HORSTMANN, 2019), sustentando portanto a necessidade dos nossos sentidos para que possamos observar o mundo, das linguagens para dele falar, e de esquemas conceituais para formular teorias, um realista assume que existe uma ‘realidade’ externa a nós e às nossas mentes. Ela seria independente de nossa atuação e existiria mesmo que nunca tivéssemos existido. Isso parece muito razoável, pelo menos para as pessoas comuns. Não havia mente humana no tempo dos dinossauros, mas tem-se como certo que eles existiram. Sem entrar nessa controvérsia, queremos unicamente sustentar a nossa posição realista, que será um misto de realismo e de idealismo, caracterizada como *híbrida*, como veremos adiante. Para nós, a realidade externa é *vaga*, e necessitamos explicar o que entendemos por isso.

2.1 VAGUEZA

O conceito de vagueza (*vagueness*, no termo Inglês, língua na qual a quase que totalidade dos trabalhos no tema se encontram) é ele mesmo vago. Usualmente, quando se fala por exemplo que alguém que não esteja entre os limites de ser reconhecidamente careca (como Picasso) ou reconhecidamente cabeludo (como Robert Plant – líder do grupo de rock Led Zeppelin), é por sua vez careca, isso pode ser algo bem vago. Da mesma forma, os predicados ‘bonito(a)’, ‘inteligente’, ‘alto(a)’, dentre outros, são considerados vagos. Analisando o conceito, verificamos que na história da filosofia há duas grandes linhas de consideração; uma que sustenta que a vagueza (ou ‘vaguidade’) está na linguagem que empregamos, outra que a vagueza está no mundo, nas coisas que existem.

Para a primeira abordagem, o mundo seria *sharp*, termo usado para ‘não vago’. Assim, se alguém que usa óculos de grau forte retira os óculos, provavelmente vê o mundo como algo borrado, tipicamente vago, ainda que, sustenta-se, o mundo não seja assim.⁴ Para os defensores da segunda linha, o mundo seria vago. Porém, em que sentido? Para não ficarmos numa pura especulação metafísica (metafísica ‘de poltrona’), devemos nos pautar no que temos de melhor, as nossas teorias científicas. Assim, partimos para alguma forma de *naturalização* da metafísica, ou seja, para uma visão que seja calcada na nossa melhor ciência. E, no caso das coisas básicas do mundo, tema da metafísica no sentido aristotélico, baseamo-nos na mecânica quântica.⁵ Aqui, como tem sido comum em vários contextos, não distinguimos entre

⁴ Veja-se Williamson (WILLIAMSON, 2003).

⁵ O grande tratado de Aristóteles, *Metafísica* (ARISTÓTELES, 2005), foi assim denominado porque,

‘metafísica’ e ‘ontologia’.

Assim, um dos mais importantes filósofos da física da atualidade, Tim Maudlin, assevera:

A ontologia é o estudo mais geral daquilo que existe, pelo menos no mundo físico, é fornecido unicamente pela pesquisa empírica. Portanto, o objeto específico de quase toda a metafísica é a análise cuidadosa de nossas melhores teorias científicas (e especificamente das teorias físicas fundamentais) com o objetivo de determinar o que elas implicam acerca da constituição do mundo físico. (MAUDLIN, 2007, p.104)

Seguindo esse conselho, que reputamos como pertinente às investigações em filosofia da física, dentre as nossas ‘melhores teorias’, vamos nos concentrar na mecânica quântica não relativista, a qual reconhece-se como fundamental no processo de descrever as bases de nosso conhecimento sobre a matéria. Porém, não nos furtaremos de considerar também a física quântica de campos, onde as interações podem ser tratadas. É claro que isso não constitui uma abordagem exaustiva, mesmo por que, como se sabe, mesmo o chamado Modelo Padrão da física de partículas, que congrega três das atuais quatro forças fundamentais, não contempla a gravidade. Assim, se quiséssemos ser rigorosos, deveríamos esperar por uma teoria ‘de tudo’ para ver o que ela nos diz sobre o mundo, mas essa ainda não está à disposição. Assim, seguindo Maudlin, ficaremos com nossas atuais teorias, que analisam parcelas da realidade (na visão do realista).

Porém, antes de entrarmos na discussão sobre a vagueza no domínio quântico, necessitamos esquematizar um pouco melhor o contexto no qual essa nossa discussão se assenta.

Nossa visão parte do físico e filósofo da física francês Bernard D’Espagnat e de seu conceito de *realidade velada* (*veiled reality*, *réel voilé*) (D’ESPAGNAT, Bernard, 2003), porém substituindo-a pela nossa realidade *vaga*. D’Espagnat inicia assumindo a existência uma realidade velada (algo como ‘por trás de um véu), o que implica que ele admite a possibilidade (ainda que não afirme isso) de uma realidade *sharp*, porém que se apresentaria a nós como ‘velada’. A seguir, ele assume que existem dados fenomênicos que nos chegam pelos sentidos, naquilo que denomina de *realidade empírica*, congregando a totalidade dos fenômenos. Ele lembra que os positivistas lógicos, por exemplo, rejeitando qualquer apelo à metafísica, dispensam a realidade independente (velada ou não), atendo-se à realidade empírica, que aqui denominaremos de *realidade fenomênica* (D’ESPAGNAT, Bernard, 1989).

Em nosso caso, não fazemos a supressão de uma realidade metafísica, aceitando a existência de uma realidade externa, que no entanto seria *vaga*, como dito. Ademais, adotamos um esquema⁶ que estende os dois níveis de realidade de

sem título, foi ordenado para ser lido *depois* do seu livro ‘Física’ (ARISTÓTELES, 2009), ou seja, *depois da Física*.

⁶ Baseado em (D., K., 2017, Cap.6), (COSTA; KRAUSE, 2014), (KRAUSE D.; B.; COSTA, 2017).

D'Espagnat e que, acreditamos, capta razoavelmente bem o processo de elaboração de grande parte das teorias científicas, ainda que certamente não de todas elas.⁷ O esquema pode ser resumido na seguinte expressão:

$$RV \rightarrow F \rightarrow P \rightarrow T \rightarrow M, \quad (3)$$

onde RV representa a realidade vaga, ou melhor, alguma porção dessa realidade que esteja sob estudo, F a realidade fenomênica. Até aqui, exceto pela troca da realidade velada pela vaga, seguimos D'Espagnat. Porém, surge a questão: o que faz o cientista com os dados fenomênicos? A resposta parece simples: elabora uma teoria, etapa que denominamos de P , que pode significar *Proto-Teoria*, uma teoria em geral informal (não axiomatizada, de modo semelhante à maioria das teorias em biologia, química ou mesmo da física pré-newtoniana). Claro que diferentes cientistas podem ter diferentes intuições (F s) acerca de uma mesma RV , o que pode originar diferentes dados fenomênicos, que por sua vez via de regra originam diferentes P s. Fixemos uma P particular. Em geral, o cientista comum (como o biólogo, o químico, o engenheiro, o matemático aplicado) para por aí. Isso lhe basta para fazer inferências que possam ser testadas empiricamente, comprovando ou não as suas intuições. Se as comprovam, ele vai em frente, obtendo novos resultados, ampliando a sua proto-teoria. Caso contrário, ele procede de um dentre dois modos básicos de agir: ou revisa a sua teoria, reconhecendo sua limitação, ou isola o problema como algo não tão significativo, e continua a utilizá-la em outros contextos; esses pontos serão considerados à frente.⁸ Evidentemente, dependendo do 'dano' alcançado, ele pode simplesmente abandonar a proto-teoria. De qualquer forma, os resultados obtidos são assumidos se referirem a RV , no caso de um realista, ou a explicarem aos dados em F , caso sejamos positivistas.

Por certo diferentes cientistas podem elaborar Proto-Teorias diferentes de um mesmo domínio. Para um matemático aplicado, ou um engenheiro, um economista ou um biólogo, via de regra a etapa de se obter uma P satisfatória é suficiente, tanto é que muitos relegam a tarefa seguinte (de se obter uma T) como sendo um diletantismo filosófico (veja-se por exemplo (DÜRR D.; ZANGUI, 2013, Cap.4)). Porém, o cientista ocupado com fundamentos e principalmente o filósofo, visa outro tipo de questão, que seria mais uma meta-questão, a do estudo dessas proto-teorias. Questões básicas seriam, por exemplo, as seguintes: quais os princípios fundamentais da teoria informal? Em que ela se baseia? Que tipos de inferência são admitidos? Quais são as suas possíveis 'realizações' ou campos de aplicação, para além daquele que a motivou?

⁷ Admitindo, como fazemos, que a matemática seja também ciência, a matemática intuicionista, com seus pendores construtivos, não se enquadraria nesse esquema e necessitaria ser analisada em isolado.

⁸ Pensamos que a lógica clássica explica, ainda que de forma sistemática, o porquê caso um cientista infira uma proposição que vai contra a experiência, ele não se abraça à contradição.

Todas essas questões passam por um procedimento básico: axiomatização e, para que se possa responder à questão sobre as inferências, pela formalização.

Assim, entram em cena os demais itens na expressão 3, onde T indica 'Teoria' (*estrito senso*) e M indica 'Modelos'. Por 'Teoria' entendemos uma versão axiomatizada ou formalizada de P , reconhecendo que há mais de um modo de se fazer isso, e por 'Modelo' entendemos uma estrutura matemática, usualmente erigida em uma teoria de conjuntos, que satisfaz⁹ os postulados de T .¹⁰

Uma análise mais detalhada dessas etapas será feita mais à frente. Por enquanto, voltemos um pouco no nosso esquema, procurando esclarecer os seus pontos principais.

2.2 A REALIDADE VAGA, 1

Nas etapas de elaboração de uma teoria científica vistas esquematicamente acima, caso seja adotada uma posição realista, começaremos por uma realidade, RV ¹¹ para nós.¹² Neste capítulo, falaremos um pouco sobre essa Realidade RV , tomando uma posição realista 'híbrida'.

Propomos nesta tese a perspectiva de uma Realidade Vaga, ou seja, que a vagueza estaria não unicamente em nossa linguagem, mas no mundo. Inclusive, parece-nos coerente que seja preciso fazer uma escolha entre as diversas opções possíveis. Assim, iremos nos apoiar na ciência (física) para nos ajudar a fazer essa escolha, diminuindo os riscos trazidos pela subjetividade e pela arbitrariedade. Pelo menos, ela pode nos ajudar, já que (supostamente) a conhecemos o suficientemente para sermos capazes de encontrar nosso caminho entre as informações que são por ela fornecidas.

⁹ Notemos que isso envolve uma teoria que relaciona estruturas conjuntistas com conjuntos de sentenças.

¹⁰ Existe, como em quase qualquer ponto a que se dedique a análise filosófica, uma controvérsia sobre a natureza dos modelos de uma teoria científica, dado que há modelos de todos os tipos. Uma maquete é um modelo de alguma coisa, como um avião. Patrick Suppes analisa várias alternativas para um 'modelo' de uma teoria e conclui que todas elas se resumem no que denomina de *modelo conjuntista*, ou *modelo lógico*. Como não pretendemos entrar nessa discussão, simplesmente assumimos o ponto de vista de Suppes (SUPPES, Patrick, 2002).

¹¹ Notemos que não há relativismo aqui, não é que 'tudo valha'. Não há a captura da 'realidade' *D in totum*. Rejeitamos a posição de que qualquer escolha pode ser efetuada sem apresentar diferenças, com igual valor, de forma equivalente, sem distinção, com correspondência uniforme. Nossa aceção não se reduz puramente a um relativismo. A diversidade de panoramas deve ser encarada com diligência pelo filósofo e pelo cientista.

¹² Pode-se adotar uma visão anti-realista e ignorar-se ou negar-se a existência de uma realidade externa, vaga ou não, partindo-se de F (FRAASSEN, 1980). Adotar uma posição realista ou anti-realista é uma questão de escolha. Tanto realistas quanto anti-realistas concordarão que a teoria diz respeito ao real. Eles diferem acerca da possibilidade de ela ser verdadeira. Optar pelo realismo não é uma tarefa imediatamente óbvia nem de qualquer forma demonstrável. Contudo, consideramos que a maioria dos físicos está inclinada a uma perspectiva realista devido às próprias características de seus campos de estudo, suas relações e sua história. É a posição mais cômoda, intuitiva. Assim, não negamos ou ignoramos R , porque adotamos uma visão realista particular.

Gostaríamos de salientar que estamos lidando com uma perspectiva (Realidade Vaga), a que escolhemos dentre outras possíveis, e tentaremos, da melhor maneira cabível, justificá-la e defendê-la. Essa perspectiva não é única ou definitiva; é uma escolha feita com base nos conhecimentos da física dos dias atuais, especialmente da física quântica.¹³

As disciplinas científicas, na ciência empírica, domínio que estamos considerando, se referem a parcelas de uma Realidade independente da humanidade. Uma realidade externa ao homem é uma ideia presente mesmo nos dias atuais, mas ela é vista mais em termos científicos do que de pura especulação metafísica. Contudo, para considerarmos que uma disciplina científica seja adequada para ser considerada como uma descrição correta da porção da Realidade em análise, sem arbitrariedade, tendemos a requisitar que ela seja consistente, ou seja, ausente de contradições internas, que tenha em conta a interação de suas várias partes e que seja unificada – em referência a princípios físicos.¹⁴ E, se assim fosse, os princípios da física deveriam ser expressos sem quaisquer referências aos limites das habilidades humanas (ação-observação). Todavia, essa condição, chamada por Bernard D’Espagnat de ‘objetividade forte’ – que pode ser entendida como interpretando declarações, conceitos e teorias como referindo-se à Realidade,¹⁵ descrevendo-a como ela realmente é, como atributos de uma realidade externa, cuja existência é independente da nossa existência e conhecimento – em geral não é satisfeita nos dias presentes pela física atual.¹⁶

Nossa acepção da Realidade – a Realidade Vaga *RV* – implica que ela não é e nem pode ser conhecida exhaustivamente pela física. Assim, para explicar o que entendemos por Realidade Vaga, precisamos entrar em um domínio no qual vamos além da experiência cotidiana para podermos construir uma perspectiva compreensível. Vamos reunir, ao longo desta tese, o cerne de algumas ideias que servirão como diretrizes para abarcarmos esse difícil problema sobre a realidade.

Entendemos que a epistemologia e a física quântica¹⁷ andam lado a lado.

¹³ Dizemos isso porque a física de amanhã pode ser distinta da de hoje e sua mudança pode acarretar também em uma mudança de perspectiva.

¹⁴ A rigor, o conceito de ‘consistência’ faz sentido unicamente no âmbito de um sistema formal, cuja linguagem contenha um símbolo de negação ‘ \neg ’. Consistência significa então que a teoria não infere tanto uma proposição α quanto sua negação $\neg\alpha$. Nas teorias informais, no entanto, como não se tem uma linguagem bem definida e nem um conceito preciso de *derivação* (*dedução*), tem-se unicamente uma ideia informal do conceito de consistência, que porém é clara para o cientista.

¹⁵ Daqui para a frente, sempre que falarmos em ‘Realidade’, queremos dizer ‘parcela da Realidade’ considerada pela teoria em questão.

¹⁶ Por exemplo, a Teoria Quântica de Campos constitui uma linguagem muito forte para a descrição dos constituintes sub-atômicos do mundo físico e de suas leis (CAO, 1999). As principais teorias da física quântica são hoje em dia descritas por meio de teorias de campos, como a eletrodinâmica quântica e as demais teorias que compõem o Modelo Padrão. Porém, reconhece-se a dificuldade em se estabelecer os alicerces lógicos da maior parte de tais teorias, como apontado por S. L. Glashow em (GLASHOW, 1999).

¹⁷ Por ‘física quântica’ vamos tomar um termo genérico denotando tanto as teorias quânticas relativísticas quanto as não-relativísticas. Quando quisermos denotar uma teoria em específico, deixaremos

A epistemologia traz consigo um argumento bem fundamentado que trata da ideia de que as coisas que encontramos no nosso cotidiano e na vida científica existem *per se*, situadas em algum espaço e algum tempo também existindo *per se* e que são conhecidos pela física (BONSACK, 1989) (POINCARÉ, 1905) (VAN FRAASSEN, 1991) (PUTNAM, 1981). Analisaremos essa ideia e veremos que ela está muito longe de ser uma verdade óbvia. Como o senso comum acredita ser, ela é somente uma hipótese. A física quântica colocou em jogo uma peça adicional de informação que, como veremos, faz com que a hipótese em questão se apresente como presumivelmente errônea. Isso é o que nos permite conceber a ideia de que a física não descreve a *realidade-per-se* em sua totalidade e em seus devidos detalhes, mas sim que a física descreve primariamente a manifestação dos fenômenos. Isso é relevante: aceitamos a existência de uma *RV*, mas a física pode somente dar conta de uma parte da *F*.

Inclusive, como já disse van Fraassen: “o objetivo da ciência não é buscar verdade como tal, mas de buscar somente uma adequação aos fenômenos.” (VAN FRAASSEN, 1991, p. 04). Isto nos mostra que o construtivismo empírico desse filósofo está em certa afinidade com o conceito de Realidade Vaga. Também há também certa afinidade entre o Realismo Interno de Hilary Putnam e a Realidade Vaga. Diz ele que “[t]alvez Kant esteja certo: talvez não seja possível evitar pensarmos que há de alguma forma uma base independente de nossas mentes, para além a nossa experiência.” (PUTNAM, 1981, p. 54). Certamente existem também desavenças entre os conceitos mencionados, mas é importante notar que foram desenvolvidas ideias semelhantes por outros filósofos da ciência. Isso é relevante, pois tais ideias foram desenvolvidas aquém de uma referência ao conhecimento mais detalhado da física. Queremos salientar que diferentes indivíduos chegaram a ideias semelhantes por meios distintos, fato que traz significância e vigor ao conceito de Realidade Vaga.

Por mais que saibamos que ambos filósofos citados no parágrafo acima não se concebiam como realistas, suas concepções têm afinidades com a perspectiva realista. Por essa ser uma questão deveras interessante, vamos aprofundá-la. Consideramos que a maioria dos físicos está inclinada a uma perspectiva realista devido às próprias características de seus campos de estudo, suas relações e sua história. É a posição mais cômoda, já para os filósofos, os argumentos favoráveis a uma perspectiva idealista são difícilísimos de serem contornados.¹⁸ No entanto, mesmo a nossa propensão em admitir a existência de um mundo externo pode passar a ser questionada, chegando ao ponto de poder ser vista apenas como uma ilusão. O célebre exemplo de Putnam de nada mais sermos do que um cérebro em uma cuba, controlados por um cientista maldoso (muito bem ilustrado pelo filme *Matrix*) é difícil de ser contestado.

isso explícito.

¹⁸ Por exemplo, se a realidade é um construto nosso, como poderia haver algo antes da existência humana? Ou então, como mentes diferentes podem ter concepções tão próximas de uma mesma coisa?

Assim, uma inclinação forte à perspectiva realista passa a ser considerada como um ponto fraco ou a sucumbir em um instinto primitivo, a uma intuição rudimentar. Aqueles acometidos por esse ‘ponto fraco’ seriam realistas *intrínsecos*, mas externando uma postura de repúdio quanto a esse *insight*.

Para os que adotam a posição realista não negarem seus instintos e não agirem de maneira hipócrita, é preciso encontrar fundamentos para que uma epistemologia realista possa ser filosoficamente razoável. Ora, ou o realismo (de maneira geral) é uma perspectiva coerente e precisamos ser capazes de defendê-lo racionalmente, ou o realismo é uma posição incoerente que se basearia antes em uma intuição rudimentar.¹⁹

2.3 OBJETIVIDADE FRACA E NÃO-SEPARABILIDADE

Vamos agora trazer uma análise pautada na física que corrobora nossa perspectiva híbrida de realismo, a nossa *RV*, a qual congrega aspectos realistas e idealistas. Por mais paradoxal que isso possa parecer, veremos que a posição é sustentável e de certo modo reflete melhor o que se passa com a formação de teorias.

Os físicos têm a tendência de acreditar que a ciência contempla, de fato, (desvela, levanta o véu das aparências, como para D’Espagnat (D’ESPAGNAT, Bernard, 1989)) a Realidade. Glashow, no artigo já mencionado, recorda alguns conceitos do que seria a física, sem adotar qualquer deles, como por exemplo, que seria a ciência da matéria e da energia e das interações entre elas, ou então que seria a disciplina que trata dos fundamentos do universo, ou seja, da constituição de tudo o que forma o universo e de como as várias porções do universo afetam umas às outras (GLASHOW, 1999, p.75).

A física quântica nos apresenta dois principais enigmas que serão estudados nesta seção: a Objetividade Fraca e a Não-Separabilidade. Nenhum desses enigmas (e por isso assim chamados) existem na física clássica; no entanto, sua presença na física quântica se dá essencialmente pelo fato de que enquanto as regras de previsão da física quântica funcionam notavelmente bem, as suas interpretações em termos do que os filósofos por vezes chamam de ‘realidade externa’ geram problemas consideráveis. Como essa tal ‘realidade externa’ gera tantos problemas, poderíamos pensar em abandonar a posição realista. Contudo, faremos o oposto ao defender uma posição realista e com isto sustentaremos que assumir a existência de uma realidade faz completo sentido. Ademais, vamos propor uma perspectiva realista e discutiremos alguns atributos dessa realidade.

Temos a convicção de que quem quer que tente formar uma ideia sensata de mundo – e da posição do homem nesse mundo – deve levar as descobertas da

¹⁹ Para solucionar esse dilema, iremos adotar como *RV* uma postura realista que chamaremos de ‘híbrida’, a qual será melhor explicada no que se segue.

física quântica seriamente em consideração na formação de sua perspectiva (por mais difícil que isso possa ser). No entanto, sabemos que isso não é muito óbvio; na verdade, é uma tarefa extremamente complicada. Isso porque a física quântica é incrivelmente discrepante ao senso comum,²⁰ para não dizer contraintuitiva; e assim, essa disparidade é *d'emblée* desgostosa. Porém, dado o devido amadurecimento, é possível encarar a física quântica com tremendo fascínio.

2.3.1 Objetividade Fraca

Uma das peculiaridades intrigantes atreladas à física quântica está no conceito de *Objetividade Fraca* – termo presente no trabalho do físico Bernard D'Espagnat (D'ESPAGNAT, Bernard, 1983). Concordamos amplamente com seu posicionamento e, por isso, estudaremos seus alicerces, pois eles nos ajudarão no desenvolvimento de nossa perspectiva realista híbrida. Dessa forma, também assentimos no que tange à constatação de que as afirmações na física são epistemologicamente objetivas, mas é preciso que fiquemos atentos, pois existem dois tipos de objetividade: a forte e a fraca.

Declarações sob o escopo da *objetividade forte* são aquelas interpretadas como referindo-se à realidade não vaga (que denominaremos de '*R*'), descrevendo-a como ela realmente é, como atributos de uma realidade externa, cuja existência é independente da nossa existência e conhecimento. Podemos dizer, tirando algumas declarações sobre a termodinâmica estatística,²¹ que todas as declarações básicas da física clássica são objetivamente fortes. Ou seja, são feitas como se fossem de fato asserções sobre *R*. A objetividade fraca, por outro lado, depende de mensuração, de interpretação de resultados, de probabilidades, apenas indiretamente se referindo a *R*.

Qualquer declaração objetivamente forte pode ser substituída por uma declaração objetivamente fraca. Por exemplo, ao invés de declarar que dois corpos carregados de cargas elétricas opostas se atraem mutuamente (declaração objetivamente forte), podemos dizer que eles irão (por meio de uma medição) se encontrar atraídos mutuamente (declaração objetivamente fraca). As afirmações sobre a mecânica quântica, por exemplo, seriam (para esse autor) unicamente fracas, notadamente devido à presença ineliminável dos aspectos probabilísticos (D'ESPAGNAT, Bernard, 1989, p.109).

²⁰ Talvez ela seja uma prova de que o senso comum é um contrassenso; como diria Quine, “os filósofos com razão abandonaram a esperança de tudo traduzir para termos observacionais e lógico-matemáticos. Eles haviam perdido essa esperança mesmo quando ainda não haviam reconhecido, a título de razão para essa irreduzibilidade, que grande parte dos enunciados não traz seu lote privado de consequências empíricas. E, para alguns filósofos, essa irreduzibilidade aparecia como a bancarrota da epistemologia.” (QUINE, 1975).

²¹ Na termodinâmica estatística, algumas referências são feitas explicitamente a que tipos de sistemas podem ser preparados ou ao que se é possível observar (CALLEN, 1985) – *e.g.* sistemas (modelos) de granulação grossa que são aqueles que visam estimular o comportamento de sistemas complexos usando uma representação mais simples (de granulação grossa).

Ainda que as declarações de objetividade forte possam ser traduzidas nas de objetividade fraca, o contrário nem sempre sucede. Algumas declarações objetivamente fracas podem ser convertidas em declarações objetivamente fortes, mas quando nos referimos a declarações em termodinâmica estatística; por exemplo, tal conversão não é uma operação tão trivial, quiçá impossível (considerando a física atual) (CALLEN, 1985).

Poderíamos esperar que com o tempo esse estado de coisas se desenvolveria, e até mesmo a termodinâmica seria eventualmente reformulada em termos objetivamente fortes, e que todas as teorias futuras também seriam postas em termos da objetividade forte. Porém, não é o que acontece até o presente momento. Podemos recordar, como já sugerido, em relação à mecânica quântica não-relativística, que alguns de seus axiomas não são objetivamente fortes (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 3). Eles se referem, por exemplo, a medidas – à própria noção de medida, independentemente de quem faz a medida de fato – mas não é por isso que essas declarações são vistas como subjetivas (que dependem de uma escolha individual), já que são válidas para todos, ou seja, são 'repetíveis'. Em um livro texto convencional de mecânica quântica não relativística, algumas leis básicas são apresentadas como se referindo ao que irá ser observado *atualmente* em determinadas circunstâncias. Parecem ser declarações objetivas, mas não é possível compreendê-las como descrições de como as coisas realmente são.²² Assim, temos uma categoria de declarações que não são objetivamente fortes nem meramente subjetivas. Essas declarações serão chamadas de objetivamente fracas – definidas por referências a operações realizadas por seres humanos.

A constatação de que grande parte (a totalidade?) das asserções físicas são de objetividade fraca nos dá a primeira indicação do que se entende por Realidade Vaga. Falaremos mais disso à frente. Isso coloca a questão da *RV* em termos mais claros: *o máximo que podemos considerar sobre a R são declarações de objetividade fraca, logo, tudo o que temos disponível é RV.*

2.3.2 Não-Separabilidade

O segundo enigma consiste da denominada Não-Separabilidade. Podemos definir, *grosso modo*, a Não-Separabilidade como o fenômeno em que medidas feitas no âmbito microscópico contradizem o Realismo Local, que é intuitivamente verdadeiro na mecânica clássica. Realismo Local é a combinação do Princípio de Localidade (que limita causa e efeito à velocidade da luz) com a hipótese de que uma partícula, por exemplo, precisa ter objetivamente um valor pré-existente (valor real) para qualquer de suas propriedades. Ou seja, esse valor que já existe e é bem de-

²² À maneira de aclaração, uma descrição de uma medição não é também uma descrição de como as coisas são. Veremos mais sobre este assunto no capítulo 10.

terminado mesmo antes da medida. Assim, o Realismo Local nos diz que estados reais existem independentemente do observador, juntamente com a hipótese de que dois sistemas separados têm cada qual seus próprios estados com dinâmica local (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 9).

De acordo com o Realismo Local, aceito por Einstein e que é o núcleo do chamado *argumento EPR*, qualquer sistema físico - seja corpuscular, de campos ou parcialmente ambos - pode ser pensado como composto de elementos ou partes localizadas em diferentes regiões do espaço e um conhecimento exaustivo de tal é concebível; ainda, se a função Hamiltoniana (que descreve a energia total do sistema) para sistemas de mesmo tipo geral é conhecida, temos, então, (pelo menos em princípio) conhecimento completo dos valores das quantidades físicas atribuídas a cada uma dessas partes; e isso constitui por si mesmo um conhecimento exaustivo da composição total do sistema. Observe-se que Schrödinger já notara que o conceito de Não-Separabilidade não se encaixa bem com a física quântica, pois tomando o formalismo elementar usado para descrição de sistemas com muitas partículas, teremos que a função de onda de muitos corpos tem papel fundamental. Isso porque se começarmos com uma função de onda que é somente o produto de (aproximadamente localizadas) funções de onda de uma partícula, a evolução no tempo devido à equação de Schrödinger dependente do tempo tem o efeito de que após um período de tempo, a função de onda total não será, no geral, mais um produto das funções de onda de cada um dos sistemas. Dessa forma, não é mais possível atribuir uma função de onda às partículas individuais (também não se pode, por via de regra, pensá-las como ocupando uma região específica do espaço). Este efeito é chamado de *emaranhamento quântico*, e foi considerado por Schrödinger como a característica fundamental da física quântica (D'ESPAGNAT, Bernard, 1999).

Se quisermos entender de uma maneira não tão rasa os aspectos vinculados à Não-Separabilidade, precisamos necessariamente considerar alguns pontos intrincados que foram levantados por Einstein, Podolsky e Rosen em seu experimento conhecido como EPR, que pode ser visto no anexo A (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935). Lá desenvolvemos uma análise que nos leva a uma posição a favor da Não-Separabilidade (ou contra a Separabilidade) por meio da hipótese de que algumas previsões estatísticas particulares da mecânica quântica não relativística estão empiricamente corretas e também na hipótese de que na mecânica quântica não relativística, quando dois sistemas quânticos, em que cada qual poderia originalmente ser considerado como tendo um *ensemble* completo de propriedades definidas, uma vez que tenham interagido, não é mais possível, de maneira geral, pensar cada um deles como possuindo seu próprio *ensemble* completo de propriedades definidas; sendo os valores específicos de observáveis que pertencem somente a um sistema, independentemente de futuros experimentos aplicados a tal sistema, *viz.* as tais 'propriedades

definidas'. Por fim, essa constatação é verificada mesmo para sistemas que interagiram no passado, mas não interagem mais no momento em que são considerados. Quando variáveis ocultas são assumidas como existentes, não podemos manter a segunda hipótese, já que \mathcal{E}_+ não é um *ensemble* quântico, por exemplo.²³

Podemos concluir que a questão quanto a se a separabilidade se verifica para teorias de variáveis ocultas²⁴ precisa ser investigada separadamente. Por isso, no anexo B temos o experimento das Desigualdades de Bell, que comprovam que a Não-Separabilidade também se sustenta para teorias de variáveis ocultas. Assim, tanto a Não-Separabilidade quanto a Objetividade Fraca devem ser levadas em conta quando estamos analisando *RV*.²⁵

2.4 REALIDADE VAGA, 2: O CONCEITO

Encontramos na literatura outras acepções da Realidade *R* além da Realidade Vaga. Podemos citar a já mencionada interpretação de D'Espagnat de 'Realidade Velada' (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003), a de Bitbol²⁶ e a de Zwirn²⁷ Nossa proposta é desenvolver uma outra interpretação para essa Realidade *R*, sendo ela vaga e não velada. Vamos agora entrar na esfera metafísica e conjecturar brevemente sobre a natureza da Realidade Vaga *RV*.

Pensamos que o conceito de Não-Separabilidade motiva uma interpretação da Realidade *RV* entendida como um todo singular (sem plural aqui). Pensamos que a acepção de Realidade Vaga (juntamente com os dados fenomênicos *F* e outros elementos dessa configuração) possa fundamentar melhor o desenvolvimento do debate sobre inconsistências em ciência física. Temos por objetivo melhor esclarecer os pontos que configuram a acepção Realidade Vaga, fomentando juntamente o debate sobre inconsistências em ciência (física) para justificar seu advento e os resultados

²³ \mathcal{E}_+ é um *ensemble* juntamente com \mathcal{E}_- que formam um *ensemble* misto apropriado \mathcal{E} . \mathcal{E}_+ apresenta correlações internas de variáveis ocultas que não estão suficientemente distribuídas de maneira aleatória para que tenhamos um *ensemble* quântico. Veja mais no anexo A.

²⁴ Teorias de variáveis ocultas podem ser entendidas como aquelas em que a natureza estatística da mecânica quântica é vista como incompleta. Deste modo, há a necessidade de se considerarem variáveis adicionais. Desta forma, novos fenômenos além dos descritos pela mecânica seriam necessários para explicar eventos. Assim, a mecânica quântica se tornaria uma mecânica estatística em sentido clássico (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 13).

²⁵ Ainda que o conceito de Não-Separabilidade dependa de uma teoria, podemos dizer que se trata de uma característica de *RV* independentemente da teoria. Isso porque, o conceito de Não-Separabilidade é fundamental para mecânica quântica, e como nós estamos construindo uma perspectiva realista particular baseados na física, devemos levar em consideração tal conceito.

²⁶ M. Bitbol descreve a Realidade Independente em um processo de pesquisa onde explora a figura de uma física que, como as humanidades, adota o ponto de vista do participante e não o ponto de vista do observador externo; uma física parcialmente hermenêutica e não inteiramente objetivadora (BITBOL, 1998).

²⁷ Zwirn descreve a Realidade Independente como algo indeterminado, cuja existência evoca explicações para as nossas percepções, mas que essas não podem ser tomadas como assemelhando-se, de fato, ao que é percebido por nós. (ZWIRN, 2000).

profícuos provindos de sua investigação. Veremos no decorrer deste trabalho como a acepção Realidade Vaga acolhe as inconsistências em ciência (física), deflagrando coerência a essa justificativa.

A Realidade Vaga é uma acepção de uma suposta Realidade R . Pensamos que a Realidade Vaga RV possui estruturas gerais que podem ser pensadas como sendo bem aludidas pela física. Além disso, vamos dizer que nosso conhecimento da Realidade Vaga é somente parcialmente acessível (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003). Dizemos isso, pois caso tivéssemos um conhecimento exaustivo da Realidade Vaga, teríamos um conhecimento objetivamente forte da sua totalidade, logo de R , e não de RV . E já vimos que isso ainda não é possível nos dias de hoje, notadamente devido ao fenômeno (hoje inquestionável) da não-separabilidade devido ao emaranhamento quântico.

Na nossa acepção, a RV se relaciona com o Realismo Estrutural no sentido de que em (ambos) se abandona a discussão sobre objetos.²⁸ No Realismo Estrutural, isso acontece porque foca-se nas relações entre objetos (LADYMAN, J., 1998) e na Realidade Vaga isto acontece porque nela não há objetos no plural, sendo ela singular, total. Porém, com o objetivo de alcançar um conhecimento pelo menos parcial, estruturamos porções dessa RV , o que fazemos com nossas teorias. Assim, podemos dizer que ela é estruturada e que nosso conhecimento (parcial) se dá quanto à sua estrutura.

Ambas as abordagens de realismo possuem em comum o fato de empregarem determinadas relações entre os itens com os quais a física quântica alegadamente trata (LADYMAN, James, 2019). Dessa forma, vamos reservar a disputa quanto à natureza desses itens e nos voltarmos para relações entre o conhecimento parcial da RV . Para melhor entendermos como se dá este conhecimento, podemos pensá-lo como permitindo apenas uma forma de conhecimento que podemos denominar de *assintótico*. Nosso conhecimento da Realidade Vaga é apenas parcial, e por vezes conseguimos chegar ao conhecimento de porções de sua estrutura, no sentido de que obtemos resultados que conferem com os experimentos.

É nossa firme convicção que filósofos em geral devam levar a sério as contas que a ciência apresenta sobre 'O mundo', seja como for entendido. Ao relacionar essas contas a áreas de metafísica, por exemplo, esclarecimento pode ser obtido para problemas em ambos os domínios. É com esse ideia que prosseguiremos descrevendo RV .

Para melhor fundamentar o conceito de RV podemos também relacioná-

²⁸ Ou pelo menos pretende-se abandonar a fala sobre objetos. Os proponentes dessa versão de realismo, notadamente Ladyman e French (FRENCH; LADYMAN, 2003) apregoam o uso de estruturas relacionais conjuntistas, ou seja, tendo uma teoria de conjuntos como pano de fundo, mas enfatizando as 'relações sem os relata'. Ora, isso é impossível de ser feito nas teorias de conjuntos usuais, e não se tem até o momento um conceito adequado de estrutura que sirva aos seus interesses; veja-se (KRAUSE, D., 2005).

la com a ideia de que o alicerce do mundo é descrito pela MQ (ou pelas teorias quânticas em geral). Dessa maneira, nos restringimos aos fenômenos quânticos como fundamentais. Depois, assumimos que os objetos quânticos são vagos (FRENCH; KRAUSE, 1996) (em sentido ontológico, e não somente epistemológico) e que todas as coisas são formadas por eles, de forma que tudo seria vago. Desta sorte, aproximamos do conceito de *RV*.

Entendemos que a fonte para essa ‘vagueza metafísica’ são os estados emaranhados de partículas quânticas, a Não-Separabilidade. Estados separáveis seriam casos particulares que nos dão a impressão de que o mundo seria *sharp*. Porém, é nos estados emaranhados que está o cerne dos enigmas quânticos que forçam toda tentativa de compreensão metafísica como vaga. Fica patente que para entendermos *RV* precisamos entrar na esfera da metafísica. Podemos, por exemplo, considerar esses estados emaranhados em termos de categorias metafísicas básicas como identidade e individualidade (FRENCH; KRAUSE, 2003).

Agora fica a pergunta: de onde viria essa ideia de que o mundo é bem definido, delimitado, *sharp*? A ideia vem de nós mesmos. Somos nós que moldamos os objetos.²⁹ Como diz Toraldo di Francia,

o mundo se apresenta a nós como feito de *coisas* e *objetos*. Conduzimos nossas investigações sobre eles e estabelecemos relações entre eles (...)

Na minha opinião, ‘objetuação’ é uma atividade primitiva: isso é, logicamente (e cronologicamente) precede todas as demais atividades do pensamento. (TORALDO DI FRANCA, 1976, p.315)

Ou seja, devido à evolução e ao modo como ela moldou os nossos modos de observar e de entender o que nos cerca e claramente em função dos aspectos físicos deste mundo, tendemos a fazer exatamente isso: criar uma ilusão de que o mundo é feito de objetos separados e com identidade.³⁰

Trata-se de uma ilusão de nossa imaginação, e isso vale até para a ideia de identidade (FRENCH; KRAUSE, 1995). Aqui fica clara uma característica do idealismo em nossa construção. É por isso que não assumimos um realismo forte, mas um realismo híbrido. Há uma realidade independente – *RV* – que conhecemos parcialmente via *F*. Acabamos por assumir algo de idealismo, e que muitas vezes tratamos como se fosse a realidade como ela é. Entretanto, *RV* é diferente de *F*. Falaremos mais sobre isso.

Cabe mencionar que a lógica tradicional, a matemática clássica e a física clássica foram moldadas tendo-se em vista essa visão estática da realidade, composta de objetos distintos e separados uns dos outros. Os casos excepcionais, como amostras de *natural kinds*, como quantidades de água, são tratados em separado.

²⁹ Notemos que algo inspirado na nossa relação com o ‘mundo’ muitas vezes não diz respeito às coisas do ‘mundo’, mas sim às coisas de nosso pensamento.

³⁰ Cabe observar que David Hume tratou disso na sua obra máxima (D., H., 1985).

Chamar o conhecimento sobre a *RV* de assintótico é apenas um artifício para sua compreensão. A vaguidade não é apenas de natureza epistemológica. Assumimos que *RV* é vaga em sentido forte, ontológico. Nosso acesso à *RV* se dá por meio de *F*, e é nesse ponto que entra a vaguidade do discurso, consoante com a vaguidade do objeto de estudo. No entanto, a vaguidade não fica restrita à linguagem; pensamos que ela seja intrínseca à *RV*.

Para fornecer mais argumentos para caracterização da Realidade Vaga, faremos uma analogia bem famosa na filosofia da física, a do Dragão de Fumaça de Wheeler.

Para descrever o que temos e o que nos é acessível em mecânica quântica, John A. Wheeler sugeriu a imagem de um “[...] grande dragão cujo rabo é bem definido, cuja mordida também é bem definida, mas que no ínterim nada pode ser especificado.” (WHEELER, J. A., 1986, p. 151). A alegoria do grande dragão esfumaçado se assemelha muito ao experimento de Mach-Zehnder, ao das duas fendas e a muitos outros.

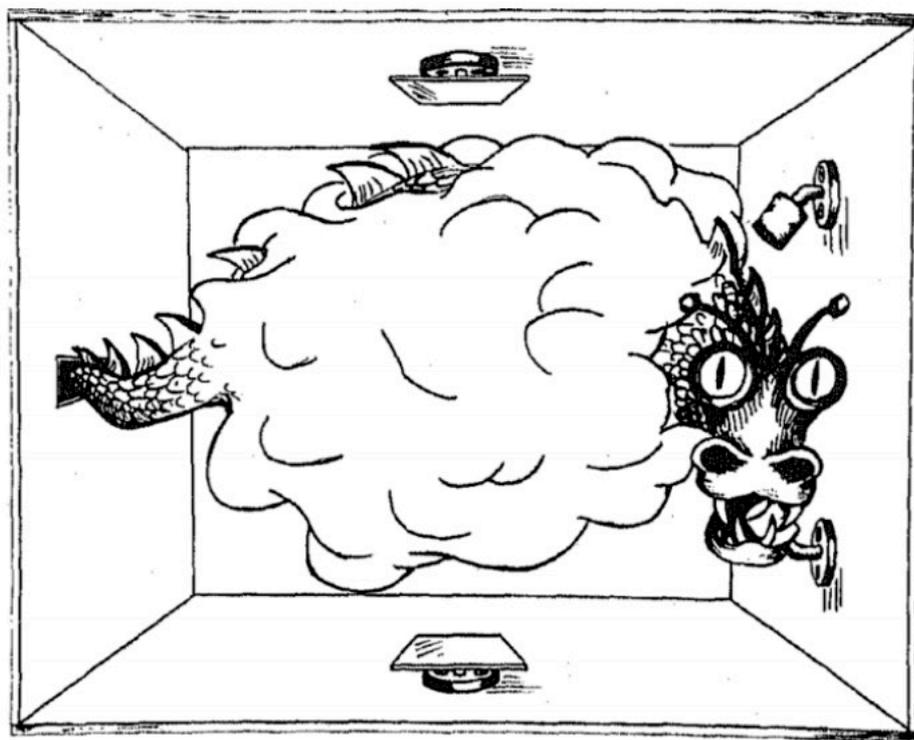


Figura 1 – *The Great Smoky Dragon* Copyright Field Gilbert

O rabo do dragão pode ser tomado como a fonte dos sinais e a sua cabeça como os detectores que captam os sinais emitidos pelos objetos quânticos. Temos partes do experimento já bem estabelecidas como, por exemplo, se lançarmos um elétron, podemos esperar capturar um sinal emitido de um elétron – isso se o aparato experimental estiver montado de forma adequada. Todavia, neste ínterim não

é algo tão amplamente consignado. Perguntas quanto à trajetória tomada pelo elétron, quanto a se estamos tratando nos detectores do mesmo objeto que estamos tratando na fonte, quanto ao que acontece durante o processo de medição, são perguntas que ainda atormentam físicos e filósofos.

Neste ponto, vale dizer que a alegoria do dragão é deveras conveniente para entendermos um pouco mais a Realidade Vaga. Salientamos ainda que assim ninguém parece de fato saber o que acontece na área esfumada do dragão, apenas às vezes chegamos a alcançar um conhecimento parcial da estrutura da parcela da Realidade Vaga em estudo. Enquanto Wheeler propõe a analogia do dragão, associamos o dragão à nossa perspectiva realista híbrida.

Por fim, chegamos à reflexão de que, no exemplo de Wheeler, o corpo do dragão não está coberto por fumaça, como se ele estivesse *velado* (no termo de D'Espagnat), e que poderá ser *descoberto* em algum momento, mas sim que *é* fumaça. Quanto à *R*, ela não está coberta por fumaça ou por um véu, que pode em alguma ocasião *revelar* o que está escondido, a *R* é a Realidade Vaga; ela é vaga, única, um todo singular. Podemos dizer, então, no paralelo, que ela *é* também 'fumaça'.

A Realidade Vaga pode ser pensada como um todo; é singular, é estrutura, não possui objetos.³¹ Pode ser pensada como uma bruma, onde é preciso o esforço da consciência humana para serem delimitados os objetos.³² Contudo, devemos entender que a Realidade Vaga pensada como bruma não esconde os objetos, ela *é* a bruma; os objetos seriam, então, moldados pelo esforço da consciência humana, com uma boa dose de imaginação e criatividade (falaremos mais sobre isso a seguir). Veja o leitor que não queremos dizer que existem objetos por trás dessa bruma. Esse seria o caso para a realidade velada de D'Espagnat. Todavia, isso não acontece em *RV*. A diferença está em que em *RV* os objetos são moldados pelo esforço da racionalidade humana. Aqui podemos, num primeiro momento, dizer porque chamamos nossa posição de realismo híbrido, pois esse moldar de objetos é característica de uma atitude idealista.

Neste sentido poderíamos tomar alguma teoria filosófica que caminha na mesma direção. Na fenomenologia husserliana, por exemplo, não temos uma postura que contrapõe sujeito e objeto como no dualismo usual e nem sequer uma preponderância, seja do sujeito (idealismo absoluto) ou do objeto (materialismo). Nessa corrente filosófica, o conceito de intencionalidade é dominante, toda relação de significação é dada numa relação entre objeto intencional e ato intencional (HUSSERL, 2012, §34). De acordo com essa doutrina, todo ato de consciência se dirige para um objeto, o objeto intencional. Não existe uma consciência fechada em si, mas sempre direcionada para tal objeto. É importante que fique claro nesse ponto, que esse objeto não é um objeto dado ou externo, mas é um objeto que existe e é modificado pelo tipo de relação

³¹ Isto devido ao conceito de Não-Separabilidade que será abordado no capítulo com o mesmo nome. Ver mais abaixo.

³² Esta metáfora está ligada à ideia de que a teoria molda o fenômeno.

intencional. Por exemplo, um indivíduo ama uma pessoa ou a odeia, essa pessoa é o objeto intencional, mas ele é modificado de acordo com a relação intencional, ou seja, a relação de amar ou odiar essa pessoa. Perceba-se que não é o caso de ter um objeto independente de um sujeito e disponível no mundo, mas sim um objeto que tem seu sentido modificado nessa relação intencional. Em fenomenologia isso é o que se chama de doação de sentido (*Gegebenheitsweisen*): essa doação não se dá de maneira passiva, na verdade é justamente o direcionar-se através de um ato intencional ao mundo que faz com que emerja sentido a partir do objeto intencional. No exemplo anterior, a pessoa amada ou odiada (objeto intencional) tem o seu sentido modificado pela relação e não por si própria, como se fosse um objeto passivo no mundo a ser descoberto. Por isso dizemos que toda relação intencional é também uma relação de constituição de sentido (*Konstitution*).

Adicionalmente, na fenomenologia, falamos de uma relação pré-predicativa (HUSSERL, 1969), ou seja, antes de qualquer postura teórica perante a um objeto, seja uma postura cotidiana ou uma postura mais elaborada científica, temos um âmbito de pré-significação a partir do qual se dá essa doação de sentido, porém esse âmbito nos é sempre fechado. *Nota bene*, há aqui uma considerável similaridade³³ entre esta postura e o conceito que acabamos de descrever acima – Realidade Vaga.

A *RV* atua de maneira similar a esse âmbito pré-predicativo, de onde todo discurso teórico emerge. De maneira análoga também há dificuldade de tratar este tópico na fenomenologia. Os fenomenólogos têm grande dificuldade de lidar com essa questão. Ainda assim, podemos fazer um paralelo com *RV* da seguinte forma: somos nós enquanto na esfera de *F* que moldamos a *RV*, como numa relação de constituição de sentido, nós moldamos os objetos (no plural).³⁴

Podemos dizer que quando em *F* – que pode ser definida como a Realidade Vaga abordada por meio de formas que são impostas às nossas mentes pelos sentidos (quando efetuamos uma medida, por exemplo) acessamos a Realidade Vaga³⁵ chegamos a um momento de união que é caracterizado por alguns filósofos, como Christian de Ronde (RONDE, 2016), com que chamamos de ‘Realismo’: “Para o realista, resultados de medida são somente expressões de um profundo momento de união, o qual requer uma definição categórica.”³⁶ (C. DE RONDE, C Massri, 2017, p.

³³ Seguramente que Husserl não estava interessado nos mesmos temas que nós, já que a sua teoria tem um sentido próprio. Certamente Husserl conserva uma grande precedência de conceitos no que tange ao conceito que estamos abordando aqui. Contudo, sua postura com relação ao papel da lógica em sentido clássico preserva uma visão clássica (HUSSERL, 2005, §25). Para ele o princípio de não-contradição possuía enorme importância e suas investigações passaram muito longe do tema sobre inconsistências, por exemplo.

³⁴ Notemos que isso também poderia ser expresso indicando a noção de objeto como antropomórfica.

³⁵ Podemos perceber que a ideia de um realismo pautado em certa dualidade – *RV* e *F* – não é algo totalmente fora do escopo da filosofia, sendo abordado desde os pré-socráticos. Podemos ver a construção desse conceito, por exemplo, em Anaxágoras (COPLESTON, 1993) (ANAXAGORAS, 1949) (RUSSELL, B., 1945) e em Aristóteles (ARISTÓTELES, 2009) (ARISTÓTELES, 2005).

³⁶ Desse modo, estamos afirmando algo mais brando, no sentido de que podemos aparentemente estar

17).

Nosso propósito é restaurar uma noção de realismo que faça sentido para o pensamento contemporâneo calcado na física quântica, principalmente levando em conta a existência de estados emaranhados. Baseados na física atual, pensamos que podemos estender isso a uma perspectiva da totalidade dos fenômenos, de forma que o aspecto *sharp* se nos apresenta como algo criado por nós. Assim, de certo modo concordando com Schrödinger, elaboramos a *hipótese do mundo real* (SCHRÖDINGER, 1958), (MALIN, 1985, cap.9). Expliquemos um pouco.

Schrödinger sugere a existência de uma 'hipótese inconsciente' subjacente às nossas percepções nos seguintes termos, como recordado por S. Malin:

Por isso [ou seja, por 'Princípio de Objetivação'] entendo o que é frequentemente denominado de 'hipótese do mundo real' em nosso entorno. Sustento que isso equivale a uma certa simplificação, que adotamos para fazer frente ao infinitamente intrincado problema da natureza. Sem estarmos conscientes dela e sem sermos sistematicamente rigorosos acerca da natureza, excluimos o Sujeito do Conhecimento do domínio da natureza que nos esforçamos para conhecer. Nos colocamos como um espectador que não pertence ao mundo, que desse modo se nos torna objetivo. (MALIN, 1985, p.102)

Desse modo, nos colocando 'fora' do contexto que nos cerca, nos posicionamos como um observador externo, que 'vê' um mundo objetivo, *sharp* em grande medida (pelo menos em nossa escala). Assim, a nossa percepção nada mais é do que um construto mental (MALIN, 1985, p.103). O exemplo dado é ilustrativo. Quando observamos um copo com água e uma colher dentro dele, vemos a colher quebrada. A pergunta é: estamos vendo a colher *como ela é*? A resposta é obviamente negativa. Se estivéssemos vendo *de fato* a colher, não a veríamos quebrada, porque ela está (por hipótese) inteira. Assim, *não vemos a colher, mas algo que a nossa mente produz* como se não fizessemos parte do mundo, como se estivéssemos sendo unicamente 'observadores', nas palavras de Schrödinger (SCHRÖDINGER, 1958). Em nossa opinião, quando 'vemos o mundo' pela perspectiva que formamos em *F*, estamos fazendo justamente isso: *recriando, ou 'objetivando' o mundo*, que é vago, no sentido de que não pode ser perfeitamente delineado a não ser por meio de uma criação de nossa imaginação, para usar um termo que talvez fosse caro a Hume.

Por isso, sem ignorar (ou assumir) que existe um mundo à nossa volta, uma *realidade R*, ela não tem contorno delineado, não é *sharp*, mas vaga. Claro que o leitor poderia nos acusar de estarmos considerando a vaguidade de um ponto de vista puramente epistemológico, mas em nossa visão, não é isso: postulamos uma realidade *ontologicamente* vaga, pois é tudo o que podemos conceber. O ônus de mostrar que isso não é assim cai sob a responsabilidade do leitor, que deveria então mostrar que a realidade externa (supondo que ela exista) é *sharp*. Assim, temos uma forma de

mais seguros do que entendemos usualmente por 'verdade' sobre tais itens, estamos mais seguros para chamar de reais.

realismo, pois não ignoramos a existência de uma realidade externa, mas também um tipo suave de idealismo, pois tudo o que nos é dado é vago, e que somos nós, como nossas faculdades mentais dadas pela evolução, que delineamos, ou *objetivamos* essa realidade, que é vaga. Nosso realismo, portanto, é híbrido.

A Realidade Vaga pode até ser pensada como equipada por objetos, mas no sentido de que o todo ontológico vago que interpretamos tem o 'potencial' de moldar-se em objetos experienciados por nós via *F*.³⁷ Contudo, conceder essa posição não é o mesmo que dizer que a Realidade Vaga é formada por objetos (no plural). Como mencionado anteriormente, pensamos que seja o conceito de Não-Separabilidade que nos condiciona à aceção de Realidade Vaga como um todo ontológico singular, não separável, não local. Pode ser, como achamos perfeitamente razoável que *somos nós* que 'elaboramos' esse mundo de objetos, no sentido comentado atrás proposto por Toraldo di Francia. Porém, ainda que possamos estender essa ideia à totalidade do universo, assumindo, como vimos sugerindo, que a *RV* é una, total, indivisível, isso soa algo (com o perdão da palavra) vago. Com efeito, qualquer visão 'naturalizada' da totalidade do universo deve levar em conta aspectos quânticos e relativistas, e sabemos que até o presente momento a física quântica e a relatividade geral são inconciliáveis. Ou seja, não temos como abordar a totalidade, ainda que nada nos impeça de considerá-la, em particular como *vaga*.

O que nos sobra? Exatamente aquilo que dispomos nas nossas investigações: *partes* da *RV*, que acessamos via nossas *Fs*, o que podemos denominar de 'domínios de investigação', ou 'parcelas da realidade', que não deixam de ser vagos, ainda que muitas vezes os *objetivemos* (no sentido de Schrödinger) como algo *sharp*. A grande sustentação dessa nossa visão, insitamos no que já foi dito acima, está na inescrutável 'realidade' da não-separabilidade e dos estados emaranhados, hoje em dia inquestionáveis.

2.5 REVISITANDO A NOÇÃO DE OBJETIVIDADE FRACA

O conceito de objetividade fraca foi brevemente explanado acima e considerando sua carga filosófica, faremos uma abordagem mais detalhada sobre ele neste tópico. Primeiramente, deve ser discriminado que a objetividade fraca se refere ou a declarações ou a conceitos. Uma declaração é objetivamente fraca se, enquanto for verdadeira para todos, ainda se refere ao que humanos fazem ou podem efetivamente fazer (observar). Os conceitos objetivamente fracos são aqueles definidos especificamente por se referirem a algum procedimento feito por humanos (D'ESPAGNAT,

³⁷ Ainda, salientamos que não possuímos garantias de que abordagens alternativas se apresentem de forma tão ou mais adequada que a proposta neste trabalho. Por isso, por mais que seja uma postura no mínimo razoável a da Realidade Vaga, ela é apenas uma dentre outras mais. Com isso, afirmamos que adotamos uma postura perspectivista que será tratada no capítulo 15.

Bernard, 2003, Cap. 14).

No entanto, se o conceito for aceito literalmente, pode vir a abranger qualquer conceito (já que todos são intrinsecamente produto de humanos), ou pelo menos qualquer conceito científico, já que se tivermos que definir qualquer conceito que seja (seja um conceito simples aparentemente sobre um objeto macroscópico) para alguém que ainda não o conhece, teríamos que (de alguma forma) nos referir a observações humanas.

De um ponto de vista filosófico, de acordo com o realismo convencional, no qual conceitos objetivamente fortes³⁸ podem ser definidos de maneira direta, podemos caracterizar 'realismo', de acordo com Dummett (DUMMETT, 1978), como a crença de que existem declarações que possuem um valor de verdade objetivo, independente das maneiras pelas quais as conheçamos: elas são verdadeiras ou falsas em virtude da realidade que existe independentemente de nós.

Assim, declarações objetivamente fortes, tendo em vista a abordagem de Dummett, são aquelas que podem e serão consideradas como sendo verdadeiras ou falsas em virtude de uma realidade que existe independentemente de nós; desse modo, possuem um valor de verdade objetivo, independentemente dos nossos meios de conhecê-lo. Declarações objetivamente fracas, por outro lado, são aquelas que se referem explicitamente a ações e observações humanas e são verdadeiras para todos os humanos, pelo menos em princípio.³⁹ Conceitos objetivamente fortes são somente os atributos a que os termos usados em declarações objetivamente fortes se referem.

Antes de falarmos mais sobre conceitos objetivamente fracos, vamos examinar ainda uma terceira categoria de declarações. São as declarações que se parecem com as declarações objetivamente fortes da física clássica, que aparentemente descrevem (ou se referem) de forma adequada a objetos como pensamos que os vemos (sem fazer referência explícita a ações ou observações), tais como 'o meu carro é preto', 'a minha mesa é antiga', etc., tendo em vista as impressões que tenho tanto de meu carro como de minha mesa. No entanto, razões que tangem pontos como consistência interna de teorias que se utilizam de tais declarações nos impedem de interpretá-las como possuindo um valor de verdade objetivamente forte.⁴⁰ Uma teoria que se encaixa no que foi dito acima será denominada 'objetivamente fraca'; as de-

³⁸ Notemos que a posição de um objeto macroscópico é uma noção cujo significado precisa em última análise ser explicado por meio de observações, mas ainda assim é um conceito normalmente considerado como se referindo a um estado de coisas que não depende da nossa posse de evidências referente a ela, sendo, assim, objetivamente forte.

³⁹ Talvez esse possa ser um critério de demarcação entre ciência e não ciência; enquanto que declarações 'científicas' podem (em princípio) ser conferidas em outros laboratórios ao redor do mundo, declarações de pseudo-ciência, como as da astrologia, não podem: suspeitamos que dois astrólogos em lugares diferentes dificilmente fariam o mesmo horóscopo para uma determinada pessoa.

⁴⁰ Por exemplo, elas são inconsistentes com a previsão derivada da teoria e se referem a experimentos "concebíveis, mas praticamente inviáveis". Um exemplo com essas características é o modelo de Zurek de 1982 "bit-by-bit" que pode ser visto (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 10.6).

clarações dessa terceira categoria se referem aos seus conceitos⁴¹ – de uma teoria meramente objetivamente fraca.

A classe de conceitos objetivamente fracos é bastante restrita, pois esses conceitos se referem a objetos. Existem muitos conceitos⁴² que são bem ‘objetivos’ no tratamento comum da palavra, mas que não são objetivamente ‘fortes’ ou ‘fracos’ no sentido limitado transmitido acima. Então, para continuarmos a definição de conceitos objetivamente fracos, vamos primeiro tratar de teorias objetivamente fracas. Diremos que uma teoria é objetivamente fraca se suas declarações básicas ou ‘axiomas’⁴³ contêm pelo menos alguma declaração ou conceito objetivamente fraco. Por outro lado, uma teoria é classificada como objetivamente forte se todas as suas leis básicas são exclusivamente formuladas em termos de declarações e conceitos objetivamente fortes. Desse modo, uma teoria objetivamente forte não precisa ser necessariamente entendida em termos realistas, *i.e.*, tratando de objetos em si e descrevendo-os como ‘eles realmente são’. Ela não se refere necessariamente a objetos específicos nem a procedimentos relativos a seres humanos. Assim, o que caracteriza uma teoria como objetivamente forte consiste no fato de que quando ela for considerada por ela mesma, independentemente de qualquer consideração externa, suas declarações básicas podem ser entendidas por elas mesmas. Nessa perspectiva, a teoria pode ser vista como independente, no sentido de que podemos considerá-la abstrata; ela manifesta uma autonomia quanto a sua aplicabilidade.

