

Caio Adriano Silvano

**UMA ESTANTE PARA PEQUENAS
HISTÓRIAS: sobre critérios para a classificação
ontológica dos objetos da mecânica quântica**

Florianópolis

2020

Caio Adriano Silvano

**UMA ESTANTE PARA PEQUENAS HISTÓRIAS: sobre
critérios para a classificação ontológica dos objetos da
mecânica quântica**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Filosofia pelo Curso de Graduação em Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Centro de Filosofia e Ciências Humanas

Departamento de Filosofia

Orientador: Prof. Dr. Décio Krause

Florianópolis

2020

Silvano, Caio Adriano

Uma estante para pequenas histórias : sobre critérios para a classificação ontológica dos objetos da mecânica quântica / Caio Adriano Silvano ; orientador, Décio Krause, 2020.

62p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Filosofia, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Filosofia. 2. Filosofia da Física. 3. Mecânica Quântica. 4. Metafísica. I. Krause, Décio. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Filosofia. III. Título

Caio Adriano Silvano

**UMA ESTANTE PARA PEQUENAS HISTÓRIAS: sobre
critérios para a classificação ontológica dos objetos da
mecânica quântica**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Filosofia pelo Curso de Graduação em Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Trabalho aprovado. Florianópolis, 13 de novembro de 2020:

Prof. Dr. Décio Krause (orientador)
Universidade Federal de Santa Catarina –
UFSC

Prof. Dr. Cezar Augusto Mortari
Universidade Federal de Santa Catarina –
UFSC

Prof. Dr. Christian de Ronde
Consejo Nacional de Investigaciones
Científicas y Técnicas – CONICET

Prof. Dr. Ivan Ferreira da Cunha
Universidade Federal de Santa Catarina –
UFSC

**Prof. Dr. Jonas Rafael Becker
Arenhart**
Universidade Federal de Santa Catarina –
UFSC

Florianópolis
2020

Este trabalho é dedicado a meus amigos imaginários Sonic, the Hedgehog e Freddy Freaker.

Agradecimentos

Agradeço a possibilidade de ter completado essa parte da minha jornada pela vida aos meus pais, sem os quais eu não teria nascido. Além disso, sem eles eu talvez não tivesse acesso às ótimas escolas em que estudei, nem o constante incentivo ao aprendizado, à leitura e a seguir o caminho profissional que mais me interessasse. Obviamente não estamos em uma sociedade na qual é universal o privilégio do usufruto de tudo aquilo que sempre esteve a minha disposição – mesmo que em momentos privasse meus pais de concretizar vontades individuais –, e também por isso sou extremamente grato. Não devo menosprezar o quão importante foi poder ter dedicação exclusiva aos estudos, bem como acesso a meios de manutenção da saúde física e psicológica, comumente negligenciada (peço perdão pela dualidade mente-corpo, isso foi apenas uma coloquialidade).

Agradeço aos meus melhores amigos, que em maior parte me acompanham há cerca de uma década, mas também aos que se aproximaram em tempos mais recentes. O trato social nunca foi algo fácil para mim, e tê-los por perto significa muito, mesmo que por vezes a minha reclusão pareça indicar o contrário.

Agradeço imensamente à minha namorada, cujo auxílio e companheirismo tornaram suportáveis períodos bastante desagradáveis. Ao leres isso, lembre-se o quanto é importante para mim.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, uma das instituições de ensino, pesquisa e extensão mais relevantes do país, que me possibilita há uma sequência de anos o aprendizado de filosofia e física, principalmente. O acesso público ao conhecimento é cada vez mais necessário e as universidades federais e estaduais merecem muito mais recursos e reconhecimento do que lhes são dados. Ainda no âmbito institucional, agradeço à coordenação do curso de filosofia, que muito me auxiliou nas questões burocráticas e tornou possível a integralização curricular na presente data.