Várias teorias que compõem a física clássica se encaixam na definição acima, sendo objetivamente fortes, e esse também é o caso das Teorias da Relatividade (falaremos doravante somente da relatividade especial, ou restrita, mas o que dissermos se aplica igualmente à geral). Mesmo que nessa teoria seja feita referência aos observadores⁴⁴, isto não implica que a Teoria da Relatividade seja incompatível com o realismo. Segundo Rosenfeld (ROSENFELD, 1953), é a invariância formal das leis da Teoria da Relatividade que dizem respeito às mudanças de referenciais que concede objetividade à teoria. Na Teoria da Relatividade, o espaço-tempo e os eventos podem ser considerados consistentemente como elementos de uma realidade que existe de forma consideravelmente independente de nós. Como nessa teoria eventos são conhecidos, temos que a teoria pode ser consistentemente interpretada como descrevendo ‘a própria realidade’, mesmo que essa realidade se manifeste para observadores humanos de maneiras que dependem do referencial no qual eles estejam. Sendo assim, as declarações básicas da teoria são aquelas que se baseiam em eventos e no espaço-tempo, possibilitando considerarmos essas declarações como

⁴¹ Um outro exemplo de tal conceito é a posição de um ponteiro depois que uma medição foi feita e antes que alguém tenha olhado.

⁴² Como exemplos desses conceitos podemos citar o de uma função matemática.

⁴³ As declarações das quais a teoria se segue dedutivamente.

⁴⁴ Referência às coisas que observadores experienciam em tais e tais referenciais, etc.

objetivamente fortes.

Levando em conta apenas o argumento de Rosenfelt, poderíamos dizer que não há diferença básica entre a mecânica quântica (estilo Copenhague) e a relatividade especial com respeito às características gerais – como o uso da noção de observador, por exemplo – considerando também a mecânica quântica como objetivamente forte. Contudo, se considerarmos o final do parágrafo anterior, veremos que não podemos mais fazer tal comparação, pois – ao contrário da situação envolvendo a relatividade – na mecânica quântica clássica (estilo Copenhague) nenhum conceito que seja – nem o de partícula, nem o de onda, nem o de operador de estado, etc. – pode ser interpretado como se referindo a elementos contingentes de uma realidade que existe independentemente de nós,⁴⁵ não no sentido de que devamos introduzir o conceito de ‘observador’ na teoria, mas no sentido de que ela seria completamente *independente* na acepção realista.⁴⁶

Declarações de axiomas básicos como “qualquer resultado de uma medição de uma variável dinâmica real é um de seus autovalores” (DIRAC, 1948), retirada do livro de Dirac, não fazem da teoria algo subjetivo – se verdadeiras – porque não é feita referência para um tal observador individual específico que fica ciente do resultado. Contudo, permanece verdadeiro que a teoria envolve de uma maneira fundamental a própria noção de medição, de forma que: “parece que a teoria se preocupa exclusivamente com ‘resultados de medições’ e não tem nada a dizer sobre qualquer outra coisa.” (BELL, J., 1990).

Qualquer realista estaria no mínimo insatisfeito com tal situação, pois acredita por hipótese na existência de uma realidade inteligível que é descrita pela física. Eis que surgem perguntas como: o que exatamente qualifica alguns sistemas físicos a desempenharem o papel de ‘realizarem medições’? Ora, tal pergunta indigesta tem atordoado muitos teóricos que anseiam em respondê-la para que a mecânica quântica não seja, então, considerada uma terrível confusão.

Muitos atacaram o problema por meio da tentativa de definir o que é medição. Outros tentaram encontrar um caminho do meio entre o realismo convencional e o que é chamado de ‘idealismo radical’ (D’ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 14.3). Nossa perspectiva aqui é a de que devido a avanços importantes e recentes nos campos de teorias como teorias de sistemas complexos (PRUGOVEČKI, 2006), *environmental theories* (SHIMONY, 1984), procedimentos de cálculo que se utilizam de algoritmos

⁴⁵ O tipo de ‘realidade’ sendo considerada na mecânica quântica clássica (estilo Copenhague) é tomada como meramente F , o conjunto dos fenômenos, e também porque axiomas básicos da mecânica quântica nos dizem que ‘qualquer resultado de uma medição de uma variável dinâmica real é um de seus autovalores’ ou ‘uma medição sempre faz o sistema ir para um *eigenstate* de uma variável dinâmica que está sendo medida’, envolvendo a noção de medição, e com isso fazendo referência a ações e observações humanas, aos limites das habilidades humanas.

⁴⁶ Sendo assim, livros como os de von Neumann (VON NEUMANN, 1955) e Dirac (DIRAC, 1948), por exemplo, deveriam expressar os axiomas básicos da mecânica quântica em termos de resultados de medidas.

envolvendo operadores quasi-clássicos (HARTLE, 1994), entre outras, chegamos a um ponto em que conseguimos obter uma melhor compreensão do porque em um universo quântico, presumivelmente, tantos fenômenos que são de tamanha importância para nós *aparentam* ser clássicos. Todavia, nenhum avanço nessa direção satisfaz as condições que o realismo (convencional) impõe. Em outras palavras, nenhum deles nos encaminhou a uma teoria objetivamente forte. Se quisermos efetivamente uma teoria que seja objetivamente forte, deveríamos abrir mão de tamanha fidelidade à mecânica quântica clássica e nos voltarmos a concepções como as de variáveis ocultas não-locais e física quântica não-linear (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 1).

2.6 PONDERAÇÕES FINAIS

Como visto anteriormente, quando dizemos 'Não-Separabilidade', estamos nos referindo à violação de conceitos que até então eram considerados válidos na mecânica quântica clássica, como o conceito de localidade (BELL, J. S., 1987), por exemplo. A descoberta de tais violações nos remetem a outras situações bastante similares como a inadequação do conceito de tempo universal newtoniano. É difícil negar que existam semelhanças entre tais descobertas. Ambas foram experimentalmente verificadas através de experimentos relativísticos em uma situação e através dos experimentos de Clauser (CAUSER, 1969), Fry (E. S. FRY, 1976), Aspect (A, 1976), entre outros, na outra situação. A relatividade do tempo e a Não-Separabilidade podem, assim, ser colocadas sob o escopo de 'descobertas científicas', considerando essa via.

Não obstante, podemos verificar algumas diferenças epistemológicas entre as duas descobertas. Para evidenciá-las, consideraremos que existem dois níveis a serem tomados em conta quando tratamos de porções de conhecimento científico bem estabelecidas. Para atingir o primeiro nível, mais abaixo, a porção de conhecimento em questão precisa ter alguma confirmação experimental e preferencialmente ter um lugar em uma teoria válida mais geral. Para atingir o segundo nível, mais acima, a porção de conhecimento precisa, ainda, ter em vista em seu poder explicativo outros dados além dos coletados para o propósito científico de testar sua validade. Esse é o caso quando estamos tratando da relatividade do tempo, o qual precisa ser levada em consideração quando queremos prever o comportamento de partículas instáveis entre outros experimentos, sendo que não estamos de modo algum tentando verificar a própria relatividade do tempo.

Podemos constatar que a maior parte das porções de conhecimento que alcançam o primeiro nível (mais baixo) parecem atingir automaticamente o segundo nível (mais acima). Pensamos que isto se deve ao fato das leis da ciência terem aspectos de generalidade, de aplicabilidade universal. Todavia, quando consideramos a Não-Separabilidade, esse não parece ser o caso. As razões para essa distinção estão

relacionadas à independência de parâmetros (D'ESPAGNAT, B., 1984) e, de forma correlata, ao fato de que a Não-Separabilidade não pode ser utilizada diretamente para transmissão de informações. Quem sabe seja por isso que não encontramos referência à Não-Separabilidade quando estudamos física quântica por meio de livros de física comuns (formulados operacionalmente para o aprendizado). Por fim, gostaríamos de salientar que ainda assim a Não-Separabilidade é uma porção de conhecimento, mesmo que pertença ao primeiro nível (mais baixo). Um conhecimento classificado como negativo. Não obstante esta classificação, a Não-Separabilidade deve ser considerada *significativa*, pois alcança o *status* de um conhecimento expressivo, evocativo e robusto.

São com os conceitos de Objetividade Fraca e Não-Separabilidade, entre outros apresentados neste capítulo, que fundamentamos nossa hipótese sobre a *RV*, sobre como se dá seu conhecimento e também conjecturas sobre a sua natureza. Esperamos ter deixado clara a ideia de *RV*, e agora partiremos para outra esfera: *F*.

3 DADOS FENOMÊNICOS

A aceção de *RV* como Realidade Vaga vem configurada juntamente ao conceito de *F*. Por isso, iremos agora tratar desse ponto.

Neste capítulo, iremos postular e descrever o conceito que abreviamos por '*F*' com o intuito de mostrar que *RV* e *F* são conceitos diferentes, porém complementares para nosso esquema de elaboração de teorias. Isso porque buscamos com eles resolver ou amenizar dificuldades encontradas na mecânica quântica, além de abarcar uma postura realista híbrida e acomodar inconsistências dentro desse esquema (como ainda será visto).

É verdade que o *status* da aceção de *RV* é a de uma conjectura realista híbrida; realista no sentido do Realismo Aberto¹. Isso porque a noção de *RV* é considerada por nós como *significativa*. Por outro lado, de acordo com nossa aceção, *RV* não é, *de fato*, conhecida cientificamente, em sua totalidade, podendo ser apenas intuída.

Vamos aqui abordar a questão quanto a se temos conhecimento científico da Realidade Vaga. Bom, podemos começar tratando das declarações e conceitos objetivamente fortes, os quais já relacionamos diretamente à Realidade Vaga. Vamos analisar o quanto a relação entre essas declarações e conceitos e a Realidade Vaga consegue nos elucidar quanto ao nosso conhecimento científico da Realidade Vaga.

Podemos constatar que, dentro da perspectiva em questão, mesmo que as noções de declarações e conceitos objetivamente fortes sejam significativos, ainda assim essas declarações e conceitos devem formar um conjunto excepcionalmente restrito. Não podemos esperar do conjunto o qual estamos tratando, particularmente, que ele inclua nossas declarações e conceitos científicos detalhados que se referem a *propriedades dinâmicas de sistemas*, já que elas caem sob o escopo da objetividade fraca por fazerem referência à noção de 'medição'.²

Afirmar que 'a propriedade (quantidade) dinâmica *A* de um sistema *S* tem um valor *a*' é dizer que temos um significado preferencialmente não metafísico, implicando que preferencialmente seja explicado em termos do que pode ou poderia pelo menos em princípio ser feito e observado no sistema *S*; ver (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, capítulo 4.3). Todas essas afirmações são *somente* objetivamente fracas. O que elas conseguem descrever não é a Realidade Vaga *em si*, mas a Realidade Vaga abordada por meio de formas que são impostas pelas nossas mentes aos dados dos sentidos e isto é o que chamamos de *F*.³

¹ Realismo Aberto é a ideia de que existe 'algo' cuja existência não decorre da existência da mente humana (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 14)

² O termo 'propriedade (quantidade) dinâmica' significa, usualmente, uma quantidade física como posição, velocidade ou momento que tem a possibilidade de mudar sua componente temporal (com exceção do próprio tempo)

³ Devemos notar que *F* pode ser vista no sentido de uma *empirical view*, mas para não dar margem

Precisamos agora entrar em maiores detalhes do porquê F tem um papel essencial em nossa perspectiva realista híbrida. Recordemos que visamos solucionar a difícil relação entre os enigmas da física quântica tratados anteriormente, a saber, a Não-Separabilidade e a Objetividade Fraca, já que emergem de uma visão realista e assim devem ser abarcados em nossa perspectiva. É juntamente com o conceito de F que pretendemos solucionar tais dificuldades.

3.1 O PAPEL DE F NA TENTATIVA DE RESOLUÇÃO DE DIFICULDADES

Destarte, consideramos que as regras operacionais básicas da física quântica não apresentam inconsistências internas.⁴ Também não é o caso de se tratar de uma mudança de referência para a física de RV para F . Pensamos que tal mudança semântica é um mero artifício ineficaz; até mesmo porque, como foi dito, as regras quânticas são consideradas mutuamente consistentes. Assim, as dificuldades que de fato iremos encontrar abordam de alguma forma a noção de realidade como um referencial, de forma que podemos *prima facie* esperar que alguma mudança de cunho filosófico na natureza desse referencial possa remover, ou ao menos amenizar, tais dificuldades.⁵ A propósito, pensamos que seja possível contemplar tais mudanças e é por meio de F que realizaremos isto.

F é um tipo de realidade física,⁶ e é isto que nos permite a mudança de referencial proposta. Em outras palavras, isso acontece devido ao fato de que as regras da física quântica não relacionam *diretamente sense data* e ações humanas umas com as outras. Neste ponto entendemos que um programa de construção de regras de relação direta não seria possível e quando formulamos a física como um conjunto de 'regras de um jogo' (de certa forma o fazemos), estamos ainda considerando pelo menos o *impedimenta* macroscópico usado para preparar sistemas e fazer medições como estando em um espaço tridimensional, *tendo* tais e tais posições e formas, *estando* em tais e tais macroestados, etc. Por conseguinte, propomos a esfera de F de forma que ela cumpra com a condição de que pelo menos as propriedades dinâmicas dos objetos macroscópicos usados em tais *impedimenta* são descritas em termos de

para qualquer confusão, devemos notar que há uma diferença entre *empirical view* e F . Notemos que em nosso conceito de F a maioria do conhecimento que obtemos é objetivamente fraco, enquanto que na *empirical view* o conhecimento obtido é considerado objetivamente forte.

⁴ O que não seria um problema em princípio, pois podemos tratá-las via uma lógica não clássica, por exemplo. Iremos abordar este tema mais adiante, pois certamente inconsistências não são simplesmente contornadas com uma mudança da lógica.

⁵ Podemos apontar aqui, por exemplo, aquelas dificuldades relacionadas ao 'ponteiro realmente marcando' algum intervalo de graduação definida ou àquelas relacionadas à 'situação real factual' de alguns sistemas físicos, entre outras.

⁶ Ao contrário do que alguns possam pensar, não será possível fazer essa mudança sem a presença de uma realidade física, sendo ela empírica, como é o nosso caso, ou até algum outro tipo de 'realidade'. A questão é que para podermos ser realistas que consideram as dificuldades que a física quântica apresenta, consideramos que precisaremos de uma realidade física.

conceitos objetivamente fracos.

Deparamos com diversas dificuldades quando buscamos entender a física quântica como a teoria da ‘realidade’ no sentido usual, ou seja, de *RV*. É de nosso conhecimento (D’ESPAGNAT, Bernard, 2003, capítulo 13.7) que (em casos importantes) é impossível tratar de propriedades dinâmicas de sistemas quânticos como se elas tivessem ‘valores definidos, porém, desconhecidos’. Acontece que isso não parece ser uma dificuldade conceitual da física quântica, até o ponto de nos voltarmos para as teorias de medição em mecânica quântica, onde o que aparentava ser a princípio só uma estranheza, revelou-se como um obstáculo para considerarmos o ‘ponteiro’ de um instrumento como, de maneira geral, apontando consideravelmente para um estado definido, mesmo que esse estado seja somente definido macroscopicamente.

3.1.1 Dificuldade 1

Nosso objetivo, agora, é apresentar tais dificuldades para podermos depois tentar manejá-las. O primeiro obstáculo que encontramos se trata de que na física quântica a descrição do processo de medição do sistema quântico composto precisa ser necessariamente considerado como composto de duas partes (ou mais; falaremos de duas) distintas: o sistema ‘medido’ *S* e o instrumento *A*.⁷ Todavia, pensamos não estar claro o que define fisicamente o limite entre os dois. Não obstante, sabemos que não há ambiguidade operacional como resultado dessa dificuldade. Assim que definirmos o processo de medição, se torna claro qual extensão mínima do ‘sistema quântico’ deve ser escolhida, no sentido de que não faria diferença⁸ se escolhessemos uma extensão um pouco maior que a mínima que inclua partes do ‘instrumento’ no ‘sistema’. Assim sendo, estamos livres para arbitrariamente escolher alguma extensão permitida e descrever a parte complementar do sistema por meio de conceitos objetivamente fracos. Em outras palavras, em nossa perspectiva, tratamos de *F* e na sua descrição (lembrando que estamos centrados no problema da descrição de *F*) a dificuldade apresentada não emerge.

Isso porque, voltando à questão sobre a distinção entre *S* e *A*, mesmo que dentro de nossa abordagem não exista requerimento de tal distinção como se referindo à estrutura física desses sistemas, pensamos que haja naturalmente uma distinção e que ela se refere essencialmente a características humanas; *ergo*, especificar tais distinções convencionadas a seres humanos não é considerada uma dificuldade quando estamos tratando exatamente da descrição de *F*.⁹

⁷ Isso, é claro, é um abuso de linguagem. O processo de medição se aplica a observáveis para certos estados de sistemas físicos.

⁸ Excluindo aqui quaisquer dificuldades computacionais.

⁹ Outras dificuldades são eliminadas dentro da abordagem de *F*, tais como: a determinação do que seria a ‘base do ponteiro’ (ligada à separação do sistema físico em um sistema microscópico e o meio), uma dificuldade relacionada à teoria da medição (ZUREK, 1982); a necessidade do chamado corte entre clássico e quântico (a cadeia de von Neumann) (VON NEUMANN, 1955), etc.

3.1.2 Dificuldade 2

Outra dificuldade que encontramos está relacionada ao paradoxo do famigerado gato de Schrödinger. É uma dificuldade central quando tratamos de teoria da medição quântica. Vamos analisar essa dificuldade e avaliar até que ponto ela ainda está presente em nossa perspectiva que está centrada na descrição de F . A dificuldade se trata do fato de que um operador estatístico descrevendo o *ensemble* da composição dos sistemas $S+A$ depois de haver uma interação ser um caso puro, *i.e.* sendo inevitavelmente diferente de qualquer operador estatístico descrevendo um *ensemble* cujos ponteiros dos instrumentos têm cada um alguma posição bem definida (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, capítulo 15).

F é um conjunto de fenômenos. A descrição de F não está voltada para como as coisas são, mas para como elas aparecem para a coletividade dos seres humanos. Enquanto estivermos dentro do escopo da descrição de F , noções como a de função de onda serão consideradas somente como ferramentas úteis, elementos usados para fazer previsões sobre um dado conjunto de eventuais experimentos. Dessa maneira, a noção de função de onda em um sistema atômico particular qualquer (ou um *ensemble* de tal sistema) não é um conceito objetivamente forte nem objetivamente fraco. Depois de ser feita uma observação do sistema, podemos atribuir (sem cerimônia) uma função de onda reduzida¹⁰ ao sistema. Isto só pode ser feito sem cerimônias porque é feito da maneira vista acima, de forma operacional (C. DE RONDE, C Massri, 2019a). Desta sorte, também após a observação performada, não precisamos nos preocupar com os sistemas cujo sistema em consideração interagira antes da medição.

3.1.3 Descrevendo F

Pensamos que uma descrição apropriada de F que abarque a física quântica deva estar de acordo com a hipótese de Stapp (STAPP, 1972, p. 1108): “nenhuma construção teórica pode produzir previsões verificáveis sobre fenômenos atômicos que não possam ser extraídas de uma descrição teórica quântica”.¹¹ Adotamos essa hipótese, pois ela permite a atribuição de um significado restrito a conceitos operacionalmente definidos, o que pode ser declarado como tendo significado na esfera de F .

Com isso, para que tenhamos uma sistematização de uma visão empírica chamada de F , precisamos que ela seja caracterizada pela substituição de grandes períodos de tempo por períodos finitos de tempo ou pela substituição de um grande número de partículas para um número finito de partículas e que essa substituição seja adotada como uma abstração válida. Senão, que ela seja caracterizada pela

¹⁰ A autofunção correspondente ao resultado.

¹¹ Quando adotamos essa hipótese, não estamos abarcando variáveis ocultas.

possibilidade não existente de medição de observáveis que excedem certo grau de complexidade, nem mesmo no âmbito teórico – mesmo considerando certos casos em que tal possibilidade, em princípio, efetivamente exista.

Para efetivarmos essa sistematização precisamos de pelo menos uma ou ambas características supracitadas. Isto porque visamos uma descrição apropriada de F que abarque nosso conhecimento da física quântica atual. Assim, com essa proposta de sistematização juntamente à hipótese de Stapp, pretendemos estudar a próxima dificuldade e investigar a possibilidade de removê-la ou ao menos aliviá-la.

3.1.4 Dificuldade 3

A próxima dificuldade a ser estudada compreende, como já dito acima, o fato de que o operador estatístico que descreve o *ensemble* do sistema composto $S+A$, depois de ocorrida a interação, é um caso puro e, assim, é inevitavelmente diferente de qualquer outro operador estatístico que descreve um *ensemble* no qual os ponteiros do instrumento têm cada qual alguma posição macroscópica bem definida. Uma forma de tentarmos remover essa dificuldade é considerarmos uma teoria baseada no ambiente (ZEH, 1970), pois quando levamos em conta todos os observáveis ligados ao sistema $S+A$ e que não envolvem o ambiente, *i. e.* todos os observáveis que podem ser medidos na prática, as previsões estatísticas de medição resultantes são praticamente as mesmas, sejam elas derivadas integralmente do vetor de estado (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, capítulo 10) ou da matriz de densidade que descreve uma mistura apropriada de estados $|s_+\rangle$ e $|s_-\rangle$ nas proporções $|a|^2$ e $|b|^2$ respectivamente.

Mesmo que hajam quantidades físicas às quais procedimentos de medida possam em princípio ser definidos, a questão sobre suas previsões de resultados de medida são diferentes das até agora apresentadas. São quantidades chamadas de 'observáveis sensíveis' (D'ESPAGNAT, Bernard, 2003, capítulo 10.6). Esses observáveis passam a não ser mais um problema se tivermos em vista a característica de F que considera inexistente a possibilidade de medição de observáveis que excedem certo grau de complexidade, nem mesmo no âmbito teórico.¹²

Mesmo sem nos aprofundarmos muito na questão de observáveis sensíveis, poderíamos nos perguntar como é feita a distinção entre um observável sensível e um observável não sensível. Como poderíamos definir um limite? Seria um limite exato? O ponto é que nosso intuito de traçar uma linha exata para distinção é um processo elaborado unicamente para que obtenhamos cálculos mais simples. Quando tratamos da abordagem de F , não é necessário nem conveniente que especifiquemos quais quantidades físicas são fisicamente observáveis por meio de algum critério. A abordagem de F trata de descrever sinteticamente a experiência humana comunicável

¹² Para outras teorias de ambiente, particularmente aquelas que são baseadas em álgebra de observáveis (PRIMAS, 1981) devemos também considerar a característica de F que é relativa à substituição.

cientificamente e isto está manifestadamente centrado nas possibilidades relativas aos seres humanos. Portanto, pensamos que seja suficiente definir, por exemplo, quantidades físicas sensíveis declarando que elas são aquelas que estão fora do nosso alcance.

Não faz sentido, então, tentar traçar uma linha bem definida entre F e RV . Vale lembrar que o conjunto de quantidades físicas sensíveis (assim como outros conjuntos) está atrelado a mudanças, já que é suscetível à passagem do tempo. Sendo assim, não é cabível, além do ganho operacional, estabelecer um limite entre F e a Realidade Vaga. Esse próprio limiar é vago quando pensado desde a perspectiva empírica; quando pensado como flexível às propriedades dinâmicas (ao tempo); como pensado sendo uma construção que se adéqua ao advento científico.

Como dissemos anteriormente, para que tenhamos uma sistematização de uma visão empírica chamada de F , precisamos que ela seja caracterizada pela substituição de grandes períodos de tempo por períodos finitos de tempo ou pela substituição de um grande número de partículas para um número finito de partículas e que esta substituição seja adotada como uma abstração válida. Senão, que ela seja caracterizada pela possibilidade não existente de medição de observáveis que excedem certo grau de complexidade, nem mesmo no âmbito teórico – mesmo considerando certos casos em que tal possibilidade, em princípio, efetivamente exista. Contudo, esse postulado parece não ser suficiente para dar conta da dificuldade que estudaremos a seguir.

3.1.5 Dificuldade 4

Essa dificuldade está um tanto quanto conectada à dificuldade anterior, mas ela parece ser um pouco mais complexa. Ela se refere à interpretação de:

$$\rho' = \sum_m |a_m|^2 |\Psi_m\rangle \langle \Psi_m| \quad (4)$$

A equação acima é interpretada como idêntica ao operador estatístico de um *ensemble* próprio, onde a proporção de $|a_m|^2$ dos sistemas tem $L = l_m$ e $G = g_m$, onde $G = g_m$ se refere às possíveis posições de um ponteiro e l_m é o autovalor de um observável L . O ponto é que operacionalmente isto funciona satisfatoriamente,¹³ mas nos perguntamos se possui uma interpretação física clara.

Para entendermos melhor essa dificuldade, vamos usar um exemplo onde os índices r e m vão de 1 a 2. Nesse exemplo, o papel dos observadores sensíveis é feito por correlações observáveis entre quantidades pertencentes a S e observáveis instrumentais¹⁴ como G' que não comuta com a coordenada de ponteiro G . A ques-

¹³ Isto porque aplicado ao vetor de estado $|\psi\rangle = \sum_m a_m |\psi_m\rangle$, conseguimos com a regra de probabilidade $w_k = \sum_r |\langle k, r | \psi \rangle|^2$ de chegar a este mesmo resultado.

¹⁴ G' é um operador hermitiano de equação de autovalores $G' |V_{\pm}\rangle = g'_{\pm} |V_{\pm}\rangle$; onde $|V_{\pm}\rangle = 2^{-\frac{1}{2}}(|1\rangle \pm |2\rangle)$

tão é que contanto que as medições de tais observáveis sejam consideradas como possíveis¹⁵ de serem realizadas, seria também tido como inconsistente considerar o *ensemble* E do estado final geral dos sistemas como sendo uma mistura de tais sistemas N . Ou seja, considerar que $N|a_m|^2$, em que $m = 1, 2, \dots, L$, tenha $L = l_m$ e $G = g_m$.

Poderíamos pensar que estes ‘observáveis’ não assumem um significado físico (como feito anteriormente – em outras dificuldades – com observáveis sensíveis encontrados em situações mais realistas); porém, isso não removeria essa dificuldade pelo fato de que quando tomamos esta atitude estamos considerando E como composto de elementos que não são todos idênticos. Que impacto isso traria?

Para essa análise vamos começar com o *ensemble* dos sistemas gerais sendo descrito pelo vetor de estado

$$\left(\sum a_m \psi_m\right) \otimes |0\rangle. \quad (5)$$

Quando estamos discutindo questões relativas à física quântica, normalmente consideramos que todos os elementos do dado *ensemble* inicial são idênticos uns aos outros. Acontece que tal conjuntura é dada porque adotamos a hipótese de que uma boa descrição dos estados dos sistemas quânticos são aquelas fornecidas por *kets*. Assim sendo, como no *ensemble* final os elementos não são mais idênticos, teríamos que considerar que acontece uma diversificação espontânea entre os elementos durante o período de interação devido ao processo de evolução do tempo na equação de Schrödinger. Deparamo-nos com uma situação um tanto quanto perturbadora, já que não podemos atribuir tal diversificação a qualquer outra coisa a não ser a tal circunstância específica, que os observadores sensíveis – *e.g.*, G' – estão fora do alcance humano. Nosso intuito agora é investigar essa dificuldade e ver como uma sistematização de F poderia anulá-la ou ao menos amenizá-la.

Destarte, vamos apontar que a configuração atual de sistematização de F diz que ela se apresenta caracterizada pela substituição de grandes períodos de tempo por períodos finitos de tempo ou pela substituição de um grande número de partículas para um número finito de partículas e que esta substituição seja adotada como uma abstração válida e que ela se apresenta caracterizada pela possibilidade não existente de medição de observáveis que excedem certo grau de complexidade, nem mesmo no âmbito teórico – mesmo considerando certos casos em que tal possibilidade, a princípio, efetivamente exista; apesar de ter sido suficiente para remover outras dificuldades, não é suficiente para remover a dificuldade da qual estamos tratando. Além disso, como dito acima, normalmente estamos assumindo a hipótese de que não há descrição melhor para sistemas quânticos que aquelas que são fornecidas por *kets*.

Com isso, para reforçar, para que tenhamos uma sistematização de uma

¹⁵ Em outras palavras, aceitando que não exista descrição melhor para sistemas quânticos que aquelas que são fornecidas por *kets*.

visão empírica chamada de F , precisamos que ela seja caracterizada pela substituição de grandes períodos de tempo por períodos finitos de tempo ou pela substituição de um grande número de partículas para um número finito de partículas, e que essa substituição seja adotada como uma abstração válida. Senão, que ela seja caracterizada pela possibilidade não existente de medição de observáveis que excedem certo grau de complexidade, nem mesmo em âmbito teórico – mesmo considerando certos casos em que tal possibilidade, em princípio, efetivamente exista.

Contudo, quando nos voltamos para essa hipótese, podemos notar que ela é *cripto-ontológica*,¹⁶ fazendo com que a noção de ‘identidade’ entre sistemas também seja. No entanto, como nosso intuito é abordar as dificuldades dentro de uma sistematização de F , não podemos acatar tal hipótese e, por consequência, nem a noção de ‘identidade’ por ela derivada. Parece simples como num passe de mágica, mas a atitude de abandonar a hipótese e suas consequências também fez com que nos livrássemos da dificuldade que estamos tratando.

Vamos entender esse processo aparentemente simples no que se segue. Não temos um meio integralmente científico de conhecer se um ou algum modelo ontologicamente interpretável,¹⁷ dos que estão disponíveis atualmente, descreva a R , mas podemos conjecturar que um cumpre esse papel. Sendo assim, a própria possibilidade de que esse seja o caso, faz com que a dificuldade que estamos tratando seja extraída, pois qualquer modelo é capaz de modelar um sistema individual e acaba por estar em outro dos estados finais possíveis. Ou seja, a própria existência de tais modelos suprime essa dificuldade porque podemos conjecturar que R é descrita por um deles. Além disso, lembremos que não temos a permissão (até o momento presente) de afirmar que foi provado que tal ou tal modelo específico descreve R . Nosso discurso científico deve se ater à F . Dessa maneira, estamos dispensados de introduzir explicitamente, nas raízes de nossas descrições científicas, por exemplo, variáveis ocultas ou outros conceitos semelhantes.¹⁸

Neste ponto, sem nos livrarmos das características que postulamos para F , abandonamos a hipótese de que não há descrição melhor para sistemas quânticos que aquelas que são fornecidas por *kets*. Este posicionamento nos garante que esta-

¹⁶ A hipótese de Completude, por exemplo, é *cripto-ontológica*. Ela é a hipótese de que “não existe descrição melhor para sistemas quânticos que aquelas que são fornecidas por *kets*.” Essa hipótese vai além de um mero operacionalismo; é difícil interpretá-la de outra maneira a não ser considerando que todos os elementos descritos por um *ket* são idênticos. Ou seja, a hipótese é considerada *cripto-ontológica* porque ‘esconde’ o fato de que ela é uma hipótese com conteúdo ontológico, uma declaração que vai além do que pode ser afirmado na descrição da Esfera dos Dados Fenomênicos.

¹⁷ *Grosso modo*, modelos ou teorias ontologicamente interpretáveis são aqueles que têm total acesso a R , ou seja, que têm conhecimento total de R . Cf (D’ESPAGNAT, Bernard, 2003, capítulo 13.7)

¹⁸ O que gostaríamos de dizer é que encontramos dificuldades nesse ponto quando a postulação de R é feita de forma gratuita. O que vai contra o que estamos argumentando neste trabalho. A aceção da R como Realidade Vaga é uma postura realista híbrida onde conseguimos lidar com dificuldades dos fundamentos da física quântica; viemos e continuaremos defendendo que o conceito de Realidade Vaga é significativo e não um mero capricho.

mos de acordo com o fato de que o conceito de variáveis ocultas não deva ser banido, ao mesmo tempo que estendemos tal conceito ao âmbito das descrições de F . Mais especificamente, podemos dizer que os valores de g_m das coordenadas dos ponteiros relativos à função de onda $S + A$ e os valores correspondentes I_m dos observáveis medidos são efetivamente valores de variáveis ocultas que descrevem o fenômeno percebido pelo observador.

Vale notar que funções de onda e vetores de estado devem ser considerados como sendo nada mais que ferramentas para fazer previsões, sendo algo que harmoniza com nosso posicionamento de suprimir a hipótese de que não há descrição melhor para sistemas quânticos que aquelas que são fornecidas por *kets*. Notemos ainda que essas ferramentas têm domínios de atuação efetiva, por exemplo, a função de onda de um *ensemble* E de um sistema S atua efetivamente somente para experimentos concebíveis, *i.e.*, aqueles que envolvem nada mais que os elementos de S e E , sendo desprovido de significado fora desse domínio.

3.2 DISTINÇÃO ENTRE F E RV

A postura de suprimir a dificuldade tratada acima é de grande valia para elucidar a distinção entre o conceito de F e o conceito de RV . Poderíamos ter ideia de que cada um de nós tem sua própria mente e, assim, escolhemos ser a favor de que ‘variáveis ocultas’ são *imaginadas* (criadas pela nossa mente); poderíamos pensar no porque dessas aparências, desses valores de variáveis ocultas serem os mesmos (ou parecerem ser os mesmos) para todos nós. Vamos evidenciar aqui que as regras da física quântica não são válidas para o acordo intersubjetivo. Elas fornecem o resultado de probabilidade nula para dois observadores obterem diferentes resultados de medida referentes à mesma quantidade física.¹⁹

Estamos construindo a noção de F e isso deve ser sempre considerado, pois há apontamentos acerca da insuficiência da explicação formal que traçamos. No sentido de que, como qualquer probabilidade quântica, a probabilidade referida é sobre ‘observar’ algo e, com isso, ao referir-mo-nos a ela estaríamos supondo implicitamente um ‘super-observador’ que olharia as mentes de cada um de nós, assim como olhamos para os ponteiros dos instrumentos. Antes que nos percamos em linhas de raciocínio como essa com suposições, lembremos mais uma vez que estamos tratando do domínio de F neste capítulo, onde o levantamento de tal suposição se mostra um contrassenso.

Nossa perspectiva realista híbrida composta por uma abordagem que distingue RV e F vem se mostrando deveras coerente em abarcar o Realismo Aberto juntamente com nosso conhecimento da física atual. A aceção da Realidade Vaga

¹⁹ Cf anexo A.

se mostra útil para afastar as dificuldades encontradas, inclusive aquelas relativas aos processos de medição. É um resultado possível somente porque não visamos produzir uma descrição ontologicamente interpretável que seja aceita como ‘a verdadeira’; este intento precisa ser abandonado. Pensamos que a física deva ser interpretada como um descrição dos fenômenos – e isto é o que denominamos de F – *i.e.*, uma descrição das aparências intersubjetivas juntamente a um conjunto de regras de previsão que possibilita conectar (pelo menos estatisticamente) essas aparências umas com as outras. A descrição das aparências precisa ser feita necessariamente com o uso de uma linguagem realista e que seja entendido que é somente uma *linguagem*, ressaltando quaisquer comentários sobre uma *interpretação* realista. Os elementos do discurso que são tomados de nossa maneira realista de se expressar, são os conceitos objetivamente fracos.

Dentro da física clássica, a regra de uso de conceitos é definida de uma maneira epistemológica que funciona muito bem e foi amplamente usada nesses conformes, *i. e.* fazendo referência a medições (possíveis ou atuais) e assim por diante. Conquanto, fora desconsiderada a ideia de atribuir significado ontológico aos então definidos conceitos, que poderia ser rejeitada somente dentro da esfera filosófica, e não tendo por base teorias empíricas bem fundamentadas. Com a chegada da mecânica quântica, essa visão foi modificada em certa medida, embora seja possível dizer geralmente que tais mudanças não foram radicais o suficiente, tendo em vista que nem sempre fora sentida uma necessidade, em particular, de discernir entre questões ontológicas e epistemológicas. Critérios estritamente epistemológicos foram usados para definir quantidades físicas; contudo, na maior parte das vezes, essas quantidades continuavam a ser interpretadas descrevendo de algum modo elementos ‘externos’ da realidade (independente). Assim sendo, o que gostaríamos de evidenciar aqui é que a distinção apontada deve ser cuidadosamente considerada; que as interpretações ontológicas implícitas devem ser banidas do domínio de descrição de F ou serem explícitas na tentativa de descrição da Realidade Vaga (ou de qualquer outra acepção da Realidade Independente).

Com isso, também queremos dizer que as interpretações ontológicas que surgem na descrição de F devem ser pautadas para que se tornem evidentes tais interpretações; acreditamos que essa conduta proporcionaria uma melhor comunicação, promovendo clareza e discernimento. A interpretação pretendida fica explicitamente declarada para ser entendida de forma a possibilitar também outras possíveis interpretações. Ao evidenciarmos tais interpretações ontológicas, estamos entrando no domínio da Realidade Independente, estamos, na verdade, dando nossa perspectiva ontológica – neste caso, a nossa interpretação ontológica da Realidade Independente é a Realidade Vaga. O ponto é que não podemos fugir de algum tipo de interpretação. Sendo assim, acreditamos ser muito mais coerente explicitar tais interpretações de

forma a respeitar os domínios de F e da Realidade Independente.

Como vimos, encontramos problemas quando tratamos de questões de cunho ontológico dentro do domínio de F e, por isso, acreditamos que devemos bani-las dessa esfera, acomodando-as no âmbito da Realidade Independente. A possibilidade de poder trabalhar com os propósitos da interpretação e assim, evidenciando-a, promove um ambiente de liberdade. A questão que estamos defendendo é que se torne explícita a intenção daquele que propõe uma interpretação ontológica, de forma a proporcionar clareza para o entendimento e dessa forma facilitar o aprimoramento desta tese. Quando tudo é deixado implícito, cria-se uma atmosfera de normalidade, onde parece haver um padrão nas interpretações ou que sejam todas as mesmas ou até que não exista interpretação. Ao quebrar com essa atitude, transformamos possíveis desentendimentos gerados pelo obscurantismo das interpretações em possibilidade de escolha para uma liberdade criativa. Não é o caso de que não haja disciplina nesse processo, não é um mero vale tudo, e o fundamento para isso, abarcando o *realismo*, é que uma realidade externa que fundamenta nossa descrição de F . No fim das contas, por mais livres que sejamos para interpretarmos ontologicamente, temos algo que nos une para dar um norte em nossas descrições.²⁰ Pensamos que o fundamento para isso na perspectiva realista híbrida é que temos uma realidade externa que fundamenta nossa descrição de F . No fim das contas, parece que por mais livres que sejamos para interpretarmos ontologicamente, temos algo que nos une para dar um norte em nossas descrições; são certas regras, restrições e regularidades que nos orientam (isso, é claro, se quisermos ser coerentes). O fruto dessa atitude é o que chamamos de *perspectivismo*.²¹

3.3 PANORAMA ULTERIOR

Pelo fato de nossa perspectiva realista, pautada no realismo aberto, ser uma acepção híbrida do realismo e do idealismo, vemos a necessidade de esclarecer

²⁰ Temos aqui o momento de união que define *Realismo*, como já mencionado no capítulo anterior, da mesma maneira que o Realismo Representacional de de Ronde (C. DE RONDE, C. Massri, 2018).

²¹ Um exemplo sobre a visão perspectivista pode ser colocado com a ideia de que um formalismo não é uma Teoria. Isto se mostra quando nos utilizamos de um formalismo – já presente em alguma teoria – para uma construção; não está aí implicado que abarcaremos todos os fundamentos e arranjos da teoria, dos conceitos da teoria. Acontece que o fato de utilizarmos um formalismo já existente para a descrição de F – e não a Realidade Independente – já é suficiente para mostrar que não corroboramos com a integridade do agregado onde encontramos tal formalismo. Tal fato ainda encerra a ideia de que devemos mudar a linguagem da qual tal formalismo foi extraído, com isso mostrando que com a linguagem iremos agregar o significado pretendido por nós com aquele formalismo. Atribuiremos nossa interpretação ontológica (nossa estrutura conceitual) ao dado formalismo. Teremos com isso uma nova teoria usando o mesmo formalismo da anterior ou teremos ao menos adaptado à teoria anterior para uma ‘nova fundamentação conceitual mais apropriada’. Em ambos os casos, conseguimos perceber como seria vantajoso explicitar as etapas da elaboração da teoria (como seu formalismo) ou ao menos apontar de maneira geral onde ela está fundamentada, pois com isso ampliamos a margem para a compreensão de nossas construções teóricas. Mais pode ser visto no capítulo 15.

ainda mais os conceitos de F e RV . O ponto é que não só essa noção híbrida traz essa necessidade, mas também o cenário da física atual.

Pensamos já ter apurado ao menos satisfatoriamente a noção de F nos parágrafos anteriores; com isso visamos remover uma ambiguidade presente na literatura popular e científica.²² Enxergamos essa ambiguidade como proteiforme. Um aspecto dessa inconstância quanto à forma é devido ao fato de que livros-texto e artigos científicos lidam com entidades como funções de onda de sistemas compostos, matrizes de densidade de sistemas em equilíbrio térmico, entre outras, com livre expressões como ‘o sistema de função de onda *tem* tal e tal estrutura’, ‘o sistema de matriz de densidade *é* isso ou aquilo’, embora conjuntamente evite majoritariamente pronunciamentos explícitos sobre se essas funções de onda, matrizes de densidade, assim por diante, são ‘reais’ ou não.

O questionamento daqueles que se deparam com tais livros-texto e artigos sobre o que é ‘real’ ou não é pouco presente e quando o é sua presença é efêmera. Há casos, porém, onde leitores curiosos investigam essa questão, o que acaba por promover a descoberta de argumentos²³ que compelem a ideia de que a ambiguidade tratada é irrelevante. Por mais que a ideia de irrelevância seja corroborada por tais leitores, eles ainda ficam órfãos de uma resposta quanto ao que é ‘real’ ou o que pode consistentemente ser considerado como ‘real’. Ainda, artigos e livros-texto que tratam de funções de onda, etc, interpretam as probabilidades de transição quântica como se referindo ao que ‘realmente’ acontece, e não ao que qualquer um de nós observaria se estivéssemos presentes em dado acontecimento.

Para ficar ainda mais evidente, estamos tratando aqui da ambiguidade criada quando não definimos o domínio daquilo que iremos abordar; se estamos tratando de F , se estamos tratando de RV , etc. A ambiguidade emerge quando não fazemos explicitamente tal distinção. Ao não tomarmos essa postura, damos margem para ambiguidades e assim, promovemos equívocos de interpretação que prejudicam a compreensão e o desenvolver científico.

Não podemos dar as costas a essa ambiguidade, pelo contrário, precisamos abordá-la. Podemos fazer como Bell (BELL, J. S., 1990) e nos voltarmos para as teorias ontologicamente interpretáveis. Uma outra alternativa seria definir F de forma convencional, *i. e.* de tal maneira que sejam salvas todas as aparências e também que as dificuldades conceituais encontradas quando identificamos objetos físicos com a Realidade Vaga sejam todas afastadas. Definindo F dessa forma, não ficamos presos a teorias ontologicamente interpretáveis para abordarmos tal ambiguidade. Há aqui

²² Por mais que tal ambiguidade passe despercebida por muitos ou seja caracterizada como irrelevante ou não científica.

²³ Os argumentos podem tratar do emaranhamento completo da função de onda de um sistema de partículas idênticas, da característica descrita em muitos casos de ‘mistura imprópria’ de matrizes de densidade de misturas, por exemplo.

possibilidade de escolha, e a descrição, como colocamos de maneira convencional de F , fica aberta para aprimoramentos.

Tratamos até o momento de algumas questões, alguns problemas, alguns enigmas que assolam o campo dos fundamentos conceituais da mecânica quântica. Para tratar desses pontos usamos a noção de F . Contudo, não poderemos considerá-la como resposta última para as questões que encontramos nesse campo, pois pensamos que existem e ainda existirão outros pontos os quais teremos que abordar dentro dos fundamentos conceituais da mecânica quântica. Para frisar, a noção de F não deve ser tratada como um resultado absoluto, uma resolução final para dar conta de tais problemas. Ainda assim, F se mostra avançando na mesma direção da evolução da física e também se mostra removendo grandes dificuldades como as que estamos analisando. Além disso, F promove uma visão qualitativamente coerente do mundo fenomênico. Alcançar esse *status* se torna possível à medida que abafamos nosso ímpeto e tendência de aumentar impensadamente o domínio da validade que atribuímos às noções definidas epistemologicamente ‘ter’ e ‘ser’. Conseguimos, sem abrir mão do padrão de exatidão científica, usar as noções definidas epistemologicamente de ‘ter’ e ‘ser’ quando são claros os limiares de aplicação, não confundindo a esfera cotidiana com a esfera científica. Mais uma vez, vemos aqui a importância da clareza no discurso, na especificação dos termos, na determinação do domínio; é com essa postura que acreditamos conseguir de maneira mais branda tratar das dificuldades que nos acometem.

Vamos agora nos ater a alguns últimos comentários sobre F . Primeiramente, vale frisar que nesta seção estamos tratando deste conceito e o que aplicamos a ele não deve ser extrapolado a outros conceitos vistos até o momento; *e.g.*, dizer que a *realidade* é ‘local’ ou ‘separável’ é fazer referência a algo que excede este epíteto. Além do mais, defendemos que precisamos considerar a noção de RV como sendo significativa e logicamente anterior à noção de F ; *i.e.*, F funciona como uma alegoria (como um símbolo, um emblema, uma conformidade, nesse sentido) feita por humanos, da Realidade Vaga. Não conseguimos sustentar qualquer descrição da Realidade Vaga que a represente como ‘local’²⁴ ou ‘separável’, tendo em vista os teoremas de Bell que nos fornecem essa informação.

Por fim, parece que não conseguiríamos construir a própria noção do que seja um objeto (localizado) – seríamos quiçá prevenidos de sua existência – se as superposições quânticas de estados macroscópicos distintos pudessem ser diretamente observadas, se o mundo cotidiano fosse não-separável. Por esse prisma, os conceitos que usamos para descrever F se apresentam como ferramentas que utilizamos para organizar a nossa coleção de dados sensíveis. Essa ideia que é primariamente recebida com ressalvas, parece agora ser incrivelmente mais palatável e até um tanto

²⁴ No sentido de não ser não-separável.

quanto mais intuitiva; os conceitos usados funcionam muito bem, embora não sejam retratos fiéis da 'realidade'.

Neste e no capítulo anterior tratamos de postular e descrever RV e F , sustentando que são diferentes e ao mesmo tempo necessários para resolver ou amenizar dificuldades encontradas na filosofia da mecânica quântica e também fazem parte da apresentação de uma proposta de realismo híbrido que acolhe nosso esquema de elaboração de teorias científicas. Dando continuidade ao esquema, veremos agora o próximo passo: P .

4 PROTO-TEORIAS

Acreditamos que já deixamos claro que é fundamental em nossa perspectiva a distinção entre Realidade Vaga RV e a esfera dos dados fenomênicos F ,¹ ainda que, em geral, cientistas e filósofos assumam implícita ou explicitamente que RV seja a mesma que F . Nosso conhecimento científico é dado através de conceitos; é conhecimento conceitual (KRAUSE, D.; ARENHART, J. R. B., 2017), esses colhidos de F ou de nossa imaginação, caso específico dos conceitos abstratos da matemática. Saliente-se que mesmo conceitos físicos como ‘força’, ‘massa’ e outros são igualmente abstratos. Sustentamos, como Dalla Chiara e Toraldo di Francia (DALLA CHIARA M. L. E TORALDO DI FRANCIA, 1981, p. (VER)), que a antiga distinção dos positivistas lógicos entre conceitos empíricos e conceitos teóricos não mais se sustenta: todos os conceitos são teóricos, dependentes da observação mas, como recordou Einstein a Heisenberg (insistentemente lembrado por este), “é a teoria que decide o que pode ser observado”(HEISENBERG, 1983, p.10). Mas essa é outra estória.

O que nos interessa destacar aqui é a etapa de formação uma de teoria científica em seu estágio inicial, que denominamos de ‘Proto-Teoria’, sem qualquer analogia com o mesmo termo tal como empregado por Mario Bunge (ver (MOULINES, 1981)). Aqui, uma P tem o sentido de uma teoria informal, não axiomatizada, como a física de Galileu ou a teoria da seleção natural de Darwin, elaboradas a partir de F .²

Como a ciência se forma no contexto de F , quando procuramos fazer ciência (especificamente física) estamos tratando de esquematizar F . Chamaremos estas teorias informais de *Proto-Teorias*. São potencialmente muitas as Proto-Teorias P possíveis que podem ser elaboradas a partir de F . As P são formadas por meio de nossas experiências, conhecimentos prévios, *insights*, entre outros. Podemos fixar uma de nossa escolha, e quando o fazemos começamos quase sempre a fazer uso da matemática, principalmente se estamos trabalhando com a física. Físicos, entre outros cientistas, usam a matemática que sabem, ou aprendem se necessário — como Einstein o fez, ou a desenvolvem — ao exemplo de Newton, Fourier, Witten e muitos outros.

As P são elaboradas a partir de dados coletados de F , assim como também da intuição e habilidades do físico. Ocorre algo como uma organização desses dados para promover a apresentação de uma P . A construção de uma P para as finalidades do físico depende obviamente do uso da matemática. Não só porque no domínio empírico precisamos considerar, por exemplo, estatísticas e erros aleatórios, mas também para expressar conceitos teóricos, como momento,³ não ‘diretamente’

¹ Daqui para a frente, quando afirmarmos algo sobre a ‘realidade’, estaremos entendendo que se trata da realidade vaga.

² Notemos que isso não significa que as P são desprovidas de lógica e de formas permitidas de inferência.

³ Em mecânica clássica o momento linear é definido pelo produto da massa pela velocidade de um

observáveis ou o peso específico (peso pela unidade de volume, esses supostamente podendo ser ‘diretamente’ observados, mas na verdade envolvendo muita teoria por trás), que são expressos por leis matemáticas, hipóteses, entre outros fatores. Para com isso, introduzir elementos que podem não se encontrar ‘diretamente’ nos dados coletados de F , mas que potencialmente promovem a elucidação da P (COSTA; KRAUSE, 2014) (ou pelo menos é o que se supõe). Podemos, então, pensar as P como arcabouços matemáticos, descritas adequadamente para manejar os dados advindos de F e, igualmente, para compor com nossas intuições e percepções da Realidade Vaga.

Obviamente que podemos, pelo menos em princípio, saltar P e partir diretamente para uma T , a etapa seguinte, das teorias axiomatizadas ou formalizadas. Mas, pelo menos na ciência empírica, isso não é muito comum. Mas não descartamos essa possibilidade, notadamente se o domínio em investigação é suposto depender de uma lógica (ou matemática) distinta da lógica (e da matemática) clássica.

A coleta de dados via F já é, de algum modo, uma forma de modelar a Realidade Vaga. Modelamos, por exemplo, a existência de objetos (no plural); tudo se passa como se houvessem objetos, ainda que seja uma hipótese nossa que a Realidade Vaga seja Não-separável. Em outras palavras, em nossa concepção a RV , ou a porção a ser estudada, via de regra deve ser descrita por algum dispositivo matemático que indique o emaranhamento, e consideramos os casos específicos de situações locais, como quando uma medição é realizada, como um caso particular do emaranhamento; em termos quânticos, quando há o colapso, temos um dado fenomênico que se nos apresenta como local e separável. Mas, na nossa concepção, isso se trata de uma concepção metafísica formada a partir de nossas experiências com as coisas que nos cercam e com o modo como evoluímos.

A Realidade Vaga é modelada para que em F tudo se passe como se existissem objetos (no plural), fazendo com que F seja nesse sentido separável. Não obstante, como vimos, isto não ocasiona dificuldades em relação à nossa perspectiva realista híbrida.

Uma Proto-Teoria é uma teoria informal que utiliza os conceitos que o cientista têm às mãos, muitas vezes introduzindo outros de forma *ad hoc*. Não se questionam questões como consistência, lógica subjacente e demais noções meta-matemáticas. Se a teoria ‘funciona’, estará tudo bem, até que necessite ser revisada. Mesmo a matemática, em seu estágio não axiomático, procede exatamente desse modo, como mostrou Imre Lakatos em seu livro *Proofs and Refutations* (LAKATOS, 1976), traduzido no Brasil como *A Lógica do Descobrimento Matemático: Provas e Refutações* (LAKATOS, 1978), trazendo para a matemática a ideia popperiana de provas

corpo. É uma grandeza vetorial, com direção e sentido, cujo módulo é o produto da massa pelo módulo da velocidade e cuja direção e sentido são os mesmos da velocidade.

e refutações (POPPER, K., 1940).

Para entender melhor uma P , um físico pode criar um dispositivo heurístico. Exemplos destes dispositivos são maquetes, simulações, modelos de forma geral, entre outros. Esses dispositivos são muitas vezes chamados de 'modelos', como já salientado antes. Contudo, devemos nos precaver ao utilizarmos aqui a palavra 'modelo'. Para o filósofo da ciência e principalmente para o lógico, modelos são construtos matemáticos, como veremos à frente.

Como vimos, normalmente o físico está satisfeito com sua P e não avança em seu estudo teórico. Já o filósofo da ciência, lógico ou fundacionista visa conhecer profundamente a sistemática e as minúcias de seus estudos científicos. Parte então para um meta-estudo, que no entanto pode ter consequências na própria teoria informal e na sua concepção de realidade.

Passemos então à etapa seguinte, a da elaboração das *Teorias* estrito senso, no sentido em que empregamos esse termo.

5 TEORIAS

Endereçamos anteriormente as P como ‘teorias informais’ porque a maioria das chamadas ‘teorias’ as quais estamos acostumados não podem ser classificadas como tais se estivermos tratando do conceito de teoria no escopo da lógica. As ‘teorias’ não são apresentadas conjuntamente com sua matemática e lógica subjacente, por exemplo. Pensamos ser de grande valia explicitá-las, pois essa postura pode vir a revelar informações interessantes, relevantes e até mesmo problemáticas sobre a estrutura física de uma P . O estudo construído até o grau de P , de maneira geral, apresenta conceitos, relações entre conceitos, princípios, regras gerais, equações, postulados e semelhantes; ao nos aprofundarmos ainda mais quanto a como se configura uma P será possível encontrar uma outra camada de organização – ou uma outra camada passível de ser organizada – que poderá dizer ainda mais sobre a P sendo considerada.

A maneira com a qual prosseguimos com a organização da P é por meio de uma sistematização. Quando realizamos a sistematização da P é que chegamos, de fato, ao que chamamos de Teoria. Nesse ponto obtemos uma Teoria *stricto sensu*. A Teoria T será no mínimo uma versão axiomatizada da P adotada. Desta sorte, sistematizar significa aplicar o método axiomático.¹ Quando axiomatizamos, geralmente pressupomos algumas coisas tais como outras teorias (informais ou formais) — auxiliares — das quais a teoria informal que está sendo analisada se utiliza. Podemos supor que essas teorias auxiliares já estão ou também podem ser axiomatizadas. No processo de axiomatização, percebemos que a teoria informal possui seus teoremas, os quais podem ser derivados através de uma lógica não explícita;² frequentemente fica implícita a lógica clássica como lógica subjacente, mas, em princípio, tal escolha é menos arbitrária do que pragmática (dependendo das necessidades e preferências do cientista). Da mesma forma que consideramos pertinente a axiomatização como uma forma mais criteriosa de estruturação, desvelar a lógica subjacente também pode ser conveniente para os nossos propósitos. A diferença entre expor ou não a lógica subjacente está na diferença entre formalizar e axiomatizar, respectivamente. Estabeleceremos a diferença entre axiomatização e formalização da seguinte maneira: para uma teoria informal ser formalizada, devemos axiomatizá-la e explicitar qual é sua lógica subjacente.³

¹ A axiomatização é vista como deveras importante, pois ela ajuda, dentre outros pontos, a avaliar uma Teoria. Ademais, não entendemos o processo de axiomatização como uma imposição da empiria, a axiomatização tem um papel na representação e não tanto na definição ou sequer na compreensão da realidade. A axiomatização tem um papel na compreensão de nossas teorias e portanto no cenário das representações. A axiomatização se dá a posteriori, já no contexto da justificativa, quando uma P já tem um corpo suficientemente desenvolvido e um domínio bem definido.

² A lógica equipada de maneira tácita à Teoria pode ainda abafar outras peculiaridades atadas à sua fundamentação.

³ Para chegar a uma T , leva-se em conta todo o processo e desenvolvimentos teóricos e experimentais

Cabe-nos dizer também que potencialmente existem várias P de um mesmo domínio de F , e igualmente várias Teorias (axiomáticas ou formais) de uma mesma P , inclusive, às vezes, incompatíveis entre si (COSTA; KRAUSE, 2014). Da mesma forma podemos ter várias interpretações de T . Interpretações são entendidas aqui, pelo menos em princípio, da maneira lógica, como uma atribuição de significado aos termos da linguagem. Atribuir uma interpretação para a linguagem de uma teoria, que por abuso de linguagem (!) dizemos que é uma interpretação para a teoria, é definir uma estrutura, usualmente conjuntista, que congrege elementos distinguidos, relações e funções que interpretem as constantes individuais, predicados e símbolos funcionais da linguagem.⁴

Um *modelo* de T é uma interpretação relativamente à qual os axiomas da teoria são *verdadeiros*.⁵ É claro que a uma mesma T podemos associar várias interpretações, potencialmente uma infinidade delas e potencialmente, toda teoria tem uma infinidade de modelos distintos. O ‘distintos’ aqui merece ser qualificado. Há teorias que são ditas *categóricas*, em que todos os modelos são isomorfos, como a teoria dos espaços vetoriais de mesma dimensão finita n sobre um mesmo corpo K , a aritmética de Peano de segunda ordem, etc.⁶ Teorias não categóricas (em matemática) são comuns, como a teoria de grupos, das ordens parciais e muitas outras. Nas ciências empíricas, o problema é delicado. Via de regra não se tem categoricidade, ou isso é extremamente difícil de se demonstrar (SUPPES, Patrick, 2002). Requer-se então, como salienta Suppes, algo mais brando, mas igualmente difícil de se obter, um *teorema de representação*. Em linhas gerais, isso significa o seguinte.

Em princípio, uma teoria T admite uma infinidade de modelos. Vem então a questão: haveria alguma subclasse desses modelos com a propriedade de que qualquer modelo da teoria tenha nessa subclasse um modelo que lhe seja isomorfo? Se assim for, ‘conheceremos’ os modelos de T conhecendo essa classe mais restrita. Em matemática, temos por exemplo o Teorema de Cayley, que diz que todo grupo é isomorfo a um grupo de transformações. A subclasse é, obviamente, a formada pelos grupos de transformação. Do mesmo modo, o Teorema de Stone diz que toda álgebra de Boole é isomorfa a uma álgebra de conjuntos. Em ciência empírica, Patrick Suppes e colaboradores se ocuparam de estudar esse problema, e a dificuldade advém do fato

que irão ocorrer até que uma P possa ser formalizada axiomáticamente, *i.e.*, a axiomatização trabalha no campo metateórico, em uma leitura posterior.

⁴ Essas estruturas, na grande parte das discussões e filosofia da ciência, são tomadas como sendo o que Krause e Arenhart chamam de estruturas de *ordem-1* (e não de ‘primeira ordem’ para evitar confusão com a ordem da linguagem), típicas da Teoria dos Modelos usual. Cabe recordar, como salientam esses autores, que a grande parte das teorias científicas requerem estruturas de ordem superior; ver (KRAUSE, D.; ARENHART, J. R. B., 2017).

⁵ Geralmente entendidos no sentido de Tarski.

⁶ Notemos que a aritmética de Peano não se refere especificamente ao mundo empírico (F) no sentido de que não se refere a um objeto do mundo empírico e sequer pretende fazer afirmações sobre o mundo empírico. Ela se encontra no ‘mundo teórico’, onde permanece, e sua formulação axiomática é o resultado de um processo no desenvolvimento de T .

dessas teorias serem extremamente complicadas, envolvendo conceitos probabilísticos e estatísticos por exemplo. Porém, a caracterização de uma teoria por intermédio de seus modelos é no presente deveras importante, tendo sido enfatizada a partir dos anos 1950, no que ficou denominado de *abordagem semântica* às teorias científicas.⁷

A pluralidade de interpretações possíveis de serem dadas para (a ligação de) T proclama um *status* de *independência* de T relativamente às intenções iniciais de sua elaboração. Ou seja, a teoria se torna aquilo que Popper denominava de *autônoma*, desvinculada dos seus propósitos iniciais e do seu criador, podendo ser acessada por qualquer um (em princípio) (POPPER, K., 1940).