Agradeço sobremaneira a professores que tive em toda a trajetória escolar e universitária. Foram muitos profissionais excelentes, portanto poucos esquecíveis. Relacionados ao curso de filosofia, sou grato ao professor Décio Krause, que aceitou acolher como aluno em diversas disciplinas e também em iniciações científicas um ‘interessado’ aluno do curso de física, e agora me orienta na confecção deste trabalho. Aos professores Cezar Mortari, Christian de Ronde, Ivan Ferreira da Cunha e Jonas Arenhart, meus ‘muito obrigado’ por aceitarem de bom grado a participação na banca avaliadora. Ao professor Jonas agradeço pelo ensino numa disciplina bastante esclarecedora, bem como por ter escrito diversos artigos acerca de temas os quais me são interessantes, motivo pelo qual também agradeço ao Christian de Ronde. Aos professores Ivan e Cezar, em especial, agradeço por muitas

aulas elucidativas, que aumentaram exponencialmente meu gosto pela filosofia (o que nem mesmo eles talvez desconfiem), sem as quais eu não me sentiria tão realizado na área.

A todos os aqui mencionados, saibam que suas influências positivas ajudaram o trilhar da estrada até esse ponto, e plausivelmente ainda serão imagens para que eu me espelhe ao trilhar o que resta das veredas que apresentar-se-ão daqui em diante.

*"1-900-490-FREAK."
(Freddy Freaker, 1983)*

Resumo

A pergunta sobre qual é a ‘móbia da realidade’, isto é, sobre quais são os componentes do mundo em que estamos, é antiga e até hoje não respondida de maneira definitiva. A ciência, sobretudo a física, se ocupa disso e tenta criar modelos explicativos – hoje muito sofisticados e capazes de previsões com uma incrível precisão –, porém ainda há peças não muito bem encaixadas. Há inclusive cientistas os quais não pensam em seus trabalhos como descrições da natureza, mas como abstrações as quais, de alguma forma, parecem funcionar, relegando aos filósofos as investigações ontológicas. Filósofos tão curiosos e confusos quanto, pois se, como muitos defendem, a metafísica estiver de fato subdeterminada pelas teorias científicas – ou seja, a teoria seria incapaz de instruir qual a metafísica adequada, por ser compatível com pelo menos duas ontologias distintas –, a tarefa não deve mesmo ser simples. Assim sendo, aqui veremos uma breve discussão sobre critérios mínimos a se levar em conta ao se tentar fazer um modelo ontológico adequado para os objetos de estudo da física quântica. Serão analisadas algumas características sugeridas por filósofos acerca desses modelos, levando-se em consideração a física dita ‘moderna’ e outros estudos lógicos e ontológicos. Um dos conceitos que mais receberão enfoque neste trabalho é o de identidade, amplamente discutido e raramente prescindido. Analisaremos a necessidade da utilização do conceito intuitivo de identidade na física, em especial na mecânica quântica (em que os objetos de estudo apresentam comportamentos contra-intuitivos e distantes daquilo que experienciamos costumeiramente), sendo também considerada a possibilidade de adotarmos outra definição. Esse questionamento foi fortalecido devido a supostas incoerências entre o que dizem as teorias físicas e a lógica e a matemática a elas subjacentes. A lógica clássica e a teoria usual de conjuntos (Zermelo-Fraenkel) – sobre as quais foi desenvolvido o formalismo matemático da física quântica – têm como consequência o Princípio de Identidade dos Indiscerníveis, segundo o qual não existiriam dois objetos completamente iguais. Em princípio, para serem dois objetos, deve haver alguma diferença entre eles, caso contrário (na circunstância de serem idênticos), não seriam dois, mas apenas um objeto. Argumentaremos que física, pelo contrário, descreve a existência de objetos indiscerníveis entre si, sendo vários, não apenas um, o que traz à tona a discussão filosófica sobre a identidade. Uma alternativa é a adoção de uma nova lógica/matemática, caracterizada pela ausência de generalidade na aplicação do Princípio de Identidade, a qual seja capaz de lidar com objetos indistinguíveis (como os estudados pela mecânica quântica), o que parece ser mais compatível tanto lógica quanto ontologicamente com aquilo que nos diz a física. Porém, antes de partirmos para essa atitude um tanto quanto drástica, devemos avaliar se, de fato, estamos justificados em fazê-lo, principalmente ao também levarmos em consideração outras propriedades de tais objetos.

Palavras-chave: mecânica quântica. metafísica. filosofia da física. filosofia.

Abstract

The question concerning what is the ‘furniture of reality’, namely, what are the components of our world, is old and not quite answered yet. Science, especially physics, tries to produce explanatory models – which are nowadays very sophisticated and capable of extremely precise predictions. Nevertheless, we have pieces that still did not fit. There are scientists, for instance, that do not consider their works as descriptions of the nature, but as abstractions which nevertheless seem to work – leaving, then, the ontological research to philosophers. And these philosophers are as curious and confused as the scientists, because if, as many claim, metaphysics are underdetermined by the scientific theories – in other words, the theory would not be able to ascertain the appropriate metaphysics, for it being compatible with at least two distinct ontologies –, the work might not be easy. Thus, we will here briefly discuss about minimal criteria to be taken in consideration while trying to establish an adequate ontological model to the objects studied by quantum mechanics. We will analyze some of their ‘philosophically relevant’ properties, considering what the so-called ‘modern physics’ says, as well as other logical and ontological studies. One of our central concepts is the identity, broadly discussed and rarely dismissed. We are going to explore the necessity of utilizing the intuitive identity concept in physics, especially in quantum mechanics (where the objects of study behave in very counterintuitive ways, differently from what we experience on a daily basis), while also accepting the possibility of adopting another definition for ‘identity’. All these dubitations were strengthened due to supposed inconsistencies between what physical theories and their underlying logics and mathematics say. Classical logic and the usual set theory (Zermelo-Fraenkel) – on which was developed the quantum physics’ mathematical formalism – entail the Identity of Indiscernibles Principle, according to which there would be no possibility of two completely identical objects existing. In principle, for them to be two objects, there must be some difference between them – they would not be two otherwise (in case they were identical) –, but only one object. We will argue that physics, on the contrary, describes the existence of multiple indiscernible objects (being several, not just one), bringing up philosophical discussions about identity. An alternative is adopting a new logic/mathematics in which the Identity Principle is not generally applicable, so that it could deal with indistinguishable objects – what seems to be more compatible (logically and ontologically) with what physics tells us. However, before we take a drastic path, we must evaluate if we are indeed justified in doing this, especially when other properties of these objects are taken into account.

Keywords: quantum mechanics. metaphysics. philosophy of physics. philosophy.

Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|------|---|
| MQ | Mecânica Quântica |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |
| ZF | Teoria de Conjuntos de Zermelo-Fraenkel |
| ZFC | Teoria de Conjuntos de Zermelo-Fraenkel com o Axioma da Escolha |
| ZFU | Teoria de Conjuntos de Zermelo-Fraenkel com Átomos (Urelemente) |

Lista de símbolos

| | |
|-------------------|--|
| \in | Pertence |
| \forall | Para todo / para qualquer |
| \rightarrow | Implicação |
| $=$ | Igualdade/identidade |
| \equiv | Indiscernibilidade |
| \wedge | Conjunção |
| \neg | Negação |
| \leftrightarrow | Bi-implicação / equivalência lógica |
| Ψ | Letra grega ‘psi’ em forma maiúscula: representa a função de onda de um sistema de <i>partículas</i> |
| ψ | Letra grega ‘psi’ em forma minúscula: representa a função de onda de uma <i>partícula</i> |
| π | Letra grega ‘pi’ em forma minúscula |