Com efeito, usualmente notamos haver uma pretensão inicial no desenvolvimento de T , algum intuito, alguma motivação que suscite sua construção. Costumemente, esses fatores são despontados de observações alusivas à F . Com isso, após atingida a formação de T , podemos optar por continuar atrelados às motivações iniciais para estabelecer um modelo ou podemos nos desvencilhar de tais precedentes e criarmos um modelo abstrato, desprovido de precedentes, uma *espécie de estrutura* (DA COSTA NEWTON E FRENCH, 2003) (ver abaixo).

Vamos ver alguns detalhes desse processo.

5.1 AXIOMATIZAÇÃO

Enquanto uma teoria informal (em nossa notação, uma P) já ‘vem interpretada’, carregada de significado, pois foi elaborada tendo-se em vista algum domínio determinado do conhecimento, uma T é algo passível de ser associada a diferentes interpretações.

A simples axiomatização pressupõe a lógica subjacente, que é deixada implícita. Apenas os axiomas específicos da teoria são apresentados, como no caso de grupos, os axiomas sendo (i) a associatividade da operação, (ii) a existência de um elemento neutro, e (iii) a existência de um inverso para cada elemento do domínio. Nada de inferência é dito, nem o que significa uma função; tudo isso é pressuposto. Patrick Suppes apregoava uma máxima: *axiomatizar uma teoria é definir um predicado conjuntista* (SUPPES, Patrick, 2002, p. 30), ou seja, deve-se encontrar uma fórmula da linguagem da teoria de conjuntos que seja satisfeita exatamente pelos modelos da teoria. No caso de grupos, o predicado pode ser o seguinte: $\mathcal{G}(x)$ diz que x é um grupo. Temos então que $x = \langle G, \star \rangle$, onde G é um conjunto não vazio, \star é uma operação binária sobre G e valem os seguintes postulados (i), (ii) e (iii) vistos acima.

Da mesma forma, McKinsey, Sugar e Suppes deram um predicado conjuntista para a mecânica clássica de partículas e Suppes e colaboradores fizeram o mesmo para várias outras teorias.⁸ Em (KRAUSE, D.; ARENHART, J. R. B., 2017),

⁷ Modelos não tinham muita relevância antes disso, por exemplo, para os positivistas lógicos.

⁸ Para mais detalhes, já que o assunto não nos interessa desenvolver aqui, ver (SUPPES, Patrick,

encontra-se um predicado conjuntista para a mecânica quântica não relativista, e em (DOMENECH; HOLIK; KRAUSE, 2007), para a teoria quântica de campos (espaços de Fock – também vista em (KRAUSE, D., 2002, Cap. 2)).

A formalização, por outro lado, pressupõe a explicitação da lógica subjacente, da noção de dedução e de toda a parafernália lógica da teoria. É essencial quando aspectos lógicos da teoria necessitam ser explicitados ou quando questões metamatemáticas como consistência precisam ser discutidos.

Qualquer T de P , principalmente se estiver formalizada, torna-se uma entidade abstrata à qual pode ser atribuída uma interpretação. T pode ter várias interpretações originando estruturas matemáticas abstratas que satisfazem seus postulados e estas interpretações são chamadas de *modelos* da teoria. Claro que a palavra ‘modelo’ tem vários sentidos e não apenas esse. O célebre ‘modelo’ de uma molécula de DNA de Watson e Crick é um exemplo, mas nesse caso, são ‘modelos’ heurísticos que auxiliam o cientista a pensar a sua teoria ou a fazer experimentos, como no caso de maquetes de avião em túneis de vento, onde os cientistas estudam os efeitos aerodinâmicos que podem afetar uma aeronave. Todas essas formas de ‘modelo’ são discutidas por Suppes e reduzidas por ele a modelos no sentido conjuntista exposto acima (SUPPES, Patrick, 2002, p. 17). Aqui, ficaremos restritos ao uso ‘lógico’ da palavra modelo, como (repetindo) uma estrutura conjuntista na qual os axiomas não lógicos da teoria são verdadeiros. Ademais, falaremos em modelos grafando a primeira letra maiúscula, escrevendo ‘Modelo(s)’ para enfatizar. Assim, em nosso esquema $RV \rightarrow F \rightarrow P \rightarrow T \rightarrow M$, o ‘M’ indica Modelos nesse sentido.

Quando estudamos esses Modelos M , podemos obter resultados que podem ser reinterpretados – no sentido de uma releitura ou reconexão – em termos da RV via F , fazendo com que possamos dizer que T alude — ou não — por hipótese, a algo da RV , e/ou que descreve, ao menos, parte do domínio mediante F . Essa leitura é consoante com o que os positivistas lógicos denominavam de *regras de correspondência* (outros nomes são por vezes utilizados), ainda que, como salientamos, esses filósofos não tratassem de Modelos especificamente; suas regras visavam dar um ‘significado’ a alguns termos teóricos da linguagem da teoria; ver (KRAUSE, D.; ARENHART, J. R. B., 2017).

Podemos assumir que a base axiomática de uma Teoria abrange três níveis de postulados:

1. Os postulados lógicos como, por exemplo, os da lógica clássica de primeira ordem com identidade;
2. Os postulados matemáticos, como, por exemplo, aqueles da teoria de conjuntos ZFC (a teoria de conjuntos Zermelo-Fraenkel com o Axioma da Escolha, para o

2002), (KRAUSE, D., 2002).

caso da mecânica quântica) de primeira ordem;⁹

3. Os postulados específicos, que dependem da teoria particular que está sendo analisada. Esses postulados são sentenças da linguagem de ZFC enriquecida por conceitos adicionais que fazem referência ao domínio empírico que está sendo analisado, como, por exemplo, ‘elétron’, ‘velocidade’, etc¹⁰ (COSTA; KRAUSE, 2014).

Uma observação importante necessita ser feita. O leitor atento deve ter percebido que, se uma Teoria tem todos esses axiomas, eles (todos eles) devem ser verdadeiros na estrutura que modela a Teoria. Assim, além de modelar os axiomas lógicos e específicos, deve modelar também os axiomas de ZFC. Mas então temos um problema: dissemos que essas estruturas conjuntistas são erigidas em uma teoria de conjuntos, que pode ser a própria ZFC. O que acontece então? Problemas, pois de acordo com o segundo teorema de incompletude de Gödel, nenhuma teoria com linguagem recursiva, consistente e forte o suficiente para expressar a Aritmética de Peano (ZFC cumpre tudo isso por hipótese, logo a nossa Teoria também) pode demonstrar a sua própria consistência, e seria exatamente isso o que estaríamos fazendo ao exibir um modelo para ela. Como sair dessa? Simples: assumimos que, se necessário, as estruturas que modelam a teoria devem ser erigidos em uma teoria mais forte, por exemplo ZFC+CI, onde ‘CI’ indica um postulado adicional que diz que cardinais inacessíveis existem. Como se sabe, em ZFC+CI podemos provar a consistência de ZFC, logo, da nossa teoria (caso ela seja de fato consistente).

Em virtude disso, no caso das ciências empíricas e das teorias da física em particular, como a mecânica quântica, podemos relaxar a exigência de que uma Teoria tenha aqueles três níveis de axiomas e trabalhar *dentro* de uma teoria de conjuntos como ZFC ao estilo de Suppes. Assim, as estruturas que modelam a Teoria seriam estruturas em ZFC.

Neste momento, após termos destrinchado em passos a elaboração de uma Teoria científica *stricto sensu*, podemos analisar os fundamentos desta T e evidenciar aspectos importantes dentro desta análise. Torna-se possível conhecer a linguagem e o aparato dedutivo de T , devido à especificação da contraparte matemática utilizada por T , assim como sua lógica subjacente. Como uma axiomática particular foi adotada, é possível nomear os conceitos básicos escolhidos. Sendo assim, por ser agora um ente abstrato devido à sua axiomatização ou formalização, T pode admitir distintas interpretações. Isto certamente dá a T um atributo versátil, *i.e.*, podemos

⁹ Com efeito, o Axioma da Escolha (AE) é essencial aqui, pois para a formulação usual via espaços de Hilbert, necessitamos que os espaços considerados tenham bases, o que no caso geral de dimensão infinita requer o AE (mais notadamente, um enunciado que lhe é equivalente, denominado de Lema de Zorn).

¹⁰ Uma discussão mais detalhada pode ser vista em: (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011)

aplicá-la a outros domínios, diferentes daquele que a originou. Feito isso, ela desliga-se dos objetos iniciais de sua formulação. De certa forma, a axiomatização, especialmente a formalização, proclama a autonomia da Teoria. Podemos também ir além e começar um estudo metateórico da teoria, estudando se alguns metateoremas são válidos, como consistência e categoricidade, por exemplo.

Ao desemaranharmos as etapas para a elaboração de T , podemos enxergar particularidades não vistas anteriormente. Ampliamos o alcance de nosso estudo, tornando-o minucioso. A formulação axiomática ou formal acaba por revelar outras peculiaridades de T . Um exemplo disso é a discussão milenar sobre o postulado das paralelas na geometria euclidiana. Esse debate viabilizou a construção de geometrias não-euclidianas. Podemos citar também a axiomatização da teoria de conjuntos (iniciada com Zermelo) que proporcionou a percepção de que há diversas 'teorias de conjuntos' não equivalentes; de forma a evidenciar que a noção de conjunto não é absoluta (*i.e.*, não é a mesma em todas as formulações). Ademais, a discussão sobre a independência da hipótese do contínuo e do axioma da escolha em teorias como Zermelo-Fraenkel possibilitou a verificação de que é possível construir 'matemáticas não-cantorianas' (ARENHART J. R. B. & KRAUSE, 2012).

Existem duas maneiras de apresentarmos os três níveis de postulados. Podemos trabalhar com uma estrutura matemática, como ZFC, deixando implícitos os postulados 1 e 2, precisando ser estabelecidos somente os postulados de nível 3. Isto é o que geralmente é feito pelas ciências empíricas e é chamado de abordagem semântica ou abordagem interna mas, no entanto, algumas vezes isto não é levado em conta pelos cientistas, pelos físicos e pelos filósofos. As estruturas que satisfazem esses postulados de nível 3 são os M da T considerada. Eles são modelos abstratos e usualmente um deles é escolhido como o M pretendido que reflete a P adotada, correspondendo – em princípio – à parte de F e, assim, correspondendo indiretamente à parte da RV , hipoteticamente modelada por P . Esses M são Modelos do nível 3 apresentado.

A segunda maneira de trabalharmos com os 3 níveis de postulados é listar os postulados de nível 1, 2 e 3 — chamada de abordagem sintática ou abordagem externa (COSTA; KRAUSE, 2014); e derivar as consequências desses postulados, os quais podemos interpretar informalmente como nos dizendo algo sobre F e sobre a RV .

Neste ponto, acreditamos que tenha ficado claro que quando apresentamos os postulados de T , estamos nos comprometendo com uma matemática. Por exemplo, comumente dizemos que uma linguagem tem infinitas variáveis individuais; deveríamos explicitar, idealmente falando, o que queremos dizer com infinitas, já que existem diferentes e não equivalentes definições de infinito. Seria ainda de grande valia, ao considerarmos uma delas, justificar o porque desse uso. Quando apresentada

uma definição de parâmetros, da forma que sugerimos aqui, fica possível alcançar com menor esforço uma exposição dos termos escolhidos de forma a promover uma compreensão mais ampla e profunda da construção teórica. Além disso, se for o caso, poderíamos formular T sem nos comprometermos com uma lógica e com uma matemática; usando uma teoria de conjuntos, por exemplo, podemos ignorar outras alternativas como lógicas de ordem superior e teoria das categorias.

Mais uma vez, o físico não está muito preocupado com essas questões, atendo-se à física propriamente dita (voltaremos neste ponto no capítulo 15); investigar detalhes e configurações teóricas como as expostas aqui é majoritariamente um assunto do interesse do lógico e do filósofo da ciência. Assim sendo, cabe-nos dizer que com o intento de escrevermos os postulados de uma teoria, raciocinamos em uma linguagem, via de regra usando lógica e conceitos de teoria dos conjuntos. Para isso, precisamos reconhecer sinais, fazer distinções, composições, etc. Ainda, usamos números, definições por recursão e assim por diante. Dito isso, constatamos que parece sempre haver um núcleo mínimo inicial relativamente construtivo, com o qual formulamos o que precisamos. No fim, poderíamos dizer que esse núcleo seria equivalente a um fragmento de uma lógica, por ventura intuicionista, e daríamos continuidade a ele fazendo-o mais complexo até chegarmos a certa lógica e matemática, digamos as clássicas (COSTA, N. da, 2008). Trabalhando com a abordagem externa, podemos estabelecer que começamos nesse núcleo mínimo inicial e juntamente com uma lógica intuicionista podemos dar procedimento a uma construção gradualmente mais elaborada, rigorosa, formal. Uma lógica intuicionista, apesar de diferir da lógica clássica no tocante à interpretação dos conectivos lógicos e quantificadores, pode *formalmente* ser vista como um subsistema de uma lógica clássica. A postura informal inicial possibilita a construção primitiva de conceitos; seguindo nosso exemplo de infinitas variáveis individuais, poderíamos simplesmente declarar que podemos ter quantas variáveis individuais quanto quisermos. Outros conceitos podem ser interpretados da mesma maneira, sustentados por uma postura informal incipiente. Nesse sentido, não estamos, como na abordagem interna, pressupondo uma matemática, mas trabalhando informalmente. Estamos trabalhando na abordagem externa, ainda que preliminarmente esteja incorporado um aspecto informal para o preâmbulo da construção de seu arcabouço estrutural.

Como podemos lidar com a maioria dos conceitos que precisamos através da ideia citada anteriormente, a abordagem externa nos parece mais adequada, tendo em vista que não há comprometimento com uma matemática. Contudo, quando estabelecemos os postulados em todos os níveis (1, 2 e 3), o apelo intuitivo para uma matemática e uma lógica cessam e acabamos por nos comprometer com uma lógica dada pelos postulados de nível 1 e uma matemática dada pelos postulados de nível 2. Entendemos que a lógica e matemática intuitivas devem ser usadas para certos fins

somente, como em nosso dia-a-dia ao lidarmos com os objetos a nosso redor, mas para o propósito de estudar tópicos mais avançados, este uso estritamente informal não é suficiente (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011).

Dos postulados de níveis 1, 2 e 3, derivamos proposições da hipótese assumida e obtemos os teoremas de T . T torna-se uma coleção de sentenças de certa linguagem, conjunto esse fechado por deduções. É importante perceber que na abordagem externa precisamos estabelecer todos os postulados de T , incluindo os da lógica e matemática subjacentes, pois precisamos estabelecer o modo como fazemos deduções. Todavia, algumas T dependem de várias outras teorias auxiliares (sendo elas formais e/ou informais), como a relatividade geral, que depende de cálculo tensorial, álgebra linear e multilinear, geometria riemanniana e assim por diante. Para conseguirmos obter a axiomatização de tal teoria (ainda informal) seria preciso um grande esforço, transformando a teoria física (informal) em uma T axiomatizada.¹¹ Por isso, para trabalharmos em uma abordagem mais econômica seria interessante utilizar a abordagem interna, pressupondo uma teoria de conjuntos e sua lógica subjacente. Esta é a atitude de Suppes: “na medida em que podemos perceber, a maioria dos problemas de importância central para a filosofia da ciência pode ser discutida em detalhes aceitando-se algo como uma formulação padrão da teoria de conjuntos, sem questionar os fundamentos da matemática.” (SUPPES, Patrick, 2002, p. 12 apud COSTA; KRAUSE, 2014). No entanto, a maioria não significa a totalidade e há questões interessantes a serem discutidas se prestarmos atenção aos compromissos que assumimos quando optamos por certa base matemática.

¹¹ No entanto, há versões axiomáticas da relatividade geral; por exemplo a apresentada por da Costa e Doria (COSTA; DORIA, 1990).

6 MODELOS

Como vimos, temos duas opções para trabalhar, de um ponto de vista axiomático ou formal, com T : a abordagem interna ou abordagem semântica e a abordagem externa ou abordagem sintática. A abordagem externa ou abordagem sintática é caracterizada pela utilização de uma metateoria intuitiva, que deve ser adequada para expressar itens básicos, como a contagem de elementos de um conjunto, o que é uma sequência infinita de números, o que é uma relação, entre outros. Através de um raciocínio finitista, linguagens adequadas são construídas para lidar com os axiomas 1, 2 e 3 (dados anteriormente) até que teorias formais como ZFC sejam alcançadas. Quando chegamos à ZFC, adentramos a ZFC e começamos novamente, só que desta vez de modo formal; como já disse Kunen: “Lógica deve ser desenvolvida duas vezes.” (KUNEN, 2009, p. 191).

Os conceitos trabalhados, como os de relação e função, terão duas representações, uma informal, na metateoria, e outra na Teoria formal. As representações informais podem sempre ser formalizadas utilizando-se outra metateoria informal e assim por diante. Precisamos listar os postulados 1, 2 e 3 e não buscar Modelos, somente derivar as consequências desses postulados, que serão interpretados informalmente, dizendo-nos sobre o campo que está sendo estudado. Ou seja, não buscamos Modelos, buscamos provas.

A abordagem sintática demanda grande apelo à linguagem, à lógica e à matemática subjacentes. Além disso, ela não se acomoda à visão puramente pragmática dos cientistas que usualmente não se preocupam com a lógica e a matemática subjacentes às suas teorias (informais exatamente por isso). Não há semântica no sentido de Suppes ou de Tarski¹. O conceito de verdade é sintático; uma proposição é verdadeira se há uma prova e falsa se há a prova da sua negação. A lógica clássica não é violada, e ainda temos a lei do terceiro excluído, por mais que ela possa não valer na metateoria (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011).

De acordo com a visão semântica T é classificada por sua classe de Modelos. Queremos agora analisar as suposições que subjazem a essa abordagem. Não podemos esquecer que a axiomatização de Teorias deve ser considerada e também não podemos ignorar a metamatemática que utilizamos para construir Modelos, uma vez que restrições são implicadas aos Modelos quando mudamos a metamatemática.

A concepção semântica de Teorias é vista normalmente como vantajosa, pois não foca na linguagem utilizada, ou pelo menos, este não é um ponto a ser enfatizado quando usamos esta abordagem; o foco da abordagem semântica são os M de T . Entretanto, como dissemos, a linguagem não pode ser completamente ignorada,

¹ Um modelo no sentido de Tarski seria aquele cuja estrutura possui símbolos não lógicos da linguagem formal que são interpretados satisfazendo um conjunto de sentenças dessa linguagem e empregando a noção correspondente de verdade (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011)

já que temos por objetivo agrupar uma classe de estruturas, fornecendo um conjunto de postulados. Em outras palavras, o método axiomático precisa ser empregado e isso certamente envolve estipular uma linguagem e também seu aparato dedutivo.²

Lembrando novamente que a palavra ‘modelo’ é utilizada de várias maneiras dentro da literatura científica e filosófica. Modelos são modelos de algo, e aqui trabalharemos com a palavra ‘modelo’ no sentido descrito anteriormente como Modelos abstratos de uma Teoria³, sendo esta também tomada como definimos anteriormente.

O pioneiro da abordagem semântica é Patrick Suppes. De acordo com ele, os vários tipos de ‘modelos’ (os informais) que utilizamos podem ser reduzidos a modelos conjuntistas, *i.e.*, estruturas matemáticas que satisfazem os postulados de uma Teoria: “uma possível realização de uma teoria é uma entidade conjuntista de tipo lógico apropriado.” (SUPPES, Patrick, 2002, p. 21). Tomando a abordagem de Suppes, os modelos em questão são modelos de um predicado conjuntista⁴ que representa a conjunção dos postulados da teoria: “axiomatizar uma teoria é definir um predicado conjuntista.” (SUPPES, Patrick, 2002, p. 30). Basicamente, a abordagem de Suppes consiste em descrever uma estrutura que modela certo domínio científico.

Quando escrevemos os postulados de T de certo domínio científico, o fazemos em uma linguagem \mathcal{L}_ϵ sendo essa a linguagem de primeira ordem de ZFC da estrutura em questão (que pode ser enriquecida com símbolos adicionais e conceitos). Esses símbolos adicionais podem ser inseridos de diversas formas; podemos colocá-las como abreviações de fórmulas de \mathcal{L}_ϵ na metalinguagem, por exemplo, como é o caso quando usamos $x \subseteq y$ abreviando $\forall z(z \in x \rightarrow z \in y)$. Quando dizemos que uma estrutura modela certo campo de conhecimento, entendemos que o cientista que está interessado em investigar esse campo começa escolhendo, mesmo que despreziosamente, conceitos, propriedades, relações, operações que podem ser aplicados aos objetos que estão sendo estudados. Essa abstração de supor que tudo isso pode ser feito pela apresentação de uma estrutura matemática é uma generalização que se adéqua ao que acontece usualmente na prática científica. Logo, os postulados específicos da Teoria (aqueles postulados de nível 3 definidos anteriormente) são fornecidos através da definição dessa estrutura. Esses axiomas podem ser abreviados por meio de um predicado conjuntista, que é uma fórmula de ZFC que representa a conjunção dos axiomas. Os postulados de nível 1 e 2 (definidos anteriormente) são subsumidos por ZFC e os postulados da lógica subjacente e não precisam ser mencionados. A noção de dedução é aquela de ZFC, já que os postulados de ZFC entram nas deduções; vemos assim que a Teoria não é estritamente elementar. A estrutura dada é um

² Nós podemos trabalhar sem o método axiomático, somente dentro de um sistema formal, mas não é isso que sustentamos aqui.

³ Utilizaremos as palavras Modelo e Teoria com letras maiúsculas quando estivermos nos referindo a Modelos e Teorias formais, no sentido já descrito.

⁴ Um predicado conjuntista é uma fórmula adequada escrita em uma linguagem conjuntista.

Modelo da dada axiomatização. Para garantir que a estrutura satisfaça os postulados, precisamos provar que os objetos e as relações da estrutura têm propriedades declaradas nos postulados, e isso é feito em ZFC; esta é uma característica desta abordagem (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011).

Como dissemos, segundo Suppes, T s são caracterizadas como classes de M s. Devemos, então, agrupar todos os M relevantes para nossa T . Suppes apresenta um modo de caracterizar classes de estruturas para satisfazer um predicado conjuntista cujo propósito é impor algumas restrições para termos estruturas adequadas. A posição de Suppes é a de pressupor uma teoria de conjuntos intuitiva, sendo que mesmo assim podemos supor que é possível trabalharmos dentro de ZFC, ainda que informalmente, sem justificar sua construção. Visto que podemos empregar toda metamatemática necessária sem precisarmos explicitar a axiomatização, a vantagem de utilizarmos ZFC é nítida. Tudo que precisamos já está, por hipótese, construído dentro de ZFC. O atrativo da abordagem semântica se mostra em simplesmente podermos usar uma atmosfera matemática com a qual já estamos acostumados, deixando considerações metamatemáticas de lado.

Para ilustrar o que estamos discutindo, vamos considerar, por exemplo, um grupo. Um grupo é uma estrutura do tipo $\mathcal{G} = \langle G, \circ \rangle$ que satisfaz o predicado conjuntista:

$$P(\mathcal{G}) \leftrightarrow \exists G \exists \circ (\mathcal{G} = \langle G, \circ \rangle \wedge G \neq \emptyset \wedge \circ \in \mathcal{P}(G \times G \times G) \wedge A1 \wedge A2 \wedge A3)$$

Onde $A1$, $A2$ e $A3$ são os axiomas de grupo usuais: associatividade de \circ , a existência de um elemento neutro e a existência de inversos. Todavia, nada é dito especificamente sobre a relação de satisfatibilidade ou sobre a linguagem na qual os axiomas são formulados.

Agora precisamos saber dizer, dada uma estrutura, se ela estará na classe caracterizada pelo predicado definido acima; por exemplo, precisamos saber como mostrar que $\mathbb{Z} = \langle \mathbb{Z}, + \rangle$ é um grupo. Destarte, derivamos dos teoremas de ZFC que os elementos de \mathbb{Z} e a operação $+$ têm as propriedades requeridas para caracterizarem um grupo. Em seguida, dizemos que $\langle \mathbb{Z}, + \rangle$ *satisfaz* os axiomas para a teoria de grupos, e que a estrutura é um *modelo* da teoria de grupos ou *é um grupo*. As palavras ‘grupo’ e ‘satisfaz’ não são utilizadas de maneira usual. Não há uma linguagem formal sendo interpretada em uma estrutura, não há uma função interpretação atribuindo os itens adequados da estrutura a itens linguísticos e não há restrição para a formulação de axiomas. No sentido de Tarski, modelos são estruturas que satisfazem (no sentido usual) sentenças em uma linguagem específica. Quando usamos a abordagem de Suppes, mostramos, por exemplo, que $\vdash_{ZFC} \forall x, y, z \in \mathbb{Z} (x + (y + z) = (x + y) + z)$, e o mesmo acontece para os outros axiomas. Esta é a ideia por trás da sugestão de Suppes de que a filosofia da ciência deveria trabalhar com a matemática e não com a metamatemática. Assim, um predicado conjuntista caracteriza, dessa forma, uma classe de

estruturas, mesmo que encontremos dificuldade em trabalhar com esta acepção que não é a usual utilizada em lógica. Quando dizemos que a estrutura composta pelo conjunto dos inteiros, juntamente com a operação $+$ tem alguma propriedade, dizemos isso diretamente na linguagem de ZFC, e não apresentamos a propriedade primeiramente em uma linguagem formal e coordenamos os símbolos da linguagem com esses conjuntos, para então procedermos mostrar que a fórmula que expressa a propriedade é satisfeita pela estrutura $\langle \mathbb{Z}, + \rangle$. Se o fizermos, cairemos na metamatemática. Por isso, dizemos que na abordagem de Suppes trabalhamos com a matemática, trabalhamos com itens conjuntistas sem a mediação de linguagens formais (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011, p. 373).

É pertinente comentar que, de um ponto de vista metateórico, a classe de modelos selecionada por um predicado conjuntista dependerá do modelo de ZFC com o qual estamos trabalhando. Como ZFC é, em grande parte das apresentações e como assumimos aqui, uma Teoria de primeira ordem – se consistente – seus modelos não poderão ser construídos em ZFC propriamente. De qualquer forma, mesmo que o filósofo da ciência opte por trabalhar com a matemática e não com a metamatemática, ele poderia não trabalhar dentro de ZFC, por exemplo, poderia trabalhar com outras teorias de conjuntos como a teoria de quase-conjuntos, entre outras.⁵ Para alguns propósitos isso é interessante, assim como pode ser deveras oportuno averiguar como certas teorias se caracterizariam dentro de diferentes teorias de conjuntos, investigando quais seriam as consequências (filosóficas) que esses distintos enfoques trariam, quando aplicados a domínios empíricos, o que porém não faremos aqui. Essa pluralidade de perspectivas exhibe diferentes alternativas de estudarmos um domínio de interesse. A diversidade de abordagens permite uma profundidade investigativa, proporcionando pesquisar aspectos multiformes, suscitando densidade de compreensão e fertilidade heurística.

Justamente por essas razões, acreditamos que a linguagem tenha importância fundamental para essa abordagem e também para os postulados de T , a despeito de que filósofos como van Fraassen digam que “[a] abordagem semântica para teorias faz com que a linguagem seja irrelevante para esse tópico.” (VAN FRAASSEN, 1991, p. 188 apud D. KRAUSE, 2007). Sem os predicados de T , não há M de T , já que não existem modelos *tout court*. Os M devem formar, de algum modo, a extensão da relevância do predicado conjuntista, fazendo com que tenhamos uma classe própria de elementos que serão os modelos do predicado.

Podemos tratar a abordagem semântica de outra forma, através da abordagem de da Costa-Chuaqui. Nessa abordagem, começamos também com uma estrutura, mas agora também levamos em consideração a linguagem formal para essa

⁵ Os quase-conjuntos foram criados para tratar de coleções (quase-conjuntos) tendo como elementos objetos indiscerníveis *solo numero*. Ver (KRAUSE D. FRENCH, 2006).

estrutura (a linguagem \mathcal{L}_ϵ mencionada anteriormente). Nessa linguagem, formulamos axiomas adequados que terão a estrutura como modelo num sentido tarskiano padrão. Levamos em consideração aqui os M , embora eles não sejam, em geral, estruturas de primeira ordem; assim, as linguagens também não serão, via de regra, linguagens de primeira ordem. Desse modo, linguagens distintas podem ser utilizadas, cada uma com suas particularidades, posto que existem muitas linguagens formais que se adéquam a uma dada estrutura; esta é uma característica bastante conveniente dessa abordagem.

De acordo com a abordagem de da Costa-Chuaqui, estamos trabalhando em uma estrutura matemática, como ZFC de primeira ordem, por exemplo. Sendo assim, podemos deixar implícitos os postulados 1 e 2 (definidos anteriormente), trabalhando somente com os postulados específicos (os postulados de nível 3 também definidos anteriormente), conquanto agora esses postulados são formulados em uma linguagem formal da estrutura. Essa linguagem não é a linguagem de ZFC, então, não estamos modelando os axiomas de ZFC. Por conseguinte, podemos trabalhar com modelos construídos em ZFC, o que não poderia ser feito, como já apontado, se os axiomas de ZFC estivessem sendo axiomatizados também (se tomarmos ZFC consistente, evidentemente). Como nessa abordagem estamos usando linguagens formais, podemos utilizar lógicas não-clássicas para basear os postulados de T , fazendo com que essa abordagem seja bastante geral, permitindo considerar sistemas não-clássicos. Obtemos aqui algo como uma maleabilidade no tratamento de nossos objetos de estudo; de maneira prática, podemos analisar nosso trabalho por outros ângulos.

Podemos, então, apontar que a principal diferença entre as abordagens de Suppes e de da Costa-Chuaqui é que, para esses últimos, os axiomas não são formulados na linguagem de primeira ordem de ZFC, além de podermos considerar linguagens de ordem superior, se for o caso (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011).

Os defensores da abordagem semântica dizem que os M são estruturas matemáticas. Todavia, estruturas matemáticas são construídas dentro de um aparato matemático adequado. Temos várias possibilidades para o aparato matemático a ser utilizado, como teoria de categorias ou lógicas de ordem superior, dependendo da T que quisermos considerar. Normalmente, estruturas matemáticas são estruturas conjuntistas que são construídas em certa teoria de conjuntos. Mesmo que cientistas físicos frequentemente utilizem um aparato matemático informal, podemos sempre considerar que estejam trabalhando em uma teoria de conjuntos usual como Zermelo-Fraenkel. Assim sendo, modelos de uma teoria física comumente são construídos em certa teoria de conjuntos. Por isso, acreditamos que haja relevância para a linguagem e que haja um aparato matemático no qual as estruturas são construídas, embora frequentemente implícitos.

Acreditamos que o emprego da linguagem realmente faça a diferença,

pois ao usarmos uma linguagem de primeira ordem ou de ordem superior em nossa axiomatização da aritmética, por exemplo, teremos situações diferentes. Ao utilizarmos uma linguagem de primeira ordem, teremos M *non-standard* e T não será categórica, enquanto que ao utilizarmos uma linguagem de ordem superior teremos uma T categórica, seus M serão isomorfos. Encontramos aqui mais um atributo aliciante para ser investigado pelos lógicos e filósofos da ciência, a saber, as consequências trazidas pelas diferentes configurações envolvendo a linguagem em que estaria amparada certa T . Logo, parece-nos imprudente dizer que realmente não importa qual linguagem empregamos ao caracterizarmos uma classe de M .

Como estamos trabalhando dentro de um aparato matemático, *e.g.* ZFC, os postulados, modelos, etc, são expressos em sua sintaxe. Devido a isso, a palavra ‘semântica’ nos parece ser somente uma forma de expressão; nesse contexto, utilizar a palavra ‘semântica’ seria fazer uso de uma figura de linguagem. Quando filósofos usam a abordagem semântica para caracterizar teorias, estão na verdade trabalhando em uma abordagem sintática, pois utilizam a sintaxe da metamatemática empregada à teoria. A abordagem semântica seria de fato uma abordagem sintática em um sentido forte, pois é formulada dentro de um aparato de certa metamatemática (COSTA; KRAUSE, 2014).

Vimos que existem duas direções distintas em relação à axiomatização de teorias científicas dentro da abordagem semântica, seguindo Suppes, onde um predicado é escrito na própria linguagem da teoria de conjuntos e seguindo da Costa-Chuaqui, onde linguagens formais são empregadas para escrever os postulados específicos da teoria que desejamos axiomatizar. Ambas abordagens podem ser empregadas para especificar uma classe de estruturas que podem sustentar alguma versão da chamada abordagem semântica para teorias científicas. Vimos também que a linguagem é importante mesmo para a abordagem semântica e então precisamos ser cuidadosos ao tomarmos o que é geralmente dito, *i.e.*, que ela faz referência somente a modelos. De fato, diferentes linguagens são usadas de diferentes formas em vista de axiomatizar teorias. Cada abordagem tem seus benefícios e custos, trazendo consequências que serão desvendadas ao passo que o trabalho filosófico sobre modelos e teorias estiver sendo analisado (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011).

Parte II

Perspectiva Inconsistente

7 O QUE É UMA INCONSISTÊNCIA?

Veremos agora como nosso esquema de elaboração de teorias, juntamente com o conceito de *RV*, acolhe as várias possibilidades de aparecimento de inconsistências em ciência (física). Vamos mostrar que existem várias e distintas acepções de inconsistência. Para isso, abordaremos como inconsistências podem aparecer em cada etapa de nosso esquema. Além disso, pensamos que inconsistências não devam ser evitadas, pois podemos considerá-las frutíferas para o desenvolvimento da física (como também ainda poderá ser visto nos estudos de caso).¹ Contudo, primeiramente, vamos começar precisando esse termo.

De acordo com o dicionário Houaiss, a palavra ‘inconsistente’ é um adjetivo que significa “[o] que não tem lógica, não tem fundamento, motivo, ou não corresponde à realidade; incoerente, infundado” (HOUAISS, 2009). Já para a palavra ‘consistente’, nesse mesmo dicionário obtemos: “[aquilo] que tem fundamento; plausível, correto, sólido”. Assim, é de se esperar que quando algo é caracterizado como inconsistente, tipicamente tenhamos algum preconceito, fruto da linguagem, e acabemos por desconsiderá-lo por completo. De maneira geral, nosso intuito é sempre o de estar de acordo com os fatos, ou com típicos comportamentos anteriores, ou parelhos aos princípios já pré-estabelecidos. Se mesmo na vida cotidiana a palavra ‘inconsistente’ tem má conotação, quando adentramos na esfera filosófica, mais precisamente da lógica, deparamo-nos com um agravante. De acordo com o dicionário filosófico Runes, a palavra ‘inconsistência’ – quando aplicada a sistemas formais (lógicos) – significa: “o oposto de consistência” (RUNES, 1942, p. 100); mais precisamente segundo Alonzo Church: “um conjunto de funções proposicionais é inconsistente se existe alguma função proposicional tal que sua conjunção implica formalmente ela e sua negação.” (CHURCH, s.d., p. 04 apud DA COSTA; KRAUSE, 2008)

Além da esfera cotidiana, o atributo de inconsistência também se encontra na lógica e, como veremos aqui, esse atributo também é encontrado no âmbito científico. Nos concentraremos neste trabalho a falar de inconsistências na esfera da física. Por mais que à primeira vista isto possa ser algo um tanto quanto emblemático, veremos que se trata de algo mais inerente à prática científica do que costumeiramente imaginamos. O que queremos dizer é que encontramos inconsistências nas teorias físicas. Encontramos inconsistências na física atual, na física de tempos anteriores e, provavelmente, encontraremos inconsistências na física que ainda está por vir. Contudo, isto não significa que corroboremos a ideia de que a física na sua totalidade – como disciplina – seja inconsistente.

Onde estariam essas inconsistências? Para responder a essa questão, faz-se necessário que primeiramente pensemos do que, *grosso modo*, é formada a

¹ A tentativa de evitar contradições nos parece ser mais frutífera para a física (ARENHART, 2018).

física (disciplina). Estamos falando de teorias físicas. Nossa investigação abordará diversos tópicos, mas um deles com certeza é o de teorias físicas inconsistentes. Para embasar melhor a nossa postura diante de inconsistências em física, precisaremos caracterizar alguns pontos com mais rigor e desenvolveremos essa tarefa no decorrer deste trabalho.² Por ora, fica a ideia de que assim como podemos dizer informalmente que uma pessoa é inconsistente se ela constantemente muda suas crenças, ou que crianças e políticos são inconsistentes, o conceito requer um significado mais claro quando no âmbito dos (pelo menos em princípio) logicamente bem desenvolvidos sistemas matemáticos.

Podemos distinguir inconsistências entre aquelas que aparecem dentro de sistemas formais – as inconsistências formais – e aquelas chamadas de inconsistências informais. As inconsistências formais aparecem quando demonstramos fórmulas α e $\neg\alpha$ em um sistema formal adequado cuja linguagem contém um símbolo de negação (\neg) e um símbolo de conjunção (\wedge). Em princípio, as inconsistências informais podem ser classificadas de duas formas: as reais e as semióticas. As inconsistências informais semióticas são aquelas que expressam incompatibilidades entre conceitos, asserções, hipóteses, teorias em geral e surgem em contextos racionais, como contextos científicos por fatores sintáticos, semânticos ou de natureza pragmática e não correspondem a nenhuma contradição real. Exemplos dessas inconsistências são o paradoxo do mentiroso e os paradoxos de Zenão de Eléia (LYNDS, 2003). As inconsistências informais reais tratariam de contradições verdadeiras em sentido estrito, refletindo traços da realidade, referindo-se a estados de coisas reais. Existem filósofos que possuem a crença de que existem ‘contradições verdadeiras’ no mundo.³ Notemos que não se enquadra como tarefa da lógica decidir se o mundo é consistente ou não. Todavia, a aplicabilidade de sistemas lógicos aos seus contextos é dada por princípios pragmáticos da razão⁴ (COSTA, N. da, 2008, p. 233).

As inconsistências informais semióticas podem ser divididas em sistemáticas e essenciais. As sistemáticas surgem em contextos científicos – aqui se encaixam a magnitude das inconsistências que encontramos na física – que poderiam ser, em princípio, eliminadas por meio de adaptações e reformulações *ad hoc*; sob o prisma clássico, algo indispensável. Quanto às essenciais, não podemos afirmar positivamente

² Por hora, gostaríamos de dizer que quando temos uma teoria física não axiomatizada – uma P , ela não pode ser dita inconsistente no sentido usual (lógico), ela é inconsistente no sentido de apresentar incongruências empíricas ou com o cenário científico vigente.

³ Esses filósofos são chamados de dialeteístas e esse é o modo como os interpretamos (KRAUSE; ARENHART; MORAES, 2011). Falaremos a respeito mais adiante.

⁴ Em sua obra “Ensaio sobre os Fundamentos da Lógica” (COSTA, N. da, 2008, p. 61), Newton da Costa postula os princípios pragmáticos da razão. São eles: “A razão sempre se expressa por meio de uma lógica”, “Em dado contexto, a lógica subjacente é única” e “A lógica subjacente a um contexto deve ser a que melhor se adapte a ele”. Esses princípios pragmáticos não passam de normas ideais que o progresso da ciência e do pensamento racional parecem respeitar; eles não são princípios absolutos, podendo ser derogados. O autor ainda diz: “O resultado de se renunciar a eles certamente conduziria a uma ciência excêntrica e bizarra.” (COSTA, N. da, 2008, p. 64)

sua existência, pelo menos não no estado científico atual. Entretanto, podemos constatar que as contradições que aparecem em contextos científicos têm sido eliminadas e a lógica clássica vem sendo mantida no domínio das ciências empíricas. Somos ameaçados por diversas contradições advindas de crises na ciência. Ao almejarmos precisão lógica, encontramos-nos presos a métodos cujos fundamentos são imprecisos do ponto de vista estritamente lógico.

Dentro da ciência, mais particularmente da física, acreditamos que possam haver inconsistências informais semióticas quando uma teoria em questão ainda não está completamente axiomatizada – uma teoria informal – e inconsistências formais dentro da teoria formalizada – teoria *stricto sensu*. É razoável afirmar, de certo ponto de vista ⁵ que estas inconsistências informais de natureza semiótica são, de qualquer sorte, verdadeiras, mas é contestável que reflitam propriedades ontológicas do mundo real, da realidade, em sentido estrito.

Voltaremos a esse assunto posteriormente, mas podemos adiantar que o domínio da ciência, considerado por nós como F , está sujeito às limitações humanas, às observações humanas, aos dados colhidos pelos sentidos humanos. F pode ser entendida como uma leitura, pela via científica, da RV . Essa leitura, ainda que científica, não pode, a todo tempo, ser compreendida como uma relação direta – de um para um – da RV . Isto porque temos conhecimento apenas parcial do que seja a RV . Por vezes, conseguimos encontrar uma correlação entre F e RV , chegando a um momento de união, consolidando o realismo.⁶ Pensamos que não podemos afirmar que a RV seja

⁵ É importante o questionamento quanto a qual ponto de vista poderíamos afirmar isso e também nos perguntarmos até que ponto esta afirmação é razoável.

⁶ Sabemos que encontramos uma correlação entre F e RV quando nos deparamos, por exemplo, com o formalismo da mecânica quântica de Heisenberg, onde qualquer estado quântico $|\psi\rangle$ é constante, enquanto o operador $O(t)$ evolui com o tempo de acordo com a equação de Heisenberg para o movimento. O que queremos dizer é que os operadores de campo de Heisenberg, na teoria de campos, aparecem essencialmente em combinações como operador de “número de partícula”, cujos autovalores são nada mais que valores possíveis que seriam observados se fossem medidos os observáveis correspondentes. Na Teoria de Campos, os operadores de campo de Heisenberg são definidos no espaço-tempo. Entretanto, este fato não pode ser entendido como significando que a RV está imersa no espaço-tempo (M. E. PESKIN, 1995). Não discutiremos sobre questões espaço-temporais de RV , mas ao que tudo indica no decorrer de nossa pesquisa, RV não está imersa no espaço-tempo, pelo menos não ao que estamos acostumados. Como um primeiro passo, notemos que existem dois papéis (D’ESPAGNAT, Bernard, 2003) para os símbolos matemáticos, ρ , E , r , entre outros, que servem para designar quantidades físicas (sejam vetores, escalares, etc) que todos têm em física clássica. Um desses papéis é aquele em que eles servem para escrever leis universais, como as Equações de Maxwell, consideradas boas candidatas para descrever a *estrutura geral* do mundo. O outro papel é aquele em que os símbolos matemáticos designam os valores de quantidades que se referem efetivamente a *alguma instânciação particular* (D’ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 10.8). O primeiro papel pode ser visto sendo desempenhado pelos operadores na representação de Heisenberg. Já o segundo papel não é representado por qualquer algoritmo que endosse qualquer senso de objetividade forte. A estes operadores podem constantemente serem atribuídos o papel de fazer referência a valores contingentes de quantidades dinâmicas pertencentes a esse ou aquele sistema particular; ou seja, podem ser assumidos por lagrangianas, hamiltonianas, etc, que são escritos com a ajuda desses campos para refletir traços de RV . Adotando a mesma linha de raciocínio e assumindo a mesma hipótese, o fato desses operadores serem funções de coordenadas do

inconsistente, pois inconsistências como as citadas acima estão dentro do escopo de F , produzindo conhecimento da RV – com a RV , já que F é a RV abordada por meio de formas que são impostas pelas nossas mentes nos dados dos sentidos.

espaço-tempo parece somente acarretar que o espaço-tempo é (de alguma forma) algo mais basilar que apenas modos *a priori* da nossa sensibilidade. Mesmo que seja uma construção, ainda assim essa construção – no sentido de que não podemos pensá-la como um âmbito no qual RV estaria imersa – apresenta-se no sentido de que capta “alguma verdade” sobre RV , como se estivesse partilhando algum grau de consonância com RV . Assim, torna-se possível defender a perspectiva de que leis gerais, de fato, refletem (de alguma forma) RV . Esta defesa é possível sem o advento de incompatibilidades com a mecânica quântica; mesmo sendo considerada uma versão padrão objetivamente fraca da mecânica quântica (D’ESPAGNAT, Bernard, 2003).

8 INCONSISTÊNCIAS NA FÍSICA

David Hilbert, no II Congresso Internacional de Matemáticos (Paris, 1900), apresentou uma lista de 10 problemas.¹ Um desses problemas era o de saber como axiomatizar as teorias físicas. Este problema salientou a relevância da análise fundacional de teorias físicas. Muito foi feito com esse intuito durante o século XX e as contrapartes matemáticas de teorias físicas foram estudadas exaustivamente com riqueza de detalhes. Hoje, a principal forma de estudar os fundamentos de uma teoria física é axiomatizá-la, explicitando sua estrutura lógico-matemática subjacente. Essa forma logicamente disciplinada de abordarmos o estudo fundacional de teorias físicas nos permite analisar características por vezes despercebidas, como, por exemplo, uma inconsistência.

Uma teoria formal T , cuja linguagem contém um símbolo de negação (\neg) é inconsistente se tiver duas teses tais que uma é a negação da outra.² Assim, se a lógica subjacente for adjuntiva (quando temos duas fórmulas α e $\neg\alpha$ sempre podemos fazer a conjunção das duas nos levando à fórmula $\alpha \wedge \neg\alpha$, a teoria T possui também a conjunção de duas fórmulas, as quais são uma a negação da outra, ou seja, uma contradição. Na maioria dos sistemas lógicos inconsistentes, de uma contradição qualquer sentença bem formada pode ser provada, devido à lei de Scotus (que pode ser formada desta forma: $\alpha \wedge \neg\alpha \rightarrow \beta$, para β qualquer), o que ‘explode’ o sistema levando-o à trivialidade. A constatação desse fato, à luz da lógica clássica, é simples.

Suponha a derivação abaixo, na qual uma fórmula arbitrária β é derivada de duas premissas contraditórias, α e $\neg\alpha$:

1. α premissa
2. $\neg\alpha$ premissa
3. $\alpha \wedge \neg\alpha$ conjunção
4. $\alpha \wedge \neg\alpha \rightarrow \beta$ tese da lógica clássica
5. β 3, 4 *modus ponens*

Não é necessário haver a conjunção das teses para que haja inconsistência, bastando para isso que existam duas teses ou asserções contraditórias.³ Na prática científica, a maioria das teorias é apresentada informalmente como uma proto-teoria, isto é, não é feito o uso de sistemas formais ou do método axiomático. Teorias

¹ Posteriormente essa lista foi acrescentada com mais 13 problemas para formar a famosa lista de 23 problemas matemáticos de Hilbert (GRAY, 2000).

² Não dizemos meramente duas *fórmulas* tais que uma é a negação da outra porque sempre se pode negar uma fórmula sem que isso atrapalhe a teoria

³ Nas chamadas lógicas *não adjuntivas*, de duas fórmulas nem sempre se pode formar a sua conjunção.

informais são usualmente imprecisas, repletas de ambiguidades e noções relevantes que não são evidenciadas – isso é o que acontece na física e por isso acreditamos que o ideal seria uma apresentação formal de uma teoria. Este será um tópico melhor detalhado mais à frente. Por enquanto, basta dizer que, entendemos por ‘formal’ uma teoria que contém uma linguagem, uma lógica subjacente e seus postulados estabelecidos de forma explícita – onde por ‘postulados’ entendemos seus axiomas específicos, os axiomas lógicos e as regras de inferência.

A prática científica e, desse modo, o desenvolvimento da física, se dá em grande parte no âmbito informal; portanto, o que geralmente encontramos são suposições, definições e equações que se portam como esquemas de axiomas e postulados de uma teoria. Além disso, cabe ressaltar que dentro de uma teoria física normalmente não encontramos conceitos primitivos e os seus postulados não são claramente apresentados. Caso busquemos o caráter formal de uma teoria, procederemos com outra conduta. Se a lógica subjacente a T for adjuntiva, sempre poderá ser formada a conjunção de duas fórmulas quaisquer e, nesse caso, havendo duas teses contraditórias, na teoria poderia ser derivada uma contradição como teorema, que consiste na conjunção de uma fórmula e de sua negação. Uma teoria T diz-se *trivial* se todas as fórmulas expressas na linguagem de T podem ser derivadas em T . Se a lógica subjacente a T for a lógica clássica, ou a maioria das lógicas usuais, como a intuicionista, então inconsistência implica trivialidade e vice-versa. De interesse filosófico são as teorias inconsistentes mas não as triviais; tais teorias são chamadas de *teorias paraconsistentes*. No entanto, se o problema for simplesmente o de evitar a trivialização da teoria, há outros fatores envolvidos. Isso porque podemos mostrar a trivialidade de certas teorias mesmo sem recorrermos à noção de negação. Um típico exemplo é dado pelo chamado paradoxo de Curry (COSTA; BÉZIAU; BUENO, 1998, p. 07).

O que se passa é o seguinte: Admitamos uma teoria T que encerra o Axioma de Compreensão seguinte:

$$1. \exists y \forall x (x \in y \leftrightarrow F(x))$$

Pelo axioma 1, existe um conjunto, que chamaremos de C , e onde $F(x)$ é uma fórmula qualquer na qual x figura livre, tal que:

$$2. \forall x (x \in C \leftrightarrow F(x))$$

Definimos $F(x) \leftrightarrow ((C \in C) \rightarrow \beta)$ onde β é uma fórmula qualquer.

$$3. \forall x (x \in C \leftrightarrow ((C \in C) \rightarrow \beta))$$

Aplicando em C :

$$4. C \in C \leftrightarrow (C \in C \rightarrow \beta)$$

De bicondicional para condicional, teremos:

$$5. C \in C \rightarrow (C \in C \rightarrow \beta)$$

Segundo a lógica proposicional clássica temos

$(\alpha \rightarrow (\alpha \rightarrow \beta)) \rightarrow (\alpha \rightarrow \beta)$ chamada de Lei da Contração; aplicando-a em 5 obtemos:

$$6. (C \in C \rightarrow \beta)$$

Usando 4, 6 *modus ponens*:

$$7. C \in C \rightarrow \beta$$

Usando 5, 7 *modus ponens*:

$$8. C \in C$$

Usando 7, 8 *modus ponens*:

$$9. \beta$$

Isso mostra que se T envolver (1), ela pode ser trivializada mesmo sem conter negação. Pode-se, então, prosseguir de um dos seguintes modos: alterar (1), como fez Zermelo, que substituiu (1) pelo chamado Esquema de Axiomas de Separação (KRAUSE, D., 2002), ou manter (1) e alterar a lógica subjacente a T , por exemplo, assumindo uma lógica paraconsistente (COSTA; BÉZIAU; BUENO, 1998). Contudo, usando uma lógica paraconsistente que valida a contração, ainda teremos a trivialização através de Curry. Ademais, cabe lembrar que dentro de uma teoria física normalmente não encontramos conceitos primitivos e os seus postulados não são claramente apresentados. Por exemplo, numa teoria informal as noções de 'negação' e 'dedução' não são explicitamente declaradas. Na física, casos assim ocorrem com suas teorias se apresentando nessa configuração. Tais teorias, enquanto mantidas informais, não apresentam sequer um conceito preciso ou pelo menos explícito de negação ou de dedução. Geralmente, utiliza-se lógica e matemática de maneira informal, empregando esses conceitos como se estivessem claros para o leitor (DA COSTA; KRAUSE, 2008, p. 04). Ou ainda como se fossem de configuração única, sendo considerados intuitivos e, por assim dizer, únicos. No entanto, este não é bem o caso e geralmente podemos adotar distintos arcabouços matemáticos para nossas teorias (ainda que informais), sendo

que esses podem acarretar mudanças no panorama de nossas construções teóricas. O que constataremos é que tal possibilidade de escolha, ainda que às vezes arbitrária, é um artifício que enriquece a investigação científica (VICKERS, 2014). O ponto é que para que façamos bom proveito de tais possibilidades de escolha, devemos deixá-las evidentes para que sejamos bem compreendidos, evitando ambiguidades e facilitando a expansão da pesquisa científica.

Reescrevendo a definição dada acima, reforçamos que uma Teoria (um conjunto de fórmulas fechado por dedução) é inconsistente se ela tem duas teses (teoremas) contraditórias, α e $\neg\alpha$, e é consistente caso contrário, onde α é uma fórmula (da linguagem) da teoria e \neg é o símbolo de negação da teoria. Na maioria dos casos, quando há teses contraditórias, o sistema também tem sua conjunção como tese, a saber, a expressão $\alpha \wedge \neg\alpha$, uma contradição. Acreditamos ser melhor colocar a definição dessa forma pois, como foi dito, há sistemas lógicos onde duas proposições α e β não implicam sua conjunção $\alpha \wedge \beta$; assim, nem sempre uma teoria inconsistente contém uma tese que é uma contradição em sentido estrito, bastando conter duas teses contraditórias. Não obstante, a maioria dos sistemas lógicos usuais é adjuntivo.

Uma lógica paraconsistente é aquela lógica que, quando usada como lógica subjacente a teorias inconsistentes – que contêm teses contraditórias como α e $\neg\alpha$ – pode fazer com que estas teorias não se tornem triviais, havendo fórmulas que não são teoremas da teoria. Uma lógica paraconsistente também pode ser muito útil se pretendermos juntar duas teorias (talvez incompatíveis) T_1 e T_2 para sistematizar uma nova teoria T (levando em consideração que suas linguagens e conceitos de dedução devam ser tratados adequadamente).

Dentro de sistemas formais podemos ter contradições, mas é difícil dizer se essas contradições se dão no âmbito do ‘real’ sem uma discussão detalhada desse conceito. Veremos com mais detalhes esse assunto nas próximas páginas. Trataremos também sobre onde podem aparecer inconsistências dentro de uma perspectiva realista que será apresentada. Lógicas paraconsistentes têm grande utilidade nos dias de hoje; elas são úteis como ferramentas matemáticas que servem para formulação de diferentes perspectivas sobre certos domínios do conhecimento (D. KRAUSE, 2007, p. 874). Há muitas aplicações em tecnologia, medicina, computação e em outras áreas. Na maioria das vezes, cientistas não trabalham com sistemas formais, nem respeitando as regras formais de dedução de certa lógica subjacente e assim por diante. Eles se utilizam de várias formas alternativas de raciocínio em sua atividade intelectual, como raciocínio indutivo, abdução, formas não-monotônicas de raciocínio, entre outras, quando formulam hipóteses e teorias, apesar de que pensem que suas teorias estão de acordo com a lógica clássica. Este é um tópico assaz interessante ao qual retornaremos mais adiante.

Ao tentarmos lidar com a ciência informal, com a física usual tomada como

logicamente informal, para tentar implementar certas teorias em sistemas formais, acabamos por nos deparar, provavelmente, com sistemas inconsistentes que abrangeriam várias outras teorias auxiliares e concepções incompatíveis entre si quando colocadas 'lado a lado'. Contudo, já adiantamos que, em nossa perspectiva, o que foi dito não implica que contradições existam na realidade, mas somente que são concepções incompatíveis quando colocadas 'lado a lado'. Essa posição ainda será melhor detalhada. Para todo fim, se argumentarem que algum procedimento está levando a inconsistências, podemos empregar um tipo de lógica paraconsistente em tal situação⁴ (MULLER, Frederik Archibald, 2014; DA COSTA; KRAUSE, 2008).

Um amplo campo de conhecimento empírico pode ser teoricamente entendido de diferentes perspectivas, cada uma delas capturando uma parte do campo e de certo ponto de vista. Geralmente, cada uma dessas perspectivas é influenciada pelo cientista que as têm devido às suas habilidades, suas preferências, entre outros fatores.⁵ Em princípio, toda teoria informal pode ser axiomatizada ou até formalizada e isto pode ser feito de diferentes maneiras. Ademais, cada teoria axiomatizada pode ter modelos distintos.⁶ Esses modelos, ou pelo menos alguns deles, em parte e indiretamente, dada por alguma semântica, aparentemente refletem o campo empírico original. Podemos geralmente estabelecer uma interpretação pretendida de uma teoria nesse sentido. Podemos também dizer que certa teoria representa 'a teoria do campo de estudo' somente de forma indireta, por meio de experiências ou postulados, por exemplo. Porém, outro cientista pode escolher outra perspectiva, outra teoria informal, outra teoria axiomatizada e um modelo correspondente que seja completamente diferente, ou mesmo logicamente distinto, do proposto por outro cientista. Em princípio, não há problema nisso. Comumente, uma perspectiva é sustentada por evidência empírica; é difícil sustentar uma perspectiva em detrimento de outra por isso. Isso é em parte o que faz a ciência tão rica.⁷ Em decorrência disso, abordaremos ainda neste trabalho alguns critérios que podem ajudar qualquer dilema ocasionado por um perspectivismo por ora displicente, já que adotamos uma postura perspectivista e pretendemos defendê-la como vantajosa e bem estruturada.

Por fim, podemos nos perguntar se o físico deveria se preocupar com todos os detalhes até então apresentados. Acreditamos que não seja o caso e que, se o físico for se preocupar com os fundamentos de sua teoria (informal), seus aspectos

⁴ Este procedimento será realizado dentro de estudos de caso que serão apresentados.

⁵ Notemos que isso não significa que a ciência dependa de preferências pessoais de um indivíduo.

⁶ Diferentes estruturas que satisfazem os postulados da teoria. Mesmo teorias categóricas, que têm seus modelos isomorfos, admitem uma infinidade de modelos, a menos de um isomorfismo.

⁷ Hoje em dia teorias como a teorias das cordas e a teoria da gravitação quântica em loop, e também outras teorias no campo da astronomia, ainda não nos permitem fazer experimentos, dificultando ainda mais as razões para predileção de uma a outra. Diferentes perspectivas podem requerer lógicas e matemáticas distintas, mas é uma tarefa difícil provar que sua perspectiva é melhor que outra, a não ser por considerações experimentais ou, então, de índole pragmática, como simplicidade, capacidade de expressão ou mesmo de beleza (DA COSTA; KRAUSE, 2008, p. 14).

lógicos e matemáticos, ele acabará por não realizar seu trabalho como físico. Veremos em nossa perspectiva realista a divisão de domínio de trabalho, por assim dizer, entre o físico e o lógico (filósofo da ciência ou fundacionista). *Grosso modo*, o físico está normalmente preocupado com as relações entre a sua teoria (informal), os dados empíricos e o mundo externo; por outro lado, o lógico preocupa-se com a relação entre a teoria (informal), sua axiomatização e o estudo dos modelos dessa teoria (agora formal). Assim sendo, fica a cargo majoritariamente do lógico e do filósofo da ciência, dentre outras coisas, esclarecer o conceito de teoria científica (FLAUSINO, Joanne Simon, 2018).

Analisaremos a partir de agora de que forma inconsistências podem aparecer em cada uma das etapas do processo de elaboração de uma teoria científica exposto acima, a iniciar com a *RV*.

9 INCONSISTÊNCIA EM *RV*

Vimos anteriormente que conforme nossa acepção realista, podemos apontar diferentes estágios quando estamos analisando todas as facetas de uma teoria, todas as etapas envolvidas em sua elaboração. Nesse processo, podemos nos deparar com uma situação onde optar por uma lógica ou matemática alternativas seja uma necessidade para nossos propósitos. Tal situação pode ser vista de distintas maneiras.

A noção de inconsistência formal supracitada faz referência a teorias axiomatizadas ou formalizadas, as quais têm uma lógica subjacente fixada. Entretanto, como vimos, a noção de inconsistência também é aplicada a teorias informais. Sabemos que a maioria das teorias físicas é elaborada de maneira informal (não totalmente axiomatizada). Apesar disso, a maior parte das inconsistências informais encontradas comumente na ciência aparentemente não dificultam a prática científica, o que pode ser notado tendo em vista que inconsistências podem estar no escopo de cada um dos estágios de elaboração de uma teoria física.