Sumário

| | | |
|------------|---|-----------|
| | INTRODUÇÃO | 21 |
| 1 | 'ABSCONCRETUDE' | 23 |
| 2 | 'IDENTICERNIBILIDADE' | 27 |
| 2.1 | MAS POR QUE A INDISCERNIBILIDADE É IMPRESCINDÍVEL NA FÍSICA? | 31 |
| 2.2 | UM OLHAR A PARTIR DA PRÓPRIA FÍSICA | 33 |
| 2.2.1 | Indistinguibilidade e 'Estatísticas' Quânticas | 34 |
| 2.3 | SOBRE ALTERAR A LÓGICA/MATEMÁTICA | 37 |
| 2.3.1 | O Argumento da Fundamentalista de Otávio Bueno | 38 |
| 2.3.2 | A Resposta de Krause e Arenhart a Bueno: Quem foi mais Convincente? | 40 |
| 2.3.3 | Lógicas Amigáveis à Não-Individualidade | 44 |
| 3 | 'CARNAPVAL' | 49 |
| 3.1 | ANTES, UMA VISÃO ALTERNATIVA | 49 |
| 3.2 | 'CRITICARNAP' | 50 |
| 3.3 | ERA UMA VEZ, NUM CAMPO DE HIGGS MUITO, MUITO DISTANTE... | 53 |
| | CONCLUSÃO | 59 |
| | REFERÊNCIAS | 61 |

INTRODUÇÃO

“Afirmam os ímpios que o disparate é normal na Biblioteca e que o razoável (e mesmo a humilde e pura coerência) é uma quase milagrosa exceção.” (BORGES, 2007, p. 77)

Na vasta biblioteca chamada “O que é que há por aí?” qual seção comportaria as mais minúsculas peças que entendemos como as estruturantes da matéria? Qualquer aspirante a bibliotecário ficaria confuso ao tentar responder tal questionamento assim, de súbito. Até mesmo os anciãos desse afazer já muito atrapalharam uns aos outros ao encontrarem esses livretos e os transportarem para outras prateleiras – as quais não eram nem ao menos vizinhas das que ocupavam antes.

A questão de qual estatuto ontológico podemos conceder às partículas que supomos comporem a estrutura física do mundo causa incômodos há algum tempo. Desde quando não tínhamos ideia de quê as coisas eram feitas – até quando pensávamos ser a matéria indivisível, como na teoria criada por Leucipo¹ e desenvolvida por Demócrito ((BORNHEIM, 1998, pp. 103–106) e (BURNET, 2006, pp. 349–350)) – já havia a dúvida sobre se haveria algo fora de nós mesmos, e se, havendo uma realidade externa, poderíamos ter acesso ao modo como as coisas de fato são. Diversas respostas foram dadas e tantas outras as antagonizaram, disputa suficientemente relevante para que se procure avaliar algumas delas com o objetivo de esclarecer certos conceitos e aproveitar o que se pode na tentativa de categorizar as menores coisas que atualmente julgamos conhecer.

Conceitos como quantificação existencial, realidade, ficcionalidade, independência ontológica, identidade, abstração e concretude carregam complicações o bastante para nos atermos a eles durante mais tempo do que a média de vida de um ser humano permite, então abdicaremos de uma discussão mais generalista em nome de um estreitamento na direção de algumas propriedades interessantes dos entes físicos acima citados. Inicialmente serão apresentadas algumas opções de definição para conceitos importantes nessa discussão, os quais receberão críticas pontuais, para que em sequência sejam sugeridos alguns caminhos – certamente não definitivos – de condução deste imenso mistifório.

¹ De acordo com Burnet e Bornheim, a existência de Leucipo foi questionada por autores como Epicuro e Erwin Rohde, mas afirmada por Aristóteles e Teofrasto, o que arrefeceu a disputa e manteve seu posto dentre os pioneiros da teoria atômica da matéria.

1 ‘ABSCONCRETUDE’

Um importante passo para sabermos em que categorias ontológicas se encaixam as partículas fundamentais é conseguirmos dar uma explicação satisfatória sobre serem concretas, ou, caso contrário, abstratas. Mas para tal é também necessária uma definição satisfatória desses termos, pois a lexical não o é. A intuição pode nos levar a princípio para uma opinião de que ‘concreto’ é aquilo com o qual podemos ter contato direto, que é palpável, e, num abuso de linguagem, *real*. Enquanto isso, ‘abstratos’ parecem ser aqueles objetos de nossa imaginação, especulação ou de um ambiente onírico. No entanto, essa noção não é razoável por vários motivos, dentre eles o fato de que mesmo momentaneamente inacessíveis para nós, objetos tangíveis não deixam de ser tangíveis. Passamos milênios sem conhecermos as feições dos tardígrados, e nem por isso eles deixaram de ter sua resistência absurda aos modos de vida mais radicais, bem como termos aceitado a Teoria do Flogisto como verdadeira não possibilitou o contato com tal material hoje sabido como inexistente¹. Um exemplo claro vem da astrofísica: O universo tem ‘bordas’, é limitado, mas elas se expandem com uma velocidade superior à da luz no vácuo. Dessa forma, como descrito pela relatividade geral, não podemos alcançar a fronteira no *fim* do universo, já que somos impedidos de realizar deslocamentos com tamanha velocidade. Isso significaria que a maior parte do universo não existe?

Santos (2014) discute essa questão de forma que pelo menos um passo relativamente seguro podemos dar: objetos abstratos não são subjetivos, dependentes da mente imaginativa dos seres humanos. A matemática é talvez o caso mais notório, uma vez que sendo demonstrável algum teorema (não há necessidade da empiria na confirmação dos resultados), ele não deixa de ser válido caso seu *demonstrador* sofra de amnésia ou desista da área de estudos, bem como permanece factual até mesmo para quem desconhece o próprio conceito de demonstrabilidade matemática. E é justamente por causa de circunstâncias exemplares como essa que David Lewis, em sua obra “*On the Plurality of Worlds*” (1986), como comentado por Santos, expõe o que chamou de *via da exemplificação* para a distinção abstrato/concreto, em que são buscados casos paradigmáticos para que baseemos tal diferenciação. Podemos imaginar um objeto macroscópico, como um livro. Esse objeto pode ser dividido em partes menores, que por sua vez podem ser divididas em partes menores até que alcancemos partículas subatômicas [supostas] indivisíveis. Essas partículas serviriam então de paradigma para o que é ser um objeto concreto, e, como dito acima, os entes matemáticos teriam esse papel no grupo dos abstratos. Dessa forma, algo seria concreto se fosse do tipo de uma partícula subatômica, e abstrato se semelhante a um ente matemático. Contudo, isso não é muito eficaz, pois não temos um critério claro

¹ Portanto, será que temos mesmo contato com, por exemplo, o que hoje chamamos de gás oxigênio?

para a avaliação do que é “ser de um mesmo tipo”. Ao mesmo tempo em que um livro compartilha de várias características com um átomo de ósmio, diferencia-se dele em muitos outros sentidos. Dizer, por exemplo, que obedecer às leis da física é uma semelhança suficiente, é não levar em conta de que objetos tais quais partículas virtuais e membranas 11-dimensionais são regidos pela física e ainda assim parecem muito mais com os entes matemáticos do que com a traça que nesse momento rói as páginas de algum livro numa biblioteca. Portanto, para essa via ser satisfatória, precisaríamos ter um critério muito específico, mas não é a situação atual.

Em sequência, temos a segunda via apontada por Lewis, a da *subsunção*, que “consiste em reduzir *abstrato/concreto* a uma distinção relativamente à qual possuímos uma melhor compreensão” (SANTOS, 2014, p. 28). É sugerida a distinção *indivíduo particular/conjunto*, pois pode ser interpretada nos termos de uma teoria de conjuntos com elementos atômicos. Os objetos concretos seriam identificados com os indivíduos atômicos e os abstratos com os conjuntos puros². No nosso caso isso não é adequado pois, como veremos a seguir (2.1), a alternativa mais adequada parece ser considerar os objetos estudados pela mecânica quântica como não-indivíduos, a eles não sendo aplicável a relação de identidade (igualdade). Para resolver isso, parece oportuno adotarmos a Teoria de Quase-Conjuntos (2.3), pois há nela átomos não-individuais. No entanto, eles também servem para representar mésons π , por exemplo, que ao comportarem-se como partículas virtuais durante transferências de *momentum* entre núcleons³ (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 634), não parecem muito distintos de construtos matemáticos, que estamos até aqui considerando como abstratos. Então, para que essa via fosse aceita, ou precisaríamos de outro par de conceitos distintivos, ou limitarmos o poder representativo da teoria de conjuntos utilizada, o que não parece um bom caminho.