A posição filosófica conhecida como *dialeteísmo* (como a interpretamos) sustenta a tese de que existem contradições verdadeiras, ou seja, a realidade seria inconsistente.¹ Essas inconsistências, que poderiam ser chamadas de ‘inconsistências reais’ (é importante salientar que, para os defensores de tal posição, a realidade pode não ser ‘vaga’ - no sentido de que obtemos conhecimento integral do que seja a realidade). Entretanto, é difícil saber se essa tese se aplica ao ‘mundo real’,² aos objetos concretos.³ Nossa posição sobre essa hipótese é a de que o máximo que podemos saber (até o presente momento) é que podem existir sentenças α e $\neg\alpha$ referindo-se a uma porção de F (por ventura da RV) que são ambas consideradas como verdadeiras.⁴ Aqui também precisamos ter cuidado sobre o conceito de verdade empregado. Sentenças são entendidas como verdadeiras quando interpretadas em um Modelo. Ora, o que podemos classificar como verdadeiras nesse sentido (levando também em

¹ Podemos também interpretar o dialeteísmo como não implicando que a realidade é inconsistente. Beall, a partir de seu dialeteísmo semântico, por exemplo, não aceitaria isso. Priest, em seu dialeteísmo, também não está comprometido com o realismo, e nem com uma teoria particular da verdade (PRIEST, 2007, Cap. 2). Ele defende uma teoria teleológica da verdade em que, segundo o próprio Priest, o dialeteísmo não está comprometido com contradições reais: “Deixe-me dizer mais uma vez: não está claro que uma alegação filosoficamente substancial de que existem contradições na realidade faz sentido; e ainda que faça, eu não estou comprometido com ela.” (BAKENT; FERGUSON, 2019, p. 589)

² Até mesmo porque acreditamos ser no mínimo complicado falar sobre inconsistências que poderiam ser chamadas de reais sem ao menos conceitualizar o que seja realidade.

³ Como para os dialeteístas possuímos conhecimento da realidade – na íntegra, acreditamos que haja nessa perspectiva uma fusão do que classificamos como F e RV . Assim, objetos concretos estariam na esfera do que entendemos por F , no sentido de que são percebidos pelos humanos, sendo talvez objetos científicos ou do cotidiano, objetos ‘mundanos’.

⁴ Vale lembrar que a noção de verdade em um modelo não bastaria para falar de ‘inconsistência na realidade’, já que essa noção é neutra sobre a realidade

consideração a lógica aplicada) são as sentenças que fazem referência a uma porção de F . Faremos um salto um tanto quanto considerável se dissermos também que tal porção de F é adjuntiva em algum sentido (similar ao sentido do conceito aplicado a sistemas lógicos), a F inconsistente.⁵ Com isso queremos dizer que, em nossa perspectiva, tais inconsistências não se encontram na esfera do ‘real’,⁶ referindo-se a F , pois pensamos que não encontramos (nos dias atuais) inconsistências ao nível do que consideramos concreto, palpável.⁷

As supostas inconsistências ‘reais’ usualmente fazem referência às crenças de alguns filósofos de que existem ‘contradições verdadeiras’ no mundo, ‘inconsistências reais’. Esses filósofos dizem que uma inconsistência ‘real’ é dada quando temos duas proposições α e $\neg\alpha$ no tocante ao mesmo objeto real concreto (o que para nós significa que tais proposições dizem respeito a um objeto no escopo de F). Chamamos esses filósofos de dialeteístas⁸).

O dialeteísmo em si não é uma lógica formal, mas para se defender esta visão acreditamos que é preciso aceitar alguma lógica paraconsistente para não acabarmos fazendo do dialeteísmo algo trivial.⁹ O dialeteísmo é motivado por quebra-cabeças como o paradoxo do mentiroso e o paradoxo de Russell. Como tal, o dialeteísmo, em geral, se opõe ao princípio de não-contradição (em suas várias formas). Entre os dialeteístas mais conhecidos podemos citar Priest e Beall (PRIEST; BEAL; ARMOUR-GARB, 2004).

Outra característica de inconsistências referentes a objetos reais concretos (da maneira abordada acima) é a de que elas dão origem a teorias alternativas. O surgimento de tais teorias pode ser algo interessante para estruturação do conhecimento científico. À medida em que são constatados novos fenômenos e é gerada uma busca pela sua explicação, hipóteses passam a ser lançadas e o arcabouço teórico

⁵ Algo como se a adjunção se transformasse em algum modo de coexistência de ‘objetos contraditórios’ na ‘realidade’.

⁶ Gostaríamos de dizer que essa é a nossa atitude quanto à posição dialeteísta. Futuramente, com uma melhor construção, novos atributos e evidências, essa postura possa ser aplicável de algum modo profícuo. Sendo o caso, porventura poderemos reconsiderá-la. No entanto, pensamos que ainda não é o momento.

⁷ Particularmente, nunca esbarramos com um objeto concreto (macroscópico, percebido pelos sentidos, o qual pudéssemos interagir, medir) inconsistente (contraditório) caminhando por aí. Também não há relatos de que tais fenômenos cotidianos tenham acontecido. Ademais, temos inconsistências em F – no modo como os sujeitos percebem os fenômenos – mas com isso não queremos dizer que podemos garantir que não haja inconsistência na ‘esfera do real’. O fato de não encontrarmos tais objetos também não significa que talvez haja uma aceitação da realidade onde ela seja inconsistente. Todavia, não é isso que defendemos.

⁸ Gostaríamos de ressaltar que nem todos dialeteístas pensam que contradições verdadeiras devem tratar de objetos concretos, como exemplo podemos citar Beal (BEAL; RIPLEY, 2004). Temos uma diferença entre dialeteísmo semântico e dialeteísmo metafísico (TAHKO, 2009). Mesmo o dialeteísmo metafísico não implica necessariamente em contradições com “objetos concretos”. Priest, por exemplo, tem uma concepção metafísica sobre a negação.

⁹ Precisaríamos investigar qual é a relação entre proposições e ao que elas se referem na ‘realidade’. Poderíamos afirmar que existe tal relação? Seria ela direta? Não nos aprofundaremos neste ponto aqui, mas os questionamentos são importantes para o desenvolvimento de nossa reflexão.

começa a ser desenvolvido. Muitas vezes, nesse processo, estão envolvidos artifícios heurísticos – catalisadores do processo investigativo e elaborativo. Vemos a pluralidade de ideias como algo fundamental na atividade científica, que provê fitar (espreitar) flancos ainda ocultos; a pluralidade é como um jogo de ferramentas, cada qual podendo auxiliar a seu modo a construção de um conhecimento mais robusto sobre o domínio de estudado. Cabe ao cientista, à sua maneira, escolher qual ferramenta usar, combinar, identificar sua conveniência para o propósito de sua construção. Na física também conseguimos observar uma situação desta sorte.

Sabemos que, por exemplo, a interpretação do formalismo quântico apresenta dificuldades, como, por exemplo, a dualidade onda-partícula. Um feixe de elétrons se comporta como onda em certo contexto e como partícula em outro momento. Brevemente, disparamos um feixe de elétron sobre um anteparo, passando por duas fendas. No anteparo, mostram-se padrões de interferência, corroborando seu caráter ondulatório. Contudo, ao colocarmos um detector de partículas após qualquer uma das fendas, obtemos um comportamento corpuscular. A interpretação de Copenhague nos diz que o elétron seria onda e partícula complementares e que nada se pode conhecer do interferenômeno. Uma alternativa é simplesmente renunciarmos à descrição completa dos fenômenos subatômicos para que possamos resolver tal dificuldade. Não obstante, há perda de poder explicativo da teoria (ainda que informal), pois não é possível explicar o comportamento das partículas entre duas observações sucessivas, fazendo com que as previsões sejam previsões estatísticas.

Como outro exemplo temos o famoso paradoxo de Zenão de Eléia, segundo o qual, o espaço e o tempo, se considerados discretos, não podem ser finitos. Para superarmos esta dificuldade lançamos mão de doutrinas abstratas do espaço e do tempo, como conjuntos contínuos (acepção matemática). Usamos o cálculo para mostrar que uma série pode ter soma finita. Por intermédio de aparatos teóricos abstratos,¹⁰ anulamos as contradições. Podemos citar ainda a teoria de variáveis ocultas de Bohm, a qual se apresenta também como resposta às dificuldades da interpretação de Copenhague; a teoria das variáveis ocultas se mostrou como uma alternativa em uma tentativa de reformular a mecânica quântica em alicerces causais.

A resolução de dificuldades no âmbito das ciências empíricas pode nos levar a perder poder explicativo de teorias científicas, ou por meio da introdução de conceitos teóricos afastados da experiência, entre outros artifícios, e pode levar também à origem de novas teorias alternativas. Não seria cabível, a princípio, tomarmos tais dificuldades como falaciosas, de modo que provocassem um desvio na conduta de estruturar o conhecimento científico somente pelo temor de se formular conjunturas não tão intuitivas, anormais ou demasiado estranhas como consequência.

Ainda não podemos constatar que tais dificuldades espelhem ‘contradi-

¹⁰ Este método ainda é utilizado em muitas situações dentro da ciência até hoje

ções reais'. Não há, no momento presente – quiçá em um futuro próximo – indícios que nos permitam afirmar a hipótese de 'contradições reais', a objetos concretos, como a caneca de chá em minha mesa, que sejam contraditórios, que atestem a inconsistência da 'realidade'.¹¹ Em geral, conseguimos eliminar as contradições ditas 'reais', que supostamente se referem a algo 'real' de maneira bastante plausível, algo que transcorre razoavelmente, sem teor enigmático. Sendo assim, não podemos seguramente garantir a existência de inconsistências deste tipo na 'realidade' – seja ela a realidade dos dialeteístas ou *F*.

O problema da existência de inconsistências ditas 'reais', como citado, não está ainda resolvido. Temos que nos contentar que provavelmente não haverá solução aceitável em um futuro próximo. O que podemos dizer, ao recorrermos à lógica, é que tais inconsistências não se justificam, nem podem ser completamente anuladas. Ainda nos resta um grande trabalho a ser feito sobre esta questão e, para fazê-lo de maneira bem-sucedida, pensamos que devemos ser orientados pela ciência, que devemos ter a ciência como diretriz (COSTA, N. da, 2008).

¹¹ Vejam que aqui tal 'objeto concreto contraditório' estaria no escopo de *F*. Caso consigamos atestá-lo, isto é, medi-lo, percebê-lo empiricamente, conseguiríamos – em algum sentido – classificar *F* como inconsistente.

10 INCONSISTÊNCIA EM F

Apresentamos nossa perspectiva sobre inconsistências na RV e nossa atitude perante o dialeteísmo. Agora vamos investigar se encontramos ou não inconsistências em F e como elas se apresentariam.

Podemos considerar que as supostas inconsistências em F são o resultado de erros de medida de aparelhos ou deficiência de leitura de tais aparelhos, levando-nos a pensar que essas inconsistências não são de fato reais, mas que se tratam tão somente de incongruências sistemáticas consideradas falhas epistêmicas. Para tornar mais claro o que isso quer dizer, consideremos um exemplo oriundo da mecânica clássica.

Na mecânica clássica, observáveis são funções de espaço de estados no conjunto dos números reais. Quando medimos algo, devido à imprecisão dos aparelhos, temos certo intervalo $\varepsilon > 0$ que nos dá a precisão do aparelho. Por exemplo, ao aplicarmos a segunda lei de Newton, $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, os observáveis correspondentes às três quantidades, quando medidos de um objeto físico, como uma bola, são associados ao intervalo de possíveis valores de erro relacionados aos objetos de medição, como $(F \pm \frac{\varepsilon_1}{2})$, $(m \pm \frac{\varepsilon_2}{2})$ e $(a \pm \frac{\varepsilon_3}{2})$ (sendo $\frac{\varepsilon_1}{2}$, $\frac{\varepsilon_2}{2}$ e $\frac{\varepsilon_3}{2}$ os intervalos de erro de escala para aparelhos analógicos)¹ (COSTA; KRAUSE, 2014). Existem ainda, além do erro de escala que se estabelece pela precisão do aparelho, o erro sistemático – devido a um problema no aparelho já conhecido pelo físico (como uma balança que marca 1Kg a mais do que deveria) – e o erro aleatório – que se dá quando o físico realiza diversas medidas do mesmo observável.²

Devido a estas possíveis imprecisões nas medidas, físicos são levados a considerar esses intervalos de erro. O importante, aqui, é que qualquer valor em qualquer destes intervalos pode ser aceito como valores correspondentes às quantidades. Por exemplo, ao medir o diâmetro de uma bola com uma régua com marcações de 1 mm de intervalo, podemos encontrar a medida entre 15,4cm e 15,5cm, levando nos a dizer que ela é de 15,45cm ou melhor $(15,45 \pm 0,05)cm$. Sabemos que erros de escala não são erros de medida. Por isso, qualquer valor entre 15,4cm e 15,5cm seria útil para nossos propósitos.

Assim, poderíamos encontrar três valores para $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, F_1 , m_1 e a_1 em cada intervalo, de modo que obteríamos $\vec{F}_1 = m_1 \cdot \vec{a}_1$. Da mesma forma, poderíamos escrever $\models \vec{F} = m \cdot \vec{a}$. No entanto, como vimos, existem outros valores possíveis e

¹ Temos que $\frac{\varepsilon_1}{2}$ seria o intervalo de erro do aparelho analógico que mediu a força do objeto, $\frac{\varepsilon_2}{2}$ o intervalo de erro do aparelho analógico que mediu a massa do objeto e $\frac{\varepsilon_3}{2}$ o intervalo de erro do aparelho analógico que mediu a aceleração do objeto.

² Inclusive, o conteúdo relativo a erros é um dos primeiros tópicos aprendidos pelo estudante na disciplina de Laboratório de Física, cursada normalmente ainda na primeira fase, salientando a importância da coleta de dados e apresentando ao estudante a abordagem quanto a falhas epistêmicas neste sentido. Além de atenuar o aparecimento de certas desconfiâncias quanto à coerência na disciplina estudada em virtude dessas incongruências sistemáticas.

perfeitamente aceitáveis para $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, como F_2 , m_2 e a_2 (também em cada intervalo), de modo que teríamos também $\vec{F}_1 \neq m_1 \cdot \vec{a}_1$. Outrossim, também teríamos neste caso que $\models \vec{F} = m \cdot \vec{a}$, com valores igualmente válidos dados os parâmetros relativos aos erros aceitos. Em razão dessas incongruências sistemáticas já serem encontradas no preâmbulo da prática do cientista físico, pensamos que analisar a postura relativa a elas e elas próprias devam ser algo do interesse ao menos do lógico e do filósofo cientista. Por esse efeito, mais especificamente, as tomamos como falhas epistêmicas. Com isso, a acomodação dessas falhas deve se dar de alguma maneira. Para podermos lidar com duas situações onde $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ e $\vec{F} \neq m \cdot \vec{a}$ ³ não poderíamos trabalhar no escopo da lógica clássica, caracterizando este como um caso típico de inconsistência em F . Tipicamente tomada à primeira vista como uma inconsistência indissolúvel, temos uma inconsistência que acaba por ser desatada após refletirmos sobre seus atributos que se mostram de natureza epistêmica. O que queremos dizer é que agora conseguimos delimitar o escopo de tal inconsistência e ela pode implicar em questões pertencentes a P . Com isso, precisamos lançar mão de algum artifício lógico-matemático para estudar questões desta natureza (FLAUSINO, Joanne Simon, 2012).

³ Parece não ser algo convincente, mas exatamente porque estamos tratando de uma inconsistência em F que podemos ter esse tipo de resultado. Os diferentes \vec{F}_s são de fato diferentes, contudo quando pensamos em sua estrutura, sempre teremos $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$.

11 INCONSISTÊNCIA EM P

As definições formais com as quais tratamos estão relacionadas principalmente a teorias bem formuladas, a princípio formalizadas onde a lógica subjacente é explicitada. Contudo, a noção de inconsistência também é aplicada a teorias informais, não totalmente formalizadas, como usualmente acontece na física, domínio ao qual restringimos nosso discurso.¹

As inconsistências encontradas em P – a teoria informal do cientista físico – são típicas de alguns casos que podem ser achados na literatura científica, tal como a Teoria do Átomo,² o qual é um estudo de caso que será estudado neste trabalho. Esse tipo de situação, onde inconsistências estão configuradas em P , pode estar relacionada possivelmente a uma hipótese sobre F . Os físicos que se utilizam de uma teoria nesses moldes costumeiramente prosseguem informalmente – embora inconsistentemente – seu trabalho. Aparentemente, o que se apresenta é uma situação em que os físicos trabalham dentro de uma parte do corpo teórico onde a presença de inconsistências não se mostra relevante para os propósitos práticos; no ponto em que a inconsistência passa a ser considerada um problema, o cientista físico acaba por fornecer mudanças *ad hoc* para manobrá-la. O que frequentemente passa despercebido nessa etapa é que ao executar tais mudanças, o físico também altera o corpo teórico como um todo, o que acarretaria uma mudança em P em si (FLAUSINO, Joanne Simon, 2013).

Devido ao caráter informal (temporário ou não) de P , essas modificações não serão tão relevantes. Tudo se passa como se estivéssemos ainda no mesmo contíguo teórico, sendo a mudança algo corriqueiro e inofensivo aos propósitos estabelecidos. A nova teoria se parece com a anterior e o cientista não menciona explicitamente a mudança – que às vezes não é por ele percebida. Talvez possamos dizer que a física atual, de certa forma, procede da seguinte maneira: tenta incorporar uma P dentro de uma P anterior, não prestando atenção nas possíveis inconsistências que possam ali estar, as quais geralmente irão aparecer somente depois do desenvolvimento de T , cujo tratamento formal irá requerer algum tipo de lógica paraconsistente (COSTA; KRAUSE, 2014).

¹ Em princípio, também é possível ampliar essas noções a domínios como biologia, por exemplo.

² Também chamada de modelo do Átomo de Bohr, sendo este – segundo a nossa visão, por configurar uma P – mais apropriado que aquele.

12 INCONSISTÊNCIA EM T

Sabemos hoje que a Teoria Quântica de Campos e a Relatividade Geral são logicamente incompatíveis (ARENHART, 2018). Vamos supor que a chamada ‘Teoria da Gravitação Quântica’, ou qualquer outra que pudera agregar a Teoria Quântica de Campos e a Relatividade Geral, esteja bem fundamentada, lembrando que não é o que ocorre nos dias de hoje. Se os físicos estiverem corretos, os Modelos Matemáticos de cada uma dessas duas teorias seriam inconsistentes entre si e a Teoria que tentar agrupá-los será, deste modo, necessariamente inconsistente.¹ Como nossa preocupação é evitar a trivialidade, isto acontecendo, qualquer Teoria que pretenda juntar as duas mencionadas teorias deverá apresentar como lógica subjacente de tal Teoria uma lógica paraconsistente. Vale dizer, sumariamente, que existem vários sistemas de lógica paraconsistente desenvolvidos até o nível do cálculo de predicados de primeira ordem. Sobre estes sistemas, já se estabeleceram lógicas de ordem superior inconsistentes e não-triviais e teorias de conjuntos; em particular, as teorias de conjuntos paraconsistentes mostraram-se fortes o suficiente para dar origem a muitas questões e resultados na matemática e na filosofia. Existem também semânticas apropriadas que foram delineadas para se dar conta de vários sistemas paraconsistentes e que há uma generalização da definição de verdade de Tarski para o nascimento da teoria de modelos paraconsistentes (COSTA, N. da, 2008). Guardando demais detalhes para avante, vamos nos voltar para um questão interessante suscitada nas intempéries, a saber, o panorama de uma teoria inconsistente e sua abordagem semântica. A princípio, parece ser algo inusitado, já que estamos familiarizados a raciocinar o conceito de Modelo no paradigma clássico, *i.e.*, vinculados ao que aprendemos por intermédio da lógica clássica. Porém, dada a devida atenção, notaremos que existem alternativas, outras perspectivas para seguirmos. Trataremos o assunto com mais detalhes a seguir. Por enquanto, advertimos que essa situação é semelhante àquela que perduramos em enfatizar: sobre o cientista, e mesmo o filósofo, usualmente raciocina a partir de conceitos e teorias informais que muitas vezes não mais se aplicam como antes às teorias científicas atuais. Exemplos típicos são os casos de conceitos como nomes próprios, intensão e extensão de conceitos, a noção de indivíduo, entre outros; antigos conceitos estão sendo continuamente revisitados, reestudados e até reestruturados. Como exemplo, temos algumas interpretações da Mecânica Quântica que estão colocando em dúvida conceitos como o de identidade; situação análoga ocorre, ao que tudo indica, com o conceito de modelo (KRAUSE D. FRENCH, 2006).² Veremos a seguir como podemos abordar a presença de inconsistências em M através do conceito

¹ Gostaríamos de lembrar que não descartamos a possibilidade de que uma Teoria obtenha sucesso em agrupá-las de forma consistente.

² Notemos que isto não significa que o cientista faça ciência errado. O que acontece é que por vezes o cientista pode se encontrar em um momento paradigmático da ciência, por exemplo.

de quase-verdade.

13 INCONSISTÊNCIA EM M

Dada certa Teoria, existe um número potencialmente infinito de interpretações que satisfazem seus postulados, a saber, os Modelos da Teoria. Esperamos que um dos Modelos da Teoria esteja adequadamente formulado e seja o seu M pretendido. Contudo, a maioria são somente M abstratos, sem aparentemente nenhuma ligação com a experiência, como experienciamos de F . Conquanto uma T que possua M 's, existe a possibilidade ou de ela ser categórica - onde seus modelos são isomórficos - ou de possuir M 's que não são isomórficos entre si. Em larga medida, isso dependerá das características de T e também de sua lógica subjacente. Os resultados que obtivermos do estudo dos M 's de T , assim como do próprio estudo de T e de sua P , podem ser reinterpretados em termos de F , podendo o cientista físico dizer que T explica, em princípio, parte da RV .¹

Quando posteriormente formos estudar mais uma vez o domínio e quando analisarmos novamente F neste escopo a fim de formular P , possivelmente estaremos tomados pela T previamente formulada, de qualquer sorte contaminados, incorporados por formulações de experiências prévias; como dito por Einstein²: “É a teoria que decide o que pode ser observado.”³ (EINSTEIN, s.d., p. 07 apud COSTA; KRAUSE, 2014).

Dentro do domínio da física veremos quais atitudes podemos tomar se acaso dentro de nossa pesquisa constataremos o aparecimento de inconsistências. Mais especificamente, inconsistências presentes em M de uma T . Para abordar este tema, faremos uso do conceito de quase-verdade.

Suponha que nosso estudo físico seja de um domínio de conhecimento Δ de F . Interessados em investigar F , procedemos de acordo com o que estamos propondo, coletando dados de Δ e os organizando por meio de uma P que, sem perda de generalidade, corresponderá a uma T . Podemos pensar P ou T como uma estrutura, conjuntista A . Devido às típicas dificuldades encontradas em Δ , supomos que não possuímos todas as informações sobre Δ , de forma que algumas das relações avaliadas que se mantêm entre os elementos do domínio de A seriam parciais, isto é, supondo que RV seja uma relação binária, então, para algum a e b pertencentes ao domínio, não sabemos, efetivamente, se aRb ou $\neg aRb$ se mantêm; como acontece

¹ Para garantir que uma explicação, de fato, explica RV (ainda que parcialmente), precisamos ter o conceito de explicação não como saber como esse algo realmente é, mas sim que explicar é reduzir ao que já é conhecido. Assim, podemos dizer, por exemplo, que teorias objetivamente fortes fazem referência a RV .

² Às vezes ideias ideológicas estão presentes no cenário científico. Mesmo que o caso de Einstein não possa ser comparado com situações ideológicas patológicas, acreditamos que seja tarefa da prática científica disciplinar tais situações.

³ Notemos que isso não significa que exista um limite intransponível entre observações extraídas de uma teoria e a RV . O conhecimento parcial de RV por vezes é acessado quando tomamos teorias que sejam objetivamente fortes.

frequentemente nos domínios empíricos. Na matemática padrão, aquela construída em ZFC, as relações são totais, já que o princípio de terceiro excluído é válido; logo, teremos aRb ou $\neg aRb$.

Com o intuito de construirmos A , assumimos alguns fatos básicos fornecidos por dados empíricos ou por hipóteses que lançamos acerca de Δ . Em um conjunto U de proposições básicas, aceitamos as informações coletadas como verdadeiras (no sentido padrão de Tarski) em A . A estrutura parcial se dá da seguinte forma: $A = \langle D, (R_i)_{i \in I}, U \rangle$, onde I é um conjunto de índices que nomeia relações parciais n -árias R_i definidas em D .

Podemos ampliar a estrutura parcial A em uma estrutura total B , na qual todas relações de A serão totais. Para isso, precisamos admitir outras condições coletadas num novo conjunto de proposições M que trará informações ausentes em A . Para A ser ampliada em uma estrutura total B é condição necessária e suficiente que $M \cup P$ seja consistente. As novas suposições de M não podem contradizer as proposições básicas encontradas em P . Quando chegamos a tal estrutura B , dizemos que B é normal relativa à A ou que é uma estrutura A -normal.

Seja α uma sentença da linguagem de A . Dizemos que α é quase-verdadeira em A relativa a uma estrutura B A -normal: $A \models_q^B \alpha$, se α é verdadeira em B no sentido padrão de Tarski.

A linguagem de A pode conter duas proposições contraditórias α e $\neg\alpha$, onde α é quase-verdade em A relativa a uma estrutura B A -normal enquanto $\neg\alpha$ é quase-verdade em A em outra estrutura B' A -normal.

Neste ponto podemos notar algo interessante. Certamente não é possível que ambas α e $\neg\alpha$ sejam quase-verdadeiras em A relativa a uma mesma estrutura B A -normal; isto se segue da condição necessária e suficiente, que assegura este fato.

Vamos exemplificar a estrutura da seguinte forma: suponha que A descreve a velha teoria quântica. Nesse Modelo Matemático, o qual podemos supor que é formulado axiomáticamente em uma Teoria, existem dois conceitos complementares, a saber, partícula e onda. Uma partícula não é uma onda e uma onda não é uma partícula. Ademais, quando um sistema é preparado para detectar uma partícula ele não pode detectar uma onda e vice-versa. Assim, se α representa 'certo objeto físico que se comporta como partícula', então $\neg\alpha$ representa que 'o suposto objeto quântico não se comporta como partícula' – o que implica que ele se comporta como onda. Quando formuladas de forma propícia, os dois pontos de vista podem ser estendidos para uma P ou uma T adequada que incorpora cada ponto de vista como sua hipótese básica, como a mecânica de partículas (interpretação de Bohm⁴) ou como mecânica de ondas (interpretação de Schrödinger). Mesmo que em cada uma delas haja partí-

⁴ Na formulação de Bohm a suposição básica é a concepção de partículas como na mecânica clássica, mas elas são acompanhadas de uma onda piloto que dá às partículas seu comportamento ondulatório, diferentemente da formulação de Schrödinger.

culas e ondas, essa disparidade não se refere a uma mesma situação. Entraremos em maiores detalhes sobre esta situação no capítulo de estudos de caso.

Podemos tratar as formulações de Bohm e Schrödinger como extensões da velha mecânica quântica. Em cada uma delas as proposições α e $\neg\alpha$ são asseguradas por vez, mas não em cada uma delas separadamente. Portanto, se considerarmos a possibilidade de existência de mais de uma possível extensão para uma estrutura parcial, como a visão pluralista que temos permite, a qual corroboramos com nossa atitude perspectivista, que será discutida no capítulo perspectivismo, uma lógica paraconsistente pode lidar de maneira apropriada com a possibilidade de explicação envolvendo ambos casos.

Por fim, uma abordagem através de estruturas parciais proporciona o tipo adequado de *framework* para investigarmos questões relacionadas a inconsistências na física. Por meio desta abordagem é possível representar, sem trivialidade, Teorias físicas inconsistentes como quase-verdadeiras. Ademais, se tivermos uma situação em que inconsistências não possam ser acomodadas pela extensão de uma estrutura parcial inconsistente em duas estruturas consistentes,⁵ a princípio podemos tratar inconsistências e contradições diretamente através da formalização da Teoria considerada por meio de uma lógica paraconsistente, como o cálculo C_i , por exemplo.⁶

⁵ Vale salientar que o fato de que a contradição não ser 'facilmente eliminada' poderia sugerir que a própria RV seja inconsistente. Haveria essa possibilidade, além das inconsistências que podem aparecer em F . Outrossim, as relações entre lógica e realidade são análogas às que existem entre matemática e realidade. A matemática aplica-se convenientemente à realidade por esta achar-se constituída de tal forma que, em nossas inter-relações com ela, há certos invariantes suscetíveis de 'captação' pelas estruturas matemáticas (COSTA, N. da, 2008, Cap. 3 §4). Em uma aplicação direta, tudo se passa como se objetos *participassem* das estruturas platônicas das ciências formais. Em uma aplicação indireta, quando em física aceitamos ser o tempo contínuo (no sentido técnico da palavra) ou sistematizamos grade parte da realidade por meio do formalismo da mecânica quântica, dificilmente se poderia sustentar que percebemos em nossa experiência todas as características abstratas inerentes ao contínuo matemático ou ao formalismo quântico.

⁶ Notemos que a quase-verdade permite que se tente, pelo menos, uma forma de abordagem semântica. Axiomatizar em C_i já seria uma abordagem sintática. Pensamos que poderíamos usar toda a ideia de estruturas parciais para T 's e também para P 's, já que ela trata a inconsistência de uma maneira também conceitual, conseguindo acomodar algum desconforto epistêmico que cientistas físicos, que usualmente trabalham com teorias informais, poderiam ter ao trabalhar com tais inconsistências. Os físicos não se dariam ao trabalho de formalizar suas teorias para trabalhar as inconsistências em M 's, mas por terem conhecimento de que tal atitude é possível, prosseguem trabalhando suas teorias informais sem se preocuparem com tal questão. Ter ciência de tal processo lógico envolvendo inconsistências, faz com que se sintam mais confiantes em prosseguir suas investigações inconsistentes.

14 CHUNK AND PERMEATE

‘Chunk and Permeate’ é uma estratégia que captura a prática engajada pelos cientistas (originalmente, no desenvolvimento de sua primeira versão), embora podendo ela não ter sido concebida nessas vias originalmente (por isso uma reconstrução nesse sentido). Ainda que a estrutura racional inicialmente desenvolvida esteja representada nesta estratégia. Nela, um conglomerado de informação é quebrado em pedaços onde uma porção limitada é permitida transitar entre estes pedaços. A estratégia tem por objetivo modelar o raciocínio sobre questões relacionadas, por exemplo, a inconsistências. Esta estratégia legitima o ‘raciocínio inconsistente’, já que preserva a consistência de cada pedaço do conglomerado. Veremos agora como funciona esta estratégia, algumas questões técnicas e possíveis aplicações.

Poderíamos dizer que toda construção teórica passa por uma reconstrução racional de certa forma, onde se faz uma verificação do constructo, analisando suas características e como ele se relaciona com todo o aparato científico correlato.

Contudo, algumas construções teóricas têm problemas durante esse processo; ainda que sejam extremamente coerentes em certas situações, apresentam discrepâncias relativas a outros regimes teóricos. Não obstante, tais construções apresentam uma estrutura robusta de conhecimento, sendo muitas vezes fonte de novas informações e resoluções sobre o domínio examinado.

Por isso, foi proposto um novo método de reconstrução racional: “Chunk and Permeate” (BRYSON BROWN, 2004). Este método tem como estratégia permitir uma forma de raciocinar *internamente* as diferentes porções, que podem ser inconsistentes umas com as outras. Falaremos sobre este método e mostraremos por que estamos de acordo com a sua tese.

Na verdade, esse método nos parece mais primitivo, sendo utilizado em qualquer situação em que começamos a montar um arcabouço teórico. Quando tudo corre bem e não encontramos obstáculos como uma inconsistência, o método não se evidencia; tudo flui sem obstáculos¹. O que acontece é que devido a alguma inconsistência, não conseguimos adequar a reconstrução racional aos moldes tradicionais. O que não se apresenta como um problema, pois há uma pluralidade lógica para embasar a diversidade da atividade científica.

14.1 UMA RECONSTRUÇÃO RACIONAL

“Chunk and Permeate” (doravante CP) é uma técnica de reconstrução racional usualmente utilizada quando inconsistências entram em jogo na atividade científica. Especialmente onde parâmetros cujos cálculos dependem de hipóteses subjacentes que são inconsistentes e que se apresentam combinadas a outras novas

¹ Pensamos que o método é padrão, mas só se mostra, de fato, na presença de dificuldades teóricas.

hipóteses. Diante disso, o procedimento mais comum seria lidar com a informação inconsistente e quebrá-la em pedaços consistentes para então operar com estes. Esse procedimento está fundamentado em lógicas paraconsistentes não-adjuntivas. CP é uma estratégia que se baseia nesse processo. Contudo, CP tem uma outra característica: ela permite a interação entre os pedaços; permite que a informação permeie os pedaços. A questão é que deve haver um limite de interação, pois se toda informação pudesse permear os pedaços, a estratégia seria irrelevante². Teremos um mecanismo que permitirá um fluxo parcial de informação.

Vamos nos ocupar agora de apresentar a parte formal de CP de seu artigo original (BRYSON BROWN, 2004). Seja L uma linguagem (de primeira ou outra maior ordem). Seja \vdash a relação de consequência clássica. Se Σ é um conjunto de sentenças na linguagem, seja Σ^\vdash o fecho de Σ sob \vdash . O *alcance (covering)* de Σ é um conjunto $\{\Sigma_i; i \in I\}$, tal que $\Sigma = \bigcup_{i \in I} \Sigma_i$, e para todo $i \in I$, Σ_i é classicamente consistente. Se $C = \{\Sigma_i; i \in I\}$ é um *alcance* sobre Σ , chamamos ρ uma *relação de permeabilidade* em C se ρ é um mapa de $I \times I$ para subconjuntos de fórmulas de L . Se $i_0 \in I$, chamamos qualquer estrutura $\langle C, \rho, i_0 \rangle$ uma *estrutura CP* em Σ .

Se \mathfrak{F} é uma estrutura CP em Σ , definimos as consequências CP de Σ com respeito a \mathfrak{F} , $\Vdash_{\mathfrak{F}}$. Para cada $i \in I$, definimos um conjunto de sentenças, Σ_i^n , por recursão em n :

$$\begin{aligned}\Sigma_i^0 &= \Sigma_i^\vdash \\ \Sigma_i^{n+1} &= \left(\Sigma_i^n \cup \bigcup_{i \in I} (\Sigma_i^n \cap \rho(j, i)) \right)^\vdash\end{aligned}$$

Desta forma, Σ_i^{n+1} compreende o que pode ser inferido de Σ_i^n *juntamente* com o que flui do pedaço i para outros pedaços de nível n . Quando coletamos os resultados de todos estágios finitos, obtemos:

$$\Sigma_i^\omega = \bigcup_{n < \omega} \Sigma_i^n$$

Assim, $\Sigma \Vdash_{\mathfrak{F}} A$ se e somente se $A \in \Sigma_{i_0}^\omega$. As consequências CP de Σ são, deste modo, as sentenças que podem ser inferidas de um pedaço estipulado, i_0 ,

² No sentido de que não se mostraria mais como uma estratégia, mas como um raciocínio padrão intuitivo. É isto que queremos defender também aqui. CP é um raciocínio padrão intuitivo que se transforma em estratégia na presença de dificuldades teóricas. Como estratégia, se desvela como algo não usual, precisando ser reestruturada e justificada por estar fora dos padrões clássicos de raciocínio. A questão é que CP é costumeiramente utilizada, quando tudo flui dentro dos padrões sem alardes ou necessitando de justificativas; na presença de obstáculo ela desvia da esfera clássica, precisando ser evidenciada e estruturada, mas isso não significa que ela não seja um tanto quanto intuitiva.

quando toda a informação apropriada obteve permissão para fluir conjuntamente às relações de permeabilidade.

É importante notar aqui que o pedaço final (de chegada) pode depender do contexto. Por exemplo, podemos ter duas possibilidades de pedaços finais (de chegada), i_0 e i_1 . Podemos optar por i_0 se quisermos conclusões sobre o sistema no contexto de objetos microscópicos. Por outro lado, podemos optar por i_1 se procurarmos por conclusões sobre objetos macroscópicos³.

Podemos pensar em uma situação em que hajam dois pedaços em nossa estrutura CP, um sendo o pedaço *fonte*, Σ_S e o outro sendo o pedaço *alvo*, Σ_T . Um ponto muito importante é que a informação flui *somente* do pedaço *fonte* para o pedaço *alvo*. Consideramos o pedaço alvo como o pedaço de chegada neste sentido. Com isso, obtemos que $\Sigma_T^1 = \Sigma_T^\omega$. A estrutura recém descrita é denominada de estrutura CP *binária*.

É essencial notar que a relação de permeabilidade permite que a informação seja *agregada*, mas somente se o for de maneira *controlada*. Dizemos isso, pois em lógicas não adjuntivas o agregar controlado é obtido por meio de um apelo à variação nas partições. Ou seja, o nível de um conjunto, digamos $l(\Sigma)$, é definido como o último cardinal n , tal que um alcance de Σ de tamanho n (∞ se não houver tal n). Definimos que $\Sigma \Vdash \alpha$ ($\Sigma \Vdash \infty$) se e somente se $l(\Sigma) = n$ e para cada alcance de tamanho n , $\{\Sigma_j; j \in I\}$, temos um $j \in I$ tal que $\Sigma_j \vdash \alpha$ (BRYSON BROWN, 2004). No entanto, utilizando CP teremos:

Lemma 14.1.1. $\Sigma \Vdash \alpha$ se e somente se $C = \{\Sigma_j; j \in I\}$ é um alcance de Σ de tamanho n , onde temos um $j \in I$ tal que $\Sigma \Vdash_{\langle C, \phi, j \rangle} \alpha$.

Demonstração. Se $l(\Sigma) = \infty$, então ambos lados são verdadeiros (o lado direito vacuamente). Suponha que $l(\Sigma) = n$. Ainda, suponha que $\Sigma \Vdash \alpha$. Seja $C = \{\Sigma_j; j \in I\}$ um alcance de tamanho n . Então, temos um $j \in I$ tal que $\Sigma_j \vdash \alpha$. Assim, $\Sigma \Vdash_{\langle C, \phi, j \rangle} \alpha$. Reciprocamente, suponha que $C = \{\Sigma_j; j \in I\}$ é um alcance de Σ de tamanho n ; então temos um $j \in I$ tal que $\Sigma \Vdash_{\langle C, \phi, j \rangle} \alpha$; *i.e.*, $\Sigma_j \vdash \alpha$. Logo, $\Sigma \Vdash \alpha$. □

O mecanismo de permeabilidade é muito mais poderoso que o que quer que seja que resulte deste procedimento. Ademais, podemos proceder de forma mais simples usando uma família de estruturas CP, sendo cada qual vazia da relação de permeabilidade.

³ Pensamos que a dependência do contexto pode influenciar nossos resultados. Como essa estratégia nos proporciona liberdade de escolha, ainda que dentro de conformes, obliterando a ideia de simplesmente abandonar uma linha de raciocínio que apresenta obstáculos segundo a via clássica. Tentaremos aplicar esta ideia em outros pontos da tese.

14.2 PERMEABILIDADE E PRESERVAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

O que a técnica ‘Chunk and Permeate’ faz é uma reconstrução racional. O cientista elabora sua teoria em um primeiro momento de maneira informal, utilizando seu conhecimento, mas também procedendo de forma heurística agregando intuições e outras informações.

Apresentamos acima uma estrutura binária. Agora abordaremos a questão quanto à legitimidade da estratégia CP, raciocinando nestas estruturas. Para isso, vamos supor que $\Sigma_{\mathcal{T}}$ é um pedaço consistente e que a informação α tem permissão para fluir até ele. Se $\Sigma_{\mathcal{T}} \not\vdash \neg\alpha$, então $\Sigma_{\mathcal{T}} \cup \{\alpha\}$ é consistente. Contudo, temos que a independência não é mais suficiente, pois mais de um fragmento de informação tem permissão para fluir para $\Sigma_{\mathcal{T}}$. Em outras palavras, podemos ter α e β independentes de $\Sigma_{\mathcal{T}}$, conquanto que possa ser o caso de que $\Sigma_{\mathcal{T}} \vdash \alpha \leftrightarrow \neg\beta$. Assim, $\Sigma_{\mathcal{T}} \cup \{\alpha, \beta\}$ é inconsistente.

Vamos supor que o único fragmento de informação que tem permissão para se deslocar seja da forma de identidades⁴. Podemos apontar aqui uma das bases de como a estratégia CP funciona. Os valores de certas quantidades são computados em um pedaço e passados para outro pedaço⁵. Vamos supor também que sentenças permeáveis são da forma $f(a_1 \dots a_n) = c$; onde a_1, \dots, a_n, c não contém ocorrências de f e onde $\Sigma_{\mathcal{T}}$ é uma teoria axiomática que não contém axiomas mencionando f . Se \mathfrak{M} é qualquer interpretação e t é um termo, escrevemos a denotação de t em \mathfrak{M} como $t^{\mathfrak{M}}$. Desta maneira, obtemos:

Lemma 14.2.1. *Seja \mathfrak{T} um modelo de $\Sigma_{\mathcal{T}}$ e suponha que para todas equações $f(a_1 \dots a_n) = c, f(b_1 \dots b_n) = d$ em $\Sigma_{\mathcal{S}} \cap \rho(S, T)$:*

(\star) se $a_i^{\mathfrak{T}} = b_i^{\mathfrak{T}}$, para $1 \leq i \leq n$, então $c^{\mathfrak{T}} = d^{\mathfrak{T}}$

Assim $\Sigma_{\mathcal{T}}$ ampliado pela informação permeada tem um modelo (sendo, desta forma, consistente).

Demonstração. Como não existem axiomas governando f , podemos alternar a interpretação de f em \mathfrak{T} da maneira que quisermos dentro de $\Sigma_{\mathcal{T}}$ e ainda assim teremos um modelo de $\Sigma_{\mathcal{T}}$. Para obtermos um modelo de $\Sigma_{\mathcal{T}}$ juntamente com todas as sentenças permeadas, $f(a_1 \dots a_n) = c$, temos que pegar a denotação de f para ser a função que assinala $c^{\mathfrak{T}}$ a cada $\langle a_1^{\mathfrak{T}}, \dots, a_n^{\mathfrak{T}} \rangle$; sendo esta uma ação lícita, pois a condição (\star) é válida. \square

Precisamos, ainda, provar uma condição da forma (\star).

⁴ Estamos compreendendo também especialmente equações neste ponto.

⁵ É deste modo que aplicamos a estratégia CP ao cálculo infinitesimal de Leibniz e Newton, por exemplo.

Demonstração. Suponha que Σ_T seja consistente, tendo um modelo, \mathfrak{G} . Suponha também que os domínios de \mathfrak{T} e \mathfrak{G} sejam os mesmos e as interpretações do vocabulário que ocorrem em todos os termos nas equações permeadas são os mesmos em \mathfrak{T} e \mathfrak{G} . Esta situação irá surgir se os termos forem puramente numéricos e os números funcionarão exatamente do mesmo modo em \mathfrak{T} e \mathfrak{G} . Se $a_i^{\mathfrak{T}} = b_i^{\mathfrak{T}}$ para todo $1 \leq i \leq n$, teremos que $a_i^{\mathfrak{G}} = b_i^{\mathfrak{G}}$. Todavia, em \mathfrak{G} $f(a_1 \dots a_n) = c$, e $f(b_1 \dots b_n) = d$. Assim, obtemos que $c^{\mathfrak{G}} = d^{\mathfrak{G}}$, de forma que $c^{\mathfrak{T}} = d^{\mathfrak{T}}$, como exigido.

□

Ainda assim, existem outras situações em que os termos não são puramente numéricos. Isso acontece especialmente se estivermos trabalhando em uma estrutura binária que requer uma interpretação diferente de seu conteúdo em quaisquer que sejam os modelos fonte e alvo. Um exemplo de estrutura desse tipo é aquela do cálculo infinitesimal de Leibniz e Newton.⁶

O fundamental dentro do estudo da estratégia CP aplicada a teorias informais como o cálculo infinitesimal, átomo de Bohr, função delta de Dirac, entre outros, é que podemos construir estruturas CP binárias onde conseguimos encontrar uma interpretação (\mathfrak{T}) que satisfaz a condição (\star). Com isso, dentro dessas estruturas CP binárias o fluxo de informação que chega em Σ_T (pedaço alvo) preserva a consistência⁷.

14.3 ESTRATÉGIA VS MODELO

A estratégia CP atinge um grau sério de unidade inferencial. A repetida permeabilidade e as operações de fechamento asseguram que as premissas disponíveis em outros pedaços contribuam para as conclusões traçadas em $\Sigma_{i_0}^{\omega}$. Não obstante, as estruturas CP nos levam muito além da noção usual de relação de consequência. O conjunto de sentenças $\bigcup \Sigma_n^i$ não determina o *conteúdo* de $\Sigma_{i_0}^n$. Assim, aqui a ‘relação de consequência’ não é uma relação entre os conjuntos de sentenças e as sentenças que se seguem delas é uma relação entre a *estrutura* (M. BRYSON BROWN, 2015) CP e algumas sentenças. A estrutura como um todo determina o conteúdo do pedaço alvo (de chegada), Σ_{i_0} a cada passo da recursão; de modo que o critério formal não resolve quais são o alcance de Σ e a relação de permeabilidade ‘corretos’. O que temos é que o alcance e a relação de permeabilidade são escolhidas de acordo com inferências específicas que visamos preservar ou ignorar.

⁶ Para ver um estudo detalhado da aplicação da estratégia CP no cálculo infinitesimal de Leibniz e Newton ver: (BRYSON BROWN, 2004)

⁷ Percebemos como cada pedaço permanece consistente sozinho, apesar de globalmente o conglomerado ser inconsistente; sendo que isto não importa para o raciocinar em cima da informação nem para a construção de novos arcabouços teóricos por meio dessas informações.

Com isso, a estratégia CP tem vantagem sobre outras abordagens lógicas heterodoxas, pois não foca em identificar ou propor lógicas alternativas que podem se espreitar em segundo plano no raciocínio científico. Em vez disso, a estratégia CP tem o atributo de promover a busca de uma observação mais direta e objetiva do *raciocínio*. Em outras palavras, procura evidenciar como e onde diferentes premissas são evocadas no decorrer dos argumentos. Desta sorte, ao visar em como premissas efetivamente se desenrolam durante o desenvolvimento do raciocínio, a estratégia CP trespassa a distinção entre abordagens baseadas na lógica e abordagens baseadas no conteúdo (J.D., 2002) para inconsistências em ciência.

Ademais, a estratégia CP se apresenta como uma estratégia *geral* para evitar consequências desastrosas que poderiam ser inferidas de algumas premissas se fossem combinadas à vontade. Esse plano geral para tratar de inconsistências em prática teórica científica já foi proposto por Norton (NORTON, 1987), quando realçou a separação entre a teoria quântica e a eletrodinâmica clássica enquanto apresentava que a derivação de Planck para lei de radiação de corpo negro pode ser obtida por meio de uma subteoria da eletrodinâmica clássica que é *consistente* com as regras quânticas limitando os estados de energia dos ressonadores e da radiação de campo. Entretanto, Norton também afirma, fazendo uso de uma abordagem de agregação fraca para a teoria original de Planck, que “[...] não se pode derivar proposição alguma dentro da teoria só porque há a introdução tácita de um artifício não clássico, os dois domínios de cálculo contêm restrições inarticuladas quanto a troca dos resultados entre eles.” (NORTON, 1987, p. 348). No entanto, a estratégia CP é capaz de lidar com esse obstáculo de forma sistemática, especificando tais restrições.

Quando nos deparamos com uma inconsistência, ao invés de abandonar todo o trabalho, muitas vezes visto como ‘contaminado’, persistimos em desenvolver nosso raciocínio teórico. Ainda assim, não é nossa intenção que nosso arcabouço teórico permita chegarmos a conclusões contraditórias. Temos por objetivo nos esforçarmos para determinar quais conclusões inferidas devem ser levadas a sério e quais devem ser descartadas como apócrifas. É uma preocupação legítima quanto a se nossas decisões são inteiramente *ad hoc*. Existe a preocupação quanto a se não seria arbitrário tomar ‘respostas seletivas’ como uma tentativa para chegar – por meio de argumentos de um nível metateórico aplicados ao arcabouço teórico inconsistente – às consequências de uma teoria consistente, a qual o arcabouço teórico inconsistente é tomado por hipótese como sendo uma razoável aproximação.

Há toda uma preocupação envolta do arcabouço teórico inconsistente, como se consistisse em algo inacabado, ainda não resolvido. O advento de uma contradição ainda é um indicativo de um problema.⁸ Porque, em uma atitude inicial, parece

⁸ Isto porque, caso não se pense assim, a única alternativa que encontramos seria manter uma forma de dialeteísmo, que já descartamos previamente.

que não podemos raciociná-lo via lógica clássica, já que assim a inconsistência torná-lo-ia trivial. Neste ponto parece até teimosia ainda querer fazer uso de tal arcabouço. Já a nossa insistência em persistir no seu usufruto parece demonstrar que enxergamos algo de útil em nossa escolha pragmática. Assim prosseguimos a fazer bom proveito da inconsistência, do arcabouço teórico inconsistente, escrevendo e resolvendo equações, aparentemente raciocinando por meio de premissas que estão, de fato, disponíveis por meio dele, encontrando resultados deveras convincentes – por vezes empiricamente convincentes. A estratégia CP, por este prisma, funciona como asseguradora de coerência de raciocínio, oferecendo uma descrição – quiçá explicação – sobre como conseguimos realizar esse processo, destoando de outras abordagens lógicas mais restritivas e a estratégia CP também funciona sem nos distrair, mantendo nossa atenção para as premissas e argumentos que são efetivamente providos pelos cientistas.

Agora, precisamos deixar claro que a estratégia CP se mostra em oposição à abordagem semântica de estruturas parciais (DA COSTA NEWTON E FRENCH, 2003), mencionada anteriormente. Essa é uma abordagem semântica que tem um propósito distinto da estratégia CP. Aliás, pensamos que as duas parecem funcionar muito bem em conjunto, como investigaremos a seguir.

O *framework* semântico de estruturas parciais para representar o conteúdo de teorias científicas inconsistentes e comprometimentos epistêmicos que são evocados nas noções de ‘estruturas parciais’ e ‘quase-verdade’ são um passo além da proposta de se utilizar lógicas agregativas (M. BRYSON BROWN, 2015). Isto porque, quando estamos tratando de toda configuração envolvendo quase-verdade, estamos comprometidos com a – ainda que dentro de um limite de contexto – *verdade* dos princípios que fazem do arcabouço teórico inconsistente; *e.g.*, como veremos mais adiantes no estudo de caso que abordará o Átomo de Bohr, teríamos nesse caso um comprometimento com a *verdade* tanto dos princípios da física clássica, quanto dos princípios da física quântica apresentados por Bohr. Já na estratégia CP, por mais que possamos também afirmar isso, pois adotamos um contexto que restringe premissas particulares presentes no modelo de Bohr, ainda podemos contar com premissas restritas no decorrer de nosso processo para chegar a resultados. Porém, e este é o ponto-chave aqui, na estratégia CP, as estratégias usadas para agregar os pedaços, preserva o nível e a consistência dos pedaços, e não a *verdade*. Existe uma diferença entre estar comprometido com um premissa como base para *raciocinar em algum contexto* e entre tomar tal premissa como *verdadeira* no contexto. O propósito da estratégia CP é *sistematizar* como cientistas poderiam *raciocinar* usando premissas inconsistentes e, ainda assim, evitar um estado de ‘anarquia lógica’. A estratégia CP não visa explicar como tais premissas poderiam ser todas verdadeiras ou o que poderia se seguir caso

o fossem.⁹

Ao adentrarmos em um ambiente inconsistente e darmos procedimento ao nosso trabalho dentro dele, a estratégia CP funciona como um ‘bálsamo cognitivo’, uma prerrogativa para o raciocinar inconsistente; ela não faz suposições sobre a forma de comprometimento cognitivo dos cientistas envolvendo as premissas presentes nesta estratégia de raciocínio.

As lógicas paraconsistentes permitem a formalização de teorias inconsistentes, mas não triviais. As lógicas paraconsistentes também permitem que evitemos, dessas teorias inconsistentes, inferir consequências indesejáveis que, outrossim, suas premissas implicariam. Essas características presentes nas lógicas paraconsistentes também estão presentes na estratégia CP. Por essa razão é que afirmamos que ambas podem ser vistas como ferramentas que se complementam no trato de arcabouços teóricos inconsistentes; incluindo aqui também a noção de quase-verdade como uma dessas ferramentas, cada qual configurada para ambientes específicos. Cabe a nós o discernimento em nossos objetivos para que possamos usar essas incríveis ferramentas com maestria.

A estratégia CP traz algo mais ao tratamento meramente formal alcançado com lógicas paraconsistentes. Este tratamento pode ser visto, ocasionalmente, como um ‘dividir e conquistar’ no ambiente teórico inconsistente. Por vezes, tal abordagem é suficiente, mas se quisermos também evidenciar o *raciocínio* envolvido na construção de tal arcabouço teórico, deveríamos sacar a estratégia CP para ilustrar nosso processo. Isso porque a estratégia CP nos faz reconhecer as partições e onde há restrição de fluxo de informação nesses limiares. Ademais, a relação de consequência que encontramos na estratégia CP não trivializa a união inconsistente dos pedaços – como, por exemplo, o pedaço dentro da estrutura do Átomo de Bohr referente à física clássica Σ_C e o pedaço referente à física quântica Σ_Q (M. BRYSON BROWN, 2015).

Sabemos que há dificuldade em identificar detalhadamente os comprometimentos *lógicos* nos argumentos que cientistas aceitam ou rejeitam. Tipicamente, encontramos diferentes lógicas que concordam quanto à maioria das regras de inferência e, quanto aos aspectos díspares, tais lógicas que usualmente rejeitam uma regra particular aceitam outras inferências que funcionam usando tal regra como entimemas razoáveis em casos particulares. Quando temos o propósito de fazer inferências relevantes cujas premissas parecem estar disponíveis e falhamos, este fato parece não ser devido à heterodoxia lógica. Com efeito, as atitudes dos cientistas perante as premissas que utilizam se tornam mais reservadas comparadas a uma absoluta *crença*.

⁹ Por tais razões, acreditamos que a estratégia CP funcionaria muito bem conjuntamente com a abordagem da quase-verdade. Ambas têm propósitos diferentes e que se complementam. Com CP temos uma estratégia para raciocinar em ambientes inconsistentes, com lógicas paraconsistentes podemos formalizar tais ambientes inconsistentes e com a abordagem da quase-verdade modelos que falam sobre a verdade de ambientes inconsistentes.

Às vezes, essa atitude incorpora limites aos contextos nos quais algumas premissas pode ser razoavelmente confiáveis. É só a partir do momento em que premissas são tomadas como verdadeiras *tout court* que nós devemos esperar que cientistas estejam comprometidos com quaisquer conclusões que possam ser delas logicamente derivadas.¹⁰

Para mais, raramente encontramos cientistas propondo mudanças em alguma lógica, mesmo quando estão trabalhando com inconsistências (aparentes). E depois, são também poucos cientistas que sequer vislumbram alguma lógica em seu exercício científico. Por conseguinte, a estratégia CP emplaca um proveitoso equilíbrio entre a necessidade de manter nossos modelos lógicos estreitamente próximos aos fenômenos – sendo esta a forma de raciocínio dos cientistas – e o propósito *filosófico* de prover uma reconstrução sistemática e viável de como cientistas alcançaram suas conclusões e o mais importante: sem cair em arbitrariedades ou trivialidades.

14.4 APLICAÇÕES

Foram apresentadas as ideias básicas envolvendo a inferência CP. Podemos afirmar que esse tipo de inferência é importante dentro da ciência empírica. Dizemos isso porque não é incomum que raciocinemos sobre uma situação baseados em diversos parâmetros, cada qual sendo determinado pela aplicação de teorias que trabalham com suposições subjacentes distintas¹¹. Nesta configuração, CP funciona da seguinte forma: cada parâmetro é computado em um pedaço diferente, então, é permitido aos parâmetros permearem em pedaços seguintes onde o raciocínio continuará progredindo. Processos de renormalização, empregados na teoria quântica de campos, também podem ser conceitualizados como CP (BRYSON BROWN, 2004).

As aplicações para a estratégia CP podem ser ampliadas para fluírem para outras aplicações. Vale notar que não é preciso empregar a lógica clássica para trabalharmos com a estratégia CP; *i.e.*, os pedaços não precisam todos usar a mesma lógica. Cada pedaço possui seu próprio contexto e este contexto pode requerer a aplicação de uma lógica distinta de outros pedaços. Para concluir, a estratégia CP é extremamente flexível em relação à sua aplicabilidade, sendo maleável a múltiplos contextos e também múltiplas lógicas. Ele acaba por ser mais uma ferramenta que sustenta a postura perspectivista, proporciona liberdade de escolha para que dentro

¹⁰ Pensamos que há uma preocupação quanto ao comprometimento do cientista com as premissas presentes em seu arcabouço teórico e, também, com as conclusões derivadas delas. Aqui mostramos a diferença entre o comprometimento com a estratégia CP, o comprometimento com a validade das inferências performadas via uma lógica paraconsistente e o comprometimento relativo à verdade de tais premissas e conclusão. Parece-nos que o comprometimento presente no trabalho do cientista é de natureza mais fraca que uma crença – por vezes tomada por uma crença ‘categórica’. Dizemos isso, possivelmente, porque tais profissionais da ciência trabalham com o raciocínio e observação, e dificilmente tornariam-se cegos inadvertidamente por um crença neste sentido.

¹¹ Podemos ver exemplos dessas situações em (HACKING, 1983) (FEYERABEND, 1957)

dos limiares do contexto trabalhado possamos aplicar diferentes possibilidades de instrumentos teóricos e ainda faz com que não haja descarte de informações que simplesmente não se encaixam em padrões de procedimentos clássicos.

Acreditamos que existem muitas aplicações para estratégia CP e que ela corresponde a inúmeras investigações teóricas. Outrossim, a estratégia CP nos parece bastante significativa, com um grande potencial de aproveitamento.

15 PERSPECTIVISMO

Vimos no capítulo anterior que a postura adotada no processo apresentado nos habilita localizar, examinar e avaliar outras características (como uma inconsistência) não tão evidentes em um primeiro momento (quicá tão ocultas que permanecem por muito indeterminadas), mas que passam a ser assinaladas quando delimitamos os escopos e inquirimos sua disposição. O que podemos notar, depois de articulada toda configuração dos estágios de elaboração de teorias físicas desde a escolha de um domínio de estudo até sua formalização, é que existem diversas maneiras em que um mesmo projeto de estudo possa ser desenvolvido dentro dessa acepção. A multiplicidade de escolhas para efetuar uma pesquisa dentro desses moldes é considerada por nós uma característica positiva, mostrando nossa concordância com uma posição perspectivista.

15.1 PERSPECTIVISMO EM FILOSOFIA DA CIÊNCIA

O que entendemos por perspectivismo em filosofia da ciência é uma noção articulada pautando-se em algumas condições fundamentais. Primeiro, precisamos ter em mente que podemos estudar um domínio D do conhecimento de diversas maneiras, sendo que elas podem não ser equivalentes. Assim, essa abertura na possibilidade de escolhas dá margem à manifestação de preferências. É necessário frisar que o nosso foco é a filosofia da ciência, que estamos percorrendo o ambiente da ciência e é imprescindível que nos atenhamos a esse caminho. Por conseguinte, temos como condição que a preferência quanto às muitas maneiras de abordarmos um domínio não cabível de ser justificada a não ser apelando excepcionalmente para um critério pragmático. Além disso, outra condição é a de que cada uma dessas possíveis abordagens é capaz de originar diferentes P s sobre o domínio de estudo e, como já dissemos, cada uma delas tem o potencial de originar uma versão axiomática ou uma T acerca desse domínio. Cada uma das maneiras de abordar tal domínio de estudo são perspectivas que apreendem aspectos do domínio - ora diferentes, ora complementares - e, ainda assim, é possível que nenhuma delas seja 'verdadeira' *stricto sensu* de acordo com o domínio selecionado. Saltar para o âmbito do que seja ou não verdadeiro sobre o domínio é um assunto mais delicado, como já vimos, e é preciso ter cautela quanto ao que um equívoco nesse ponto possa ocasionar relativo à postura perspectivista. Ainda falaremos mais sobre esse ponto. Por agora, salientamos também que é preciso nos voltarmos para o horizonte da metamatemática. Por fim, é condição de suma importância que seja feita a consideração de qual metamatemática é utilizada para se formular T e para se estabelecer os M s.¹ Com isso, estão apresentadas as condições

¹ Gostaríamos de esclarecer que não seguiremos Suppes aqui (SUPPES, P., 1983), apesar de entendermos também que nossas análises dos dados fenomênicos e nossos modelos de dados (termo

fundamentais para entendermos nossa postura perspectivista.

Gostaríamos de destacar que, juntamente ao que foi dito no parágrafo acima, por mais que tenhamos possibilidades distintas, elas ainda devem estar em conformidade com o sistema apresentado. Precisamos lembrar de nos atermos ao escopo científico e que as possibilidades se dão dentro de uma configuração, de uma estrutura regulada. Chamamos a atenção para este ponto em específico, porque embora tenhamos pluralidade, não há relativismo. Nossa acepção perspectivista não se reduz puramente a um relativismo. Não é o caso de que 'tudo vale'. Sendo assim, a diversidade de panoramas deve ser encarada com diligência pelo filósofo.

Tendo isso em mente, veremos ainda que nossa acepção perspectivista está de acordo com o que vem se apresentando nos dias atuais na filosofia da ciência. A pluralidade de perspectivas é vista em muitas categorias como lógica, matemática, metafísica, entre outras. A questão muitas vezes inadvertidamente abstraída é que o filósofo ou cientista utiliza em seu trabalho conceitos e hipóteses que dependem - logicamente, matematicamente, metafisicamente - de um contexto.

Assim como em nossa perspectiva realista, a qual não afirmamos ser a correta ou ser a única via válida, aqui acontece o mesmo; até mesmo porque essa postura perspectivista está imbuída em nossa conjectura *viz. RV*. Nossa pretensão não é declarar nossa visão como definitiva. Não queremos convencer, queremos expor uma perspectiva, queremos considerar uma possibilidade.

15.1.1 *Modi res considerandi*

De maneira geral, tomamos como perspectivismo a tese de que podemos considerar que um mesmo objeto² – físico, textual, social, domínio do conhecimento, por exemplo – possa ser visto de diferentes perspectivas, como também possa ser elaborado teoricamente de diferentes perspectivas. Quando dizemos 'objeto', estamos nos referindo à palavra no sentido de Carnap (CARNAP, R., 2005), sendo tomada em seu sentido mais amplo; *i.e.*, podendo ser usada para qualquer coisa que possamos fazer uma declaração sobre. Portanto, podemos considerar objetos não somente coisas 'palpáveis', mas também propriedades, classe, relações, estados, eventos, entre outros. O escopo da palavra 'objeto' aqui vai além do que é considerado concreto, atual, chegando também à esfera do abstrato.

Agora que deixamos clara a nossa atitude quanto ao uso da palavra 'objeto', devemos proceder a explicar as motivações que tivemos para endossar a tese perspectivista. Existem diferentes perspectivas tanto para interpretar dados brutos, quanto para considerar uma maneira de elaborar teorias. Inicialmente trabalhamos

cunhado pelo filósofo), dependem de nosso conhecimento prévio (KRAUSE, Decio; ARENHART, J., 2013).

² Interessa-nos aqui particularmente essa visão da palavra 'objeto' relacionada à ciência.

de forma intuitiva para depois seguirmos axiomáticamente ou até formalmente. Neste ponto estamos tratando somente de um ponto de vista matemático, lógico, formal. Acontece que podemos ter a mesma postura relativa ao lado metafísico ou ontológico de teorias científicas. Isso porque não há como assegurar que exista somente uma concepção coerente sobre o que seja a realidade e que esta seja compartilhada uniformemente entre filósofos e cientistas.³

Dito dessa forma, a questão parece um tanto quanto trivial; contudo, ela segue furtivamente, fazendo com que questões correlatas importantes passem igualmente despercebidas. Estamos falando de consequências insuspeitas que são atingidas e essas deveriam ser expostas e exploradas por filósofos. Somos motivados a seguir com esta incumbência, encorajados a ir além da corrente padrão, com ousadia e também disciplina para explorar o que a tese perspectivista pode nos proporcionar. Ademais, ela nos dá a possibilidade de poder identificar pontos relevantes em discussões sobre os fundamentos de teorias científicas. Já que podemos usá-la como um mapa de *estratégia* geral a respeito de como algumas teorias científicas se desenvolvem de suposições sobre a existência de uma realidade (de um mundo) que pode ser investigada para os padrões de elaboração científica aos quais estamos acostumados a elaborar nossas teorias formais sobre porções de tal realidade.

Quando dizemos que teorias se desenvolvem, estamos usando o sentido Lakatosiano (LAKATOS, 1976) da palavra, ou seja, desenvolver-se como uma *reconstrução racional*. Tomado como uma forma de construção – como uma maneira de modelar a *RV* em nossa acepção – o teorizar e raciocinar não são possíveis em somente uma forma. Não há razões para supormos que algo como evolução ou genética (KRAUSE, Décio, (forthcoming)) nos force a proceder de uma exata maneira. Acreditamos que seja falso supor que o modo como evoluímos nos leve *necessariamente* a chegar ao ponto onde o que chamamos usualmente de *lógica clássica* (entre alguns outros) seja o ‘padrão’ de raciocínio. Se ainda fosse somente o padrão, pensamos que não seria algo tão danoso. A questão é que muitas vezes esse padrão é tomado como o único válido, discriminando outras maneiras tão válidas quanto a de se proceder teoricamente.⁴ A ‘bandeira’ do perspectivismo, que deveria ser trivial pela sua tenacidade e versatilidade, acaba tendo que ser hasteada devido ao consentimento do arquétipo ortodoxo unidimensional.

Pensamos que, de acordo com nosso esquema que contempla *RV* e *F*, construir ou moldar teorias e formas de raciocínio, que teorias são e que, para nós, formas de raciocínio também são *contingentes*. Existem diversas maneiras de interpretarmos objetos e existem muitos sistemas de lógica (alternativos e não compatíveis entre si) para elegermos de acordo com a especificidade requerida. Como dito por

³ Por isso insistimos anteriormente em apenas defender nossa tese como uma possibilidade (coerente, rigorosa, sensata, evocativa) dentre outras possibilidades.

⁴ Uma discussão sobre pluralismo lógico pode ser vista em (RUSSELL, G., 2019).

Krause: “Lógica não é *a priori*.” (KRAUSE, Décio, (forthcoming)).

Neste ponto poderíamos pensar que existe uma diversidade de perspectivas quanto ao raciocinar teórico, à construção de teorias ou às próprias teorias relativas à ciência, muito embora a ciência seja apenas uma. Não obstante, essa hipótese pode ser questionada. Dizemos isso porque a demarcação entre o que é e não é científico é uma questão ainda não solucionada. Até mesmo sendo mais estritos, é difícil saber se duas construções teóricas distintas caem sob o escopo de uma mesma demarcação teórica (FLAUSINO; ARROYO, 2019). Ainda, o que denominamos ciência pode ser vista de diferentes perspectivas como social, econômica, lógica, biológicas, etc. Todas essas perspectivas são consideradas facetas do lugar comum ‘ciência’, contribuindo para a construção de um panorama científico.

15.2 PROCESSO PERSPÉCTICO

Começamos com um domínio das ciências empíricas a ser investigado. Existem diversos aspectos de objetos desse domínio que podem ser de nosso interesse. Assim, procedemos usando dados experimentais ou fenomênicos e utilizando nosso conhecimento prévio já bem estruturado. A partir disso nos valem de dedução e indução (usualmente de maneira informal), buscando trazer rigor⁵ ao processo de construção – geralmente com o uso da matemática. Isocronicamente, fazemos uso de teorias precedentes, assim como somos influenciados em nosso trabalho pelo nosso *background* cultural (por mais que evitemos) e também por *insights* e outras inspirações. Enfim, visamos coincidir nossas observações empíricas com nosso constructo teórico, para que ele seja capaz de fazer previsões.

Nossa investigação sobre um domínio específico pode tomar diferentes rumos, gerando construtos teóricos informais distintos que proporcionam perspectivas não equivalentes sobre esse fragmento particular da *RV* e/ou de *F*. Ao que tudo indica, a atividade científica vem se desenvolvendo nesses moldes ao longo da história: “A história da ciência mostrou diferentes maneiras de observar os detalhes de tal esforço, com (como bem se sabe) opiniões e descrições distintas de filósofos e historiadores da ciências.” (KRAUSE, Décio, (forthcoming), p. 04)

Queremos salientar que esses diferentes rumos são tomados devido a diferentes fatores históricos, culturais, éticos, entre outros, que estão presentes indiretamente na prática científica, pois cientistas são seres humanos que se desenvolveram e estão inseridos em diferentes ambientes. Tais fatores não se apresentam explícitos em seus trabalhos, mas indiretamente podem guiar o rumo de seus processos teóri-

⁵ Vale destacar que existe o termo ‘rigor informal’, cunhado por Georg Kreisel, empregado quando trabalhamos de *maneira rigorosa* nossos raciocínios matemáticos, podendo ser realizados de maneira informal quando somos cautelosos em eliminar propriedades duvidosas e noções intuitivas (KREISEL, 1967).

cos. Ainda que tais fatores sejam importantes e interessantes, vamos nos focar em investigar as diferentes maneiras nas quais são formuladas teorias científicas sobre um certo domínio. Um exemplo disso são as diferentes abordagens típicas à mecânica quântica como a de Schrödinger e a de Heisenberg. Mesmo que de certa forma sejam empiricamente indistinguíveis, pois ambas apresentam o formalismo da mecânica quântica – *i.e.*, são P s distintos de um certo domínio (mecânica quântica) de F porque, em geral, eles são formulados matematicamente de maneira informal, ou seja, não axiomática – ainda assim, se atentarmos às interpretações sobre essas abordagens e às suas construções, notaremos que conseguimos perceber que elas são, nesse sentido, dissidentes.

Abordagens diferentes como a de Schrödinger e a de Heisenberg são empiricamente indistinguíveis no sentido de que ambas podem ser tomadas como ferramentas matemáticas que realizam magnificamente o mesmo trabalho. Contudo, se nos ativermos a uma investigação dessas abordagens em específico, veremos que elas são distintas quanto à construção matemática e também quanto ao implemento ontológico. Então, dado um domínio D , existem (em princípio) diversas P s sobre D , sendo que algumas delas podem não ser compatíveis umas com as outras. Como estamos tratando de P s sobre D , precisamos nos certificar que elas contemplam certas hipóteses e conceitos-chave que induzam à crença de que todas essas P s estão tratando do mesmo domínio D do conhecimento. Esse é um ponto importante, pois diz respeito à questão sobre o que classifica uma teoria (ainda que informal) como pertencente a um domínio específico e em relação à apuração de pré-requisitos específicos que precisamos verificar para constatar que duas teorias distintas estão, de fato, tratando do mesmo domínio de conhecimento (VICKERS, 2013). Voltando ao nosso exemplo, podemos mencionar alguns conceitos-chave que identificam tais P s como ‘mecânica quântica’: o princípio de incerteza, a superposição, o emaranhamento, a dependência estrita à probabilidade, postulados de simetria, a incompatibilidade de certos princípios, o uso da constante de Planck.⁶

Afirmamos acima que no decorrer de nosso estudo sobre um domínio D do conhecimento, podemos chegar a mais de uma P de acordo com a experiência e o *background* do físico.⁷ O processo da atividade científica conduz, num primeiro momento, a uma P formulada em linguagem natural e, fortuitamente, suplantado de símbolos adicionais, conceitos matemáticos e conceitos relativos à física. Eventualmente, uma dessas P é abandonada enquanto outra persevera. De qualquer sorte, podemos endossar que *ambas* contribuíram para uma melhor e mais ampla compreensão do domínio de estudo em questão. Ademais, principalmente tratando-se da física,

⁶ Em alguns casos, os conceitos citados, entre outros, ainda precisam ser mais esclarecidos, ainda que sejam comuns às P s de Schrödinger (mecânica ondulatória) e Heisenberg (mecânica matricial).

⁷ A configuração estudada pode ser aplicada a outras ciências, mas nós aqui vamos nos reportar à física.

tal domínio se afigura peculiarmente rico; sua compreensão, devido à sua complexidade, é difícil de ser alcançada por meio de somente uma P .

Como mencionamos anteriormente, o físico fica satisfeito, geralmente, com sua P , pois a construção desta já é uma confirmação de sucesso em seu trabalho devido ao fato de uma P prover previsões condizentes e explicações úteis. As conclusões alcançadas com P , ainda que informalmente rigorosas, são em seguida reinterpretadas⁸ em termos do domínio D ; posteriormente, sucede-se uma postura de crença adotada pelo físico de que sua P é precisa e coerente, caso tal P esteja de acordo com os experimentos vigentes – caso P ‘salve as aparências dos fenômenos’ (FRAASSEN, 1980, p. 41).

Acontece que, normalmente, os filósofos da ciência não se veem satisfeitos em cessar suas investigações sobre um domínio D na P , desejam ir audaciosamente além. Examinaremos este ponto a seguir.

15.3 FORMALIZAÇÃO EM PERSPECTIVA

A ‘segunda fase’ de nossa composição teórica começa pela construção do que chamamos de Teoria *stricto sensu*. Partindo da nossa P (possivelmente uma entre muitas outras), o próximo passo seria fazer uso do método axiomático “que é possivelmente a melhor metodologia disponível para manter uma teoria suficientemente precisa considerando seus aspectos fundacionais.” (KRAUSE, Décio, (forthcoming), p. 06).

Vimos no capítulo 5 que a nossa configuração metateorética origina, sobretudo, dois tipos de teorias: uma Teoria axiomatizada obtida através da explicitação de seus conceitos primitivos e postulados – mas sem uma explicação detalhada e presupondo uma lógica subjacente que remete, possivelmente, a uma teoria dos conjuntos – e uma Teoria formalizada que fornece todos detalhes sobre a Teoria – sua linguagem, regras de inferência, sua lógica, entre outros. Em outras palavras, basicamente podemos optar por construir nossa Teoria a partir de nossa P de forma pressuposta (abordagem interna) ou explícita (abordagem externa). Vale salientar que assim como temos mais de uma P possível, temos também mais de uma T possível; o caminho a ser seguido se dá também por uma questão de *escolha*. Essa questão de escolha (que está submetida a um rigor) é um dos fatores que nos leva a defender a posição perspectivista. Costumeiramente, há mais de uma opção a se seguir, sendo que todas elas estão cerceadas por alguma acrimônia; fazendo com que haja perspectivas e não uma anarquia imagética, um relativismo. Normalmente, o que rege a escolha é o interesse por apresentar uma construção mais rigorosa ou não: “em certo sentido,

⁸ Notemos que já há um grau de interpretação quando nos encontramos na P . Voltaremos a este ponto a seguir.

o nível de rigor que conseguimos é associado à ênfase que colocamos no método axiomático”. (KRAUSE, Décio, (forthcoming), p. 07).

Na abordagem interna há sempre um conteúdo pretendido dos conceitos básicos,⁹ cujos significados são apanhados de maneira informal nas P s sobre o domínio D . Assim sendo, os M s de uma T são estruturas conjuntistas construídas em ZF, são *conjuntos* em ZF que satisfazem o predicado. É interessante ressaltar que essa abordagem não pode ser usada para definir, *e.g.*, a Teoria ZF, porque estaríamos supondo a existência de um Modelo *de* ZF em ZF e isto é impossível devido ao segundo teorema de incompletude de Gödel.¹⁰

Na abordagem externa, definimos todos os detalhes referentes a T . Relembrando o capítulo 5, temos os postulados lógicos, os postulados matemáticos e os postulados específicos de T . De qualquer forma, podemos supor que uma vez axiomatizada, a teoria se torna abstrata – obtemos o que gostamos de chamar de independência da Teoria.¹¹ Em outros termos, conquistamos a possibilidade de obter diferentes interpretações,¹² distintas daquela que uma vez originara a Teoria, a interpretação pretendida.

Ao elegermos uma P (entre as possíveis) podemos obter uma diversidade de T s – axiomatizadas ou formais – associadas a ela. Uma T em particular é estabelecida por meio de conceitos primitivos que *escolhemos* adotar enquanto conduzimos nossa axiomatização ou formalização. Agora, precisamos analisar se podemos supor que duas T s originadas de uma mesma P com, por exemplo, linguagens ou postulados distintos, são duas T s distintas. Essa é uma questão intrincada e qualquer que seja a nossa postura diante dela, sendo as T s distintas ou não, ainda está em disputa (VICKERS, 2014).

Saindo um pouco da física e das ciências empíricas, podemos dizer que as axiomatizações da lógica proposicional clássica, mesmo que conduzam às mesmas verdades lógicas, são consideradas diferentes sistemas da mesma lógica, ainda que sejam em certo sentido empiricamente indistinguíveis. O ponto é que todas essas formulações se dão em alguma fundamentação matemática; estamos falando sobre a nossa T formulando suas regras e princípios, estamos em uma metateoria. Embora tenhamos saído das ciências empíricas – levando em consideração que os pontos levantados aqui raramente são debatidos por cientistas em suas atividades – e estejamos centrados na esfera filosófica, não são muitos os filósofos que se importam com os

⁹ Ainda que levemos em consideração o nível de abstração da abordagem interna.

¹⁰ Naturalmente, supondo ZF consistente.

¹¹ A Teoria independente seria como uma entidade do terceiro mundo de Popper (POPPER, K. R., 1979, p. 118).

¹² Notemos que construímos uma T a partir de uma P , esse por sua vez foi construído por meio da investigação de um domínio de F . Acontece que esta investigação já se dá por meio também de uma interpretação, não no sentido lógico formal, mas como uma leitura do domínio de F sendo investigado. Essa leitura, pois, é apenas uma de tantas outras possíveis sobre o domínio em questão, é meramente uma perspectiva entre outras plausíveis.

pormenores tão complexos e peculiares como os estudados aqui. Eles costumam não levar em consideração o fato de que podemos *escolher* diferentes T s para axiomatizar nossa P , por exemplo.

A possibilidade de escolha nos remete a refletir sobre a existência de consequências para essas escolhas. Outrossim, são importantes consequências acarretadas por essas escolhas, o que também suscita a reflexão em relação à justificativa para uma escolha em particular. Abordaremos estas questões a seguir.

15.4 A POSSIBILIDADE DE ESCOLHA

Precisamos retomar o caminho percorrido até aqui. Começaremos considerando uma Teoria em particular, supondo que ela está axiomatizada ou formalizada por um predicado conjuntista – no sentido de Suppes (SUPPES, Patrick, 2002), que esse predicado define uma *espécie de estrutura* e que as estruturas que satisfazem o predicado são estruturas dessa espécie ou M s do predicado.

Como estamos interessados nas ciências empíricas – na física em específico, nosso M pretendido de nossa T particular é por vezes chamado de D , assim como nosso domínio de interesse de conhecimento D também é; lembrando que este domínio de conhecimento D se condiciona em F . É preciso ter cautela neste momento, pois D , como domínio configurado em F , é distinto de D configurado como M de uma T particular que foi construída a partir de uma P .¹³ Por mais que o M pretendido vise representar a interpretação que temos de uma porção de F , é preciso ter ciência de que denominá-los ambos de ‘ D ’ é um abuso de linguagem.¹⁴

O que estamos apontando é que, ao cometer tal abuso de linguagem, estamos abrindo mão de uma melhor e mais efetiva comunicação; alcançamos isso com uma expressão detalhada de nosso trabalho, sem obliterar o processo de elaboração de teorias empíricas, por exemplo. Ou seja, defendemos que tal abuso deva ser evitado, senão qualificado. Pensamos que uma investigação da RV em um *sentido preciso* por meio de um domínio de F , *i.e.* da experiência, não possa ser um M de uma T . Quando tratamos da RV , de fato, não conseguimos pensar em aplicar um processo de tamanha precisão – intentando uma correspondência direta – sem a ameaça de sucumbir à falta da preterida precisão e, quiçá, à especulação. Notemos que estamos desenvolvendo um processo que parte de um domínio de F a ser investigado, por mais que ainda possamos pensar que ele seja vago, inicialmente, efetuamos uma delimitação desse domínio de conhecimento para então efetuarmos seu estudo. Aliás, a questão é que nem trabalhamos efetivamente com o domínio D de F de maneira

¹³ Sendo que essa P foi estruturada a partir do domínio de conhecimento D .

¹⁴ Pensamos que todos fazemos por vezes abusos de linguagem, mas é preciso lembrar que só se torna um abuso de linguagem quando há a compreensão da linguagem sendo abusada, do conteúdo que está sendo trespassado.

direta; trabalhos com uma *representação matemática de D*, viz sua *P* (inicialmente) e este originará outra estrutura matemática – uma *T* – que erigirá *um* dos *Ms* da *T* (que intencionalmente se refere ao domínio *D*). Assim sendo, só podemos considerar que o *M* se refere *indiretamente* ao domínio *D*. A propósito, a delimitação do domínio de *F*, do domínio de conhecimento da experiência, já é uma escolha feita pelo cientista. A demarcação dos elementos mínimos para classificarmos algo como pertencente ou não a este domínio provém também de um acordo. Ou seja, nem em *F* há tal relação direta. Por isso, optamos por chamar nossa teoria informal de *P*, já que ela é um protótipo neste sentido, um arcabouço teórico modelado matematicamente seguindo certa perspectiva.

Quando dizemos que *M* se refere indiretamente ao domínio *D*, estamos salientando que os conceitos formulados por nós sobre as ciências empíricas, por exemplo, são conceitos objetivamente fracos. Caso houvesse uma relação direta, estaríamos tratando de conceitos objetivamente fortes e, conceitos relacionados a *F* – às ciências empíricas, à experiência – são conceitos objetivamente fracos (como visto no capítulo 2).

Dito isso, podemos notar a importância de se adotar uma conduta que traga clareza ao trabalho teórico e que, com isso, promova um intercâmbio de informações organizado e criterioso. Além disso, que passe a acomodar uma diversidade de perspectivas, promovendo o bom andamento da atividade científica, tornando-a vigorosa, matiz e úbere.

Logo, o que queremos advertir é o fato de que o *aparato metamatemático* que é escolhido para construção de um *M* pode variar – até mesmo porque há possibilidade de escolha na maioria dos casos (KRAUSE, Décio, (forthcoming)). Aliás, não só para construção dos *Ms*, mas também nas outras etapas construídas para chegarmos até ele. De modo geral, já no esboço de uma *P* temos uma primeira caracterização metamatemática, pois ele é a primeira formulação matemática construída até chegarmos a um *M*.

Com uma caracterização metamatemática, vamos construindo uma formulação matemática de etapa em etapa até chegarmos a um *M*. O ponto é que um *M* (ou uma *T*) só se refere propriamente a um domínio de conhecimento *D* de maneira *indireta* (via uma *P*). Mais uma vez, porque estamos lidando com conceitos e declarações objetivamente fracas configuradas em *F*.

Essa referência é indireta, parcialmente, porque está sendo realizada por seres humanos, lidamos aqui com a objetividade fraca e com o acordo intersubjetivo, lidamos com diversidade de escolha, com perspectivas; e é por isso que pensamos ser lícito nos posicionarmos de forma a endossar o perspectivismo.

15.4.1 Pluralidade

Recordemos que começamos pela *RV*, escolhemos um domínio de conhecimento *D* de *F* e com isso verificamos que podemos formular diversas *Ps* sobre esse domínio. Cada *P*, por si só, pode originar várias *Ts* que se referem *indiretamente* a *P*. Uma T^{15} matematicamente abstrata, ainda que motivada por fatores físicos (empíricos), pode ter diversos *Ms*.¹⁶ Esses *Ms* são estruturas matemáticas que verificam os postulados da *T* e que podem refletir os possíveis domínios de aplicação da *T*, devido exatamente à sua abstração. O que acontece por vezes é que a *T* é identificada com sua classe de *Ms*; isso é o que acontece com filósofos que endossam a visão semântica de teorias (FRAASSEN, 1980).

Mais uma vez, um *M* é um *M* de *alguma coisa* e classes de *Ms* não existem *per se*, pois necessitam ser desenvolvidas como *Ms* de um sistema de postulados. Já abordamos esse assunto anteriormente, mas vale lembrar que o domínio empírico *D* não é um *M* no sentido formal de *T*, algo em geral ignorado em filosofia da ciência. Acontece que eventualmente é dito que ele é um ‘modelo’ de *T*. Reparem que temos novamente o abuso de linguagem. É claro que podemos dizer que um domínio empírico *D* é um ‘modelo’ de *T*, mas só podemos fazê-lo cometendo um abuso de linguagem. Precisamos ter consciência que esta é uma conduta informal (agimos informalmente na metamatemática), que quando dizemos que um domínio empírico *D* é um ‘modelo’ de *T*, estamos nos expressando de forma a caracterizar o domínio ao qual supomos que a *T* se aplica. Não estamos usando a palavra ‘Modelo’ de maneira formal, caracterizando as estruturas que *modelam* os postulados de *T*.

Como mencionado, uma *T* se refere somente de maneira *indireta* ao domínio empírico *D*. Por essa razão, não podemos associar o conteúdo empírico a conceitos matemáticos de forma *direta*. Associamos esse conteúdo somente através de uma *P* (superior) mais refinada do domínio empírico *D* usando uma matemática (superior) também mais refinada. A variedade de *M*'s de uma *T* formulada como uma *T* matemática provoca algumas questões filosóficas deveras interessantes.

15.5 PRAGMATISMO E RELATIVISMO

Avant tout, precisamos entender que a diversidade de escolhas, a variedade de possibilidades, essa forma de pluralismo, oferece-nos uma pletera de perspectivas sobre o domínio empírico *D*. Cada uma delas reflete aspectos do domínio empírico *D* e elas podem ser vistas como visões parciais sobre tal domínio. Nossa escolha é feita por *critérios pragmáticos* como intuitividade, simplicidade, poder evoca-

¹⁵ Supostamente consistente.

¹⁶ No sentido de *T* e de *Ms* padrão; levando em consideração sua possível categoricidade, entre outras características, como discutido anteriormente.

tivo, entre outros. Não há relativismo aqui, não é que ‘tudo valha’. Também não há a captura do domínio empírico *D in totum*.¹⁷

En outre, as escolhas particulares dos *frameworks* são teoreticamente dependentes. Pensamos que a maneira mais coerente de justificar nossa escolha seja através de critérios pragmáticos. Podemos também fazer uso de critérios metafísicos para auxiliar nossa escolha. *C’est à dire*, não há relativismo aqui; rejeitamos a posição de que qualquer escolha pode ser efetuada sem apresentar diferenças, com igual valor, de forma equivalente, sem distinção, com correspondência uniforme. Caso houvesse relativismo, não teríamos diferença *na prática*, ainda que os formalismos matemáticos sejam diferentes, por exemplo. Contudo, há diferença na prática;¹⁸ inclusive, é a prática que determina essa diferença, são critérios pragmáticos e considerações filosóficas que guiam o uso adequado de nossas *Ts*, cada qual com as suas peculiaridades.

São questões filosóficas extremamente interessantes e importantes¹⁹ como essas que nos motivam a endossar o perspectivismo. A discussão pode ser mais ampla ainda, embora não possamos obter uma resposta definitiva para tais questões dentro de uma *T* particular (axiomática ou formal). Tais questões podem suscitar a curiosidade quanto a onde *T* e seus *Ms* são formulados. Vamos abordá-las com maiores detalhes a seguir.

O que observamos é que *Ms* de uma certa *T* científica (formalizada, axiomatizada ou até uma *P* informal) são costumeiramente construídos em uma certa metamatemática, a qual assumimos ser uma teoria de conjuntos. Ademais, por uma questão de precisão e para não perdermos a generalidade, assumimos tal teoria de conjuntos como sendo ZF (ou ZFC). Em princípio, todas as teorias físicas podem ser descritas nesses moldes. Todavia, como existe a sensibilidade da linguagem, há também o *framework* (meta)matemático no qual nossas estruturas são construídas e a

¹⁷ Ocasionalmente é feita a objeção de que uma ou mais visões não constituem um perspectivismo de fato, baseada no fato de que meras relativizações de algum novo parâmetro fariam somente uma forma de relativismo e não uma forma de perspectivismo. No entanto, vale lembrar que não se trata apenas de alguma visão, mas a maioria das visões discutidas de maneira *standard* no debate de pluralismo lógico, por exemplo – incluindo as visões mais centrais e fundamentais, podem ser entendidas como relativizando consequências lógicas para algo distintivo (RUSSELL, G., 2019). Elas são descritas como pluralismos lógicos de qualquer maneira, presumivelmente porque são visões nas quais se pode razoavelmente afirmar que mais de uma lógica está correta. O mesmo ocorre na ciência sob o nome de *perspectivismo científico* – o qual estamos defendendo. Entendemos que fica mais fácil seguir nosso estudo quando não assumimos uma distinção tão severa quanto às palavras ‘perspectivismo’, ‘pluralismo’ e ‘relativismo’ (se o entendermos como Shapiro (SHAPIRO, 2014, p. 1). Contudo, devido à ideia de que a palavra ‘relativismo’ está usualmente relacionada a um ‘tudo vale’, frisamos mais uma vez que não defendemos essa atitude aqui.

¹⁸ Isto não implica necessariamente que exista uma teoria que seja a melhor em sentido pleno e absoluto. O perspectivismo vai nos abrir a possibilidade de caracterizar uma melhor teoria dependendo do contexto pragmático em que estivermos. Por exemplo, para construirmos um prédio a atitude mais adequada seria utilizarmos a física newtoniana; porém, se estivermos estudando o comportamento de elétrons, a atitude mais adequada seria utilizarmos a mecânica quântica.

¹⁹ São questões como as de Carnap (CARNAP, Rudolf, 1950); assim como ele, as consideramos de extrema importância.

falta de consideração quanto a esse ponto pode acarretar em problemas consideráveis, particularmente, levando em consideração a física atual (KRAUSE, Décio, 2019).

É preciso fazer uma escolha. Além disso, é preciso explicitá-la. O delinear das etapas de elaboração de uma Teoria mostram preocupação com a defesa dos posicionamentos adotados, mostram que se preza pelo zelo e com isso suscitam rigor.

Colocamos neste trabalho nossa perspectiva quanto ao conceito da(s) palavra(s) 'modelo', falando também do conceito de 'modelo' de uma teoria física. No entanto, tal conceito ainda é um tanto quanto elusivo na literatura. Vamos ver na parte III alguns pontos que evidenciam que existem perspectivas a serem elegidas e que essa escolha deve ser considerada com apreço.

Com efeito, todos os temas tratados neste capítulo estão relacionados com a possibilidade de termos diversas perspectivas para contemplar um objeto. Isto manifestadamente afirma um pluralismo²⁰ de possibilidades de investigação. Pensamos que deva ser do interesse do filósofo da ciência, lógico ou fundacionista tomá-las como seu objeto de pesquisa.

²⁰ Notemos que não teremos pluralismo de teorias se tivermos Modelos no sentido lógico, e se os recursos para se selecionar esses Modelos forem apenas a linguagem da teoria.

Parte III

Estudios de Caso

16 ELETRODINÂMICA CLÁSSICA

Neste capítulo iremos apresentar a Teoria Eletrodinâmica Clássica e com isto pretendemos apontar onde se encontra uma inconsistência e o porquê do surgimento desta. Além disso, propomos discutir a importância desta inconsistência na Teoria Eletrodinâmica Clássica para o desenvolvimento da física. Desta sorte, corroboraremos com a tese de que inconsistências não devem ser prontamente descartadas durante a elaboração de teorias científicas, pois tornam fértil o estudo dentro do desenvolvimento científico, implicando em novas possíveis soluções para problemas encontrados no exercício da ciência.

A Teoria Eletrodinâmica Clássica é um exemplo recente, dentro da filosofia da ciência, de uma teoria internamente inconsistente. Serão destacadas algumas características da teoria e introduzidas algumas complicações conceituais que acompanham estas características, a saber, a equação da Força de Lorentz. A reivindicação da inconsistência será defendida contra possíveis críticas presentes na literatura. Será avaliado o significado dessa inconsistência e suas implicações.

Os pressupostos principais da abordagem de Maxwell-Lorentz para as interações microscópicas entre partícula e campo são inconsistentes, embora sejam princípios fundamentais da Teoria Eletrodinâmica Clássica. Os pressupostos são:

1. Existem partículas carregadas e aceleradas.
2. As equações de Maxwell.
3. A equação da Força de Lorentz..
4. A energia se conserva nas interações entre partícula e campo.

A Teoria Eletrodinâmica Clássica explica fenômenos eletromagnéticos descrevendo as interações entre partículas microscópicas carregadas e campos eletromagnéticos. A distinção ontológica entre partículas e campos divide a teoria em duas partes. De um lado temos as equações de Maxwell que nos dizem como partículas criam e afetam campos. Por outro lado, temos a equação da Força de Lorentz que nos diz como campos afetam partículas. A interação entre estas leis é, em parte, governada pelo postulado de conservação de energia. É assumido que para um sistema de partículas e campos a soma das energias cinéticas E_k das partículas e a energia do campo E_f permanecem constantes no decorrer do tempo. Como a energia é transferida entre partículas e campos, isto significa que para um aumento da energia das partículas existe um decréscimo correspondente na energia dos campos e vice-versa.

A partir do estudo destes pressupostos que compõem a teoria, veremos como uma inconsistência se apresenta e com este processo estaremos aptos a responder à seguinte questão: Devemos abandonar esta teoria devido à sua inconsistência

ou devemos acatar a teoria e analisar cuidadosamente esta inconsistência, pois ela parece trazer consigo aspectos importantes sobre o funcionamento da ciência?

16.1 CARACTERÍSTICAS DA ELETRODINÂMICA CLÁSSICA

A Eletrodinâmica Clássica é um exemplo recente de uma teoria internamente inconsistente. Iremos mostrar de que forma, dentro da literatura recente, encontramos uma inconsistência na Eletrodinâmica Clássica. Esboçaremos, também, algumas características importantes da teoria e introduziremos algumas complicações conceituais que acompanham estas características, a saber, a equação da Força de Lorentz. A partir disto, apontaremos a contradição que torna a teoria inconsistente, mostrando a importância da inconsistência na Eletrodinâmica Clássica.

A teoria em questão é a Eletrodinâmica Clássica de Maxwell-Lorentz. Ela descreve interações entre partículas microscópicas carregadas e campos eletromagnéticos. A distinção ontológica entre partículas e campos divide as leis da teoria em duas partes. Por outro lado temos a equação da Força de Lorentz que nos diz como campos afetam partículas. A interação entre estas leis é, em parte, governada pelo postulado de conservação de energia. É assumido que para um sistema de partículas e campos a soma das energias cinéticas E_k das partículas e a energia do campo E_f permanecem constantes no decorrer do tempo. Como a energia é transferida entre partículas e campos, isto significa que para um aumento da energia das partículas existe um decréscimo correspondente na energia dos campos, e vice-versa.

Para um sistema fechado escrevemos: $\Delta E_k + \Delta E_f = 0$

Se a energia está deixando ou entrando ao cruzar uma superfície fechada no sistema, a equação de conservação de energia é: $\Delta E_k + \Delta E_f = E_s$. Isto é, a equação vale para qualquer sistema e para qualquer período de tempo, sem importar o quão pequeno seja.

A equação da Força de Lorentz tem um papel central nesta discussão. Ela nos diz como campos afetam partículas. Se dá da seguinte forma:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Os vetores \vec{E} e \vec{B} denotam as propriedades dos campos elétrico e magnético respectivamente sobre a(s) partícula(s) e q , \vec{v} e \vec{F} denotam, nesta ordem, a carga, a velocidade e a Força de Lorentz experimentadas pela partícula¹. Precisamos ter em mente que nesta situação já sabemos os valores de \vec{E} , \vec{B} , q e \vec{v} e que utilizamos a equação acima para descobrir \vec{F} . Todavia, existem algumas complicações importantes que se escondem na interpretação de \vec{E} e de \vec{B} e que, muitas vezes, a literatura pode nos enganar.

¹ Como estamos tratando da Eletrodinâmica Clássica, ignoraremos toda generalização relativística da Teoria Eletromagnética neste trabalho. Ver mais em: (R. P. FEYMMAN R. B. LEIGHTON, 1964).

Consideremos uma única partícula carregada em movimento uniforme no tempo t_0 . Quais fontes de campo a equação da Força de Lorentz deve levar em consideração? A primeira, e certamente mais óbvia, é a fonte de campos externos, que chegam à partícula no tempo t_0 , provinda de outra(s) partícula(s) carregada(s). Veja bem, é fundamental para a Teoria Eletromagnética Clássica que campos externos afetem a partícula para que eles participem da equação da Força de Lorentz. Ou seja, estes campos às vezes são distinguidos de outros campos por “*ext*”. Assim:

$$\vec{F}_{ext} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$$

Esta equação contempla somente a força devido a campos externos. A força total é a combinação da força externa e da chamada força interna:

$$\vec{F}_{tot} = \vec{F}_{ext} + \vec{F}_{int}$$

Resta-nos determinar o que é a ‘força interna’, se campos externos causam uma força externa e o que são os campos internos que causam a força interna?

O campo interno mais óbvio e familiar é o campo de Coulomb. De modo simplório, ele é um campo puramente elétrico que circunda qualquer partícula carregada, difundindo-se para o espaço de forma isotrópica e apontando (em sua forma vetorial) diretamente para fora da partícula. Ele é inversamente proporcional ao quadrado da distância, desta forma: $\vec{E}_{Coulomb} = k \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \hat{x}$ (onde $\hat{x} = \frac{x}{|x|}$ e k é a constante).

Este campo pode ser pensado como ligado à partícula, pois a acompanha para onde for. Nenhuma energia é retirada da partícula. As flechas apontando para fora da partícula, representando o campo, não representam efetivamente movimento, mas representam a direção em que outra partícula similar seria lançada se tal partícula estivesse localizada em tal posição. Este campo age sobre outras partículas como um campo externo, porém, lembremos que estamos analisando se ele deveria participar da equação da Força de Lorentz, onde consideramos o efeito sobre a partícula que é ‘portadora’ do campo.

Tomando uma posição clássica, podemos agora supor que a partícula deve ser pontual ou ser um corpo extenso². Se nossa partícula é pontual, então certamente sobre seu ponto temos $r = 0$, assim o campo de Coulomb será infinito em magnitude. O mesmo também acontece para o caso externo, o campo sobre a superfície de uma partícula será muito grande, pois r é muito pequeno. Contudo, para uma partícula estacionária (ou inercial), o campo de Coulomb circundará a partícula simetricamente. Dessa sorte, quaisquer forças se cancelarão entre si, deixando-nos

² Suponhamos que estas concepções são coerentes para o andamento de nossa análise sobre como campos internos e força interna podem ser considerados nessa abordagem. Ler mais em: (R. P. FEYMMAN R. B. LEIGHTON, 1964).

com a força resultante igual a zero. Por conseguinte, o campo de Coulomb não deverá participar em qualquer parte da equação da Força de Lorentz.

Contudo, quando uma partícula está acelerando, sua simetria se perde. Podemos imaginar o campo de Coulomb ficando para trás da partícula e tentando constantemente alcançá-la. Neste caso, parece que a partícula experienciará uma força devido a seu próprio campo; porém, como podemos representar esta situação através da equação da Força de Lorentz? Os detalhes dependerão inicialmente da estrutura da partícula em questão, se ela é um ponto, uma esfera rígida, um corpo não-rígido, entre outros. Se a partícula não é um ponto, então a diferença entre a força do campo em um lado do corpo e do outro lado do corpo serão consideradas, ocasionando complicações. Então, mesmo que o campo de Coulomb da própria partícula seja relevante para a Força de Lorentz sobre a partícula em certas circunstâncias, não se torna óbvio como incluí-lo dentro da equação da Força de Lorentz.

O termo ‘campo de Coulomb’ é normalmente reservado para campos elétricos isotrópicos os quais circundam uma partícula carregada quando observada por meio de si mesma em repouso. No entanto, quando consideramos uma partícula carregada acelerando e introduzimos a relatividade, o campo não é em geral puramente elétrico ou simétrico. Usualmente, utilizamos o termo ‘campo estático’ para o campo que está intrínseco à partícula. Desta forma, o campo de Coulomb é um caso específico de um campo estático. O campo estático provê o contraste para outro tipo de campo interno, a saber, o campo de radiação.

Quando partículas carregadas aceleram – pelo menos fora dos átomos – elas emitem radiação. Na teoria clássica esta radiação é caracterizada como uma onda eletromagnética a qual tem sua intensidade diminuída com $\frac{1}{r}$ da sua partícula. Ela domina o campo estático a grandes distâncias da partícula (já que cai posteriormente com $\frac{1}{r^2}$) e é tomada como existente independentemente do campo estático. Assim, ela não pode ser ignorada como uma perturbação no campo estático; ao invés disso, ela age com se tivesse ‘vida própria’ independentemente de qualquer meio. Há uma distinção entre campos estáticos e campos perpendiculares à direção de propagação e perpendiculares entre si. Já que a radiação é causada pela partícula e não é uma onda num meio, mas carrega seus próprios campos, podemos descrevê-la como um campo emitido: “a energia irradiada pela carga em movimento através do campo eletromagnético emitido é frequentemente chamada de campo interno, E_{int} e B_{int} .” (MULLER, F. A., 2007, p.259).

Aparentemente, Muller utiliza o termo ‘campo interno’ para se referir ao campo de radiação sozinho, mas usualmente este termo é utilizado para se referir a todos os campos que não são externos, campos de radiação ou campos estáticos³. O

³ A distinção entre campos estáticos e campos de radiação não pode ser feita na generalização relativística da teoria, já que nela trabalhamos com o tensor de campo F em vez dos vetores de

relevante é que a radiação emitida é referida como um campo interno. A energia se desprende da partícula em forma de radiação. A energia é conservada, a energia cinética da partícula e sua aceleração decrescem, fazendo com que a partícula experimente uma força interna.

Temos outro tipo de campo interno afetando a partícula e, também, neste caso, não é trivial como escreveremos isso na equação de Força de Lorentz. Destarte, a partícula experimenta uma força porque perde energia e não porque interage com os componentes de radiação dos campos de \vec{E} e \vec{B} . Para incluirmos o campo de radiação na equação da Força de Lorentz como um campo, como ele cai com $\frac{1}{r}$, temos as mesmas dificuldades com o campo de Coulomb que cai com $\frac{1}{r^2}$ quando r se torna muito pequeno. Assim, a forma com que o campo afetará a partícula dependerá da estrutura da partícula.

Contudo, precisamos tomar cuidado, pois a radiação exerce uma força na partícula, mas é uma força de recuo. Com a aceleração, se considerarmos as forças entre as várias partes da partícula, a ação e a reação não são exatamente iguais, fazendo com que a partícula exerça uma força em si mesma, uma força interna.

A força interna é causada pelo campo estático de diferentes partes da partícula afetando outras partes como campos externos⁴ e quando a partícula acelera esses campos as forças não se equilibram. Se a partícula perde energia desta forma, esta energia precisa ir para algum lugar. O campo de radiação é uma manifestação desta perda de energia.

Até o momento a nossa caracterização da equação da Força de Lorentz é:

$$\vec{F}_{ext} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$$

Temos ainda uma força interna quando a partícula é acelerada. Resta-nos duas opções para caracterizar essa força interna:

1. Considerarmos a energia emitida como radiação e calcular a força sobre a partícula usando a conservação de energia.
2. Introduzir um modelo de partícula e calcular a força em diferentes partes da partícula devido aos campos estáticos de outras partes.

De fato, ambas as opções são insuficientes para um resultado satisfatório. A primeira opção nos leva à equação de Abraham-Lorentz, que pode ser escrita na sua

campo \vec{E} e \vec{B} .

⁴ Assumindo uma partícula extensa.

forma não relativística como $\vec{F}_{rad} = \frac{2q^2}{3c^3} \cdot \dot{\vec{a}}$. Infelizmente, esta equação não se segue estritamente do corpo da teoria⁵.

A segunda opção faz com que a F_{int} seja uma função do campo interno da partícula, E_{int} e B_{int} , em vez de sua aceleração. É comum que seja introduzido um modelo de partícula e que seja calculado o modo com que ela interage com seus próprios campos. Se pensarmos em diferentes partes da partícula afetando-se mutuamente através de campos externos, então a equação para a F_{int} será uma equação similar à equação para F_{ext} :

$$\vec{F}_{int} = q \cdot (\vec{E}_{int} + \vec{v} \times \vec{B}_{int})$$

A F_{int} passa a ser somente a força externa em determinada parte da partícula devido a outras partes da partícula. Se considerarmos isto juntamente com as outras forças externas, teremos uma equação total da Força de Lorentz:

$$\vec{F}_{tot} = q \cdot (\vec{E}_{tot} + \vec{v} \times \vec{B}_{tot})$$

Entretanto, o que gostaríamos de saber é sobre como campos afetam partículas como um todo. Para saber a força líquida que uma partícula exerce em si mesma, precisamos saber a estrutura da partícula, pois somente assim estaremos aptos para somar todos os termos da F_{int} para todas as partes constituintes. Contudo, é notoriamente difícil conciliar um modelo de uma partícula elementar carregada com um senso comum físico, resultados empíricos e as restrições da relatividade especial. Mesmo que ignorássemos estas dificuldades, qualquer modelo proposto de uma partícula será especulativo. Além do que, podemos nos perguntar se cada parte da partícula não afeta a si mesma.

É possível que trabalhemos a fim de obtermos uma equação sem introduzirmos um modelo de partícula. No entanto, veremos que $\vec{F}_{int} = q \cdot (\vec{E}_{int} + \vec{v} \times \vec{B}_{int})$ só se segue de uma versão relativística da teoria e não terá serventia sem o envolvimento de um modelo de partícula.

Agora que estamos cientes das dificuldades encontradas na Teoria Eletrodinâmica Clássica e as possíveis maneiras de solucioná-las na prática, voltaremos para o surgimento da inconsistência nesta teoria.

16.2 A INCONSISTÊNCIA

Os pressupostos principais da abordagem de Maxwell-Lorentz para as interações microscópicas entre partícula e campo são inconsistentes, embora sejam princípios fundamentais da Teoria Eletrodinâmica Clássica. Os pressupostos são:

⁵ A derivação não é rigorosa ou fundamental e pode ocasionar difíceis complicações conceituais (JACKSON, 1999).

1. Existem partículas carregadas e aceleradas.
2. As equações de Maxwell.
3. A equação da Força de Lorentz.
4. A energia se conserva nas interações entre partícula e campo.

À primeira vista, estes pressupostos são fundamentais para a teoria. Assim, qualquer inconsistência derivada destas proposições deve ser deveras importante e significativa para teoria. Para darmos continuidade à nossa análise, vamos investigar de forma mais minuciosa o item (3), isto é, a equação da Força de Lorentz.

Entendemos por equação da Força de Lorentz a equação:

$$\vec{F}_{Lorentz} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$$

Podemos assumir inicialmente que $F_{Lorentz}$ compreende a força relativa somente a campos externos, já que somente campos externos estão atuando na equação. Isto, então, deve ser escrito de forma explícita na equação $\vec{F}_{ext} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$

“O efeito de campos magnéticos externos em partículas carregadas é dado pela equação da Força de Lorentz.” (FRISCH, 2005, p. 30)

Mesmo assim, não podemos interpretar a equação da Força de Lorentz desta forma, pois de acordo com ela a mudança de energia numa partícula carregada é devido somente aos efeitos de forças externas. Com isso, temos que a equação da Força de Lorentz seria $\vec{F}_{tot} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$.

Ou seja, toda força eletromagnética experienciada pela partícula carregada está em função somente dos campos externos.

Poderíamos separar a equação da Força de Lorentz em duas partes (como feito anteriormente $\vec{F}_{tot} = \vec{F}_{ext} + \vec{F}_{int}$), indicando as duas diferentes fontes de campos correspondentes. Uma equação que corresponde puramente à Força de Lorentz externa $\vec{F}_{ext} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$ e uma equação correspondente puramente à Força de Lorentz interna $\vec{F}_{int} = 0$. Assim, partículas carregadas não experienciam forças devido a campos internos sob quaisquer circunstâncias.

Todavia, de acordo com a Eletrodinâmica Clássica, uma partícula de fato experiencia uma força devido a seu campo interno quando acelerada, mesmo se tomamos sua interação com seus próprios campos estáticos ou se tomamos seu recuo do campo de radiação emitido. Este fato se segue das equações de Maxwell (2) e da conservação de energia nas interações entre partículas e campo (4).

Quando uma partícula é acelerada, as equações de Maxwell nos dizem que há radiação de energia e por conservação de energia a partícula perde energia,

fazendo com que experiencie uma força, $F_{int} \neq 0$. Com isto, podemos fazer a seguinte inferência:

$$\neg(E_{rad} = 0) \vdash \neg(\vec{F}_{int} = 0)$$

Contudo, acabamos de ver que a equação da Força de Lorentz nos diz que em quaisquer circunstâncias⁶ $F_{int} = 0$. Temos aqui uma contradição derivada das suposições (1) – (4), evidenciando uma inconsistência presente na Teoria da Eletrodinâmica Clássica. Dito de outro modo, as pressuposições principais dessa teoria tornam ela internamente inconsistente, já que dela uma contradição pode ser derivada.

A inconsistência torna-se mais plausível quando vista decorrendo do fato de que a equação da Força de Lorentz ignora qualquer efeito que o campo interno de uma partícula carregada em movimento possa ter. A abordagem padrão trata partículas carregadas como fontes de campos e como sendo afetadas por campos, mas não pelo campo total, que inclui a contribuição da própria partícula carregada, ainda que somente pelo campo externo à partícula carregada.

Dada a inconsistência, precisamos nos perguntar sobre se ela nos proporciona algo importante ou interessante com o qual possamos aprender, enquanto filósofos da ciência, acerca de como a ciência funciona.

16.3 DEFESA DA INCONSISTÊNCIA

Podemos pensar em outro agrupamento de pressupostos que poderiam ser chamados de Teoria Eletrodinâmica Clássica. De fato, pode e foi feito (MULLER, F. A., 2007), mas o que isto acarreta além de um debate entre quais são as razões para se aceitar este ou aquele corpo de pressupostos ou qual a melhor versão da teoria? Teríamos somente uma Teoria Eletrodinâmica Clássica neste sentido?

Essa potencial falha de comunicação pode dar margem para uma ideia de ‘teoria única’, ou, como defende Vickers, para a eliminação do conceito de teoria. É esse tipo de situação presente na filosofia da ciência que queremos combater aqui. Assim, veremos que não há razão para defendermos que haja uma única teoria capaz de adequação empírica. Porém, isto não nos leva a crer que haveria motivação suficiente para que o conceito de teoria fosse eliminado da filosofia da ciência e da própria ciência. De fato, podemos debater sobre qualquer tema dentro da filosofia da ciência e também sobre inconsistências em ciência, mas abandonando o conceito de teoria estaríamos debatendo sobre o quê? Devemos eliminar o conceito de belo da estética ou o conceito de valor da ética apenas porque encontramos também nessas áreas dificuldades tais como as encontradas com o conceito de teoria na literatura

⁶ Incluindo quando a partícula está acelerada.

de filosofia da ciência até o momento? Não nos parece a atitude mais sensata a ser tomada diante da questão.

Uma vez que deixamos claro o sobre o que estamos discutindo, nosso domínio de estudo, explicitamos sua Proto-Teoria, sua lógica subjacente, assim como os pressupostos da teoria em análise, não sobra margem para falhas na comunicação. Defendemos deste modo um pluralismo disciplinado a um eliminativismo insensato.

16.4 ANÁLISE DA INCONSISTÊNCIA

Do modo como foi apresentada a equação da Força de Lorentz temos que

$$\vec{F}_{tot} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$$

Temos a contradição em termos da energia irradiada, $E_{rad} = 0 \wedge \neg E_{rad} = 0$. Todavia, poderíamos apresentar a equação da Força de Lorentz como $\vec{F}_{tot} = q \cdot (\vec{E}_{tot} + \vec{v} \times \vec{B}_{tot})$. Desta forma, a parte da energia puramente interna pode ser escrita como $\vec{F}_{int} = q \cdot (\vec{E}_{int} + \vec{v} \times \vec{B}_{int})$.

Como já discutido previamente, indicar a força interna em termo de campos internos nos provê nenhuma informação, a não ser que seja designado um modelo de partícula em questão.

Vamos supor que seja adotado o seguinte modelo de partícula: um corpo rígido, esférico, carregado com muitas partes contínuas⁷. Deste modo, o campo interno é levado em consideração quando tomamos a força sentida por cada parte infinitesimal do corpo rígido aplicada pelas outras partes. Como as forças internas são casos especiais de forças externas, a equação da Força de Lorentz interna toma a mesma forma da equação da Força de Lorentz externa. Contudo, adotar um modelo de partícula como esse nos traz muitas questões quanto à natureza; questões estas difíceis de serem respondidas. No entanto, vamos assumir que estas questões possam ser respondidas de alguma forma para que continuemos nossa análise.

Consideremos uma partícula carregada e acelerada como uma esfera. Sabemos que para que a energia seja conservada é preciso que a energia que flui pela superfície da esfera num dado tempo seja igual à variação de energia de campo na superfície naquele tempo mais a variação da energia da partícula naquele tempo, $\Delta E_s = \Delta E_c + \Delta E_p$. Será que isto se reflete no formalismo?

A integral de superfície do vetor de Poynting⁸ para o fluxo de energia na superfície pelo tempo é $\frac{1}{\mu_0} \int_S (\vec{E} \times \vec{B}) d\vec{S}$. Como \vec{E} e \vec{B} provêm das equações de Maxwell, eles são os campos totais. Seguindo, então, as equações de Maxwell:

⁷ Este modelo é adotado em muitos livros básicos, como (NUSSENZVEIG, 2014)

⁸ O vetor de Poynting representa a densidade direcional do fluxo de energia (a quantidade de energia transferida por unidade de área, em Watts por metro quadrado ($W \cdot m^{-2}$)) de um campo eletromagnético.

$$\frac{1}{\mu_0} \int_S (\vec{E} \times \vec{B}) d\vec{S} = \frac{-d}{dt} \int_V \frac{\vec{E} \cdot \vec{E} + \vec{B} \cdot \vec{B}}{8\pi} dV - \int_V \vec{J} \cdot \vec{E}_{tot} dV$$

O termo da direita da equação é a variação da energia de campo dentro da área S por unidade de tempo. Logo, para que haja conservação de energia, no segundo termo da equação temos a variação da energia da partícula por unidade de tempo, como visto em $\Delta E_s = \Delta E_c + \Delta E_p$.

Seguimos trocando \vec{J} do termo direito por $q \cdot \vec{v}$, pois estamos lidando com uma partícula e não com uma corrente ou distribuição de carga, eliminando a integral de volume. Multiplicamos todos os termos pelo incremento de tempo dt . Desta sorte, poderemos lidar com quantidades de energia em vez de quantidades de energia por tempo.

$$\frac{dt}{\mu_0} \int_S (\vec{E} \times \vec{B}) d\vec{S} = -d \int_V \frac{\vec{E} \cdot \vec{E} + \vec{B} \cdot \vec{B}}{8\pi} dV - q(\vec{v} \times \vec{E}_{tot}) dt$$

Esta igualdade nos mostra que a energia que flui pela superfície no tempo dt é igual à variação da energia de campo neste tempo menos $q(\vec{v} \times \vec{E}_{tot}) dt$. Esta expressão nos dá a variação de energia da partícula.

Obtemos a variação de energia da partícula através da equação da Força de Lorentz e pelo fato de que o trabalho feito sobre a partícula no tempo dt é igual à variação da energia cinética da partícula neste dado tempo.

$$W = \vec{F} \cdot d\vec{l} \qquad \vec{v} = \frac{d\vec{l}}{dt} \qquad W = \vec{F} \cdot \vec{v} dt$$

$$\vec{F} \cdot \vec{v} dt = q\vec{v} \cdot \vec{E} dt + q\vec{v} \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) dt = q\vec{v} \cdot \vec{E} dt$$

$$\vec{v} \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) = 0$$

Assim, a variação de energia da partícula no tempo dt é dada por $q\vec{v} \cdot \vec{E} dt$. Se o campo elétrico \vec{E} na equação da Força de Lorentz representa o campo total \vec{E}_{tot} , então há conservação de energia. Assumindo que a energia seja conservada,⁹ conseguimos chegar a uma configuração consistente¹⁰.

Esta configuração como é apresentada traz consigo algumas características vantajosas em relação à primeira.

I Ela é consistente;

⁹ Assumindo também a legitimidade da derivação apresentada.

¹⁰ Para que seja possível substituir \vec{J} por $q\vec{v}$ é necessário que seja considerada a natureza da partícula carregada.

- II A equação da Força de Lorentz total é fundamental, enquanto a equação da Força de Lorentz externa é vista como surgindo naturalmente quando usada uma boa aproximação;
- III A versão da lei com o campo total deve ser escolhida, levando em conta todos os fatores envolvidos;
- IV Há conservação de energia;
- V A primeira configuração pode tornar lícita a transformação de qualquer teoria em uma teoria inconsistente.

Destarte, estas características parecem minar a primeira configuração, fazendo com que não haja inconsistência. Devemos ficar atentos aqui quanto à questão de que não estamos buscando saber qual configuração da equação da Força de Lorentz pertence à teoria. É importante se ater ao mérito de que na primeira configuração há uma inconsistência importante e interessante.

(I) Quando se sustenta que a segunda configuração é consistente e por isso deveria ser incorporada à teoria, na realidade está se sustentando a ideia de que se a primeira configuração, na qual encontramos uma inconsistência, se incorporada à teoria, ela deixaria de sê-lo exatamente por tornar-se inconsistente. Esta ideia é refutada quando estamos de acordo com a explicitação das etapas da elaboração de uma teoria e assim é estabelecida especificamente uma lógica subjacente. Podemos incorporar uma lógica que abarque a inconsistência, evitando o advento de tal circunstância. Desta forma, a suposta vantagem da segunda configuração é minada.

O conceito de teoria entra aqui em discussão, pois para alguns ele pressupõe consistência e para outros não. Estas duas concepções assim colocadas fomentam facilmente discussões e desacordos. Todavia, se adotarmos a explicitação das etapas de elaboração de uma teoria, especificando sua lógica subjacente, sua Proto-Teoria, etc., este problema se dissolve, pois o domínio do discurso se torna claro; e além disso, essa flexibilidade e liberdade pragmática de escolha cria novas perspectivas que enriquecem o desenvolvimento científico e filosófico.

Quando estamos engajados em uma investigação sobre proposições que podem ser aceitas como candidatas para uma explicação verdadeira de um domínio relevante de um fenômeno, é usual pensar que uma inconsistência descartaria a teoria. Contudo, sabemos que a Eletrodinâmica Clássica foi suplantada e assim não é mais candidata para uma explicação verdadeira dos fenômenos eletromagnéticos. No entanto, uma teoria é originalmente apresentada como uma *candidata* para a explicação verdadeira do fenômeno. A segunda configuração se encaixa neste modelo de investigação.

Podemos também estar engajados em uma investigação para construir uma teoria que nos permita construir modelos bem-sucedidos do fenômeno em seu domínio e, para ser bem-sucedido, este modelo deve representar o fenômeno em questão com o grau de precisão mais adequado para o caso em questão. Ora, neste caso não há menção sobre ‘a verdade’, há a preocupação em construir modelos bem-sucedidos. A primeira configuração se encaixa neste modelo de investigação.

Fica claro que quando construímos uma teoria, temos uma intenção, um objetivo, que nos guia na construção da teoria em questão. Podemos focar em uma teoria que seja candidata à verdade ou podemos construir uma teoria que nos permita construir modelos bem-sucedidos do fenômeno investigado.

Precisamos evidenciar aqui que existe mais de uma maneira de explicarmos um fenômeno, podendo haver mais de uma teoria neste sentido. Como apresentado até então, podemos ter duas configurações da equação da Força de Lorentz, e a teoria que obtemos utilizando cada uma delas nos provê uma perspectiva sobre o fenômeno e é elegida de forma pragmática de acordo com os objetivos a serem estudados. A segunda configuração, por exemplo, é escolhida para quando a Eletrodinâmica Clássica é ensinada, uma vez que o modelo de partícula nela apresentado é mais didático para um primeiro momento de aprendizagem. A primeira configuração permitiu um estudo mais profundo sobre a razão da inconsistência, fomentando o estudo em direção à física moderna.