Outra via é a da *negação*, com a afirmação de que objetos abstratos não têm localização espaço-temporal, não entram em relações causais e nunca são mutuamente indiscerníveis (SANTOS, 2014). Segundo essa ideia, a localização espaço-temporal é necessária para que um objeto participe de relações causais, mas, novamente, não parece ser isso o que a física afirma. Ondas eletromagnéticas não são descritíveis como tendo uma localização espacial pontual, exata, bem como não o são todas as entidades afetadas significativamente pelo Princípio de Incerteza de Heisenberg⁴, e ainda assim participam causalmente de eventos físicos. Ademais, se chegarmos à conclusão de que partículas

² Conjuntos cujos elementos podem ser apenas outros conjuntos.

³ ‘Partículas’ como os nêutrons e prótons, que compõem os núcleos atômicos.

⁴ Descrito matematicamente pela expressão $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2\pi}$, o Princípio de Incerteza de Heisenberg mostra que há um limite para a precisão das medições que podemos fazer sobre sistemas físicos quantizáveis. Esse limite não é apenas tecnológico, pois certos pares de grandezas (ditos pares canônicos, como posição e momento linear) não podem de forma alguma ser totalmente conhecidos simultaneamente, devido ao comportamento dos objetos da física quântica (GRIFFITHS, 2011, p. 86). Os observáveis incompatíveis são, mais tecnicamente, aqueles cujos operadores não comutam, impossibilitando-os de ter autofunções compartilhadas.

virtuais são abstratas, entraremos em contradição direta com a via da negação, já que elas são indiscerníveis das outras de mesmo tipo.

A última alternativa de Lewis apresentada por Santos é a via da *abstração*. Ela se resume a caracterizarmos os objetos abstratos como certas características comuns entre ‘coisas’ concretas, ignorando-se aspectos que os diferenciam. O exemplo dado é de que se tivermos duas sacolas, uma com cinco maçãs e outra com cinco peras, podemos abstrair disso o número cinco, que é o aspecto em comum entre as duas sacolas. Porém, seguindo esse procedimento com literalidade, podemos considerar como abstrato muito daquilo que intuitivamente consideramos concreto. A tinta usada para pintar o logotipo do supermercado nas sacolas, por exemplo, ou até mesmo as moléculas de vitamina C, completamente indiscerníveis umas das outras⁵, comuns às duas espécies de fruta. Logo, podemos concordar com (SANTOS, 2014) quanto à ineficácia das quatro vias em resolver o problema da distinção entre abstração e concretude, principalmente no escopo aqui abordado.

Como tentativa de estabelecer a mencionada distinção, Williams define que:

“Uma parte bruta, como o palito, é *concreta*, assim como o pirulito inteiro, ao passo que uma parte mais fina ou difusa, como o componente de cor ou o componente de forma, é *abstrata*. A cor-mais-forma é menos abstrata ou mais próxima do concreto do que somente a cor, mas ela é mais abstrata ou menos concreta do que cor-mais-forma-mais-sabor, e assim por diante até atingirmos o complexo total que é inteiramente concreto.” (WILLIAMS, 2006, p. 6)

Essa é uma distinção com critérios não muito bem definidos. Se a definição nos oferece apenas uma gradação, qual é o limite no qual um ser deixa de ser abstrato e torna-se concreto? O autor afirma que elementos mais finos, que não são compostos por nenhum outro tipo de entidade⁶, são o *alfabeto do ser*, os componentes básicos de cada um dos mundos possíveis. Tais objetos, chamados de *tropos*, são “o particular abstrato, que é, por assim dizer, a ocorrência de uma essência” (WILLIAMS, 2006). Além de apelar para o uso de essências, o que não queremos, pois partimos do princípio ainda a ser explicado de que tratamos de objetos não-individuais (logo, sem essências que lhes proporcionem individualidade), também apela para modalidades primitivas (possibilidade e necessidade) para que possamos expor o que garantiria a semelhança entre tropos. Com esses fatores e outros a serem comentados à frente (2.1), não parece vantajoso, a princípio, trilharmos o caminho de Williams. Talvez no futuro alcancemos outras conclusões mais satisfatórias.