O pluralismo aqui defendido só é lícito se houver uma descrição específica das etapas que envolvem a construção da teoria. Nele há a vantagem da liberdade de escolha de acordo com as motivações envolvidas em questão. Não é necessário o descarte irrestrito de candidatas à teoria por não se encaixarem a uma única abordagem vigente. Essa atitude rígida nos leva a uma infertilidade no terreno da filosofia e da ciência; descartar dados pelo simples fato de destoarem do corpo teórico vigente é no mínimo insensato.

(II) Quando se diz que a equação da Força de Lorentz total é fundamental, se quer dizer que era nesta forma que os cientistas da época estavam trabalhando para uma séria candidata à explicação da verdade. Quando se diz que a equação da Força de Lorentz externa é vista como surgindo naturalmente quando usada uma boa aproximação, se quer dizer que a equação da Força de Lorentz externa era vista como falsa, já que os cientistas da época sabiam que partículas carregadas e aceleradas experienciam uma força devido à radiação interna.

Mais uma vez vemos que a suposta vantagem da segunda configuração se esvai se nos desprendermos da busca pelo conteúdo *da teoria*. Este tipo de busca não é frutífera, mas excludente.

(III) Se adotarmos tanto a primeira configuração quanto a segunda configuração, as equações de Maxwell continuam inclusas e elas dizem que partículas

carregadas aceleradas irradiam energia. Pela conservação de energia, também inclusa em ambas configurações, as partículas perderão energia e com esta perda podemos inferir uma força na partícula. Assim, é razoável que os campos internos façam parte na equação da Força de Lorentz, já que estão inclusas neste sentido.

Mesmo se estivéssemos interessados na teoria candidata a uma explicação verdadeira ou uma teoria que é usada como modelo, devemos focar no domínio relevante do fenômeno que está em jogo. Quando se propõe a elaboração de uma teoria na ciência, esta proposta prevê que haja um domínio bem definido do fenômeno em questão. Certamente, os limiares naturais do domínio criam limiares para como a teoria é elaborada.

Dentro do domínio da Teoria Eletrodinâmica Clássica existem fenômenos relevantes que levam em consideração a equação da Força de Lorentz total? Aparentemente não, a equação da Força de Lorentz externa é empiricamente adequada até que entremos num estágio onde os efeitos quânticos aparecem. E estes efeitos quânticos aparecem antes mesmo dos efeitos da radiação interna. Ora, é de acordo geral que a Teoria Eletrodinâmica Clássica, notoriamente por ser clássica, não abrange efeitos quânticos, são insignificantes para o domínio dos fenômenos relevantes; e se a força interna é igualmente insignificante neste sentido, então por que devemos incorporá-la, como sugere a segunda configuração, no *explanandum* do domínio do fenômeno? Certamente há uma razão para que ela não esteja envolvida, assim como os efeitos quânticos também não estão.

Todavia, devemos lembrar que os Campos Internos não devem ser rejeitados, mesmo que pareçam insignificantes no domínios, pois somente os efeitos dos campos internos na partícula 'principal' são considerados irrelevantes. Os campos internos são extremamente relevantes; são 'observados' e manipulados em experimentos desde os anos 1890, com os raios X sendo uma das seus mais importantes exemplos. Isto, dentro do âmbito das Equações de Maxwell consideradas até então. Assim, mesmo que a força interna seja negligenciada no domínio, os campos internos não parecem ser.

Com isso, queremos salientar que se tomarmos 'estar envolvido' como sinônimo de 'ser significativo' em/para uma teoria, as proposições que envolvem a primeira configuração têm mais uma motivação para serem consideradas em conjunto, sustentando a inconsistência. A radiação interna surge como efeito de partículas em campos, no âmbito das Equações de Maxwell. Não podemos ignorar isto, exatamente porque consideramos as Equações de Maxwell. A força interna surge do efeito de campos em partículas, dentro do âmbito da Equação Força de Lorentz. Todavia, este fato é ignorado e, assim, a Equação da Força de Lorentz *não deveria* ser considerada - da mesma forma como não consideramos efeitos quânticos. Desta forma, uma abordagem consistente de interações entre campos e partículas não pode ser considerada

através de um apelo ao que 'é significante'.

As fronteiras da Eletrodinâmica Clássica seriam definidas de acordo com os limites da sua validade, onde poderíamos interpretar a força interna como estando fora da teoria e o campo interno dentro da teoria. Este fato corrobora com a ideia apresentada de que é deveras importante a elaboração e evidenciação das etapas de construção de uma teoria. Se olharmos o domínio dos fenômenos da Eletrodinâmica Clássica e quisermos uma justificativa para tal delimitação, deparamo-nos com nossa primeira configuração, que abarca de forma natural todas explicações para os fenômenos estipulados. Esta configuração inconsistente, por todos pontos mencionados, torna-se ainda mais interessante e importante para ser estudada.

(IV) A conservação de energia está inclusa dentro das proposições que compõem a primeira configuração, então o apelo à questão da conservação de energia nos parece ser quanto à inconsistência desta proposição em conjunto com as outras que formam a primeira configuração. Mais uma vez, a contestação deste ponto remete somente à busca pela consistência.

(V) O que parecemos encontrar aqui é que qualquer teoria física razoavelmente complexa é inconsistente. Talvez porque haja uma busca por fidelidade à prática dos físicos. Quando observamos esta prática, usualmente, diferentes partes de teorias são ignoradas em diferentes períodos, visando em simplicidade e melhores aproximações. Então, quando incorporamos em uma teoria uma proposição e sua negação, esta poderá representar contextos teóricos onde certos elementos teóricos particulares são ignorados.

Todos os conflitos que surgem devido à comparação entre configurações podem ser evitados se tivermos cuidado ao utilizarmos a palavra 'teoria'. Todavia, o modo pelo qual optarmos por utilizar a palavra 'teoria' pode não nos ajudar a entender como funciona a ciência, a física. O modo como a filosofia da ciência trabalha com o estudo de teorias científicas deve ser facilitador, flexível e disciplinado. Para não haver falha de comunicação e mal-entendidos, parece-nos eficaz que apresentemos todas etapas de elaboração de uma teoria. Não há necessidade de um conceito singular e rígido, que se apresenta como um obstáculo dentro do estudo filosófico e científico. Também não vemos necessidade de eliminar este conceito, pois estamos tratando de teorias, mas sim de um estudo mais atento e minucioso.

Não nos parece coerente que a primeira configuração possa tonar lícita a transformação de qualquer teoria em uma teoria inconsistente, pois a primeira configuração nos diz que a Eletrodinâmica Clássica é inconsistente devido à força interna ser sempre significativa dentro do domínio, mesmo que campos internos não sejam. Não estamos dizendo que incluímos, por exemplo, $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ somente porque algum ponto teórico é às vezes deixado de lado. Na primeira configuração, a força interna deve ser sempre ignorada para que possamos incluir $\vec{F}_{int} = \vec{0}$. A inconsistência na Eletrodinâ-

mica Clássica se dá devido ao fato de que os campos internos são significativos para o domínio observável da Eletrodinâmica Clássica, enquanto as forças internas não são. Com isso, parece-nos um contrassenso generalizar que a primeira configuração torna lícita a transformação de qualquer teoria em uma teoria inconsistente, já que este fato parece ser bastante idiossincrático e pouco frequente na física como um todo.

Neste ponto, todas as críticas que a segunda configuração poderiam trazer à primeira foram suficientes para miná-la. Mais uma vez, devemos nos questionar se a inconsistência identificada na teoria é interessante e significativa dentro de toda esta análise. É o que veremos a seguir.

16.5 IMPORTÂNCIA DA INCONSISTÊNCIA

A Teoria Eletrodinâmica Clássica é a abordagem teórica mais comum para modelar as interações entre partículas carregadas e campos eletromagnéticos. Todavia, podemos identificar a Teoria Eletrodinâmica Clássica também como comprometimentos doxásticos da comunidade pertinente, cujos constituintes teóricos eram/são considerados candidatos para verdade do domínio relevante do fenômeno. Além de talvez haver uma falha no sentido da nomenclatura da teoria, não há razão para que ambos os programas de pesquisa não existam lado a lado. Ou seja, tanto a primeira quanto a segunda configuração são possíveis e uma não exclui a outra, como discutido anteriormente. O que é preciso é que seja considerado o esquema conceitual como um todo de cada programa de pesquisa, de cada configuração, de cada teoria, em seus próprios termos.

Quando nos asseguramos de ter um estudo minucioso de cada programa de pesquisa, podemos nos desvencilhar das más interpretações para nos preocuparmos com as questões realmente importantes sobre a ciência e não tanto sobre questões sobre como falamos sobre ciência. Dito isso, o que há de interessante que podemos retirar da inconsistência estudada até então? Primeiramente, vamos focar na justificativa para aceitarmos $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ como componente da Equação da Força de Lorentz.

Vimos até então que, apesar de muitas décadas de estudos, não há uma descrição completamente satisfatória dos efeitos das forças internas. A força total, $\vec{F}_{tot} = q \cdot (\vec{E}_{tot} + \vec{v} \times \vec{B}_{tot})$ é de pouquíssimo uso, já que não há uso para a parte da força interna desta equação $\vec{F}_{int} = q \cdot (\vec{E}_{int} + \vec{v} \times \vec{B}_{int})$ a não ser que levemos em consideração todas as dificuldades citadas quanto ao modelo da partícula carregada levada em questão. Porém, não é necessário que sejam incluídos os efeitos da força interna na equação da força de Lorentz para que seja eliminada a inconsistência. O que pode ser feito é retirar qualquer referência à força interna, removendo-se $\vec{F}_{int} = \vec{0}$, ficando, assim, com uma equação da força de Lorentz puramente externa $\vec{F}_{ext} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$. Contudo, poderíamos pensar que estamos completamente no

escuro quanto à força interna. Isto não é o caso, pois podemos utilizar as Equações de Maxwell e o princípio de conservação de energia para nos guiar quanto à questão da força interna. Na maioria dos contextos apresentados na literatura, podemos derivar que $\vec{F}_{int} \approx \vec{0}$, dado que esta informação já está contida nas Equações de Maxwell e no princípio de conservação de energia. Sendo assim, por que precisamos incluir $\vec{F}_{int} = q \cdot (\vec{E}_{int} + \vec{v} \times \vec{B}_{int})$ como componente da Equação da Força de Lorentz? Como poderíamos precisar de ambas situações, $\vec{F}_{int} \approx \vec{0}$ e $\vec{F}_{int} = \vec{0}$?

Discutimos anteriormente que a força interna é sempre insignificante no domínio da Eletrodinâmica Clássica, pois $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ aparece no limite dos fenômenos relevantes do domínio. A força externa é empiricamente adequada até o momento da aparição de efeitos quânticos. “Somente para fenômenos envolvendo distâncias de $10^{-15}m$ e intervalos de $10^{-24}s$ é que podemos esperar que efeitos de irradiação sejam cruciais para o fenômeno em consideração.” (JACKSON, 1999, p. 747).

Contudo, o tempo microscópico e a distância considerada no parágrafo anterior, são derivadas da Fórmula de Lamor para a energia irradiação de uma partícula acelerada. Devemos frisar que não estamos analisando a Teoria Eletrodinâmica Relativística, e sim a Teoria Eletrodinâmica Clássica. “A Teoria Eletrodinâmica Clássica é uma teoria clássica apenas porque não é uma teoria quântica.” (FRISCH, 2005, p. 29). Sendo assim, quando levamos em consideração a fórmula da energia de irradiação relativística, vemos que a irradiação emitida depende de γ^6 (JACKSON, 1999, p. 666). Ou seja, para uma partícula viajando a velocidades próximas à da luz, a energia irradiada aumenta drasticamente e assim a força interna se torna muito mais significativa.

Ao levarmos em consideração o que foi dito, ainda ficamos com distâncias e intervalos de tempo muito pequenos, ou seja, ainda precisamos levar em consideração, então, outro fator que é o acúmulo dos efeitos a longo prazo. Por exemplo, já que uma partícula em um síncrotron está continuamente irradiando energia, os efeitos se acumulam. Nos síncrotrons mais antigos, a perda por período era dada por $1000eV$ e este valor não pode ser ignorado quando comparado à energia absorvida pelo elétron por período. Nos síncrotrons modernos, a energia perdida é de $300 \cdot 10^6 eV$ por período (JACKSON, 1999). De fato, efeitos quânticos podem ser ignorados nesta situação, já que a constante de Planck é da ordem de $10^{-15} eV/s$. Com isso, a equação derivada para ao raio da órbita final de uma partícula carregada acelerada, dado o raio de órbita inicial leva em consideração uma força interna em um contexto não-quântico¹¹

Um fenômeno, como o descrito, que acontece em um síncrotron faz parte do domínio relevante da Teoria Eletrodinâmica Clássica, assim não podemos justificar que a $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ na teoria, dizendo que a força interna pode ser *sempre* ignorada. Ora, poderíamos restringir o domínio em que podemos aplicar a teoria, para descon-

¹¹ Podemos ver um exemplo em: (JACKSON, 1999)

siderarmos esta situação. Todavia, notemos o seguinte, ao invés de considerarmos a força interna como sempre irrelevante, vamos nos voltar para o fato de que a Equação da Força de Lorentz é sempre utilizada para os fenômenos relevantes do domínio. Rapidamente, podemos acatar esta afirmação como verdadeira para a maioria dos contextos, onde sabemos de antemão que qualquer força interna será ignorada. Afinal, em tais contextos podemos justificar a inclusão de $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ com o fundamento de que $\vec{F}_{int} \approx \vec{0}$. É extraordinário o fato de que $\vec{F}_{tot} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$ é utilizada até mesmo quando é sabido que a força interna não pode ser ignorada. Em outras palavras, faz-se o uso de $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ (como parte componente da Equação da Força de Lorentz) mesmo quando se sabe muito bem que $\neg(\vec{F}_{int} \approx \vec{0})$.

Levemos em consideração a irradiação no síncrotron, onde a força interna não pode se ignorada. “Primeiramente, o movimento da partícula carregada em um campo externo é determinada, negligenciando a emissão de radiação; em seguida, a radiação é calculada por meio da trajetória.” (JACKSON, 1999, p. 578). No primeiro passo, não podemos deixar de considerar que $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ e proceder somente com a Equação da Força de Lorentz externa $\vec{F}_{ext} = q \cdot (\vec{E}_{ext} + \vec{v} \times \vec{B}_{ext})$. Não haveria problema se estivéssemos somente calculando a força provinda de campos externos, mas consideremos como passamos deste passo para a trajetória da partícula. Se por um lado temos somente \vec{F}_{ext} , então (aplicando as Leis de Newton) a órbita calculada seria a órbita resultante de campos externos. Agora, qual a relevância científica e histórica tem toda esta reconstrução da prática científica? Ora, nenhum cientista trabalha desta forma e está longe de estar claro como este modo de tratar o assunto faz qualquer sentido. Respondendo à questão, não há relevância. Não faz sentido, porque mesmo que \vec{F}_{ext} seja parte componente da \vec{F}_{tot} e, assim existe, em partes, por si, a órbita provinda de campos externos não pode ser parte componente total da órbita. Portanto, elas não existem da mesma forma e qualquer que seja a tal referência, ela se perde.

Dito isso, os pressupostos de (1) – (4), que apontam a inconsistência, fazem sentido, de fato, estarem juntos, pois eles precisamente modelam os fenômenos relevantes do domínio da teoria. Notavelmente, mesmo quando consideramos fenômenos qualitativamente diferentes, onde a força interna não pode ser ignorada, os mesmos pressupostos são utilizados. Isto nos mostra que, em se tratando da Teoria Eletromagnética Clássica, há um consenso científico muito bom para se fazer regular o uso deste conjunto de pressupostos que são mutuamente inconsistentes.

Quaisquer questões acerca da racionalidade da ciência e a ameaça da inconsistência são agora facilmente descartadas. Primeiramente, é fácil observar que não há inconsistência doxástica: $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ nunca foi uma candidata para a verdade, pelo menos para qualquer contexto em que a partícula esteja acelerada. Pelo contrário, $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ foi usada para fazer progresso e alcançar conclusões aproximadas em

contextos onde $\vec{F}_{int} \approx \vec{0}$ e também em contextos onde $\neg(\vec{F}_{int} \approx \vec{0})$.¹²

E quanto à ameaça de *ex contradictione quodlibet*? Cientistas definitivamente estavam se utilizando de um conjunto de pressupostos inconsistentes e em grande parte se utilizando de inferências que preservam a verdade. Como eles contornaram a derivação de proposições arbitrárias? Podemos dizer que somente um subconjunto de proposições são sempre utilizados para construção de um modelo e que a escolha de proposições depende de qual aspecto da interação entre cargas e campos os cientistas têm interesse. Contudo, parece-nos que em alguns contextos todo conjunto de proposições inconsistentes foram utilizados em um único ‘bloco de raciocínio’. Por exemplo, quando modelamos uma trajetória de partículas aceleradas num síncroton, assumimos como zero a força interna no primeiro passo, mas depois introduzimos um segundo passo onde a força interna é levada em consideração. Mesmo que haja dois passos, eles são considerados como um bloco de raciocínio: um pressuposto é utilizado no primeiro passo, e resultados baseados nesses pressupostos são utilizados para o segundo passo.

Independentemente de como sejam reconstruídos os procedimentos, não há perigo de *ex contradictione quodlibet* aqui. Não é necessária uma explicação sobre a continuação do raciocínio dos cientistas. Ora, é de se esperar que, quando cientistas sabem que pelo menos um de seus pressupostos é definitivamente falso, eles procedem com maior cuidado. Isto acontece quando lidamos com inconsistências, assim como para qualquer outro tipo de aproximação, idealização, etc. *Ex contradictione quodlibet* não é uma ameaça, porque uma explosão só pode acontecer *via* contradições e o raciocínio irá cessar muito antes de uma contradição ser derivada.¹³ De fato, assim que chegarem a qualquer ponto substancialmente incongruente com o senso físico comum, os cientistas estarão atentos para tomar uma atitude. Neste ponto, cientistas assumem, deveras razoavelmente, que qualquer inferência adicional não terá valor científico.

16.6 PONDERAMENTOS FINAIS

Podemos ter uma construção da Equação da Força de Lorentz dividida entre campo externo e campo interno, esta explicita que em todos os contextos $\vec{F}_{int} = \vec{0}$. Não seria sensato interpretarmos a Equação da Força de Lorentz de acordo com o conteúdo da teoria, pois todos os que trabalham neste campo e todos que trabalham

¹² Teríamos uma ameaça subjacente em relação à inconsistência doxástica no que diz respeito à estrutura da partícula microscópica. Ver mais em: (R. P. FEYMMAN R. B. LEIGHTON, 1964).

¹³ Se os cálculos estão sendo feitos por um computador, uma contradição ou contradições podem não ser notadas. Porém, qualquer consequências absurdas seguidas a partir de então, o serão. Cientistas estão profundamente inteirados de que precisam ter cuidado quanto a confiar em inferências baseadas em pressupostos falsos, especialmente quando os computadores ‘estúpidos’ estão fazendo os cálculos.

na comunidade científica relevante dentro da história da ciência sabem que $\vec{F}_{int} \neq \vec{0}$. Todavia, podemos interpretar a Equação da Força de Lorentz de acordo com o conjunto de pressupostos apresentados anteriormente. Assim, a Equação da Força de Lorentz pode ser agrupada com as Equações de Maxwell, pois as forças internas são sempre ignoradas (dependendo da delimitação do domínio considerado) e na prática se assume que $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ mesmo em contextos onde é sabido que a força interna não pode ser ignorada.

O pressuposto $\vec{F}_{int} \approx \vec{0}$ é derivado das Equações de Maxwell e do Princípio de Conservação de Energia, pode ser suficiente para se ter uma explicação do fenômeno, mas é muito vaga para ser utilizada nos cálculos. Ademais, na prática cientistas não assumem de pronto que $\vec{F}_{int} \approx \vec{0}$ e depois se utilizam disso para justificar o uso de $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ em um passo posterior separado. $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ já é utilizada desde o princípio como uma parte componente da Equação da Força de Lorentz (como pode ser verificado na literatura científica). Dito isso, os pressupostos apresentados neste trabalho podem ser considerados a Teoria da Eletrodinâmica Clássica. Outras versões que tentam eliminar a inconsistência não têm papel relevante na ciência. Buscar uma configuração que traga consistência nada mais é que uma reconstrução planejada para ir de encontro a um *desideratum* filosófico pré-concebido. A partir de uma perspectiva exterior, poderíamos decidir se asseguramos a consistência e escolhermos uma configuração da Equação da Força de Lorentz que nos proporcione isto; porém, se o fizermos, estaríamos reconstruindo a ciência de acordo com nossa perspectiva filosófica ao invés de reconstruí-la de acordo com a história, de fato, e de acordo com a prática científica.

A presença de $\vec{F}_{int} = \vec{0}$ e $\vec{F}_{int} \neq \vec{0}$ nos cálculos sobre fenômenos através das Equações de Maxwell pode trazer, de certa forma, o questionamento quanto à racionalidade da ciência. Porém, não deveria. O questionamento quanto a como os cientistas restringem suas inferências para ignorar derivações sobre toda e qualquer coisa através de *ex contradictione quodlibet* é baseado na suposição absurda de que cientistas são máquinas de dedução, acrílicas sobre consequências de suas inferências mesmo quando sabem que estão raciocinando somente com suposições aproximadamente verdadeiras (DA COSTA NEWTON E FRENCH, 2003). Nessas circunstâncias, cientistas sabem que há perigo quanto à preservação da verdade nas inferências que os estão guiando e, assim, são cuidadosos ao examinar as consequências de tais inferências no âmbito conceitual e empírico. No caso da Teoria Eletrodinâmica Clássica, podemos entender, de forma geral, o processo de fazer inferências de proposições mutuamente inconsistentes do mesmo modo que entendemos o processo de fazer inferências de aproximações e suposições ideais.

Há importantes lições a serem aprendidas no percurso deste estudo. Aprendemos que o modo de delinear os domínios do fenômeno em questão pode

nos levar a trabalhar com proposições mutuamente inconsistentes. Poderíamos especular que, mesmo que na Teoria da Eletrodinâmica Clássica a inconsistência é extremamente óbvia, pode haver casos onde a ela não é percebida. Esta teoria nos mostra que existe um conjunto de proposições que melhor explica um tal domínio bem definido do fenômeno que pode ser inconsistente, porque é preferível a inconsistência do que encarar complicações conceituais esmagadoras que não têm poder explicativo, pelo menos no domínio relevante.

Voltando-nos para a metafilosofia, podemos notar uma importante lição que diz respeito ao quão desastrosa poder ser a falta de cuidado no uso da palavra “teoria”. Certamente há inúmeros modos de selecionarmos proposições associadas aos fenômenos ligados às Equações de Maxwell. Inúmeras teorias. Deveríamos eliminar, então, o conceito de teoria? Bom, eliminar o conceito de teoria não elimina as dificuldades encontradas, mas sim o *common ground*, eliminamos um conceito-chave da filosofia da ciência. Isto, acreditamos, é retroceder senão se abster de um suposto problema que move esta área. E assim, o conceito de teoria toma o mesmo lugar de uma inconsistência em uma teoria. Como visto, pensamos que não devemos eliminar as inconsistências, assim como, não devemos eliminar o conceito de teoria. Por isso, é imprescindível o delineamento do domínio da teoria em questão. A melhor maneira para isso é analisar as etapas de elaboração da teoria para assim compreendê-la minuciosamente e para que com clareza possamos proporcionar uma discussão que seja efetivamente frutífera ao advento científico.

A inconsistência não é uma ameaça para a Teoria Eletrodinâmica Clássica. Não há espaço aqui para um drama científico em relação à racionalidade da ciência ou coisa que o valha. A evidência é sobre os interesses residuais quanto a perceber como a maior parte do *explanandum* do domínio do fenômeno traz consigo o uso, ao menos, regular de proposições inconsistentes. Se quisermos ser dramáticos, vimos que os cientistas persistem no uso de um conjunto de proposições inconsistentes mesmo quando sabem muito bem que este conjunto não pode ser verdadeiro. Isto nos mostra o quão inócua pode ser a inconsistência na ciência, não obstante seu constante avanço.

Uma outra lição que podemos salientar deste estudo de caso é como a delimitação do domínio do fenômeno pode agir como referência para agrupar proposições no sentido de elaborar uma teoria. Na Teoria Eletrodinâmica Clássica, dois problemas são abordados, incluir ou não as forças internas (dado quão irrelevantes são os efeitos destas relativamente a outros fenômenos de interesse) e sobre a inclusão de fenômenos relativísticos. Devemos considerar se faremos as equações relativísticas, se introduziremos a força interna da Equação de Força de Lorentz de alguma forma, se incluiremos pressupostos quanto à estrutura da partícula e se incluiremos suposições ideais ou suposições que trazem explicações bem-sucedidas. Além escolher entre as

opções apresentadas, uma vez que fizermos uma escolha teremos outras decisões difíceis a tomar sobre quais proposições selecionar. Precisamos ponderar sobre qual perspectiva nos apetece, quanto aos moldes passados ou modernos, se levaremos em consideração o comprometimento de alguma comunidade científica ou de algum cientista em específico, entre outros aspectos. Por isso, é preciso delimitar, destrinchar para esclarecer.

Assim, podemos nos perguntar sobre como a ciência funciona e dado certo conjunto de proposições podemos explicar porque é apropriado tal conjunto de proposições no contexto para responder certa questão. Desta sorte, teremos um pluralismo. Como resultado, não teremos algo vago, pois de qualquer forma que definirmos a teoria em questão, estaremos delimitando especificamente a nossa configuração. O conceito de teoria não precisa ser eliminado. Com o pluralismo o grande e importante conceito da ciência e da filosofia da ciência não é perdido. Muitas teorias dão conta de um mesmo fenômeno. Escolhemos a que é mais conveniente segundo uma pragmática e uma perspectiva. Se pudermos justificar nossa escolha para proposições específicas, então qualquer problema quanto à vagueza se esvai. O conceito de teoria só se torna vago pela falta de disciplina e cuidado em apresentar exatamente o que está em pauta.

O conceito de teoria é um conceito abstrato e o que ele deve significar depende muito mais do como ele pode ser analiticamente útil do que sua correspondência com o mundo. Ainda, a importância da inconsistência não deve depender se o objeto que está sendo analisado é referido como 'modelo' ou 'teoria', já que ela pode estar em outra etapa do desenvolvimento científico de uma teoria. Não será um problema encontrar uma inconsistência quando se estabelece devidamente o que se está chamando de teoria e como esta é construída. Talvez precisemos eliminar esta carga 'sagrada' do conceito de teoria, no sentido de que uma teoria já seja algo pronto, que deva ser consistente e que nunca falhe. Se for assim, nós é que falhamos em reconhecer que uma inconsistência pode nos ensinar algo interessante sobre como a ciência funciona (FLAUSINO, Joanne Simon, 2017).

17 ÁTOMO DE BOHR

Em 1904, Joseph John Thomson elaborou um modelo de átomo conhecido por “pudim de passas”. Devido ao experimento envolvendo descargas elétricas em tubos catódicos, Thomson chegou ao seu modelo de átomo, descobrindo o elétron e a relação entre a carga e a massa do elétron. A hipótese de Thomson para seu modelo era a estabilidade dos elétrons distribuídos uniformemente numa “sopa” de carga positiva.

Dentro de toda física conhecida até aquele momento, o modelo do átomo de Thomson era o mais razoável, pois atendia, mesmo que parcialmente, os requisitos que a recente descoberta do elétron exigia para um modelo estável de átomo, como a neutralidade do átomo, por exemplo. Todavia, em 1909, Ernest Rutherford realizou um experimento para investigar a estrutura do átomo. O experimento conhecido como Geiger-Marsden, ou experimento da folha de ouro, demonstrou pela primeira vez a existência de um núcleo atômico, invalidando o até então aceito modelo de Thomson.

O experimento da folha de ouro consistiu na emissão de um feixe de partículas alfa, geradas a partir do decaimento radioativo do radônio, direcionadas a uma fina folha de ouro numa câmara de vácuo. Uma tela de sulfato de zinco foi utilizada como detector para observar as partículas defletidas sob qualquer angulação. O modelo de Thomson previa que todas as partículas alfa deveriam ser defletidas, no máximo, numa pequena angulação. A partir da mensuração do padrão de deflexão das partículas esperava-se obter informações sobre a disposição das cargas dentro do átomo. Contudo, o experimento surpreendeu os cientistas da época, escapando das previsões esperadas. Apesar de muitas partículas alfa terem se comportado como esperado, muitas delas foram defletidas em ângulos maiores que 90 graus e também de volta, em direção ao feixe.

“Foi o evento mais incrível que já aconteceu em toda minha vida. Foi quase tão incrível quanto disparar um projétil de 15 polegadas contra um lenço de papel e ele voltar e bater em você. Em contrapartida, eu percebi que essa dispersão para trás deveria ser resultado de uma única colisão, e quando eu fiz os cálculos vi que era impossível conseguir algo dessa ordem de magnitude a menos que você tome um sistema no qual a maior parte da massa do átomo esteja concentrada em um núcleo atômico. Foi então que tive a ideia de um átomo com centro massivo carregando uma carga.” (RUTHERFORD; HOLTON; CASSIDY, 2002)

Os fatos observados a partir da experiência da folha de ouro nos mostraram que o modelo de Thomson estava incorreto. As ocorrências de partículas alfa defletidas e/ou refletidas nos revelavam que o átomo tinha um núcleo com um número significativo de massa onde cargas positivas estavam concentradas. Para haver reflexão de partículas alfa, elas deveriam chocar-se ou passarem rentes a cargas positivas e esse fenômeno foi constatado em um número significativo de vezes durante o expe-

rimento. Muitas partículas também atravessaram a folha de ouro, dizendo-nos que o núcleo atômico deveria ser relativamente pequeno comparado ao restante do átomo, levando-nos à conclusão de que o átomo deveria ser na sua maior parte um espaço vazio. Esse fato levou Rutherford à conclusão de que o átomo possuiria uma região de baixa densidade.

Utilizando-se somente da física newtoniana, Rutherford chegou à conclusão de que a parte central fortemente carregada, posteriormente nomeada de núcleo, teria de ter por volta de $\frac{1}{3000}$ do tamanho total do elétron¹

Posteriormente, foi obtido o mesmo resultado, encontrado por Rutherford classicamente, através de cálculos utilizando a física quântica. Mesmo tendo diversos problemas, o modelo de Rutherford nos mostrou a existência de um núcleo atômico, dado que se mantém dentro do atual modelo quântico de átomo.

Nossa análise girará em torno da teoria² do átomo de Bohr, um passo posterior à teoria de Rutherford. Desde o início de sua discussão, no início do século XX, ela tem sido controversa. Isso porque sempre foi tomada por muitos cientistas como uma teoria inconsistente. Entretanto, para se afirmar isso, é preciso uma definição rigorosa de inconsistência em teorias científicas, assim como formular o que é exatamente a teoria do Átomo de Bohr e demarcar em que aspecto podemos alegar que essa teoria é inconsistente. Além disso, devemos encontrar onde está a inconsistência na teoria e investigar esse desacordo também em sua contraparte filosófica.

17.1 INCONSISTÊNCIA E O ÁTOMO DE BOHR

Primeiramente, iremos apresentar, *grosso modo*, a teoria do Átomo de Bohr. Mais adiante faremos uma abordagem mais detalhada da teoria. De maneira geral, a teoria do Átomo de Bohr é considerada inconsistente, pois reúne duas teorias incompatíveis, a física clássica e a física quântica. Da física clássica (a qual é composta tanto pela Mecânica Newtoniana quanto as Leis de Maxwell) são utilizadas, por exemplo, a lei de Coulomb e as Leis de Maxwell. De acordo com essa, elétrons em órbita do núcleo se assemelhariam aos planetas orbitando o nosso sol, mas com a força eletrostática fazendo o papel da força gravitacional. No entanto, os elétrons deveriam emitir radiação, o que ocasionaria perda de energia e o consequente colapso

¹ Rutherford E. (1911). "The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom". *Philosophical Magazine, Series 6* 21: 669–688.

² Chamaremos aqui de 'teoria' do Átomo de Bohr por conveniência, mas gostaríamos de deixar claro que é no sentido de uma teoria informal, de uma P . Quando quisermos mencionar uma Teoria *strito sensu*, usaremos T ou escreveremos 'Teoria' com letra maiúscula. Ainda, uma Teoria diz respeito a uma classe de objetos e não a um dado objeto específico. Já nossos Modelos teóricos – nossas P – podem ser bastante elaborados dizendo respeito a objetos em particular, e são por vezes definidos como Teorias erroneamente. Por outro lado, a Teoria Newtoniana, não diz respeito a um objeto em particular, mas a toda a classe de objetos clássicos, podendo assim ser interpretada como objetivamente forte. Diferentemente do caso do Átomo de Bohr.

do elétron em direção ao núcleo. Ademais, essas órbitas poderiam estar a qualquer distancia do núcleo. Em contrapartida, na teoria de Bohr, os elétrons circulam em órbitas fixas atraídos pelo núcleo, estando acelerados, mas quando em uma dessas órbitas não emitem radiação, de forma que não colapsam em direção ao núcleo, a transição de um elétron entre as órbitas “estacionárias” é feita de maneira quantizada – são os misteriosos “saltos quânticos”; e, por fim, existe a órbita mais próxima do núcleo – chamada de órbita estacionária primeira – de onde o elétron não pode mais “saltar” para mais próximo do núcleo.

Em 1913, Niels Bohr desenvolveu um “modelo” matemático³) que se mostrou de acordo com os dados do espectro do átomo de hidrogênio. Os postulados no qual o modelo é baseado são:

- I Um elétron em um átomo se move em órbitas circulares ao redor do núcleo sob a influência da lei de atração de Coulomb entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
- II Em vez de infinitas órbitas, as quais seriam possíveis através da mecânica clássica, só é possível para o elétron mover-se em uma órbita a qual seu momento angular orbital L é um número inteiro múltiplo da constante de Planck h dividida por 2π .
- III Apesar do fato de que o elétron está em constante aceleração, um elétron, movendo-se em certa órbita permitida, não irradia energia eletromagnética. Assim, sua energia total E permanece constante.
- IV A radiação eletromagnética é emitida se um elétron, inicialmente movendo-se em uma órbita de energia total E_i , descontinuamente muda seu movimento para que assim possa mover-se para uma órbita de energia total E_f (com i diferente de f). A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pela constante de Planck h .

O primeiro postulado do modelo de Bohr está pautado no núcleo atômico. O segundo postulado está pautado na quantização. O terceiro postulado retira o problema da estabilidade do elétron que se move em uma órbita circular devido à emissão de radiação eletromagnética, como determina a física clássica. Porém, Bohr simplesmente postula que, nesse caso, a física clássica não é válida para um elétron em órbita circular. Esse postulado baseia-se no fato de que átomos observados experimentalmente são estáveis, mesmo que isso não seja previsto pela física clássica. O quarto postulado é o postulado de Einstein de que a frequência do fóton de uma

³ O sentido da palavra modelo, tal como empregada aqui, é de um esquema matemático que visa captar uma concepção física. Para mais detalhes, ver: (FLAUSINO, Joanne SImon, 2014).

radiação eletromagnética é igual à energia carregada pelo fóton dividida pela constante de Planck h (EISBERG; RESNICK, 1979).

Estes postulados fazem o magnífico trabalho de aliar duas teorias incompatíveis: a física clássica e a física quântica. Quando um elétron se move em órbita circular, assume-se que ele obedece as leis da física clássica, e que se comporta seguindo a ideia não-clássica da quantização do momento angular orbital. Além disso, assume-se que o elétron se comporta de acordo com a teoria eletromagnética clássica - lei de Coulomb - e também que não obedece a outro caráter clássico de que há emissão de radiação quando há movimento acelerado de um corpo carregado.

Desde 1970, a teoria do Átomo de Bohr tem sido tomada como um exemplo *par excellence* de uma teoria internamente inconsistente⁴. Porém, quando tratamos de identificar o conteúdo científico específico que constitui a inconsistência, várias polémicas aparecem. Opiniões divergentes aparecem, pois, primeiramente, parece não haver conexão entre a definição lógica de “inconsistência” e o uso feito dessa definição para descrever a teoria do Átomo de Bohr, já que, em vez de mostrar um teorema da forma $(\alpha \wedge \neg\alpha)$, apela-se para a intuição daquele que estuda a teoria. Depois, cada cientista parece ter sua “versão” da teoria. Um filósofo, então, pode livremente modelar o conteúdo para que ele seja adequado à conclusão que optou, criando uma ausência de consenso sobre o critério utilizado.

Como foi tratado nos capítulos 5 e 4, existem diferentes acepções sobre o que seja uma teoria e é importante, tanto para os filósofos e quanto cientistas fazerem uma investigação de excelência, que estas perspectivas sejam explícitas em seus trabalhos, evitando desentendimentos que levam à má comunicação e compreensão das pesquisas na área.

Uma teoria é dita *internamente inconsistente* se deriva uma contradição ou duas teses contraditórias. E uma teoria é dita *externamente inconsistente* se estiver em contradição com outra teoria, sem que esta faça parte dessa. Contudo, lembremos que a teoria do Átomo de Bohr não é uma T , e sim uma P . Assim, ela não está axiomatizada, embora ainda possa apresentar inconsistências como visto no capítulo 11. É exatamente esse ponto que iremos agora abordar.

Existem duas características principais da teoria do Átomo de Bohr que estão constantemente no cerne dos argumentos para a inconsistência da teoria. São estes:

- I. Os misteriosos “saltos quânticos”;
- II. A não emissão de radiação de uma partícula carregada quando em órbita;

⁴ Existem filósofos que discordam dessa posição como, por exemplo, Peter Vickers, que discorda que o modelo de Bohr seja inconsistente. Ele descarta o conceito de teoria dentro da filosofia da ciência, pois considera que é dispensável. Isto porque, ele afirma que o conceito de teoria traz mais complicações e limitações que facilidade e liberdade para o trabalho de pesquisa científico-filosófica.

Baseando-nos nesses argumentos, podemos reivindicar que a teoria é inconsistente por si só, independentemente de uma hipótese externa a ela.

Desse modo, a teoria deveria ser considerada internamente inconsistente. Para isso, precisamos considerar os argumentos apontados acima como parte da teoria de Bohr.

Certamente os misteriosos “saltos quânticos” sofreram críticas de diversos cientistas. Rutherford escreveu a Bohr: “Parece-me que você tem que supor que o elétron sabe de antemão onde ele irá parar” (**Pais** apud VICKERS, 2013, p. 4). Porém, onde surge a inconsistência nessa dificuldade? Brown aponta a natureza clássica das trajetórias dos elétrons nos estados estacionários:

“A abordagem de Bohr forneceu um limite para as descrições clássicas dos estados estacionários, mas não considerou as transições entre eles... Essa combinação de princípios clássicos e não-clássicos foi um jogo arriscado... Os princípios são inconsistentes entre eles.” (**Brown** apud VICKERS, 2013, p. 4)

Da Costa e French escreveram:

“ Brown enfatiza o ponto que a mecânica clássica foi considerada aplicável para a dinâmica do elétron no seu estado estacionário, enquanto a teoria quântica foi posta em jogo quando a transição entre estados discretos eram considerados – com os estados discretos contradizendo a física clássica, claro...” (**da Costa & French** apud VICKERS, 2013, p. 4)

A reivindicação nos parece ser a que se os elétrons orbitam o núcleo em trajetórias contínuas nos estados estacionários, eles não poderiam orbitar o núcleo em certas distâncias discretas somente. Poderíamos reivindicar também que o elétron “aprecia” órbitas em linhas circulares contínuas, mas “salta” descontinuamente entre órbitas. Entretanto, poderíamos dizer que a teoria está incompleta, já que a transição entre os estados estacionários não é levada em conta, como afirma Brown.

Uma objeção que nos aparece é a da divisão de contextos. Ela nos diz que uma teoria com princípios contraditórios não é inconsistente se a teoria estipula contextos mutuamente exclusivos de aplicação para esses princípios contraditórios (VICKERS, 2013).

Como mencionado no capítulo 14, Brown e Priest desenvolveram essa técnica que, além de lidar com inconsistências, permite trabalhar com porções consistentes dentro de *frameworks* inconsistentes. Assim, lidamos com inconsistências sem o advento da trivialidade. As informações podem então ‘permeiar’ os *chunks*, preservando a consistência até mesmo em domínios inconsistentes.

Como o próprio Bohr estipulou, os princípios clássicos ficam restringidos às trajetórias orbitais e os princípios quânticos restringidos para as transições (**Bohr** apud VICKERS, 2013, p. 5): “O equilíbrio dinâmico dos sistemas em estados estacionários é governado pelas leis comuns da mecânica, embora essas leis não se apliquem

para a passagem dos sistemas entre estados diferentes”. De acordo com a objeção de divisão de contextos, a teoria do Átomo de Bohr seria consistente, já que os contextos são claramente especificados e mutuamente exclusivos. Porém, dentro dessa contextualização de princípios conflitantes entre si, mesmo assim, acreditamos que não conseguiremos evitar inconsistências. Isto porque acreditamos que uma teoria que se fundamente em princípios contraditórios é inconsistente.

Todavia, o foco mais comum dado à inconsistência dentro da teoria de Bohr está relacionado à não emissão de radiação de uma partícula carregada em órbita. Além das órbitas comportando-se como contrapartes clássicas das transições quânticas, sua natureza não-clássica também é observada através da não emissão de radiação de uma partícula carregada em órbita. Porque elétrons ao orbitarem são acelerados, e de acordo com a eletrodinâmica de Maxwell-Lorentz, partículas carregadas aceleradas são obrigadas a emitir um fluxo constante de radiação, o que vai contra a hipótese de Bohr. Assim, não deveria existir o estado estacionário primeiro (o que se encontra mais próximo ao núcleo, de onde o elétron não pode mais “saltar” adiante), no qual a quantidade de energia emitida é máxima. Dentro do aspecto clássico, os elétrons deveriam continuar a emitir radiação, causando uma perda de energia e consequentemente uma trajetória espiral “suicida” em direção ao núcleo. Vários autores realçam esse aspecto da teoria como o foco de uma inconsistência interna:

“Entretanto, não são somente os estados discretos que conflitam entre a física clássica e a física quântica, mas também na afirmação de que o estado estacionário primeiro é estável, assim um elétron em tal estado não irradiaria energia e não se direcionaria em espiral ao núcleo como determinado pela física clássica. Esta é a inconsistência central.” (da Costa & French apud VICKERS, 2013, p. 5)

Neste ponto, podemos perceber a importância de se caracterizar uma inconsistência interna. Bueno nos diz em relação à não emissão de radiação de uma partícula carregada em órbita que: “Bohr... articulou uma proposta inconsistente, dadas as teorias aceitas naquela época”. (Bueno apud VICKERS, 2013, p. 6). Contudo, se a proposta de Bohr era internamente inconsistente, então certamente não dependia do conteúdo de outras teorias. O que é necessário para a inconsistência interna é que afirmações clássicas relevantes estão dentro da teoria de Bohr.

Elétrons em órbitas são (ou deveriam ser) caracterizados pela física clássica. Porém, a teoria do Átomo de Bohr, mesmo que parta de premissas clássicas, não pode ser considerada clássica exatamente porque endossa premissas quânticas para explicar o fenômeno da estabilidade do átomo. As órbitas são caracterizadas pela física clássica, pois a elas é atribuído um momento angular, levando-os a seguir uma trajetória periódica. Elétrons são partículas carregadas que são mantidas em órbita pela lei de atração de Coulomb em direção ao núcleo. Então, se queremos afirmar que não há inconsistência interna, precisamos separar logicamente a eletrodinâmica

clássica em partes e somente algumas partes participarão da teoria. Assim, consideraríamos a física clássica como um bloco que poderá ser dividido em pedaços, de forma que poderíamos escolher e selecionar sem suscitar uma contradição.

Aqui surge outra objeção, desta vez em relação à divisão de uma teoria. Essa objeção nos diz que corpos de suposições não são indivisíveis. Uma teoria pode conter determinados pressupostos, sem se comprometer com outras hipóteses independentes, qualquer que seja a razão para o agrupamento original. (VICKERS, 2013, p. 7)

Esta objeção parece contrastar com a técnica *Chunk and Permeate*. Não concordamos com esta objeção e com a tese de Vickers (VICKERS, 2013). Como não se pode dividir? É o que o cientista faz, e mesmo o matemático quando na matemática informal.

É evidente que a questão envolvida nessa objeção é o que chamamos de teoria. Não é porque certo corpo de suposições pode ser dividido, que o dividiremos. Devemos focar no domínio relevante do fenômeno que está em jogo. Quando se propõe a elaboração de uma teoria na ciência, essa proposta prevê que haja um domínio razoavelmente bem definido do fenômeno em questão. Certamente, os limiares naturais do domínio criam limiares para como a teoria é elaborada. Vimos que dentro do domínio da teoria do Átomo de Bohr existem fenômenos relevantes que levam em consideração a física quântica, evocando uma inconsistência interna. A sugestão de dividir a teoria em "partes clássicas" e "não-clássicas" para a manutenção de uma consistência aparenta ser uma atitude comum entre os cientistas e mesmo entre os matemáticos quando operando na matemática informal (não axiomatizada, entendendo-se aqui a axiomatização como baseada na lógica clássica). Na etapa heurística do desenvolvimento de uma teoria, inconsistências podem ocorrer. Para um cientista "clássico", que dá preferência à lógica clássica, é claro que esses fenômenos devem ser evitados. A primeira atitude parece ser a de colocar as inconsistências entre parênteses (ou em quarentena), ou pelo menos fazer isso com uma das proposições contraditórias para que ela não "contamine" todo o sistema. Vários autores discutiram esse tema, como Popper e, na matemática, Imre Lakatos (POPPER, K. R., 1979), (LAKATOS, 1976).

Outro foco de inconsistência é sinalizado por da Costa e French:

"A radiação emitida pelo átomo é supostamente descrita em termos de eletrodinâmica clássica, enquanto o processo de emissão e de absorção, assim como o comportamento dos elétrons nos estados estacionários, são contabilizados em termos manifestadamente incompatíveis com a eletrodinâmica clássica." (da Costa & French apud VICKERS, 2013, p. 7)

Novamente os estados estacionários são vistos como não-clássicos, mas desta vez o foco clássico é dado para a radiação emitida. Desta forma, podemos dissipar a objeção de divisão da teoria ao mostrar outras razões pelas quais acreditamos que partes relevantes da teoria eletrodinâmica clássica são parte da teoria.

Poderíamos ver assim que a enumeração de pressupostos clássicos e não-clássicos que são necessários para a explicação do fenômeno da estabilidade do Átomo, então, mostram-se como uma unidade explicativa satisfatória deste fenômeno, ainda que inconsistente. Perder este poder de explicação por meio de uma divisão entre partes que seriam consistentes separadamente não nos parece razoável. Desse modo, as inconsistências não deveriam ser "contornadas", mas enfrentadas, o que exige, obviamente, uma mudança de lógica uma que as tolere, como as lógicas relevantes e as paraconsistentes.

Entretanto, poderíamos ainda dizer que tratar a radiação emitida como "clássica" seria somente fazer uma aproximação do uso de uma ainda não conhecida lei física. Desta forma, não haveria contradição entre uma lei fundamental ao fenômeno e outra lei contraditória a ela, se esta lei contraditória for apenas uma aproximação para descrever o fenômeno. Assim, obtemos uma nova objeção, a objeção de redução do comprometimento – se uma hipótese de uma teoria é explicitamente tomada como uma aproximação ou idealização, então a hipótese em si não é parte da teoria.

Obtemos, por fim, pelo menos três diferentes focos para tratar a inconsistência da teoria de Bohr:

- a) A transição dos elétrons entre órbitas discretas, apesar das trajetórias contínuas em órbitas;
- b) O fato de que nos estados estacionários (particularmente o estado estacionário primeiro) algumas, mas não todas as leis da física clássica são obedecidas;
- c) O fato de que as órbitas são estritamente não-clássicas, mas a radiação que interage com o elétron é tratada como clássica (VICKERS, 2013, p. 8).

Certamente estas afirmações são conflitantes. Contudo, para chamá-las de inconsistências em T , precisamos conectá-las, primeiramente, a uma lógica.

Sabemos que um conjunto de sentenças Γ da linguagem de uma lógica que contenha um símbolo de negação é inconsistente se contiver duas sentenças contraditórias (uma das quais sendo a negação da outra), ou se uma contradição pode ser deduzida⁵ ou, dependendo da lógica, nenhuma valoração pode fazer com que todas as sentenças de Γ sejam verdadeiras. No domínio da lógica dedutiva, uma T é um conjunto de fórmulas fechado por deduções, mas essa definição não se aplica usualmente a teorias científicas, pois essas ainda são geralmente P 's. Com efeito, seguramente, quando falamos de inconsistências em ciência, não estamos identificando teorias científicas como um conjunto não interpretado de sentenças. Neste particular, da Costa e French se referem a "duas proposições contraditórias dentro ... da teoria do Átomo

⁵ Há lógicas, ditas *não-adjuntivas*, nas quais de duas proposições não se pode inferir a sua conjunção. Por isso, nem sempre de α e de $\neg\alpha$ temos uma contradição $\alpha \wedge \neg\alpha$.

de Bohr.” (da Costa e French2013). Ou seja, referem-se à *teoria* de Bohr, como algo não muito bem definido, mas que pode ser tomada como aquela baseada nos axiomas vistos acima, ainda que postos de modo informal. Logo, parte-se desde o início de proposições “interpretadas”, com uma semântica intuitiva ao menos, baseada na física do átomo de hidrogênio. Assim, supondo que em uma teoria científica temos enunciados interpretados, como podemos definir inconsistência para um conjunto arbitrário de enunciados? Uma resposta de natureza “pragmática” pode ser a seguinte: temos uma inconsistência quando a teoria nos apresenta, seja por dedução, seja por experimentação, um par de sentenças contraditórias. No segundo caso, com efeito, trata-se do fato de haver algum tipo de experimento que forneça resultados contraditórios com o que prevê a teoria.

17.2 SOBRE O ÁTOMO DE BOHR E SEUS RESULTADOS

Nesta seção, vamos descrever com maiores detalhes a teoria do Átomo de Bohr com a finalidade de mostrar como uma teoria inconsistente pode, apesar disso, ser útil. A palavra “teoria” pode ser usada aqui em sentido duplo, designando uma teoria informal (P)⁶ ou uma teoria axiomatizada, sendo os postulados de Bohr os apresentados abaixo (ainda que de maneira informal) os seus postulados e postulados específicos (COSTA; KRAUSE, 2014).

Por volta do início do século XX, os físicos sabiam que a luz é emitida e absorvida somente por cargas aceleradas. Esse fato sugeria que o átomo deveria conter cargas aceleradas. Através de certos padrões e regularidades nas propriedades da luz esperava-se encontrar pistas sobre a natureza do movimento das cargas aceleradas.

A teoria do Átomo de Bohr teve grande sucesso no começo do século XX e existem razões importantes para isso. O modelo criado por Bohr pôde ser usado para explicar todas as linhas de emissão e absorção no espectro do átomo de hidrogênio, que havia sido introduzida por Balmer de forma heurística. O espectro do átomo de hidrogênio é descrito pela fórmula de Balmer:

$$\lambda = b \left(\frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right),$$

onde b é uma constante determinada empiricamente por Balmer de valor $364,56 \times 10^{-9}m$; n é um número inteiro diferente para cada linha do espectro. Por exemplo, n tem valor 3 para a primeira linha visível do espectro de emissão do hidrogênio (H_α) (vermelho); n tem valor 4 para a segunda linha visível do espectro de emissão do hidrogênio (H_β) (verde); n tem o valor 5 para a terceira linha visível do espectro

⁶ (FLAUSINO, Joanne Simon, 2014), (DA COSTA; KRAUSE, 2008)

de emissão do hidrogênio (H_γ) (azul); n tem o valor 6 para a quarta linha visível do espectro de emissão do hidrogênio (H_δ) (violeta).

Somente depois de trinta anos os cientistas foram entender por que a fórmula empírica de Balmer funciona tão bem e por que o átomo de hidrogênio emite radiação cujo comprimento de onda forma uma sequência tão simples. Apesar disso, Balmer continuou especulando e sugeriu que ao substituímos o “2²” em sua equação, poderíamos encontrar outros comprimentos de onda interessantes. A sugestão de Balmer estimulou outros cientistas a trabalharem em função disto, trazendo resultados frutíferos para a ciência.

Nos dias de hoje a fórmula de Balmer é escrita da seguinte forma:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

onde R_H é a constante de Rydberg para o átomo e tem valor $\frac{4}{b}$.

As séries de linhas descritas pela fórmula de Balmer são chamadas de séries de Balmer. A fórmula pôde ser usada para prever que deveria haver mais linhas na mesma série, de fato infinitas com $n = \{1, 2, \dots\}$. Além disso, cada uma das linhas foi prevista corretamente pela fórmula de Balmer com considerável precisão. (RUTHERFORD; HOLTON; CASSIDY, 2002, p. 627)

Wavelength λ , in nanometers (10^{-9} m), for hydrogen emission spectrum.*				
Name of line	n	From Balmer's formula	By Ångström's measurement	Difference
H_α	3	656.208	656.210	+0.002
H_β	4	486.08	486.074	-0.006
H_γ	5	434.00	434.01	+0.01
H_δ	6	410.13	410.12	-0.01

* Data for hydrogen spectrum (Balmer, 1885).

Figura 2 – Comprimento de onda λ para o hidrogênio

Generalizando a fórmula de Balmer:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Onde n_f é um número inteiro fixo para a série em questão; n_i é um número inteiro que tem valor $n_f + 1, n_f + 2, \dots$, etc, para as linhas sucessivas individuais numa dada série. A constante R_H deve ter o mesmo valor para todas as séries de hidrogênio.

Primeiramente, as discussões sobre tomar $n_f > 2$ eram somente especulativas; porém, mais tarde, cientistas descobriram que elas de fato existem.⁷

A fórmula de Balmer em si não funciona diretamente para descrever o espectro de outros gases além do hidrogênio. Todavia, ela inspirou outras fórmulas matematicamente similares que descreveram com sucesso muitos outros espectros.

A questão que nos aparece aqui é a de que não havia modelo – no sentido de P^8 – que explicasse o espectro descrito por essas fórmulas baseado somente na mecânica clássica e no eletromagnetismo. Obviamente, a emissão e absorção de radiação por um átomo precisaria corresponder a um aumento e diminuição de energia do átomo. Se os átomos de um elemento emitem radiação somente em certas frequências, então a energia dos átomos deve poder mudar somente em certas quantidades. (RUTHERFORD; HOLTON; CASSIDY, 2002, p. 629)

Essas mudanças que envolvem a energia do átomo exigem um rearranjo em suas partes. E assim, como parte da teoria foi confirmada, foi feito o razoável e os cientistas procederam temporariamente como se toda a teoria estivesse justificada. Por conseguinte, foi identificado que o conceito de núcleo sugeriu que o número de elétrons ao redor do mesmo fosse igual ao número de prótons encontrados neste. Muitos outros conceitos dentro da nova visão de átomo deveriam ser revistos. Contudo, não deveríamos esperar que um modelo, criado a partir de um conjunto de resultados intrigantes que o modelo de Bohr explicou, também fosse lidar com outras questões envolvidas no conceito de átomo.

Bohr introduziu dois novos postulados ousados para dar conta especificamente da existência de órbitas estáveis e para a emissão do espectro discreto para cada elemento. Através das suposições de Bohr foi possível calcular o raio de uma órbita estável:

$$r_n = \left(\frac{h^2}{4\pi^2 m k q_e^2} \right) \cdot n^2$$

Onde $\left(\frac{h^2}{4\pi^2 m k q_e^2} \right)$ é constante e tem valor $5,3 \times 10^{-11} \text{m}$ e n é um número inteiro. Ora, n tem valores inteiros, a constante tem um valor que foi medido previamente por meio de experimentos e entre valores inteiros não há órbitas permitidas. Disso temos que a emissão e absorção de radiação deveria dessa forma corresponder à transição do elétron entre as órbitas permitidas. Era sabido que o raio de um átomo de hidrogênio tem medida $5 \times 10^{-11} \text{m}$ correspondendo à medida dada por Bohr de r para $n = 1$. Um resultado realmente notável.

Por meio de seus postulados, Bohr também pôde calcular a energia total de um elétron em cada órbita.

⁷ Em 1908, Friedrich Paschen encontrou duas linhas de hidrogênio no infravermelho para $n_f = 3$ e $n_i = 4$ e $n_i = 5$. Desde então muitas outras linhas foram encontradas formando a série de Paschen.

⁸ (FLAUSINO, Joanne Simon, 2014)

$$E_n = \left(\frac{1}{n^2} \right) E_1$$

Onde E_1 é a energia total do elétron na primeira órbita $n = 1$. E_1 é a menor energia possível para um elétron num átomo de hidrogênio. O estado estacionário E_1 tem valor igual a $-13,6\text{eV}$. No estado estacionário o elétron está mais “ligado” ao núcleo. À medida que vamos para órbitas mais afastadas o valor da energia diminui, facilitando o “pulo” do elétron para órbitas ainda mais afastadas.

Por meio do quarto postulado, a frequência da radiação emitida e absorvida pelo átomo deve ser determinada por:

$$h_f = E_1 - E_2$$

Se n_f é o número quântico do estado final e n_i o número quântico do estado inicial temos:

$$E_i = \left(\frac{1}{n_i^2} \right) E_1$$

$$E_f = \left(\frac{1}{n_f^2} \right) E_1$$

A energia, então, pode ser determinada por:

$$h_f = E_1 \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

Entretanto, na fórmula de Balmer temos o comprimento de onda λ . A frequência de uma linha espectral é dada por:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Ao fazermos a substituição obtemos:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_1}{hc} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

De acordo com o modelo de Bohr, esta equação nos dá o comprimento de onda λ para a radiação emitida ou absorvida quando o átomo de hidrogênio de um estado estacionário de número quântico n_i para outro n_f . Deste modo, a previsão do modelo de Bohr pode ser comparada com o resultado empírico da fórmula de Balmer para as séries de Balmer.

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

A equação para o comprimento de onda λ para a radiação emitida ou absorvida derivada pelo modelo de Bohr é a mesma para a fórmula de Balmer se $n_f = 2$ e $R_H = -\frac{E_1}{hc}$.

Era sabido que $R_H = 1,097 \times 10^7 m^{-1}$. Ao compararmos com o valor de $-\frac{E_1}{hc}$, vemos que os valores ficaram de acordo. R_H era somente determinada empiricamente, agora foi mostrado ser um número determinado através de constantes fundamentais da natureza: a massa do elétron, a carga do elétron, a constante de Planck e a velocidade da luz.

Todas as linhas nas séries de Balmer simplesmente correspondem às transições dos vários estados iniciais (valores de n_i maiores que 2) para o mesmo estado final onde $n_f = 2$. Assim, os fótons que têm a frequência ou o comprimento de onda da linha H_α são emitidos quando elétrons num gás de átomos de hidrogênio pulam do estado $n = 3$ para o estado $n = 2$. H_β corresponde aos pulos de $n = 4$ pra $n = 2$, e assim por diante. (RUTHERFORD; HOLTON; CASSIDY, 2002, p. 645)

A teoria de Bohr também previu as frequências medidas na região infravermelha do espectro. E ainda não existiam linhas que não fossem previstas pela teoria.

Um experimento feito por Jonas Franck e Gustav Hertz em 1914 mostrou que os estados estacionários realmente existem. Através da colisão de elétrons que passam por vapor de mercúrio, mostraram que as quantidades de energia ganhadas pelos átomos nas colisões com os elétrons sempre correspondem à energia de fótons nas já conhecidas linhas espectrais. Assim, esse experimento confirmou diretamente a existência de estados estacionários separados dos átomos como previsto pela teoria de Bohr do espectro atômico. Este resultado forneceu uma forte evidência para a validade do modelo de Bohr.

Um trabalho de Bohr de 1922 sugeriu as sete camadas principais K, L, M, N, O, P e Q. O resultado deste trabalho ofereceu uma base física fundamental para entender melhor alguns aspectos da química. Mostrou como a estrutura da tabela periódica se segue da estrutura atômica de cada elemento químico. Este foi outro triunfo da teoria de Bohr.⁹

Todo modelo tem seus limites e com o modelo de Bohr não foi diferente. Inclusive, a princípio, o modelo de Bohr encontrou dificuldades para ser aceito entre os cientistas da época:

“Caro Doutor Bohr, eu recebi seu trabalho e o li com grande interesse, mas eu quero olhá-lo novamente com mais cuidado quando eu tiver mais tempo.

⁹ Mais sobre o assunto pode ser encontrado em: *Niels Bohr Collected Works Vol. 4. The Periodic System.*

Suas ideias em relação à origem do espectro de hidrogênio são bastante engenhosas e parecem funcionar muito bem; mas as mistura com as ideias de Planck com a velha mecânica dificultam a formação de uma ideia física do que é a base disso. Parece para mim uma grande dificuldade na sua hipótese, e não tenho dúvida que você percebeu, a dizer, como um elétron decide em qual frequência ele vai vibrar quando passa de um estado estacionário para outro? Parece-me que você tem que assumir que o elétron sabe de antemão onde ele vai parar...” (Rutherford2002)

O modelo de Bohr foi bem sucedido de 1913 até 1924.¹⁰ Contudo, como apontou Rutherford, ele tinha problemas e outras questões relativas à estrutura atômica ainda precisavam ser respondidas como, por exemplo, o espectro para átomos com dois ou mais elétrons na camada mais externa.

Apesar do sucesso singular da teoria do Átomo de Bohr, no início dos anos 1920 já era claro que ela era limitada. Era preciso elaborar uma nova teoria para lidar com os problemas ainda não solucionados, assim a teoria de Bohr teria de ser revisada ou substituída. Esta nova teoria teria de ser baseada em conceitos quânticos e dar conta dos estados estacionários, separados distintamente para os níveis de energia.

Dentro da prática científica, novas teorias normalmente tendem a incorporar o que velhas teorias tinham de bom, em vez de derrotar revolucionariamente uma velha teoria. A ciência hoje tente a preparar o terreno para uma ciência melhor amanhã.

17.3 APLICANDO “CHUNK AND PERMEATE” AO ÁTOMO DE BOHR

Aplicar a técnica CP para reconstruir o modelo de Bohr é capturar de maneira organizada a separação entre as descrições de Bohr dos estados estacionários do átomo e do uso da eletrodinâmica clássica (EDC). Já que o modelo de Bohr não diz sobre as transições entre os estados estacionários, a estrutura CP ignora os contextos de transição, incluindo somente duas células, uma para o tratamento quantizado dos estados estacionários e outra para a descrição da radiação emitida/absorvida pelo átomo. A estrutura CP pode ser dada como: (M. BRYSON BROWN, 2015)

$$\langle\{\sigma_Q, \sigma_C\}, \rho, \sigma_C\rangle$$

¹⁰ O corpo negro de Planck também é um exemplo de uma inconsistência, de uma P inconsistente. Planck vai concluir que átomos, moléculas, esta classe de objetos, absorve energia apenas de forma quantizada. Isto ainda é uma conjectura teórica, e não uma Teoria, na busca por uma compreensão teórica dos resultados empíricos. A conjectura de Planck corresponde a um desenvolvimento do conhecimento na tentativa de se fazer a análise termodinâmica da radiação. A introdução dessa conjectura rompe com o cenário científico vigente, chegando a um limite dentro do que se tinha por conhecimento até então, agora inadequado empiricamente. A conjectura de Bohr nasce no mesmo processo de exploração da conjectura de Planck.

σ_Q inclui a mecânica clássica, a atração de Coulomb, a restrição quântica de Bohr permitida nos ‘estados estacionários’ e a relação de frequência de Planck na forma de $\Delta E = h\nu$, onde ΔE é a diferença entre a energia de dois estados estacionários.

σ_C inclui as equações de Maxwell (CED) juntamente com o tratamento padrão dos instrumentos ópticos – incluindo espectroscópios – aplicando as equações de Maxwell¹¹ às observações do espectro, juntamente com a relação de frequência de Planck $\Delta E = h\nu$

σ_C é a porção de saída, onde tiramos conclusões sobre o espectro que podemos testar experimentalmente. O tratamento dos instrumentos e suas interações com a luz são essencialmente incluídos aqui para o teste empírico do modelo de Bohr. Fica inclusa a EDC e o tratamento específico as interações dos instrumentos com a luz de diferentes frequência em σ_C porque o tratamento de interação dos instrumentos com a luz se baseia da EDC.

A relação de frequência de Einstein/Planck $\Delta E = h\nu$ permite que sejam calculadas em σ_Q as frequências de luz emitidas ou absorvidas nas transições entre entre os vários estados – como feito por Bohr – dando conta da energia emitida ou absorvida através da transição $\Delta E = E_j - E_f$ para uma frequência ν particular. De forma que, enquanto essa transição é modelada em σ_Q , inferimos que $\Delta E_\nu = E_j - E_f$, onde $\nu = \frac{E_j - E_f}{h}$.

$\rho(Q, C) = \rho(c, Q)$ é o conjunto de equações $\Delta E = h\nu$, onde ΔE_ν é a diferença de energia entre dois estados estacionários. Isso assegura que as equações que especificam as frequências de luz que o modelo de Bohr prevê serão emitidas ou absorvidas quando um átomo de hidrogênio muda de estado chegando em σ_C . Isso também assegura que as observações das linhas de espectro descritas em σ_C sejam adicionadas em σ_Q , onde elas irão representar as transições¹² entre estados estacionários separados pelos requisitos de ΔE . Assim sendo, esta escolha para ρ permite que a estrutura CP capte como as conclusões sobre os estados quantizados do átomo foram usadas para fazer previsões sobre as linhas de espectro, ao mesmo tempo que capte como as observações das linhas de espectro motivaram extensões e modificações em σ_Q .

Para mostrar como funciona a reconstrução, Priest e Brown dividem o processo em dois passos (M. BRYSON BROWN, 2015):

Etapas de Fechamento: Aqui o raciocínio acontece *dentro* de dois *chunks*. Em σ_Q , isso nos leva a inferir as conclusões sobre o espectro de hidrogênio que Bohr extraiu de seu modelo (BOHR, 1913). Em σ_C , esse passo captura a data empírica do espectro do átomo de hidrogênio e sua interpretação em termos da radiação eletrodinâmica clássica. Como temos a equação $\Delta E_\nu = h\nu$ em ambos *chunks*, temos também uma via

¹¹ Com as devidas aproximações.

¹² Conhecidas ou não.

de mão-dupla entre descrições de observação sobre frequências de luz observadas em σ_C e transições entre os estados dos átomos representados em σ_Q .

Etapas de Permeabilidade: $\rho(Q, C)$ permite que informações sobre as frequências previstas pelo modelo de Bohr permeiem por σ_C ; enquanto $\rho(C, Q)$ permite que informações sobre as diferenças de energia entre estados estacionários correspondentes a frequências observadas permeiem em σ_Q .

A inovação no modelo de Bohr aparece estritamente em σ_Q e $\rho(Q, C)$ e a exclusão da EDC dos cálculos em σ_Q . Assim, Bohr não precisou incluir uma consideração sobre os cálculos já familiares que aparecem em σ_C em seu modelo.

As novas linhas de espectro observadas são adicionadas em σ_C ao adicionarmos as equações da forma $\Delta E_\nu = E_j - E_f$. Já que, tais equações estão inclusas em $\rho(Q, C)$, elas permearão de volta para σ_Q . O fato é que isto não leva a uma contradição, pois como σ_Q não inclui pares de estado cuja diferença de energia satisfaça a equação, pode ser consistentemente estendido para serem alocados tais pares de estados (M. BRYSON BROWN, 2015).

De uma ampla perspectiva, a consistência de σ_C não é trivial. Isto porque, como vimos no capítulo 16, temos a inconsistência na Eletrodinâmica Clássica. Contudo, quando pensamos em física aplicada, não houve dificuldade reconhecida em adicionar energia para uma dada frequência a alguma região do campo de radiação clássico. Os eventos de emissão e absorção não recebem descrição em termos clássicos ou em quaisquer termos.

Para manter σ_Q consistente, precisamos limitar o papel da mecânica clássica em σ_Q para modelar cada estado estacionário permitido separadamente. Isso se pensarmos nele simplesmente como uma especificação à classe de modelos clássicos para estados aceitáveis do átomo de hidrogênio. O resultado parece estranho, mas é consistente.

Outras aplicações de ideias clássicas em σ_Q tiveram um papel heurístico importante nas tentativas de estender a antiga física quântica. Esses esforços foram importantes na emergência da física quântica. Ainda assim, até essas aplicações estendidas eram estritamente controladas. Todavia, elas nunca deram origem a teorias quase-clássicas gerais de sistemas quânticos. Em vez disso, eles conectaram e sistematizaram os estados estacionários de diferentes sistemas e revelaram novas e mais maneiras de conectar características de descrições clássicas dos estados estacionários para afirmar que poderiam, então, permear para σ_C e ser testada por várias observações ópticas.

Contanto que a EDC seja por si consistente, a consistência de σ_C como uma aplicação da radiação eletromagnética é suficientemente clara. O importante é que qualquer consideração consistente do raciocínio físico que foram conduzidos utilizando a EDC permitiriam uma estrutura C&P consistente que captura o modelo de

Bohr do átomo de hidrogênio¹³(FLAUSINO, Joanne Simon, 2019).

17.4 PONDERAMENTOS FINAIS

O modelo de Bohr também contava com outro problema: não havia meios para testar os detalhes sobre os orbitais atômicos. As órbitas não podiam ser observadas diretamente, nem podiam se relacionar com qualquer outra propriedade observável dos átomos.

No começo dos anos 1920, físicos, inclusive Bohr, começaram a revisar as ideias básicas da teoria. O fato que se destacou foi a mistura de ideias clássicas e ideias quânticas. O átomo seguia leis clássicas até o ponto onde elas não mais funcionavam. Além disso, ideias quânticas foram introduzidas. O átomo combinava ideias da física clássica com conceitos onde a mesma não se aplicava. As órbitas dos elétrons eram determinadas pelas leis de movimento clássicas, mas apesar das muitas órbitas teóricas, somente algumas foram consideradas possíveis; e essas algumas eram escolhidas por meio de regras onde a física clássica não poderia ser aplicada.¹⁴

Cabe mencionar, aqui, as motivações de Bohr para criar seu modelo do Átomo de Hidrogênio. O trabalho de Max Planck sobre a radiação de corpo negro quantizou a energia, limitando-a a unidades discretas proporcionais à frequência com sua constante h como constante de proporcionalidade. Inicialmente ele tinha a intenção de que sua constante fosse uma mera ajuda para os cálculos. Entretanto, Planck descobriu que sua constante h não poderia ser eliminada quando tomado o seu limite, este tender a zero. Em vez disso, para capturar a curva empírica de corpo negro, h deveria ter um valor não nulo. Como resultado, sua derivação da empiricamente estabelecida curva radiação de corpo negro foi recebida com certo ceticismo. O próprio Bohr estava preocupado com a inconsistência do aparato teórico de Planck:

“Quanto aos aspectos formais, a teoria de Planck deixa muito a desejar; em certos cálculos, é utilizada a eletrodinâmica clássica, enquanto em outras declarações em direto desacordo com a eletrodinâmica clássica são introduzidas com o intento de mostrar que é possível dar uma explicação consistente do procedimento utilizado.”

Conquanto ele também disse:

¹³ Ainda que *observações* pudessem conflitar com previsões sobre o espectro que encontramos em σ_C . Da Costa e French criticam o processo de compartimentalização, proposto por Brown. Eles sugerem que isso vai contra a prática científica (DA COSTA NEWTON E FRENCH, 2003).

¹⁴ Bohr apresentou desenvolvimentos teóricos com sua P inconsistente (lembrando que a inconsistência que encontramos não é de cunho lógico usual, como já dito anteriormente), ainda em busca de uma T . O físico propõe que se no caso clássico o elétron perde energia continuamente, no caso quântico ele perderia apenas de forma quantizada. Para manter um mínimo de coerência com o resultado clássico (teórico e empírico) de que o elétron acelerado perde energia, em sua conjectura sobre a radiação, ele vai introduzir o decaimento espontâneo e estimulado. Esses avanços teóricos ainda não constituem uma Teoria quântica – uma T , mas dialogam com F .

“É tão pouco cedo para expressar a opinião de qual será a explicação final, a descoberta da “energia quântica” precisa ser considerada um dos resultados mais importantes chegados na física, e precisa ser levado em consideração as propriedades dos átomos em investigação.” (BOHR, 1922, p.6)

O trabalho de Bohr com o átomo de hidrogênio se iniciou com o intuito de combinar considerações quânticas com o Átomo de Rutherford. O modelo de Rutherford apresentou conflitos tão severos que Bohr esperava que um tratamento quântico dele iluminaria o quebra-cabeça da eletrodinâmica clássica sobre como a física clássica e a quantização estariam relacionadas.

No início do século XX com a descoberta da quantização, a postura dos físicos parecia ser sempre tentar utilizar a física clássica como base e *introduzir a* quantização. O que não parece ser algo discrepante. Contudo, prolongou-se muito esta postura e ela ainda é tomada nos dias de hoje. Pensamos que deveríamos abandoná-la para estudar a física quântica sem ter como fundamento nosso conhecimento da física clássica. Romper com essa estrutura inicial clássica, para um estudo tão somente sem precedentes da física quântica (C. DE RONDE, C. Massri, 2019b).

Como vimos no capítulo 4, principalmente em uma situação paradigmática na ciência, os cientistas tendem a trabalhar de maneira informal, heurística; formulam suas *Proto-Teorias* científicas como um quebra-cabeça em uma situação que se configura na tentativa e no erro, fundamentando descobertas empíricas aos seus arcabouços teóricos. Sendo que estes, às vezes, podem ser inconsistentes. Como é o caso abordado aqui. Vimos que, ainda assim, nem isto faz afastar os cientistas de sua pesquisa. Como pode ser visto nesta seção.

A frequência calculada para cada volta orbital executada pelos elétrons era bem diferente da frequência da radiação emitida ou absorvida quando o elétron movia-se entre as órbitas. A decisão de que o número n não poderia ter valor zero parecia arbitrária, porém, necessária para impedir o colapso do modelo por deixar o elétron cair em direção ao núcleo. Era evidente a necessidade de uma nova teoria da estrutura atômica com uma base adequada aos conceitos quânticos.

Podemos resumir a contribuição do modelo de Bohr da seguinte forma: ele deu excelentes respostas para a estrutura atômica, apesar de posteriormente mostrar-se inadequada; ele chamou a atenção para como conceitos quânticos podem ser usados para elaboração de novas teorias; e, indicou o caminho que uma nova teoria deveria seguir para continuar a responder as questões a respeito da estrutura atômica.

Um dos aspectos mais fascinantes do trabalho de Bohr foi a prova de que propriedades físicas e químicas da matéria podem ser traçadas por números inteiros: “A solução de um dos sonhos mais ousados da ciência natural é construir um entendimento das regularidades da natureza através de números puros.” (RUTHERFORD; HOLTON; CASSIDY, 2002, p. 656).

Desde os anos de 1920 uma nova teoria da estrutura atômica foi desenvolvida. Ela faz parte da *física quântica* e vai além da compreensão da estrutura atômica. A física quântica é a base da concepção moderna dos eventos que ocorrem em escala microscópica.

A teoria do Átomo de Bohr pode parecer incompleta e vaga, mas como disse Shapere: “Que uma teoria seja incompleta ... não é motivo para rejeitar a teoria como falsa.” (ShapereVICKERS, 2013). Darden também disse: “O critério de clareza não deveria ser imposto muito cedo nos estágios de desenvolvimento da teoria... Novos conceitos científicos ... são frequentemente difusos em seus estágios iniciais.” (Darden2013). Devemos lembrar que mesmo sendo inconsistente, a teoria do Átomo de Bohr foi bem sucedida, ajudou na descoberta do tamanho do átomo e na descoberta de leis empíricas como a de Whiddington e a de Bragg.¹⁵ A teoria de Bohr também previu que o átomo de hidrogênio emitiria radiação fora do âmbito visível. A região mostrou as frequências exatas previstas por Bohr. A teoria ainda explicou a fórmula de Rydberg para as linhas de emissão espectral do átomo de hidrogênio. A fórmula era conhecida experimentalmente, mas não possuía uma teoria que a embasasse até a teoria de Bohr ser introduzida. Não só explicou a razão da estrutura da fórmula de Rydberg como proporcionou a justificção para os resultados empíricos. A quantização do momento angular era uma suposição no modelo de Bohr, enquanto que Schrödinger a apresenta como uma previsão, devido à P consistente da nova física quântica onde a equação de Schrödinger nos dá valores corretos para os átomos como o de hidrogênio. Assim sendo, o modelo de Bohr, embora inconsistente, proporcionou insights valiosos que engatilharam o próximo passo para o desenvolvimento do conceito moderno de átomo.¹⁶

Cabe ao filósofo da ciência estudar tais fenômenos insólitos que possam levar a teorias inconsistentes, pois desta forma o que parecia inicialmente sem sentido: “Isto é um absurdo!” (von Laue2013), pode se tornar de grande valia para a ciência.

¹⁵ A lei de Whiddington relaciona a velocidade mínima que um elétron precisa para excitar raios X característicos com o peso atômico do material alvo. A lei de Bragg diz que o poder de parada de diferentes materiais para raios α é proporcional à raiz quadrada de seus pesos atômicos. (Heibron, 1981, p. 252)

¹⁶ Inconsistências geradas por conjecturas (em P) que rompem com certos postulados clássicos impostos por F e a consequente imposição de novos postulados se apresentam como uma necessidade no desenvolvimento de uma Teoria ainda inexistente.

18 CONCLUSÃO

Vickers (VICKERS, 2013) talvez estivesse certo em dizer que deveríamos eliminar as teorias, ou melhor, o conceito de teoria. Talvez tenha faltado a ele dizer que ele gostaria de eliminar as Teorias em acepção lógica no âmbito da física, em um primeiro momento. Até porque concordamos que o que chamamos de teorias físicas são teorias informais (Proto-Teorias) que fogem do escopo do que seja uma Teoria em sentido lógico. No entanto, não é por isso que deveríamos simplesmente abolir o conceito de teoria como um todo (MULLER, Frederik Archibald, 2014). Vickers diz que focar na *teoria* pode ser uma distração do conteúdo sendo pesquisado. Pensamos que não existam filósofos tão decrépitos e duvidosos que se deixem distrair assim em sua pesquisa pela *teoria*.

Deveríamos também eliminar o conceito de *verdade* em epistemologia? Deveríamos eliminar o conceito de *valor* em ética? Deveríamos eliminar o conceito de *realidade* da metafísica? Esta nos parece uma estrada para lugar nenhum; ou para, simplesmente, o fim da filosofia. Não é eliminando tais conceitos que eliminaremos desentendimentos, problemas de má comunicação e confusão entre a comunidade filosófica. Pensamos que existem virtudes em mantermos o conceito de Teoria e acreditamos que é por isso que temos este conceito em primeiro lugar. Pensamos que conquanto que cuidado e cautela forem exercidos, os filósofos hão de ficar bem. Eliminar o conceito de Teoria não nos parece uma ideia sensata, esta ideia parece somente lançar uma sombra sobre a que pensamos ser necessária investigação sobre inconsistências em ciência. Talvez o que deveríamos fazer é simplesmente rotular de maneira correta nossos tópicos. Até mesmo porque não é o caso que teorias informais não possam passar a ser axiomatizadas e assim se tornarem Teorias em sentido lógico.

Pensamos que quando elaboramos uma Teoria (em sentido estrito) e explicitamos sua lógica subjacente, já estamos nos comprometendo com uma metafísica implícita nesta lógica ou senão, como visto no capítulo 5, pelo menos, a um senso de discurso embutido nela.

No âmbito da lógica, no contexto linguístico da lógica elementar, construir uma lógica elementar significa determinar um sistema de regras de dedução que determinam o comportamento dos conectivos, dos quantificadores e da identidade. Historicamente falando, este estado proporcionou ao menos três lógicas de interesse particular: a clássica, a intuicionista e a minimal.¹ As três lógicas têm uma bagagem de regras em comum, as regras minimais, separando-as as regras do terceiro excluído e a regra de *duns scotus*.²

¹ Uma lógica minimal é um sistema lógico intuicionista e paraconsistente que rejeita as leis do terceiro excluído e da explosão.

² A lógica clássica contendo a regra do terceiro excluído, a lógica intuicionista contendo a regra de *duns scotus* e a lógica minimal não contendo as duas.

De um ponto de vista intuitivo, poderíamos dizer que a lógica clássica apresenta um caráter determinístico e descritivo; *i. e.*, quando afirmamos uma proposição α , temos a intenção de dizer que α vale objetivamente. A lógica intuicionista e minimal, por sua vez, refletem uma postura epistemológica; ou seja, se afirmamos a proposição α , temos a intenção de dizer que ‘conhecemos α ’ (CHIARA, 1974). Parece-nos que é por isso que a lógica intuicionista não aceita a regra do terceiro excluído, pois assim cairia em uma hipótese de onisciência. Queremos dizer que para a lógica intuicionista uma contradição é, assim, fatal. Ela traz consigo toda degeneração no discurso.

Já a lógica minimal irá, desta forma, admitir contradições locais. O lógico minimal tende a admitir a possibilidade de contradições locais somente em medida limitada. De fato, ele não pode evitar o princípio de inferência codificado pela chamada “regra fraca de *duns scotus*”, segundo a qual ‘se demonstrarmos uma contradição, podemos provar qualquer fórmula de forma negativa’.

O fato é que nos parece que há muito acreditava-se que a atitude descritiva da lógica clássica era a mais adequada em comparação com o comportamento lógico da matemática como um todo e que, em vez disso, a atitude epistemológica inevitavelmente dera origem a um tipo de matemática rotulada como ‘patológica’. Todavia, como podemos ver hoje, grandes desenvolvimentos da matemática intuicionista mostraram que a questão não pode ser descartada assim tão facilmente.

Por outro lado, poderíamos dizer que o raciocínio concreto do matemático resulta em muitas situações, mesmo do tipo minimal, ou até mais fraco. Assim, também podemos falar de situações em que se encontra o físico, com a diferença que raramente este se dá conta de que está trabalhando com questões de cunho lógico.

Podemos considerar, por exemplo, o comportamento dos matemáticos que utilizam a teoria de conjuntos não axiomática, a qual é contraditória como já demonstrado por Russell (CHIARA, 1974). Por que eles ainda o fazem? Porque estão conscientes do fato de que tal problema se encontra em uma situação limite da teoria e, assim, se ‘mantêm atentos’ em seus exercícios para não cair em situações extremas e para não acontecerem desastres. Acontece que isso significa exatamente admitir a possibilidade de contradições locais, ou seja, admitir o princípio segundo o qual não necessariamente uma contradição particular irá refletir em toda teoria, fazendo-a degenerada em uma situação caótica de afirmações.

Queremos dizer que não só os matemáticos, mas os físicos também agem em muitas circunstâncias de maneira similar ou equivalente, se comportam como um lógico minimal. Por exemplo, a contradição que pode surgir na teoria da medição em física quântica não empurra o físico para simplesmente aplicar o princípio de *duns scotus* e abandonar em seguida toda a física quântica como uma teoria insensata. Pensamos que insensato seria exatamente fazê-lo. Ora, o físico também admite, neste caso e em outros já mencionados, a possibilidade de contradições locais.

Claro, toda essa investigação envolve um tema muito complexo e como a nossa própria postura teórica atesta, esse não é um tema que se esgota. Contudo, alguns resultados a título de conclusão podem ser listados.

Desenvolvemos nessa tese um conceito metafísico chamado Realidade Vaga (capítulo 2). Elaboramos esse conceito com a intenção de tratar alguns problemas encontrados no estudo metateórico de teorias físicas, e, de fato, parece-nos que tal conceito (i) auxilia na compreensão quanto ao advento de inconsistências em física (capítulo 8, (ii) auxilia na compreensão metodológica do conceito de inconsistência³ (capítulo 7), (iii) auxilia na compreensão do esquema apresentado sobre elaboração de teorias físicas (capítulo 4).

Uma atribuição esquemática sobre a elaboração de teorias físicas proporcionou uma melhor compreensão das etapas deste processo, assim como proporcionou um estudo metateórico, suscitando uma reflexão mais cuidadosa sobre os conceitos de Teoria e Modelo (como visto nos capítulos 5 e 6), por exemplo. Além disso, também trouxe à tona características que por ventura possam aparecer nas referidas etapas, *i.e.* como uma inconsistência.

Como visto nos estudos de caso (capítulos 16 e 17), uma inconsistência pode ser vista como frutífera e evocativa dentro do progresso da ciência. Vimos também (capítulos 9, 10, 11, 12 e 13) que existem diferentes noções de inconsistência de acordo com o esquema que apresentamos.

Dado que identificamos diferentes etapas na elaboração de teorias físicas, sendo que cada uma delas pode ser plural, no sentido de que uma P pode proporcionar diferentes T , assumimos uma postura perspectivista (capítulo 15) que aparentemente está alinhada com nosso estudo metateórico acerca a elaboração de teorias físicas. Claramente é possível leituras unilaterais, mas como demonstramos ao longo da tese, diferentes perspectivas podem surgir, desde a aceção de 'realidade' sendo utilizada até os diferentes Modelos de uma Teoria.

Concordamos com Einstein que disse: "as proposições da geometria, na medida que são verdadeiras, não são aplicadas à realidade e, na medida em que se aplicam, não são verdadeiras." (EINSTEIN, 2005, p. 665). Ademais, esta declaração nos parece ainda mais significativa, porque também podemos pensar em aplicá-la à lógica. Precisamos ter em mente que supor que uma lógica reflita de alguma maneira a realidade é uma postura metafísica.

Deste modo, parece-nos que não há algo na lógica que seja *completamente* preciso. Sendo assim, é por isso que insistimos neste trabalho quanto à declara-

³ Gostaríamos de lembrar que não há *necessidade* em se adotar uma postura realista, mas sim uma *escolha*. Nossa escolha pelo realismo híbrido se dá, dentre outras razões, devido a aceção de RV abarcar inconsistências, já que por ser vaga faz com que possamos suspender o juízo segundo a essa questão, fazendo com que possamos, durante os estágios de elaboração de uma Teoria, lidar com inconsistências sem tantas preocupações.

ção explícita dos conceitos usados nas pesquisas dos filósofos e cientistas; não tanto pela busca de um rigor exacerbado, mas somente como precaução para que haja uma boa comunicação e entendimento das pesquisas. Já diria Newton da Costa: “se não precisar as coisas, não dá para entendê-las.” (COSTA, N. da, 2018, p. 1).

‘Leis universais da natureza’ são melhor entendidas quando definimos modelos altamente generalizados que caracterizam uma perspectiva teórica. Assim, as leis de Newton caracterizam a perspectiva da mecânica clássica, as leis de Maxwell caracterizam a perspectiva do eletromagnetismo clássico, a equação de Schrödinger caracteriza a perspectiva da física quântica, os princípios de seleção natural caracterizam uma perspectiva evolucionária e assim por diante. Deste modo, princípios gerais por si mesmos não fazem afirmações sobre o mundo, mas mais especificamente modelos construídos de acordo com tais princípios podem ser usados para fazer afirmações sobre aspectos específicos do mundo. Estas afirmações podem ser testadas em várias perspectivas instrumentais. Ainda assim, todas as afirmações teóricas permanecem perspéticas – se aplicam somente a aspectos do mundo – e assim, em parte porque elas se aplicam somente a alguns aspectos do mundo, elas não garantem completa precisão. O resultado será uma descrição científica que traz observações e teoria (informal), percepção e concepção, juntos na busca por um momento de união onde a teoria, com sua estrutura conceitual e formalismo matemático, possa explicar e prever fenômenos.

Adotar uma atitude perspectivista parece dar espaço para influências construtivistas em qualquer investigação científica (GIERE, 2006). As extensões de tais influências podem ser julgadas somente baseadas caso-a-caso, sendo de certa forma mais fácil de serem abordadas no decorrer de uma pesquisa. Temos que o fato inescapável, e até banal, é que os instrumentos científicos e as teorias são criações humanas. Nós simplesmente estamos atrelados a nossa perspectiva humana, e mesmo que almejemos um discurso objetivo acerca de teorias físicas, não conseguimos nos desvencilhar dela. De qualquer forma, por que deveria o mundo estar condicionado por nossas limitações cognitivas? O que queremos salientar, como visto no capítulo 2 é que a prática atual da ciência limita as declarações que cientistas podem legitimamente fazer sobre o universo. E, ainda, se tomássemos o mundo como supostamente condicionado por nossas limitações cognitivas, mesmo assim, para afirmarmos isto, precisaríamos também nos comprometer metafisicamente com alguma concepção de ‘realidade’ mais imediata. O que é exatamente o oposto do que defendemos nesta tese. Ademais, adotamos a postura de que precisamos lutar contra qualquer tentativa de fazer com que o mundo filosófico seja um universo fechado às diferentes inúmeras perspectivas que dispomos ou viremos a dispor.

Podemos perceber ao longo dos assuntos apresentados nesta tese que, quando tratamos de ciência ou de sua filosofia, precisamos ser rigorosos. É importante

precisarmos os conceitos com os quais trabalhamos para podermos expor claramente nossas explicações e intenções.

Vimos que existem várias definições para inconsistência, mas para o filósofo da ciência e o lógico que se propõe estudar teorias inconsistentes, sua definição lógica deve ser também determinada.

Precisamos ter o cuidado de analisar o desenvolvimento de uma teoria científica em todos seus estágios e apontar, caso haja uma inconsistência envolvida, onde ela se encontra, pois isto será importante para o estudo detalhado desta teoria.

Os estudos de caso apresentados mostraram o valor que uma teoria inconsistente pode ter para a ciência, pois ao estudarmos os fenômenos menosprezados pelo seu aspecto inicial de estranheza, podemos chegar a conclusões bastante importantes para o desenvolvimento científico.

Chamamos a atenção para a existência de sistematizações tão boas como as de natureza clássica, mesmo que inconsistentes; algumas delas podendo ser construídas a partir das clássicas, como a lógica paraclássica. Não devemos, deste modo, deixar de estudá-las. Além do mais, seu estudo é de grande valia para filosofia, pois, de certa maneira, nos liberta da visão clássica.

Notamos que soluções para dificuldades encontradas em nosso trabalho através da via clássica nem sempre são intuitivamente satisfatórias. Vale lembrar que dentro da história do saber temos nos deparado frequentemente com contradições que foram eliminadas paulatinamente, mas, ao mesmo tempo, deram lugar a novas contradições.

Pensamos que foi viável articular um estudo crítico sobre inconsistência em física. Levando em consideração que inconsistências em física já têm um papel importante dentro do domínio científico e filosófico, mostrou-se oportuno nosso intuito de trabalhar de forma logicamente disciplinada o estudo fundacional de teorias científicas inconsistentes.

Esperamos ter defendido que há boas razões para aceitarmos teorias científicas inconsistentes a partir de considerações lógicas e filosóficas. Para tanto, consideramos lógicas paraconsistentes que são bem-sucedidas ao lidar com inconsistências e considerando filosoficamente, de forma pragmática, a aceitação de certas teorias inconsistentes, que permitem resolver problemas, fazer previsões e investigações de âmbito científico, além de possibilitar o desenvolvimento de novas teorias – como é o caso da teoria do Átomo de Bohr.

Com isso, podemos olhar para as teorias científicas, como a física quântica, e buscar fundamentação lógica e matemática para que elas sejam condizentes com certos pressupostos básicos de índole filosófica. Assim, tratamos de considerar também o estudo de natureza ontológica das teorias que dispomos, do que existe em seus pressupostos e como ‘olhar o mundo’ tendo-as como lentes. Isto requer, ao

que tudo indica, aplicações da lógica à análise de teorias científicas. Acabamos por buscar motivações dadas pela ciência para a construção de novos sistemas lógicos e matemáticos. Uma série de teorias e novos desenvolvimentos se originaram das investigações em lógica e em fundamentos da matemática. A análise lógica da ciência, particularmente da física quântica, pode trazer à tona novas questões e também novas teorias e este fato já é suficiente para legitimar seu desenvolvimento.

Vimos que quando observamos um campo do conhecimento, no sentido de aplicarmos o método axiomático, procedemos escolhendo conceitos primitivos, através dos quais definimos outros conceitos e listamos axiomas. Contudo, podemos fazer isto de diversas maneiras, e se o campo for amplo e complexo, nada indica que a escolha dos conceitos e axiomas implicará que estas várias formulações sejam compatíveis entre si. Estes diferentes “modos de tratar” podem não ser consistentes uns com os outros, mesmo se estivermos tratando das mesmas coisas num núcleo mínimo de conceitos e princípios. O cientista, acreditamos, trabalha para obter resultados a partir de um amontoado de dados, conceitos e descrições. A axiomatização de um campo do conhecimento é tomada como uma parte da épura de um objeto tridimensional, que capta um ponto de vista que é determinado pelos conceitos básicos selecionados, delimitando o alcance da teoria desenvolvida. Isto caracteriza o que podemos chamar de perspectivismo em filosofia da ciência. Assumimos que seja ingênuo pensar que um campo do conhecimento bastante amplo possa ser apreendido por apenas uma axiomática que não seja extraordinariamente complexa e, por conseguinte, passível de críticas e dúvidas quanto ao próprio campo de conhecimento que ela descreve (KRAUSE, D., 2002). Além disso, entendemos que a escolha entre lógicas para tratarmos um campo do conhecimento é uma escolha pragmática e que depende de um contexto.

Por fim, sustentamos uma noção pluralista das fundações lógicas da ciência. Um amplo campo de conhecimento empírico pode ser teoricamente percebido de diferentes pontos de vista ou perspectivas, cada uma capturando parte do campo de certa forma. Estas perspectivas são geralmente postas informalmente, como o exemplo do modelo matemático, sem axiomatização; ou seja, as teorias físicas quando apresentadas pela primeira vez. Todavia, como vimos, cada teoria informal pode ser axiomatizada e isto pode ser feito de várias maneiras gerando diferentes teorias. Além disso, cada teoria axiomatizada pode ter diferentes modelos abstratos. As diferentes perspectivas são geralmente sustentadas por evidências empíricas e certamente é difícil sustentar uma perspectiva em detrimento de outra. Diferentes perspectivas invocam aparatos lógicos e matemáticos distintos, porém, é difícil argumentar qual perspectiva deva ser a escolhida.

Assim, a respeito da ciência, podemos supor que pontos de vista não-clássicos, baseados em lógicas não-clássicas são, de certa maneira, tão lícitos quanto

o clássico. Apenas critérios pragmáticos ou a própria evolução da ciência poderá nos mostrar o caminho que deveremos seguir. Apesar disso, acreditamos que mesmo no futuro não haverá tal “caminho certo” para teorizar sobre determinada área de conhecimento. No entanto, parece-nos difícil lidar com essa superabundância de possibilidades. Em virtude disso, podemos pensar numa metarregra, que existe certa atividade construtiva na ciência. As diferentes perspectivas podem agir como peças de um mosaico que usamos para cobrir o campo de conhecimento que estamos analisando (DA COSTA; KRAUSE, 2008).

Pensamos que a ciência não é inconsistente de modo geral. De tempos em tempos os cientistas se encontram em períodos em que suas melhores teorias, aquelas que fornecem as melhores previsões, são inconsistentes. Só que essas inconsistências estão relacionadas a teorias prévias ou a arcabouços matemáticos já bem estruturados. É uma situação um tanto quanto frustrante, pois essa discrepância entre uma leitura coerente da natureza, do domínio de estudo e das previsões que se mostram precisas com as ferramentas disponíveis para manipular essas informações, traz dúvida sobre os métodos científicos usuais, deixando os cientistas um tanto quanto desamparados. A postura dos que se encontram nessa configuração é crucial para que tenhamos sucesso no desbravar de novas fronteiras científicas.

Nesta tese não temos o intuito de estabelecer a verdade. Visamos conduzir uma investigação, que pensamos ser sempre a atitude imprimida pelo filósofo. Buscamos em um primeiro momento, na elaboração de uma teoria, chegar a uma interpretação em algum sentido neutra. Isso seria o ideal, mas é um objetivo difícil de ser alcançado, aparentemente inalcançável. Ademais, pensamos que a verdade funciona como um ideal regulador, um ideal norteador do filósofo/cientista. Acreditamos que usualmente conseguimos somente a verdade em termos de aparência – ‘tudo se passa como se’, geralmente dentro do âmbito de F ; entendemos que isto é o que atualmente temos como alcançável, isto é, uma postura onde visamos na verdade sem nunca esperarmos alcançá-la. Nosso objetivo maior é realizar uma tarefa adequadamente, pois tomamos o conhecimento em termos de *techné*, já que conhecimentos são construídos por seres humanos; construídos sempre, por vezes alcançados. Assim, a procura por entendimento não factível – a procura pela verdade, pelo conhecimento da Realidade Vaga – deve ser tomada como um ideal motivador. Trabalhamos, assim, com a ideia de como seria o mundo se tal teoria fosse verdadeira, com um intuito de conquista. Haja vista que teorias filosóficas não podem ser decididas empiricamente, conquanto podem ser compatíveis com evidências empíricas. Logo, o que é alcançável sobre a verdade é algo provisório e falível; o que devemos ter como ideal é uma ideia de busca por conhecimento.

Entendemos que precisamos assumir, num primeiro momento, alguma coisa – um conhecimento pressuposto – para poder começar uma explicação e irmos

alçando alguma compreensão. Contudo, também entendemos que esta é uma forma de plenitude, e tendemos a buscá-la. Precisamos de plenitude, porque o ser humano precisa de uma fundamentação, de algo concreto, permanente, para tranquilizar-se em suas atividades.

Acreditamos na acepção de que devemos nos consentir, habituar e satisfazer a um estado de coisas fadado a um progresso sem fim. Parece ser sempre uma situação parcial, aberta para revisão. Assim, o que temos disponível é um entender contextual, onde podemos ter a ideia de contexto como um guia metodológico de investigação; o entendimento compreendido como uma dimensão pragmática, uma compreensão do que é possível. Se estivermos plenos quanto a essa condição, pensamos que teremos paz, estaremos serenos no sentido de que não teremos uma guerra entre diferentes teorias, mas um perspectivismo. Portanto, visar na paz com a investigação filosófica/científica parece ser uma atitude bastante prudente.

Outrossim, tivemos ousadia suficiente para bancar uma escolha, ainda que não definitiva. Escolhemos adotar uma postura realista híbrida. Uma acepção de *R*, a Realidade Vaga.

Pensamos que o conceito de inconsistência como visto nas demais etapas do esquema apresentado não pode ser aplicado à Realidade Vaga, devido ao fato de que ela é única, um todo singular, como visto no capítulo 2 e o conceito de inconsistência traz consigo a ideia do plural seja de propriedade, seja de objetos, entre outros, que quando em união podem fazer emergir uma inconsistência. Ou seja, precisamos que um objeto, uma teoria tenha *partes* contraditórias⁴, o que não é possível de ser aplicado para a Realidade Vaga.

Ora, sabemos que existem outras concepções da Realidade Independente como a de d'Espagnat, onde a realidade é velada. Nossa acepção de *R* – Realidade Vaga – é apenas uma dentre tantas existentes e tantas que possam vir a surgir. Todavia, é ela que defendemos. Inclusive, talvez haja alguma concepção de *R* que possa ser classificada como inconsistente, mas também não é isto que defendemos. Defendemos, quanto a isto, que não cabe dizer se a Realidade Vaga é inconsistente ou não; devido ao fato de ser vaga, suspendemos o juízo.⁵

⁴ Como no caso do gato de Schrödinger, o gato não está vivo e (conjunção lógica) morto, ele está em uma superposição de estados que são ortogonais (KRAUSE, D., 2019). Dois estados ortogonais não são contraditórios no sentido clássico. Não é cabível aplicar a lógica clássica neste caso. Ainda assim, caso seja aplicada, não derivaríamos uma contradição. Portanto, não temos uma inconsistência neste caso também. Em um estado de superposição, assim como para o conceito de Realidade Vaga, não é aplicável o conceito de inconsistência como estamos habituados (no sentido clássico).

⁵ Com isso, queremos dizer que não negamos a possibilidade de *RV* ser inconsistente. Quanto a essa possibilidade, pensamos que se existirem contradições 'reais' (*RV* inconsistente) é provável que elas se manifestem em forma de aporias: "[a]s aporias microfísicas conduzem a tentativas de solução alternativas, mutualmente opostas. Não seria, então sensato aventar-se a hipótese de que as dificuldades de interpretação surgem pelo fato de se procurar descrições consistentes de uma realidade inconsistente?" (COSTA, N. da, 2008, p. 236). Entretanto, diferentemente de da Costa questionaremos: Não seria, então sensato aventar-se a hipótese de que as dificuldades de

Já quanto às inconsistências em F , gostaríamos de dizer também que elas são inconsistências evocativas, pois apontam aspectos que ainda necessitam ser trabalhados para haver maior fluidez, como na ideia de movimento onde ‘a realidade nos molda e nós moldamos a realidade’, por exemplo. Já que, essencialmente, se pensarmos neste exemplo específico, esse ‘círculo fechado’ pode ser pensado como o jargão de Wheeler “*it from bit*” (WHEELER, J., 1984, p. 309). Ele faz com que nem a mente seja anterior à matéria e nem a matéria seja anterior à mente. Como se eles ‘gerassem um ao outro’, por assim dizer. Porém, fica claro que ainda existem pontos que precisam ser investigados quanto a esta questão. Ademais, ainda temos ideias a serem investigadas, como paradoxos da física quântica, a saber, o ‘Paradoxo da Aritmética’ (D’ESPAGNAT, Bernard, 2003, Cap. 16.6).

Este é um exemplo de problema ainda em aberto dentro de nossa acepção Realidade Vaga. São colocados em conflito conceitos como, por exemplo, objetividade fraca, Não-Separabilidade, causalidade e tempo. Com isso, podemos esperar que nossa postura perspectivista funcione como um convite àqueles que tem interesse em estudar mais a fundo os diferentes aspectos de uma atitude realista híbrida. Seja para apenas sugerir e questionar este trabalho, seja para fortalecer e elaborar a acepção de Realidade Vaga ou seja para elaborar diferentes e não equivalentes acepções de R , por exemplo. Esperamos também, com esta tese, convocar os físicos para atentarem e se aprofundarem quanto aos aspectos filosóficos embutidos em seu domínio de trabalho; além de convocá-los para colaborar e contribuir com os aspectos da filosofia da física atual.

interpretação surgem pelo fato de se procurar descrições consistentes de uma Realidade Vaga? A superação de aporias faz-se usualmente à custa da completude e do poder explicativo das teorias, ou mediante a introdução de conceitos teóricos deveras afastados da experiência imediata, entre outras estratégias, e muitas vezes originam teorias alternativas. Ora, se as aporias com que nos defrontamos fossem tão somente falácias, não teria cabimento, pelo menos à primeira vista, que possuíssem semelhantes consequências. Assim, pensamos que como no geral a eliminação de aporias é possível e, entre limites razoáveis, funciona, não podemos garantir, com segurança e cabalmente, a existência de contradições em RV . Ainda que a noção de RV nos ajude a entender melhor as inconsistências, deixando livre o caminho de preocupações sobre inconsistências reais, permitindo o trabalho com inconsistências nas outras etapas de elaboração de uma Teoria.

REFERÊNCIAS

- A, Aspect. Proposed experiment to test the nonseparability of quantum mechanics. **Physical Review D**, v. 14, 1976.
- ANAXAGORAS. **Anaxagoras of Clazomenae: : Fragments and Testimonia : a text and translation with notes and essays / by Patricia Curd**. Toronto: University of Toronto Press, 1949.
- ARENHART J. R. B. & KRAUSE, D. Indistinguibilidade, não-reflexividade, ontologia e física quântica. **Scientiae Studia**, 2012.
- ARENHART, J.R. B. The Price of True Contradictions About the World. *In*: **CONTRADICTIONS, from Consistency to Inconsistency**. [S.l.]: Springer, 2018.
- ARISTÓTELES. **Física I - II**. first. São Paulo: EEditora da Unicamp, 2009.
- ARISTÓTELES. **Metafísica**. second. São Paulo: Edições Loyola, 2005. v. II.
- ARMENTEROS, R. *et al.* $\bar{p}p$ annihilations at rest into two mesons. *In*: PRENTKI, Jacques (Ed.). **In Proceedings of the 1962 International Conference on High Energy Physics at CERN**. Geneva: [s.n.], 1962.
- ARRUDA, A. **A Survey of Paraconsistent Logic. Mathematical Logic in Latin America**. [S.l.]: North-Holland publishing Company, 1980.
- BAKENT, Can; FERGUSON, Thomas Macaulay. **Graham Priest on Dialetheism and Paraconsistency**. [S.l.]: Springer Verlag, 2019.
- BEAL, J.; RIPLEY, D. Anaetheism and Dialetheism. **Analysis**, v. 64, 2004.
- BELL, J. Against Measurement. *In*: MILLER, A. I. (Ed.). **Sixty-Two Years of Uncertainty**. [S.l.]: Plenum, 1990. (NATO).
- BELL, J. S. Against 'Measurement'. *In*: MILLER, A. I. (Ed.). **Sixty two Years of Uncertainty**. [S.l.]: Plenum, 1990. (NATO).
- BELL, J. S. Foundations of Quantum Mechanics. *In*: PRESS, Academics (Ed.). **Proceedings of the Enrico Fermi International Summer School**. [S.l.: s.n.], 1971.
- BELL, J. S. On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics. **Review of Modern Physics**, v. 38, 1966.
- BELL, J. S. **Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1987.

- BELL, John Stewart. On the Einstein Podolsky Rosen paradox. **Physics**, v. 1, 1964.
- BITBOL, M. **L'aveuglante proximité du réel**. [S./]: Flammarion, 1998.
- BOHM, David; AHARONOV, Yakir. Discussion of Experimental Proof for the Paradox of Einstein, Rosen, and Podolsky. **Physics Review**, v. 108, 1957.
- BOHR, Niels. On the Constitution of Atoms and Molecules. **Philosophical Magazine**, v. 26, 1913.
- BOHR, Niels. **The theory of spectra and atomic constitution**. [S./]: Cambridge: Cambridge University Press, 1922.
- BONSACK, F. Prolegomena to a Realist Epistemology. **Dialectica**, v. 43, 1989.
- BRYSON BROWN, Graham Priest. Chunk and Permeate, a Paraconsistent Inference Strategy. Part I: The Infinitesimal Calculus. **Journal of Philosophical Logic**, 2004.
- C. DE RONDE, C Massri. A New Objective Definition of Quantum Entanglement as Potential Coding of Intensive and Effective Relations, 2019.
- C. DE RONDE, C Massri. Immanent Powers versus Causal Powers (Propensities, Latencies and Dispositions) in Quantum Mechanics, 2017.
- C. DE RONDE, C. Massri. Against the Tyranny of 'Pure States' in Quantum Theory, 2019.
- C. DE RONDE, C. Massri. The Logos Categorical Approach to QM: II. Quantum Superpositions., 2018.
- CALLEN, Herbert Bernard. **Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics**. [S./]: John Wiley e Sons, 1985.
- CAO, T. Y. **Conceptual Foundations of Quantum Field Theory**. Cambridge: Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- CARNAP, R. **The Logical Structure of the World**. second. [S./]: Chicago e La Salle: Open Court, 2005.
- CARNAP, Rudolf. Empiricism, Semantics, and Ontology. **Revue Internationale de Philosophie**, v. 4, 1950.
- CAUSER, J. F. Proposed experiment to test local hidden-variable theories. **Bulletin of the American Physical Society**, v. 14, 1969.

CHIARA, M. L. Dalla. **Logica**. Rio de Janeiro: Editoria Labor SA, 1974.

CHURCH. [S.l.: s.n.].

CLAUSTER, J. F. *et al.* Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories. **Physics Review**, v. 23, 1969.

COPLESTON, Frederick. **History of Philosophy**. New York: Doubleday, 1993. v. 1.

COSTA, N. A. C. da. **Sistemas Formais Inconsistentes**. Curitiba: Curitiba, Brasil: Universidade Federal do Paraná, 1958.

COSTA, N. A. C. da; BÉZIAU, J.; BUENO, O. **Elementos de teoria paraconsistente de conjuntos**. [S.l.]: UNICAMP, 1998.

COSTA, N. C. A. da; DORIA, F. A. **Suppes predicate for general relativity and set-theoretically generic spacetimes**. Curitiba: Int. J. Theo. Phys., 1990. v. 29.

COSTA, N.C.A. da; KRAUSE, D. Physics, inconsistency, and quasi-truth. **Synthese**, 2014.

COSTA, Newton da. **Ensaio sobre os Fundamentos da Lógica**. [S.l.]: Hucitec, 2008.

COSTA, Newton da. **Observações Preliminares**. Notas de Aula. [S.l.], 2018.

D. BOHM, B. J. Hiley. **The Undivided Universe**. [S.l.]: Routledge, 1993.

D. KRAUSE, O. Bueno. Scientific theories, models, and the semantic approach. **Principia**, 2007.

D., Hume. **Treatise of human nature**. second. Oxford: Oxford: Oxford Un. Press, 1985.

D., Krause. **Tópicos em Ontologia Analítica**. São Paulo: UNESP, 2017.

D'ESPAGNAT, B. Nonseparability and the Tentative Descriptions of Reality. **Physics Reports**, v. 110, 1984.

D'ESPAGNAT, Bernard. **Conceptual Foundations of Quantum Mechanics**. 2. ed. United States of America: Perseus Book Publishing, 1999. (Advanced Book Program: Classics).

D'ESPAGNAT, Bernard. **In Search of Reality**. New York: Springer-Verlag, 1983.

D'ESPAGNAT, Bernard. **Reality and the Physicist: Knowledge, Duration and the Quantum World**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

D'ESPAGNAT, Bernard. **Veiled Reality: An Analysis of Present-Day Quantum Mechanical Concepts**. Colorado: Westview Press, 2003. (Advanced Book Program: Frontiers in Physics).

DA COSTA, N.; KRAUSE, D.; BUENO, O. **Paraconsistent logics and paraconsistency**. [S.l.]: Elsevier, 2007.

DA COSTA, Newton; KRAUSE, Décio. **Physics and Non- Classical Logic**. [S.l.]: College Pu, 2008.

DA COSTA NEWTON E FRENCH, Steven. **Science and partial truth: a unitary approach to models and scientific reasoning**. [S.l.]: Oxford university press, 2003.

DALLA CHIARA M. L. E TORALDO DI FRANZIA, G. **Le Teorie Fische: Un'Analisi Formale**. Torino: Torino: Boringhieri, 1981.

DIRAC, P. A. M. **Quantum Mechanics**. third. [S.l.]: Oxford University Press, 1948.

DOMENECH, G.; HOLIK, F.; KRAUSE, D. **Q-spaces and the foundations of quantum mechanics**. [S.l.]: Foundations of Physics, 2007. v. 38.

DUMMETT, M. **Truth and Others Enigmas**. [S.l.]: Duckworth, 1978.

DÜRR D., Goldstein S.; ZANGUI, N. **Quantum Physics Without Quantum Philosophy**. [S.l.]: Springer, 2013.

E. S. FRY, R. C. Thompsn. Experimental test of local hidden-variable theories. **Physical Review Letters**, v. 37, 1976.

EINSTEIN. [S.l.: s.n.].

EINSTEIN, A. **Geometria e experiência (1921)**. São Paulo: Scientiae Studia, 2005. v. 3.

EINSTEIN, A. In: SCHILPP, P. A. (Ed.). **Albert Einstein: Philosopher, Scientist**. [S.l.]: Open Court, 1998. v. VII. (The Library of Living Philosophers). cap. iii.

EINSTEIN, Albert; PODOLSKY, Boris; ROSEN, Nathan. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? **Physics Review**, v. 47, 1935.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. [S.l.]: Campus, 1979.

FEYERABEND, P. On the Quantum Theory of Measurement. *In*: COLSTON Research Society. [S.l.]: Butterworth Scientific Publications, 1957.

FLAUSINO, Joanne Simon. **Inconsistências em Ciência**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. (Dissertação (Mestrado em Filosofia)).

FLAUSINO, Joanne Simon. Filosofia da Mecânica Quântica. *In*: VI Semana Acadêmica de Física. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2018. (Livro de Resumos).

FLAUSINO, Joanne Simon. Inconsistências em Física. *In*: XV Encontro Nacional da ANPOF. Florianópolis: ANPOF, 2012. (Livro de Resumos).

FLAUSINO, Joanne Simon. Inconsistências em Teorias Físicas. *In*: VIII Principia International Symposium. Florianópolis: NEL - Grupo de Pesquisa em Lógica e Epistemologia, 2013. (Livro de Resumos).

FLAUSINO, Joanne Simon. Inconsistências na Eletrodinâmica Clássica. *In*: X Principia International Symposium. Florianópolis: NEL - Grupo de Pesquisa em Lógica e Epistemologia, 2017. (Livro de Resumos).

FLAUSINO, Joanne Simon. Troublemaking Chunks Permeating Rational Reconstruction. *In*: VI Workshop on Quantum Mechanics. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2019. (Livro de Resumos).

FLAUSINO, Joanne Simon; ARROYO, Raoni Wohnrath. Da Lógica à Física: Interpretando a Mecânica Quântica. *In*: III Colóquio de Pesquisa em Filosofia da UFSC. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2019. (Livro de Resumos).

FRAASSEN, B. van. **The Scientific Image**. Oxford: Oxford University Press, 1980.

FRENCH, S.; KRAUSE, D. Quantum Objects are Vague Objects. **SORITES**, v. 6, p. 21–33, 1996.

FRENCH, S.; KRAUSE, D. Quantum Vagueness. **Erkenntnis**, v. 59, p. 97–124, 2003.

FRENCH, S.; KRAUSE, D. Vague Identity and Quantum Non-Individuality. **Analysis**, v. 55, p. 20–26, 1995.

FRENCH, S.; LADYMAN, J. Remodelling Structural Realism: Quantum Mechanics and the Metaphysics of Structure. **Synthese**, v. 136, p. 31–56, 2003.

FRISCH, M. **Inconsistency, Asymmetry, and Non-Locality**. [S.l.]: Oxford University Press, 2005.

GERLACH W.; STERN, O. Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld. **Zeitschrift für Physik**, v. 9, 1922.

GIERE, R. N. **Scientific Perspectiviem**. Chicago: The University of Chicago Press, 2006.

GLASHOW, S. L. Does quantum field theory need a foundation? *In*: CONFERENCE on Historical Examination and Philosophical Reflections on the Foundations of Quantum Field Theory. [S.l.: s.n.], 1999. P. 74–88.

GRAY, D. Rowe; J. J. **The Hilbert Challenge**. [S.l.]: Oxford University Press, 2000.

GRIFFITHS, David Jeffrey. **Introduction to Elementary Particle**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1987.

GRIFFITHS, David. **Introduction to Quantum Mechanics**. [S.l.]: Prentice Hall, 1995.

GUYER, Paul; HORSTMANN, Rolf-Peter. **Idealism**. Dez. 2019. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/idealism/>.

HACKING, I. **Representing and Intervening**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1983.

HARTLE, J. B. Quasiclassical Realms in a Quantum Universe. *In*: BROWN, J. D. (Ed.). **Lanczos International Centenary Conference**. [S.l.: s.n.], 1994.

HEISENBERG, H. **Encounters with Einstein and Other Essays on People, Places, and Particles**. Princeton: Princeton: Princeton Un. Press., 1983.

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss de Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, 2009.

HUSSERL, E. **Formal and Transcendental Logic**. Netherlands: Springer Netherlands, 1969.

HUSSERL, E. **Ideias Para uma Fenomenologia Pura e Para uma Filosofia Fenomenológica**. fourth. São Paulo: Editora Ideias e Letras, 2012.

HUSSERL, E. **Investigações Lógicas**. Lisboa: Universitas Olisiponensis, 2005. v. I.

J.D., Norton. A paradox in Newtonian gravitation theory II. *In*: [S.l.]: Springer, 2002. 85–195.

JACKSON, J. D. **Classical Eletrodynamics**. third. United States of America: Wiley, 1999.

JĄSKOWSKI, S. Um Cálculo Proposicional para Sistemas Dedutivos Inconsistentes. **Studia Logica**, v. 24, 1948.

KRAUSE D., Arenhart; B., J. R.; COSTA, N. A. C. da. Ontology and the mathematization of the scientific enterprise. **Phainomenon**, v. 25, 2017.

KRAUSE, D. **Introdução aos Fundamentos Axiomáticos da Ciência**. [S.l.]: Editora Pedagógica e Universitária, 2002.

KRAUSE, D. O gato de Schrödinger não está vivo e morto antes da medição: sobre a interpretação dos resultados quânticos. *In*: E. ALMEIDA A. COSTA-LEITE, R. Freire (Ed.). **Seminário de Lógica no Avião**. [S.l.]: Lógica no Avião, 2019.

KRAUSE, D. Structures and structural realism. **Logic Journal of IGPL (Interested Group in Pure and Applied Logic)**, v. 13, p. 113–126, 2005.

KRAUSE, D.; ARENHART, J. R. B. **The Logical Foundations of Scientific Theories: Languages, Structures, and Models**. New York: New York: Routledge, 2017.

KRAUSE, D.; ARENHART, J.R.B.; MORAES. Axiomatization and Models of Scientific Theories. **Foundations of Science**, 2011.

KRAUSE, Décio. Essay on Perspectivism in the Philosophy of Science. **South American Journal of Logic**, (forthcoming).

KRAUSE, Décio. Ideas and Difficulties with a Quantum Mereology. *In*: VI Workshop on Quantum Mechanics. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2019. (Livro de Resumos).

KRAUSE, Decio; ARENHART, Jonas. Perspectivism in philosophy of science: a case-study in quantum physics. **Scientiae Studia**, v. 11, p. 159–183, mar. 2013. DOI: 10.1590/S1678-31662013000100008.

KRAUSE D. FRENCH, S. **Identity in Physics: A Historical, Philosophical, and Formal Analysis**. [S.l.]: Oxford University Press, 2006.

KREISEL, G. Informal Rigour and Completeness Proof. **Studies in Logic and the Foundations of Mathematics**, v. 47, 1967.

KUNEN, K. **The foundations of mathematics**. [S.l.]: London: College Publications, 2009.

LADYMAN, J. What is structural realism? **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 29, 1998.

LADYMAN, James. Structural Realism. *In*: ZALTA, Edward N. (Ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Fall 2019. [S.l.]: Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2019.

LAKATOS, I. **A Lógica do Descobrimento Matemático: Provas e Refutações**. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.

LAKATOS, I. **Proofs and Refutations: The Logic of Mathematical Discovery**. [S.l.]: Cambridge Press, 1976.

LINDBERG, D. C.; WESTMAN, R. S. **Reappraisals of the Scientific Revolution**. Cambridge: Cambridge: Cambridge Un. Press., 1990.

LYNDS, P. **Zeno's Paradoxes: A Timely Solution**. 2003. Disponível em: http://philsci-archive.pitt.edu/1197/1/Zeno_s_Paradoxes_-_A_Timely_Solution.pdf.

M. BRYSON BROWN, Graham Priest. Chunk and permeate II: Bohr's hydrogen atom. **European Journal for Philosophy of Science**, 2015.

M. E. PESKIN, D. V. Schroeder. **An Introducton to Quantum Field Theory**. [S.l.]: Persus, 1995.

MALIN, S. **Nature Loves to Hide: Quantum Physics and the Nature of Reality, a Western Perspective**. Oxford: Oxford: Oxford Un. Press, 1985.

MATLIN, M. W. **Psicologia cognitiva**. fifth. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MAUDLIN, T. **The Metaphysics Within Physics**. Oxford: Oxford: Oxford Un. Press, 2007.

MOULINES, C. U. A study in protophysics. *In*: AGASSI, J.; COHEN, R.S. (Ed.). **Scientific Philosophy Today**. [S.l.]: D. Reidel Publishing Company, 1981. P. 207–224.

MULLER, F. A. Inconsistency in classical electrodynamics? **Philosophy of Science**, 2007.

MULLER, Frederik Archibald. The Slaying of the iMongers. **Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v. 48, p. 52–55, 2014.