⁵ São todas ácido ascórbico, representado pela fórmula molecular $C_6H_8O_6$.

⁶ Aqui Williams os define como abstratos. Nesse caso, seriam as partículas subatômicas (elementares) também abstratas? Mais um ponto problemático quando o tema é a física.

2 ‘IDENTICERNIBILIDADE’

Desde a Antiguidade a *identidade* é um conceito sobre o qual muito se discute e questiona. A lógica tradicional o toma como imprescindível desde a Grécia Antiga, e mesmo que outros princípios tão antigos e famosos quanto (por exemplo, o de Não-Contradição, o de Explosão e o Terceiro Excluído) tenham sido questionados e limitados, gerando as mais diferentes lógicas, como as Paraconsistentes, Paraclássicas, Polivalentes..., o Princípio de Identidade parece ainda repousar tranquilamente, relativamente pouco desafiado, inserido quase como algo sagrado nos sistemas lógicos, até mesmo os mais recentes.

Um exemplo contado à exaustão é o do Navio de Teseu, que gera incerteza sobre qual barco seria de fato ‘O Navio de Teseu’ após, durante suas viagens, serem pouco a pouco trocadas as tábuas que o constituem: a versão mais nova, com todas as peças alteradas, ou um barco montado com os pedaços do original que foram paulatinamente removidos. Várias soluções foram sugeridas, como quando Heráclito faz a sua metáfora com o rio, segundo a qual a identidade não é mantida ao longo do tempo, então não se pode adentrá-lo mais de uma vez. Logo, não existiria identidade entre as versões dos barcos em tempos diferentes, eles seriam distintos, mais de um. Esse é o conhecido problema da *identidade transtemporal*, como visto em French e Krause (2006, p. 6): o que nos faz reconhecermos um objeto como o mesmo em momentos diferentes? Um indivíduo é definido pela soma total de seus estados, tornando-se ‘outro’ a cada instante de tempo – visão conhecida como perdurantismo (ou quadridimensionalismo, devido à consideração das coordenadas espaço-temporais) –; ou é sempre um mesmo objeto que se desloca pelo tempo (endurantismo)? Precisamos conseguir estabelecer uma trajetória espaço-temporal contínua para essa análise (o que seria um grande problema no âmbito da mecânica quântica)? A reidentificação, portanto, será uma questão com a qual teremos que lidar mais à frente.

Até aqui o termo já foi citado diversas vezes, mas o que é *identidade*, afinal? De maneira intuitiva, pela forma como utilizamos a palavra coloquialmente, consideramos que nós mesmos temos identidade, analogamente ao que vemos na passagem a seguir:

“Most people think of themselves as individuals, that there’s no one on the planet like them. This thought motivates them to get out of bed, eat food and walk around like nothing’s wrong.” (SUBMARINE, 2011)

Um aspecto dificultante dessa investigação é o hábito, pois temos o costume de considerarmos os objetos com os quais interagimos como portadores de algo que os faz serem eles mesmos, mesmo que não percebamos fatores que os diferenciem de outros do mesmo tipo. Há alguns modos de se pensar qual seria esse fator diferenciador, como pode ser visto em Krause (2013b, p. 157-158). Um deles são as *teorias de substrato*, segundo as quais haveria algo único, subjacente a todas as características do objeto, que garantiria sua

individualidade, mesmo que suas propriedades sofressem alterações. Porém, um problema é dizer o que seria esse 'algo', já que a própria definição de substrato estabelece que é algo 'extrafísico', não descritível através de propriedades. Então outra visão (essa bastante aceita por físicos e filósofos) é a de *pacotes de propriedades*, segundo a qual (de modo um tanto quanto intuitivo) um objeto é descrito apenas por suas propriedades. No entanto, dessa forma não poderíamos considerar que cada objeto é idêntico apenas a ele mesmo, porque, aparentemente, de fato existem vários objetos iguais em todas as suas características (como será visto a seguir, esse é um 'fato' fundamental à física), não haveria nenhuma 'coisidade primitiva', eceidade ou coisa que o valha para diferenciá-los e ainda assim eles não colapsariam em apenas um indivíduo como postulado pela lógica clássica, em especial pelo Princípio da Identidade dos Indiscerníveis (ou 'Lei de Leibniz', quando formulado em lógicas de ordens superiores):