NORTON, J.D. The logical inconsistency of the old quantum theory of black body radiation. **Philosophy of Science**, 1987.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica - Ótica, Relatividade, Física Quântica**. second. [S./]: Blucher, 2014. v. 4.

POINCARÉ, H. **La valeur de la science**. [S./]: Flammarion, 1905.

POPPER, K. What is Dialectic? **Mundo**, v. 49, 1940.

POPPER, K. R. **Objective Knowledge: An Evolutionary Approach**. Oxford: Oxford University Press, 1979.

POPPER, Karl R. **O Conhecimento Objetivo**. [S./]: São Paulo: editora da USP, 1975.

PRIEST, G. Doubt truth to be a liar. **Review of Modern Logic**, v. 11, p. 133–140, 2007.

PRIEST, G; BEAL, J.; ARMOUR-GARB, B. **The Law of non-Contradiction**. [S./]: Oxford University Press, 2004.

PRIMAS, H. **Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism**. [S./]: Springer, 1981.

PRUGOVEČKI, Eduard. **Quantum Mechanics in Hilbert Space**. second. [S./]: Dover Publications, 2006.

PUTNAM, Hilary. **Reason, Truth and History**. [S./]: Cambridge University Press, 1981.

QUINE, R. **Empirismo, Semântica e Ontologia**. first. São Paulo: Editora Abril Cultural, 1975. (Coleção Os Pensadores).

R. P. FEYMMAN R. B. LEIGHTON, M. SANDS. **Lectures on Physics**. [S./]: Addison-Wesley Publishing Company, 1964. v. 2.

RONDE, C. de. Representational Realism, Closed Theories and the Quantum to Classical Limit, 2016.

ROSENFELD, L. L'évidence de la complémentarité. *In*: LOUIS de Broglie - physicien et penseur. [S./]: Albin Michel, 1953.

RUNES, D. **The Dictionary of Philosophy**. fourth. [S./]: Philosophical Library, 1942.

- RUSSELL, Bertand. **History of Western Philosophy**. New York: Simon & Schuster, 1945.
- RUSSELL, Gillian. Logical Pluralism. *In*: ZALTA, Edward N. (Ed.). **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Summer 2019. [S.l.]: Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2019.
- RUTHERFORD; HOLTON; CASSIDY. **Understanding Physics**. [S.l.]: Birkhäuser, 2002. (Harvard Project Physics).
- SAKURAI, Jun John. **Modern Quantum Mechanics**. [S.l.]: Addison-Wesley Publishing Company, 1994.
- SCHRÖDINGER, E. **Mind and Matter**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1958.
- SCHWARTZ, M. Proposed Method of Measuring the Spin of the K Meson. **Physics Review Letters**, v. 6, 1961.
- SHAPIRO, S. **Varieties of Logic**. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- SHIMONY, A. Contextual Hidden Variables Theories and Bell's Inequalities. **The British Journal for the Philosophy of Science**, v. 35, 1984.
- STAPP, H. P. The Copenhagen Interpretation. **American Journal of Physics**, v. 40, 1972.
- SUPPE, F. **The Structure of Scientific Theories**. second. Illinois: University of Illinois Press, 1977.
- SUPPES, P. Heuristics and the axiomatic method. *In*: GRONER M. & BISCHOF, W. F. (Ed.). **Methods of heuristics**. [S.l.]: Hillsdale: Erlbaum, 1983. P. 79–88.
- SUPPES, Patrick. **Representation and Invariance of Scientific Structures**. United States: Stanford: Center for the Study of Language e Information Publications, 2002.
- TAHKO, Tuomas E. The Law of Non-Contradiction as a Metaphysical Principle. **Australasian Journal of Logic**, v. 7, 2009.
- TORALDO DI FRANCIA, G. **L'Indagine del Mondo Fisico**. Torino: Torino: Einaudi, 1976.
- VAN FRAASSEN, Bas. **Quantum Mechanics: An Empiricist View**. [S.l.]: Clarendon Press, 1991.

VICKERS, Peter. Theory flexibility and inconsistency in science. *Synthese*, v. 191, 2014.

VICKERS, Peter. **Understanding Inconsistent Science**. United Kingdom: Oxford University Press, 2013.

VON NEUMANN, John. **Mathematical Foundations of Quantum Mechanics**. [S.l.]: Princeton University Press, 1955.

WHEELER, J. A. How come the quantum? **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 480, 1986.

WHEELER, J.A. Bits, Quanta, Meaning. *In*: A. GIOVANNI, F. Manom; MARINARO, M. (Ed.). **Problems in Theoretical Physics**. [S.l.]: U. of Salerno Press, 1984. P. 79–88.

WILLIAMSON, T. Vagueness in reality. *In*: LOUX, M. J.; ZIMMERMAN, D. W. (Ed.). **The Oxford Handbook of Metaphysics**. Oxford: Oxford: Oxford Un. Press, 2003. P. 690–715.

ZEH, H. On the interpretation of measurement in quantum theory. **Foundations of Physics**, v. 1, 1970.

ZUREK, W. H. Environment-induced superselection rules. **Physical Review D**, v. 26, 1982.

ZWIRN, H. **Les limites de la connaissance**. [S.l.]: Odile Jacob, 2000.

Anexos

ANEXO A – E.P.R.

A Não-Separabilidade de sistemas quânticos que já interagiram se apresenta como uma consequência fundamental dos princípios gerais da mecânica quântica. Além disso, a Não-Separabilidade tem implicações conceituais deveras importantes. Por isso, iremos investigar o assim chamado “enigma” em maiores detalhes.

Se quisermos entender de uma maneira não tão rasa os aspectos vinculados à Não-Separabilidade, precisamos necessariamente considerar alguns pontos intrincados que foram levantados por Einstein, Podolsky e Rosen (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935). Apresentaremos, aqui, tais dificuldades, assim como uma solução que é tacitamente aceita para a mecânica quântica convencional (D’ESPAGNAT, Bernard, 1999) para podermos, mais adiante, defender com maior propriedade e clareza nossas colocações.

O problema apresentado por Einstein, Podolsky e Rosen (também conhecido como E.P.R.) tem aspectos formais e aspectos conceituais. Iremos apresentá-los separadamente da mesma maneira que d’Espagnat (D’ESPAGNAT, Bernard, 1999), pois ambos temos posturas que se coadunam com as noções mais comuns de realismo encontrados na literatura, ademais, pensamos que esta abordagem seja mais vantajosa. Com isso, aos poucos vamos apresentando nossa noção de realismo.

A.1 ASPECTOS FORMAIS

Consideremos dois tipos de sistemas quânticos U e V e os espaços de Hilbert (PRUGOVEČKI, 2006) $\mathcal{H}^{(U)}$ e $\mathcal{H}^{(V)}$ atrelados a eles. É de nosso interesse investigar o caso em que um sistema do tipo U interage durante um intervalo de tempo finito Δt com um sistema do tipo V ; como no exemplo de uma interação entre os dois sistemas que ocorre em um intervalo Δt .

Consideremos agora um conjunto de tais eventos de interação. Inicialmente, o *ensemble* de sistemas U é preparado de forma que pode ser descrito antes da interação por um vetor de estado $|f_i\rangle \in \mathcal{H}^{(U)}$. O *ensemble* de sistemas V pode ser descrito antes da interação pelo vetor de estado $|\phi_0\rangle \in \mathcal{H}^{(V)}$. A interação entre U e V pode, então, ser tal que depois da interação o *ensemble* de sistemas U pode ainda ser descrito por um vetor $|f_i\rangle$, enquanto que o *ensemble* de sistemas V é descritível por um vetor $|\phi_i\rangle$ de $\mathcal{H}^{(V)}$. Escrevemos, assim:

$$|f_i\rangle |\phi_0\rangle \rightarrow |f_i\rangle |\phi_i\rangle \quad (6)$$

Generalizando, a interação entre U e V é tal que:

$$|f_i\rangle |\phi_0\rangle \rightarrow |f'_i\rangle |\phi_i\rangle \quad (7)$$

Temos que $|f'_i\rangle \neq |f_i\rangle$ e que em (1) e (2) a seta representa o efeito do operador de evolução do tempo no vetor de estado do sistema composto, *i.e.* em $\mathcal{H}^{(U)} \otimes \mathcal{H}^{(V)}$. Antes da interação, este vetor de estado é um produto de vetores de estado. Particularmente, aqui, ele é um produto de vetores de estado também depois da interação. Por consequência, se por acaso os vetores $|f_i\rangle$ e $|f'_i\rangle$ são autoestados de algum observável A de U , e os vetores $|\phi_j\rangle$ são autoestados de algum observável B de V :

$$A|f_i\rangle = a_i|f_i\rangle \quad (8)$$

$$A|f'_i\rangle = a'_i|f'_i\rangle \quad (9)$$

$$B|\phi_j\rangle = b_j|\phi_j\rangle \quad (10)$$

Assim, da interação (2) pode ser dito que ela “muda” os valores de A e de B . A muda de a_i para a'_i e B muda de b_0 para b_j . O processo de medição de uma quantidade física A que pertence a U por meio de um instrumento V cuja coordenada do indicador é B e (quando suficientemente esquematizado) fornece um exemplo de tal caso¹. Notemos que independentemente de quais tipos de experimentos serão sucessivamente planejados para esses sistemas, permanece válido sem restrições que, no caso em consideração, as descrições dos sistemas U e V possuem cada qual valores *definidos* para A e B .

Os casos envolvendo interações como em (1) e (2) são casos especiais de fenômenos de interação². Tais casos são consequência *inevitável* de princípios fundamentais da mecânica quântica, a saber, a linearidade das leis de evolução. Matematicamente, a propriedade da linearidade implica que teremos como consequência de (1):

$$(|f_i\rangle + |f_k\rangle)|\phi_0\rangle \rightarrow |f_i\rangle|\phi_i\rangle + |f_k\rangle|\phi_k\rangle \quad (11)$$

A seta descreve novamente a evolução no tempo de antes para depois da interação. O que é descrito pelo membro esquerdo (antes da flecha) de (6) é ainda um produto de um vetor de estado de $\mathcal{H}^{(U)}$ e um vetor de estado de $\mathcal{H}^{(V)}$; contudo, o membro direito (parte depois da flecha) descrito por (6) *não o é*.

¹ a'_i pode ser ou diferente ou idêntico a a_i , dependendo se o processo de medição induz ou não a uma perturbação no valor de A ou U

² Interação temporária entre dois sistemas.

Para pensarmos em um exemplo em que o membro esquerdo seja fisicamente percebido diremos que:

$$|f_j\rangle + |f_k\rangle \quad (12)$$

(7) é um autovetor de algum observável C ligado aos sistemas do tipo U ; e.g., se A é a componente z de spin $\frac{1}{2}$, C é a componente x correspondente. Em tais casos, o membro esquerdo de (6) pode ser preparado da mesma forma como pode ser preparado o membro esquerdo de (1), fazendo-se medições preliminares em U , as quais incluem uma medição em C como uma substituta para a medição em A . A interpretação física usual do membro esquerdo de (6) é similar à feita acima; antes da interação, os observáveis B de V e C de U ambos têm valores definidos. No entanto, *não* podemos encontrar uma interpretação física similar (simples e intuitiva) do membro direito de (6), já que ele *não* é expresso como um produto de um vetor em $\mathcal{H}^{(U)}$ e um vetor em $\mathcal{H}^{(V)}$ ³.

Assim sendo, suspeitamos que no caso geral quando dois sistemas interagiram no passado, não é possível atribuir para cada um deles⁴ qualquer vetor de estado definido. Também não é possível atribuir para cada sistema valores definidos (mesmo que possivelmente desconhecidos) para um sistema completo de observáveis compatíveis que pertenceriam ao sistema sozinho. Não obstante, mesmo mantendo o que foi dito acima, ainda não podemos considerar este o final de nossa análise. Isto devido ao fato de que o vetor de estado para o sistema composto $U + V$ é essencialmente o único elemento de um formalismo matemático propriamente dito. Pode ser que, por exemplo, como acontece usualmente na física, vários vetores de estado corresponderiam às *mesmas* condições físicas e que a diferença entre elas simplesmente refletiria diferenças no que é conhecido pelos indivíduos. Para investigarmos a validade do que apresentamos acima, precisamos analisar se descrições alternativas do estado final do sistema podem ou não serem inventadas, de forma que sejam compatíveis com a atribuição de um vetor de estado definido e/ou de um *ensemble* definido de propriedades físicas para o *ensemble* de sistemas U e para o conjunto de sistemas V separadamente.

Seja o *ensemble* \mathcal{E}_0 (puro) de sistemas compostos $V + U$, descritos por:

$$|\psi_0\rangle \equiv (|f_1\rangle + |f_2\rangle)|\phi_0\rangle \quad (13)$$

Depois da interação esse *ensemble* \mathcal{E}_0 passa a ser o *ensemble* \mathcal{E} descrito

³ Ver mais em: (C. DE RONDE, C. Massri, 2019b)

⁴ Também não é possível atribuir um vetor de estado para qualquer *ensemble* deles se o experimento for repetido.

por:

$$|\psi\rangle \equiv |f_1\rangle|\phi_1\rangle + |f_2\rangle|\phi_2\rangle \quad (14)$$

Precisamos agora investigar se \mathcal{E} pode ser descrito como uma composição de *subensemble* E_n , cada qual sendo caracterizado pela atribuição de um vetor de estado definido ao *ensemble* de seus sistemas U e de um vetor de estado definido ao *ensemble* de seus sistemas V ⁵. Vamos considerar o caso em que todos os operadores hermitianos de um espaço de Hilbert $\mathcal{H}^{(U)} \otimes \mathcal{H}^{(V)}$ correspondem a observáveis. A hipótese geral que é construída por meio da mecânica quântica básica – *i.e* sem variáveis ocultas – parte da afirmação de que em qualquer *ensemble* de sistemas, cuja especificação não envolve referências aos resultados de medições futuras que ainda não de ser realizadas nesses sistemas, obedecem as leis da mecânica quântica básica. Denominamos qualquer *ensemble* de sistemas que obedecem as leis da mecânica quântica básica de “*ensemble* quânticos” (D’ESPAGNAT, Bernard, 1999). Esta afirmação implica que \mathcal{E} *não* pode ser descrito como uma composição de *subensemble* E_n . Não é possível considerar \mathcal{E} como sendo a união de vários *ensembles*, em cada qual os sistemas U constituiriam por eles mesmos um *ensemble* descrito por um vetor de estado⁶. Sendo assim, não é possível considerar cada sistema U constituinte (ou sistema V) como tendo um *ensemble* completo de propriedades definidas.

Nossa investigação constata que, no âmbito da mecânica quântica básica (convencional), quando dois sistemas quânticos, em que cada qual poderia originalmente ser considerado como tendo um *ensemble* completo de propriedades definidas, uma vez que tenham interagido, não é mais possível, de maneira geral, pensar cada um deles como possuindo seu próprio *ensemble* completo de propriedades definidas; sendo os valores específicos de observáveis que pertencem somente a um sistema, independentemente de futuros experimentos aplicados a tal sistema, são as tais “propriedades definidas”. Por fim, essa constatação é verificada mesmo para sistemas que interagiram no passado, mas não interagem mais no momento em que são considerados. Chegamos à essência do que chamamos de *Não-Separabilidade* quântica de sistemas.

A.2 ASPECTOS CONCEITUAIS

Para explicarmos os aspectos conceituais da propriedade de Não-Separabilidade na mecânica quântica e as diferenças que encontramos com a mecânica clássica faremos o uso dos mesmos exemplos apresentados por d’Espagnat (D’ESPAGNAT, Bernard, 1999).

⁵ Sendo que esses vetores de estado podem ser diferentes uns dos outros para diferentes E_n .

⁶ O mesmo aconteceria de forma similar aos *ensembles* V .

Exemplo A (Física Clássica)

Um carro equipado com dois eixos de rodas é mandado ao espaço. Cada eixo fora colocado previamente em movimento de rotação e o momento angular dos eixos tem o mesmo módulo e sentidos opostos. O sistema como um todo não tem momento angular. Em um instante t_0 acontece uma explosão no centro do carro e o despedaça nas partes dianteira U e traseira V . U e V têm movimento de rotação de mesmo módulo e sentidos opostos, os quais descreveremos em termos de momento angular ou vetores de *spin* $\sigma^{(U)}$ e $\sigma^{(V)}$. Observadores podem subsequentemente fazer medições de várias componentes de $\sigma^{(U)}$ e $\sigma^{(V)}$ definidas em um dado sistema de referência. Podem também comparar seus resultados com o intuito de investigarem possíveis correlações.

Exemplo B (Física Quântica)

Uma partícula ausente de *spin* com uma paridade positiva decai em um instante t_0 para duas partículas U e V eletricamente neutras de *spin* $-\frac{1}{2}$, as quais têm a mesma paridade intrínseca. A interação que é responsável pelo decaimento da partícula conserva a paridade. Um sistema de obturadores torna possível selecionar as partículas U - sem afetar os *spins* - que viajam em alguma direção definida e as partículas V que viajam em direção oposta. O vetor chamado de $\sigma^{(U)}$ ($\sigma^{(V)}$) é duas vezes o *spin* do vetor de U (V) (BOHM; AHARONOV, 1957).

Exemplo C (Física Quântica)

Antiprótons são colocados em repouso em hidrogênio líquido. Em seguida, são selecionados os casos em que os sistemas antipróton-próton decaíram em dois káons⁷.

Nos exemplos A e B observadores podem medir as várias componentes de $\sigma^{(U)}$ e $\sigma^{(V)}$, comparar resultados e estabelecer possíveis correlações. De maneira similar, no exemplo C também é possível medir as hipercargas e os números quânticos CP ⁸ dos káons.

O uso desses exemplos tem como propósito testar a validade de dois

⁷ Káon é a abreviação de méson K; é o nome coletivo de quatro partículas subatômicas: K_+ , K_- , K_0 e anti- K_0 . Káons são mésons que possuem massa mais leve que píons. São bósons, pois possuem *spin* nulo. (GRIFFITHS, 1987)

⁸ O número quântico CP está relacionado à simetria CP , que é uma simetria sobre a transformação de partículas em antipartículas; conjugação de Carga e inversão das coordenadas espaciais, *i.e.* a Paridade. Por exemplo, um elétron UP se torna um pósitron DOWN; a simetria CP inverte todos os eixos espaciais e transforma partículas em antipartículas.

princípios conceituais utilizados tanto na mecânica clássica quanto na mecânica quântica. Esses princípios conceituais nada mais são do que ideias simples e intuitivas da “Natureza” que estão um tanto quanto implícitas em nosso raciocínio, em nossa mente. Mesmo assim, poderíamos pensar que tais princípios conceituais poderiam ser concebivelmente rejeitados. Antes de pensarmos em rejeitá-los, vamos primeiro enunciá-los.

Princípio da Realidade (Einstein, Podolsky, Rosen)

Na sua busca por critérios que tornariam possível reconhecer os elementos da realidade, Einstein, Podolsky e Rosen tiveram que levar em conta que a maioria das medições de quantidades microscópicas alteram obrigatoriamente, de alguma maneira, o sistema nas quais são feitas. Tendo em vista que geralmente consideramos que o que discrimina fenômenos reais de imaginários é que os fenômenos reais apresentam regularidades que os fazem previsíveis. Porém, como muitos processos de medição interferem nas quantidades a serem medidas, a questão quanto a ser ou não possível que a própria medição possa criar o valor medido viera a assolar os físicos. Assim, Einstein, Podolsky e Rosen propuseram o seguinte:

“Se, sem de qualquer maneira perturbar um sistema, podemos prever com certeza (*i.e.*, com probabilidade igual a unidade) o valor de uma quantidade física, então existe um elemento⁹ de uma realidade física correspondendo a esta quantidade.” (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935)

Princípio da Separabilidade de Sistemas Mecanicamente Isolados

Este princípio, pode-se dizer, encontra-se de alguma forma implícito no trabalho de Einstein, Podolsky e Rosen e é *la source* de inúmeras complicações. Ademais, ele pode ser formulado de tal maneira que quase pareça ser autoevidente, tornando difícil renegá-lo. Enunciamos o princípio da seguinte forma:

“Se um sistema físico permanece, durante um certo tempo, mecanicamente (incluindo eletromagneticamente, etc.) isolado de outros sistemas, então a evolução de suas propriedades¹⁰ durante todo esse intervalo de tempo não pode ser influenciada instantaneamente por operações sendo executadas em outros sistemas.” (D’ESPAGNAT, Bernard, 1999)

Testaremos agora os princípios conceituais nos dois sistemas - clássico e quântico. Não são encontradas dificuldades no exemplo clássico (exemplo A), pois a qualquer tempo subsequente ao tempo t_0 da explosão, cada spin $\sigma^{(U)}$ e $\sigma^{(V)}$ tem

⁹ Entendemos aqui “elemento” como uma *propriedade* do sistema.

¹⁰ Uma propriedade do sistema é um atributo que pode ser designado a esse sistema sem qualquer restrição referente ao tempo futuro. Ela não pode depender de um tempo t em que experimentos são planejados para tempos posteriores. A existência (característica) de um sistema desse tipo (sistema independente de outros sistemas) é para ser considerada como uma de suas propriedades e deve também obedecer o Princípio de Separabilidade de Sistemas Físicos Isolados.

uma direção no espaço bem definida; mesmo que tal direção possa variar de sistema composto $U+V$ para um outro e mesmo que tal direção seja inicialmente desconhecida. Quando em um tempo $t_1 > t_0$, o observador fizer a sua primeira medição em $\sigma_3^{(U)}$, por exemplo, ele não influenciará de qualquer maneira os valores das componentes de $\sigma^{(V)}$, mesmo se a medição mudar a direção de $\sigma^{(U)}$. Sendo assim, o Princípio de Separabilidade de Sistemas Físicos Isolados não é violado.

Para considerarmos o exemplo quântico (exemplo B), vamos chamar de u_{\pm} e v_{\pm} os autovetores de $\sigma_3^{(U)}$ e $\sigma_3^{(V)}$, respectivamente. Separaremos as leis de conservação do momento angular total e a força de paridade do *spin* total do sistema $U+V$ é considerada nula (como no exemplo A). Assim, o vetor de estado de spin ψ que descreve o *ensemble* \mathcal{E} do sistema composto $U+V$ em qualquer tempo subsequente a t_0 e anterior a t_1 da primeira medição do *spin* é (GRIFFITHS, 1995):

$$\psi = 2^{-\frac{1}{2}}(u_+v_- - u_-v_+) \quad (15)$$

Neste exemplo, quando é feita a primeira medição de $\sigma_3^{(U)}$ ocorre o colapso da função de onda. Depois da medição os N sistemas¹¹ V são divididos em dois *subensembles*, E_+ e E_- , cada qual envolvendo aproximadamente $N/2$ sistemas. Um desses, E_+ , contém todos os sistemas V associados com os sistemas U para os quais o resultado da primeira medição foi positiva. O *subensemble* E_+ é descrito pelo *ket* v_- de acordo com a aplicação do princípio do colapso da função de onda por meio de uma medição incompleta¹² (D'ESPAGNAT, Bernard, 1999). De maneira similar, o *subensemble* E_- dos sistemas V cujos resultados da medição de $\sigma_3^{(U)}$ é descrito pelo *ket* v_+ .

Em seguida vamos tomar um sistema particular V e considerá-lo em um intervalo de tempo $t'_1 > t_1$ em que não tenha havido ainda interação com qualquer sistema de medição. Este sistema particular é, então, um de dois *subensembles* E_+ e E_- . Deste modo, a medição que foi feita em $\sigma_3^{(U)}$ possibilita prever com segurança o valor que irá ser observado para $\sigma_3^{(V)}$ quando aquela quantidade for medida¹³. Por outro lado, essa possibilidade se deu (no tempo t_1) sem qualquer perturbação no sistema V , que estava isolado de U no tempo t_1 . Nestas condições, o Princípio da Realidade nos diz que um elemento da realidade existe, o qual está associado com $\sigma_3^{(V)}$.

¹¹ N é o número total de sistemas em \mathcal{E} .

¹² Seja E_0 um *ensemble* de sistemas S que é descrito por um *ket*. Imediatamente após serem feitas medições simultâneas (ideais) em um *ensemble* incompleto de observáveis A, B, \dots pertencentes aos sistemas S , cada *subensemble* E , que é composto de sistemas S nos quais medições produziram *ensembles* idênticos de resultados, pode ser descrito por um *ket*.

¹³ A mecânica quântica fornece alguma informação sobre um sistema individual somente quando este sistema é um membro de um *ensemble* descrito por um *ket* que é um autovetor de alguma quantidade observável. Como podemos notar, este é precisamente o caso aqui.

Um sistema particular V sendo considerado realmente tem uma propriedade física definida¹⁴ que é apropriadamente descrita pelo fato de que $\sigma_3^{(V)} = -1$ para este sistema. Vamos considerar o mesmo sistema V , não só no tempo t'_1 , mas durante todo o intervalo (t''_1, t'_1) que é caracterizado pelas desigualdades:

$$t_0 < t''_1 < t_1 \quad (16)$$

$$t_1 < t'_1 < t_2 \quad (17)$$

Onde t_2 é o tempo no qual V interage com o instrumento que mede $\sigma_3^{(V)}$. Durante todo o intervalo de tempo, V permanece mecanicamente isolado. O Princípio da Separabilidade de Sistemas Mecanicamente Isolados nos diz que a evolução no tempo das propriedades de V é exatamente a mesma, como se U não existisse - como se tivéssemos apenas V . As leis da mecânica quântica referentes à evolução nos dizem que, se V está isolado e avulso e se seu $\sigma_3^{(V)}$ tem um valor bem definido em algum instante do tempo, V tem o mesmo valor bem definido em qualquer tempo (anterior ou posterior)¹⁵. Assim, se o Princípio da Separabilidade de Sistemas Mecanicamente Isolados está correto, ficamos atrelados à conclusão de que mesmo em um tempo $t = t''_1$ o sistema particular V que estamos considerando já tinha a propriedade física¹⁶ que é descrita pela afirmação: “ $\sigma_3^{(V)}$ tem o valor -1 ”. Dessa forma, essa afirmação deveria ser vista como sendo “objetivamente verdadeira” no mesmo sentido em que ela precisa necessariamente se sustentar independentemente de quais medições decidiremos realizar em qualquer período de tempo posterior; isto, estando o Princípio da Separabilidade de Sistemas Mecanicamente Isolados correto.

Devemos inferir de acordo com o que foi apresentado acima que, considerando o *ensemble* E_+ constituído de tais sistemas V suas propriedades de *spin* eram no instante $t = t''_1$ idênticas ao que eram no tempo $t = t'_1$. Vejamos, a única diferença entre essas duas situações é que no instante $t = t'_1$ alguém *sabe* o valor de $\sigma_3^{(V)}$ para todos os membros deste *ensemble*, enquanto que no tempo $t = t''_1$ ninguém tinha tal conhecimento. No entanto, a diferença sobre o conhecimento de alguém que não interage com os dados sistemas não afeta as propriedades físicas objetivas desses sistemas. Logo, inclusive no instante $t = t''_1$ o *ensemble* E_+ pode - considerando suas propriedades de *spin* - ser pelo descrito *ket* v_- . Portanto, é um caso puro. Também podemos descrever E_- no instante $t = t''_1$ pelo *ket* v_+ .

Dado o *ensemble* \mathcal{E}_+ dos sistemas $U+V$, cujos sistemas V são compostos de E_+ , vamos considerá-lo no intervalo t''_1 . Devido à condição inicial de que o *spin*

¹⁴ Isto independentemente de nosso conhecimento e de nosso planejamento em relação ao experimento.

¹⁵ As equações de movimento são reversíveis temporalmente neste caso.

¹⁶ Considerada um elemento da realidade física.

total é nulo, sabemos que para qualquer *subensemble* dos sistemas totais $U+V$, as medidas das componentes de *spin* de U e V ao longo de quaisquer eixos deve ter resultado zero. Isto é válido para qualquer formalismo; a matriz de densidade associada a \mathcal{E}_+ deve, assim, prever $\sigma_3^{(U)} = +1$ com dispersão zero; pois, como vimos, ela deve prever $\sigma_3^{(V)} = -1$ com dispersão zero. Como $\sigma_3^{(U)}$ e $\sigma_3^{(V)}$ constituem juntas um sistema completo de observáveis compatíveis nos sistemas de *spin* $U+V$, temos que \mathcal{E}_+ é um estado puro¹⁷ descrito por u_+v_- . Da mesma forma, o *ensemble* \mathcal{E}_- de todos os outros sistemas $U+V$ é também um estado puro descrito por u_-v_+ .

O *ensemble* total \mathcal{E} dos sistemas $U+V$ deve ser, deste modo, um estado misto (apropriado) desses dois estados puros. Todavia, não podemos concluir isto, pois o exemplo particular tratado aqui se utiliza de algo que não está presente nas condições iniciais. Sabemos que \mathcal{E} é ele próprio um estado puro (D'ESPAGNAT, Bernard, 1999). Sendo assim, poderíamos aplicar novamente o teorema que afirma que não há estado misto que forneça as mesmas previsões estatísticas que um estado puro. Dadas as circunstâncias, a frequência estatística na qual os valores esperados de medições simultâneas de $\sigma_1^{(U)}$ e $\sigma_1^{(V)}$ são ambas $+1$, por exemplo, é nula; enquanto que na presente situação teríamos $\frac{1}{4}$ para o estado misto.

Evidenciada tal discrepância, o fim de nossa investigação nos leva a questionar a aplicação do Princípio de Realidade e do Princípio de Separabilidade de Sistemas Mecanicamente Isolados, pois sua aplicação sistemática nos leva a uma contradição com as previsões dadas pela mecânica quântica¹⁸.

Por fim, vamos nos voltar para o exemplo C (mecânica quântica). Os antiprótons \bar{p} em repouso no hidrogênio se associam aos prótons p e constituem sistemas eletricamente ligados $\bar{p}p$ que eventualmente alcançam os estados S . Em seguida, esses sistemas são aniquilados por meio de interações fortes. Alguns deles decaem em dois káons. Devido à conservação de C , P e da hipercarga em interações fortes, esse sistema de dois káons pode ser descrito pelo vetor de estado:

$$\psi = \frac{K_1 K_2 - K_2 K_1}{\sqrt{2}} \equiv \frac{K\bar{K} - \bar{K}K}{\sqrt{2}} \quad (18)$$

Os estados de um káon com valores definidos de C , e por consequência PC são:

$$K_1 = \frac{K + \bar{K}}{\sqrt{2}} \quad (19)$$

¹⁷ Para isso foi aplicado o teorema que afirma que nenhum estado misto é equivalente a um estado puro (D'ESPAGNAT, Bernard, 1999).

¹⁸ Lembremos que no contexto articulado acima as leis da mecânica quântica são aplicadas ou para *ensembles* de sistemas ou para sistemas individuais. Para sistemas individuais, as leis da mecânica quântica só são aplicadas quando há certeza de suas consequências. Enquanto que o conceito de um elemento da realidade é aplicado em várias ocasiões a sistemas individuais.

$$K_2 = \frac{K - \bar{K}}{\sqrt{2}} \quad (20)$$

Usando a aproximação em que PC é conservado, K_1 e K_2 são os estados que decaem em sistemas de dois e três píons, respectivamente. O que a equação (4.13) nos mostra é que se um dos káons fora observado decaindo em dois píons, sabemos que o outro káon tem $PC = -1$; em outras palavras, será um K_2 (SCHWARTZ, 1961).

Vamos, agora, assumir que o Princípio de Realidade e o Princípio de Separabilidade de Sistemas Mecânicos Isolados são válidos. No caso em que um *ensemble* de tais pares é considerado e os káons são selecionados por meio de duas fendas opostas, temos que antes de ter se dado qualquer decaimento ou interação, o *ensemble* já é uma mistura apropriada de sistemas $K_1 K_2$ e de sistemas¹⁹ $K_2 K_1$. No entanto, esta conclusão está em contradição com as previsões de (4.13) porque se medições estranhas forem realizadas nos dois káons por meio de interações fortes, então levando-nos a prever que as probabilidades de se observar simultaneamente dois K ou dois \bar{K} são ambas $\frac{1}{4}$, onde (4.13) prevê que elas devem ser ambas nulas (SAKURAI, 1994).

Os exemplos apresentados são importantes para entendermos em diferentes perspectivas o que está acontecendo em relação aos experimentos e aos princípios analisados. O último exemplo apresentado, inclusive, é o mais interessante porque ele é passível de ser realizado, não sendo simplesmente um *Gedankenexperiment*²⁰ (ARMENTEROS *et al.*, 1962).

De acordo com a presente análise, até o momento podemos concluir que o Princípio de Separabilidade de Sistemas Mecânicos Isolados, apesar de sinalizar ser autoevidente, somente aparenta ter este atributo, conduzindo-nos à posição de que precisa realmente ser abandonado. Em resumo, antes do tempo t_1 , U e V não podem de forma alguma ser considerados como *dois* sistemas. Eles devem ser considerados como formando somente *um* sistema²¹. Este é o fenômeno ao qual nos referimos como *Não-Separabilidade*.

A.3 VARIÁVEIS OCULTAS

Apresentamos até o momento exemplos e análises que implicaram a concepção de Não-Separabilidade. Entretanto, esses exemplos não levaram em consideração teorias de variáveis ocultas, como a teoria determinística de Bohm (BOHM; AHA-

¹⁹ O primeiro símbolo nos produtos corresponde à partícula indo em direção à fenda à esquerda, de forma que o segundo símbolo nos produtos corresponde à partícula indo em direção à fenda à direita.

²⁰ Podemos também citar outro exemplo onde ocorre o decaimento de um pión neutro em dois fótons que nos leva à mesma conclusão. (BOHM; AHARONOV, 1957)

²¹ Por mais que pensemos na possível separação dos pacotes de onda correspondentes - através da introdução de disparadores móveis - eles ainda devem ser considerados como formando *um* sistema (pelo menos enquanto nos referirmos ao *spin*).

RONOV, 1957), onde qualquer objeto físico sempre tem suas propriedades próprias definidas. Esta teoria, por exemplo, reproduz exatamente as previsões da mecânica quântica quando é considerada a média dos valores das variáveis ocultas, o que constitui um contra exemplo quanto ao que acabamos de apresentar. Sendo assim, para dar maior força à concepção de Não-Separabilidade, vamos agora trabalhar também com teorias de variáveis ocultas, mostrando que, outrossim, temos por consequência a Não-Separabilidade.

Quando consideramos a mecânica estatística clássica, constatamos que a característica estatística está calcada no fato de que os estados macroscópicos são médias de estados mais bem definidos, onde os resultados de todas as medições possíveis são tomadas como sendo precisamente determinadas. Nos interessa investigar se os estados quânticos (*ensembles*) podem ser considerados como médias dos estados para os quais os resultados de todas as possíveis medições seriam inteiramente determinados e se o caráter estatístico da mecânica quântica pode ser pensado de maneira similar a como pensamos o caráter estatístico da mecânica estatística clássica. Hipoteticamente, teríamos estados livres de dispersão especificados pelo vetor de estado e por variáveis adicionais chamadas de “ocultas”, já que não podemos efetivamente *preparar ensembles* que correspondam a tais estados²².

Antes mesmo de investigarmos tal questão, parece-nos que estamos propensos a responder negativamente, que não podemos pensar paralelamente as características estatísticas da mecânica quântica e da mecânica clássica estatística. Por algum tempo o trabalho de von Neumann (VON NEUMANN, 1955) fez corroborar esta resposta, porém, as previsões para qualquer sucessão de medições de componentes de *spin*, por exemplo, ao longo de direções arbitrárias são necessariamente satisfeitas em um modelo²³ simples de variáveis ocultas, apesar do fato de que o modelo envolva variáveis ocultas.

Levando em consideração essa característica peculiar das teorias que envolvem variáveis ocultas, precisamos de fato nos debruçar sobre a questão relacionada a elas juntamente à concepção de Não-Separabilidade. Vimos uma prova para a Não-Separabilidade anteriormente especificamente em termos do exemplo B. Para essa prova, foi suficiente considerar as previsões da mecânica quântica para as componentes de *spin*²⁴ ao longo de dois eixos ortogonais; *i.e.*, não é preciso considerar as previsões ao longo de qualquer outra direção para se obter o resultado pretendido. Assim, é suficiente que consideremos uma teoria de variáveis ocultas de *spin* $\frac{1}{2}$ que reproduza exatamente as previsões da mecânica quântica *ao longo de dois*

²² A possibilidade de *preparar os ensembles* acarretaria uma violação da mecânica quântica.

²³ Podemos pensar, por exemplo, em um modelo simples de variáveis ocultas que constitui de uma partícula de *spin* $-\frac{1}{2}$, descrevendo o *spin* por meio de dois vetores unitários \mathbf{q} e λ (D'ESPAGNAT, Bernard, 1999).

²⁴ Sendo inclusas suas correlações.

eixos ortogonais para que possamos entender porque a prova anterior não se aplica para uma teoria de variáveis ocultas. Para isso, vamos seguir uma demonstração utilizada por d'Espagnat (D'ESPAGNAT, Bernard, 1999) que salienta pontos considerados fundamentais para o que nos habilitamos a construir.

Se tal *spin* é descrito por meio de um vetor unitário λ , obtemos uma teoria de variáveis ocultas adequada para nosso propósito. Uma medição de uma componente de *spin* $\sigma_3/2$ ao longo de um dado eixo, um terceiro eixo, nos proporciona, supostamente, ou o resultado $+\frac{1}{2}$ ou o resultado $-\frac{1}{2}$, isto dependendo de λ_3 ser ou positivo ou negativo. Uma medição de σ_3 no *ensemble* E de sistemas cujos vetores de *spin* λ estão inicialmente isotropicamente distribuídos separa E em dois *subensembles* E_+ e E_- . Vejamos um exemplo, se λ está uniformemente distribuído no hemisfério superior de forma que o modelo prevê uma probabilidade $+1$ para se obter o resultado $\sigma_3 = +1$ se σ_3 é medido em E_+ , e uma probabilidade $1/2$ para se obter o resultado $\sigma_1 = +1$ se é σ_1 que é medido. Assim, considerando as medições ao longo dos eixos 1 e 3, as previsões de E_+ coincidem exatamente com aquelas do *ensemble* quântico descrito pelo vetor de estado u_+ .

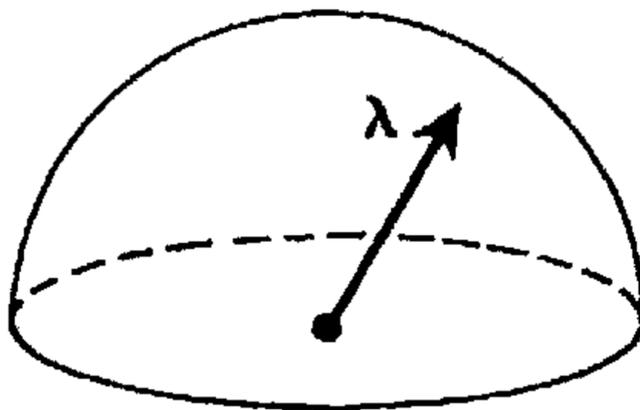


Figura 3 – Um elemento de E_+ .

Neste modelo, *mesmo antes da medição ser feita*, o *ensemble* \mathcal{E} de todos os sistemas $U+V$ pode ser pensando como sendo constituído de dois *ensembles* \mathcal{E}_+ e \mathcal{E}_- onde \mathcal{E}_+ (\mathcal{E}_-) é o *ensemble* de todos os sistemas $U+V$ cujas componentes “sistemas U ” tem um vetor de *spin* $\lambda^{(U)}$ com uma terceira componente positiva (negativa). Como $\lambda^{(U)} = -\lambda^{(V)}$, de forma correlata as componentes “sistemas V ” dos elementos de E_+ têm $\lambda_3^{(V)} < 0$. Se \mathcal{E}_+ é o *ensemble* de sistemas U que estão presentes em \mathcal{E}_+ , então os $\lambda^{(U)}$ em E_+ estão isotropicamente distribuídos no hemisfério superior. Estamos interessados nas quantidades físicas de σ_1 e σ_3 e as previsões de E_+ que coincidem com aquelas do *ensemble* quântico u_+ ²⁵.

²⁵ O mesmo acontece correspondentemente com o *ensemble* \mathcal{E}_- de partículas V , cujas previsões coincidem com as de v_- .

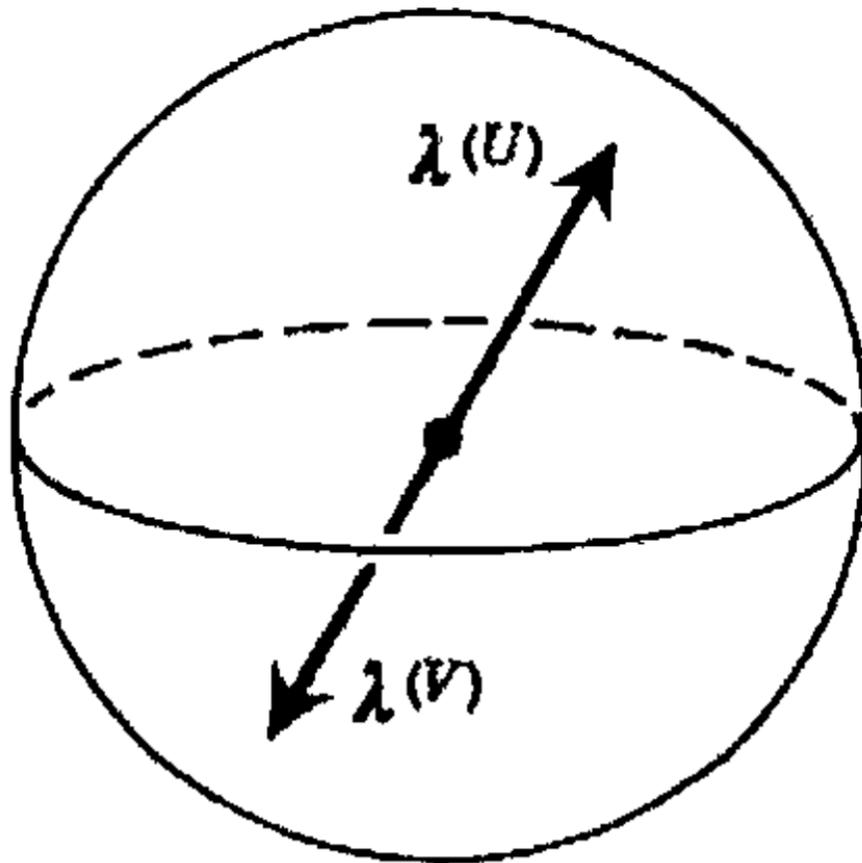


Figura 4 – Um elemento de \mathcal{E}_+ .

Vamos focar agora em que apesar de que E_+ “coincida” com u_+ e \hat{E}_- com v_- , \mathcal{E}_+ não coincide com u_+v_- . A razão disso vem do fato de que apesar de que $\lambda^{(U)}$ esteja distribuído aleatoriamente em E_+ (assim como $\lambda^{(V)}$ em \hat{E}_- , as variáveis $\lambda^{(U)}$, $\lambda^{(V)}$ não estão completamente distribuídas de forma aleatória em \mathcal{E}_+ , pois a correlação $\lambda^{(U)} = -\lambda^{(V)}$ está sempre presente. As previsões para u_+v_- que dependem das quantidades que nos interessam são reproduzidas exatamente nesta teoria de variáveis ocultas, não por \mathcal{E}_+ , mas por outro *ensemble* \mathcal{E}'_+ , que é similar a \mathcal{E}_+ , exceto pelo fato crucial de que $\lambda^{(U)}$ e $\lambda^{(V)}$ estão inteiramente não correlacionados em cada componente.

Com isso, temos a razão pela qual o *ensemble* \mathcal{E} , mesmo sendo um *ensemble* misto apropriado de \mathcal{E}_+ e \mathcal{E}_- , ainda fornece as mesmas previsões que o estado quântico puro $(u_+v_- - u_-v_+)/\sqrt{2}$, em vez de fornecer aquelas que emergiriam de um estado quântico misto de u_+v_- e u_-v_+ , como seria inicialmente esperado. As correlações internas das variáveis ocultas em \mathcal{E}_+ não estão suficientemente distribuídas de maneira aleatória para que tenhamos uma equivalência com o *ensemble* quântico u_+v_- .

Desenvolvemos aqui uma análise que nos leva a uma posição a favor da Não-Separabilidade (ou contra a Separabilidade) por meio da hipótese de que algu-

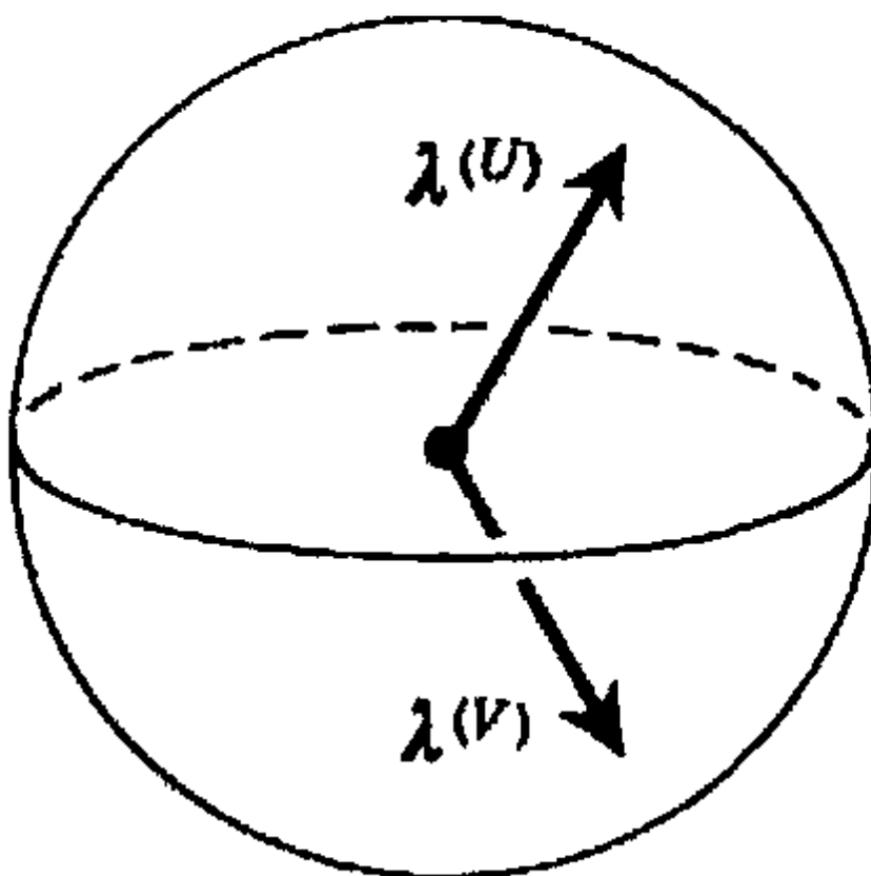


Figura 5 – Um elemento de \mathcal{E}'_+ .

mas previsões estatísticas particulares da mecânica quântica estão corretas e também na hipótese de que na mecânica quântica, quando dois sistemas quânticos, em que cada qual poderia originalmente ser considerado como tendo um *ensemble* completo de propriedades definidas, uma vez que tenham interagido, não é mais possível, de maneira geral, pensar cada um deles como possuindo seu próprio *ensemble* completo de propriedades definidas; sendo os valores específicos de observáveis que pertencem somente a um sistema, independentemente de futuros experimentos aplicados a tal sistema, *viz.* as tais “propriedades definidas”. Por fim, essa constatação é verificada mesmo para sistemas que interagiram no passado, mas não interagem mais no momento em que são considerados. Quando variáveis ocultas são assumidas como existentes, não podemos manter a segunda hipótese, já que \mathcal{E}_+ não é um *ensemble* quântico, por exemplo. Assim sendo, podemos concluir que a questão quanto a se a separabilidade se verifica para teorias de variáveis ocultas precisa ser investigada separadamente.

ANEXO B – DESIGUALDADES DE BELL

As previsões da mecânica quântica ortodoxa para um *ensemble* com $\sigma_3 = +1$ não são reproduzidas pela mera descrição de um *spin* $\frac{1}{2}$ por meio de um vetor de unidade como o utilizado acima, exceto na direção do terceiro eixo e nas direções ortogonais deste eixo. Contudo, um modelo pode ser considerado em que são reproduzidas de forma exata todas as previsões quânticas quando é tomada a média das variáveis ocultas, que pode ser construído também para sistemas mais complexos. Bell (BELL, John Stewart, 1964) nos mostrou que todas as teorias de variáveis ocultas (como a de Bohm) que – estatisticamente – reproduzem de forma exata as previsões da mecânica quântica¹ têm uma propriedade geral em comum. Esta propriedade é que para *alguns* experimentos acontece necessariamente que as marcações em um aparato de medida M_1 , localizado em um dado local, depende das configurações de um outro aparato M_2 , localizado em outra posição, possivelmente assaz distante e desconectado em qualquer maneira aparente com o primeiro. As marcações em M_1 podem ser modificadas – para certos valores das variáveis ocultas – portanto, com uma mudança de posição de algumas peças do equipamento M_2 .

Quando consideramos o Exemplo B, onde uma partícula de *spin* zero decai com conservação de spin em duas partículas de *spin* $-\frac{1}{2}$, U e V , estas partículas distanciam-se para bem longe uma da outra e o que verificamos é que se um *ensemble* de tais sistemas é considerado e, se M_1 é um ímã que mede² $(\mathbf{a} \cdot \boldsymbol{\sigma}^{(U)})$, então o resultado da medida de $(\mathbf{b} \cdot \boldsymbol{\sigma}^{(V)})$ em algum lugar possivelmente bastante distante depende da direção de \mathbf{a} . O que podemos concluir, segundo Bell, é que em uma teoria em que parâmetros são adicionados à mecânica quântica para determinar os resultados de medições individuais sem mudar as previsões estatísticas é preciso um mecanismo através do qual o ativar de um instrumento de medida pode influenciar a leitura de outro instrumento, mesmo estando remotamente distante. Ademais, o sinal associado deve propagar instantaneamente, de forma que tal teoria não poderia ser invariante frente às transformações de Lorentz³.

Precisamos agora verificar a propriedade de que para alguns experimentos acontece necessariamente que as leituras em um aparato de medida, localizado em um dado local, depende das configurações de um segundo aparato, localizado em outra posição distante e sem ligação aparente qualquer com o primeiro. Seja λ

¹ Como no sentido já definido anteriormente.

² \mathbf{a} é um vetor unitário que caracteriza a direção de um ímã M_1 .

³ De acordo com a relatividade especial, as transformações de Lorentz descrevem como as medidas de espaço e tempo de dois observadores se alteram em cada sistema de referência. Elas refletem o fato de que observadores se movendo com velocidades diferentes medem diferentes valores de distância, tempo e, em alguns casos, a ordenação de eventos. Matematicamente, temos o Fator de Lorentz determinado por $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

um conjunto de variáveis ocultas que fornecem uma descrição do sistema $U+V$. Se supormos que U e V se propagam em algum tipo de média subquântica, as variáveis ocultas associadas a essa média devem ser incorporadas neste conjunto, assim como (de forma mais geral) qualquer outra variável oculta que não depende das orientações $(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \dots)$ dos instrumentos. Seja $\rho(\lambda)$ a distribuição de densidade de probabilidade dos λ em um conjunto (ensemble) que corresponde ao estado quântico inicial que estamos considerando. Seja $\mathbf{a}(\mathbf{b})$ o que especifica a orientação do ímã de Stern-Gerlach (GERLACH W.; STERN, 1922) $M_1(M_2)$ usado para medir as componentes de *spin* correspondentes de $U(V)$. Essas considerações não precisam ser restritas a teorias de variáveis ocultas que são inteiramente determinísticas; podemos admitir ainda que o resultado de uma medição particular depende parcialmente dos valores de algumas variáveis ocultas que estão associadas com o aparato correspondente⁴

Agora vamos supor que o resultado⁵ $A_a(B_b)$ de uma medição da componente de *spin* de $U(V)$ em $\mathbf{a}(\mathbf{b})$ não depende de $\mathbf{b}(\mathbf{a})$. Acontece que esta suposição nos levará a uma contradição das previsões fornecidas pela mecânica quântica (BELL, J. S., 1971). Vamos investigar este resultado. Para isso, vamos chamar $P(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ o valor médio do produto $A_a B_b$. Com isso, obtemos:

$$P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \int d\lambda \rho(\lambda) \bar{A}(\mathbf{a}, \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}, \lambda) \quad (21)$$

Onde $\bar{A}(\mathbf{a}, \lambda)$ [$\bar{B}(\mathbf{b}, \lambda)$] são os valores esperados do resultado que obteríamos da medição de A_a [B_b] no sistema $U(V)$ caracterizado pelos valores definidos das variáveis ocultas λ que não dependem⁶ de \mathbf{a} nem de \mathbf{b} . Assim, $A_a = \pm 1$ e $B_b = \pm 1$. De forma que $|\bar{A}| \leq 1$ e $|\bar{B}| \leq 1$. Sejam \mathbf{a}' e \mathbf{b}' direções alternativas dos instrumentos, então:

$$\begin{aligned} P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - P(\mathbf{a}, \mathbf{b}') &= \int d\lambda \rho(\lambda) [\bar{A}(\mathbf{a}, \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}, \lambda) - \bar{A}(\mathbf{a}, \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}', \lambda)] \\ &= \int d\lambda \rho(\lambda) \bar{A}(\mathbf{a}, \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}, \lambda) [1 \pm \bar{A}(\mathbf{a}', \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}', \lambda)] \\ &\quad - \int d\lambda \rho(\lambda) \bar{A}(\mathbf{a}, \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}', \lambda) [1 \pm \bar{A}(\mathbf{a}', \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}, \lambda)] \end{aligned} \quad (22)$$

Com as desigualdades $|\bar{A}| \leq 1$ e $|\bar{B}| \leq 1$, obtemos:

$$\begin{aligned} |P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - P(\mathbf{a}, \mathbf{b}')| &\leq \int d\lambda \rho(\lambda) [1 \pm \bar{A}(\mathbf{a}', \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}', \lambda)] \\ &\quad + \int d\lambda \rho(\lambda) [1 \pm \bar{A}(\mathbf{a}', \lambda) \bar{B}(\mathbf{b}, \lambda)] \end{aligned}$$

⁴ A distribuição de probabilidade depende exclusivamente das condições locais.

⁵ Expresso em unidades de $\hbar/2$.

⁶ Aquelas que dependem de \mathbf{a} e \mathbf{b} (que dependem do aparato) já estão na média.

Resultando em:

$$|P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - P(\mathbf{a}, \mathbf{b}')| \leq 2 \pm [P(\mathbf{a}', \mathbf{b}') + P(\mathbf{a}', \mathbf{b})] \quad (23)$$

Primeiramente, essas desigualdades são derivadas sem assumirmos que o *spin* total do sistema $U + V$ seja zero. Assim, o que obtemos acima é válido independentemente desta suposição. No entanto, se considerarmos o caso em que o *spin* total de $U + V$ seja zero, então $P(\mathbf{a}', \mathbf{a}') = -1$ de modo que se escolhermos particularmente $\mathbf{b}' = \mathbf{a}'$, as desigualdades (4.18) passam a ser:

$$|P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) - P(\mathbf{a}, \mathbf{b}')| \leq 1 + P(\mathbf{b}, \mathbf{b}') \quad (24)$$

As desigualdades (4.19) constituem a forma original das desigualdades de Bell (BELL, John Stewart, 1964). A forma geral (4.18) foi derivada por Clauster, Horner, Shimony e Holt (CLAUSTER *et al.*, 1969).

B.1 NÃO-SEPARABILIDADE

É preciso agora investigar se a mecânica quântica satisfaz as condições apresentadas acima. Supomos que A_a não deve depender de \mathbf{b} e vice-versa e, sob essas condições, as desigualdades (4.19) devem valer para quaisquer vetores unitários \mathbf{a} , \mathbf{b} e \mathbf{b}' . Vejamos agora que na teoria apresentada anteriormente $P(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ é dada pela seguinte fórmula:

$$P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = T_r [M(\mathbf{a} \cdot \boldsymbol{\sigma}^{(U)})(\mathbf{b} \cdot \boldsymbol{\sigma}^{(V)})] \quad (25)$$

Onde M é a matriz de densidade do estado $S = 0$ de $U + V$. Já que o autovalor $S = 0$ não é degenerado, M é o operador de projeção para este estado:

$$M = 4^{-1} (1 - \boldsymbol{\sigma}^{(U)} \cdot \boldsymbol{\sigma}^{(V)}) \quad (26)$$

Substituindo (4.21) em (4.20), obtemos:

$$P(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -(\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) \quad (27)$$

Desta forma, as desigualdades (4.19) podem ser tomadas como:

$$|(\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}')| \leq 1 - (\mathbf{b} \cdot \mathbf{b}') \quad (28)$$

Por conseguinte, falta-nos agora verificar se as desigualdades são válidas para quaisquer vetores unitários \mathbf{a} , \mathbf{b} e \mathbf{b}' . Escolhendo-se o eixo z para ser normal

ao plano $(\mathbf{b}, \mathbf{b}')$ e sendo que θ_α e φ_α denotam as coordenadas esféricas de um vetor unitário⁷ α , temos que (4.23) pode ser agora escrita como:

$$\left| \sin(\theta_a) \right| \left| \sin\left(\phi_a - \frac{\phi_c - \phi_b}{2}\right) \right| \leq \left| \sin\left(\frac{\phi_c - \phi_b}{2}\right) \right| \quad (29)$$

Isto para quaisquer valores de coordenadas, exceto $\phi_b = \phi_c$. Analisando a desigualdade (4.24), percebemos que se caso escolhermos $\phi_c - \phi_b$ de forma a obtermos um valor pequeno, ainda podemos escolher valores para θ_α e φ_α de forma que a desigualdade não seja satisfeita. O que queremos dizer com isso é que de acordo com a hipótese de que A depende somente de \mathbf{a} e de λ e que B depende somente de \mathbf{b} e de λ , podemos concluir que os tipos de teorias que estamos considerando – aquelas com variáveis ocultas⁸ – não podem reproduzir exatamente todas as previsões da mecânica quântica convencional⁹.

Sendo assim, para que teorias de variáveis ocultas determinísticas reproduzam exatamente as previsões da mecânica quântica para todos os arranjos possíveis de experimentos, elas precisam (em particular) ser de tal forma que (levando em consideração o que foi apresentado previamente) o resultado A da medição feita em U dependa não só de λ e de \mathbf{a} , mas também de outros parâmetros na teoria, *i. e.*, \mathbf{b} . Lembrando que λ é um conjunto de parâmetros que descrevem o sistema microscópico, \mathbf{a} é um parâmetro que descreve a posição de um ímã usado para se obter A e \mathbf{b} é um conjunto de três parâmetros que descrevem a posição do ímã usado para fazer medições em V . Essa dependência existe apesar do fato de que esse dois ímãs possam estar muito distantes um do outro e ela não depende, em absoluto, desta distância. Ademais, ela aparentemente se propaga instantaneamente de um local para o outro. Este fato contradiz de forma arrebatadora uma ideia bastante primitiva e presente no senso comum, que foi expressa por Einstein, no que chamamos de princípio de Separabilidade: Sejam $[U]$ e $[V]$ dois sistemas que já interagiram alguma vez, mas que não estão mais interagindo. Assim, “a situação real de fato do sistema $[V]$ é independente do que feito com o sistema $[U]$, do qual está separado espacialmente.” (EINSTEIN, A., 1998). Desta forma, contemplamos a ideia de Não-Separabilidade na mecânica quântica¹⁰, que é um ponto chave em nossa investigação quanto a uma Realidade R .

⁷ Sendo que α é igual a \mathbf{a} , \mathbf{b} , ou \mathbf{b}' .

⁸ Qualquer que seja a escolha feita para a distribuição de $\rho(\lambda)$ das variáveis ocultas.

⁹ Como pode ser visto com mais detalhes em Bell (BELL, John Stewart, 1964), tais teorias não podem sequer reproduzir essas previsões com um erro arbitrariamente pequeno.

¹⁰ A Não-Separabilidade estar presente em teorias de variáveis ocultas como a de Bohm foi apontado por Bell (BELL, J. S., 1966) e também pelo próprio Bohm. (D. BOHM, 1993)