“Ora, a lógica nos diz que, dadas quaisquer duas entidades a e b , vale o princípio do terceiro excluído: $a = b$ ou $a \neq b$. Por vezes, podemos não saber qual é o caso, mas uma das disjunções é teorema da teoria considerada. O que isso significa? Se a teoria da identidade for a 'clássica' (de ZFC), significa simplesmente que, no primeiro caso, não há duas entidades, mas somente uma, que por acaso recebe dois nomes distintos. No segundo caso, que elas são diferentes e então (e isso é importante) apresentam alguma diferença, ainda que, por vezes, não possamos apontar para essa diferença.”(da COSTA et al., 2012, p. 76)

Isso nos leva a outra definição, a de *Identidade Numérica*, dependente do conceito de *Identidade Qualitativa*. Diz-se que dois entes são qualitativamente idênticos caso tenham certas características em comum. Um corvo, por exemplo, é qualitativamente idêntico a um pássaro-jardineiro (*Ambliornys inornata*) relativamente aos atributos de serem ambos aves, terem ossos pneumáticos, serem cordados e gostarem de pequenos objetos brilhantes. A Identidade Numérica pode ser entendida, por sua vez, como a Identidade Qualitativa 'absoluta', total. Ou seja, os objetos de análise partilhariam de todas as mesmas propriedades. Porém, essa visão também assume uma metafísica em que uma coisa só pode ser numericamente idêntica a ela mesma, fazendo com que duas coisas não possam, nem em princípio, terem as exatas mesmas características. Essa assunção é o que denominamos acima como 'Princípio da Identidade dos Indiscerníveis' (KRAUSE, 2002, pp. 82-83, 185), de acordo com o qual objetos indiscerníveis (qualitativamente idênticos de maneira total) são também (numericamente) idênticos, não sendo dois ou mais objetos, apenas um. Na linguagem da Lógica de Segunda Ordem pode-se expressar o citado Princípio:

$$\forall x \forall y \forall P ((P(x) \leftrightarrow P(y)) \rightarrow x = y) \quad (2.0.1)$$

x, y são variáveis individuais

P é uma variável para propriedades de indivíduos

Intuitivamente, parece ter sentido pensarmos que se ‘duas’ entidades são iguais (logo, são a mesma coisa), têm necessariamente as mesmas propriedades, ou seja:

$$\forall x \forall y \forall F (x = y \rightarrow (F(x) \leftrightarrow F(y))) \quad (2.0.2)$$

Indiscernibilidade dos Idênticos

Mas será razoável o expressado na equação 2.0.1? Assim aceitaríamos as fórmulas acima como valendo nos dois sentidos (a Lei de Leibniz, como consta a seguir). De fato não existiriam dois objetos indistinguíveis na natureza? Veremos, mas, como dito anteriormente ao falarmos dos objetos quânticos, não parece ser o caso.

$$\forall x \forall y \forall F ((F(x) \leftrightarrow F(y)) \leftrightarrow x = y) \quad (2.0.3)$$

Lei de Leibniz

Para fins de rigor e objetividade na análise de o que seja a identidade, pode-se pensar numa abordagem formal dela. E uma das formas mais antigas de se tentar fazê-lo é através do que pensava-se como os ‘princípios básicos da razão’, aqueles que seriam compatíveis com a forma como é organizado o mundo e como o ser humano é inclinado a raciocinar. São eles:

1. Princípio da Identidade
2. Princípio da Não-Contradição
3. Princípio do Terceiro Excluído

No trecho anterior ficou implícito que esses não são de fato os princípios nos quais a lógica pode ser ‘perfeitamente fundamentada’. Mas por quê? O que fez a discussão ser estendida? Um dos motivos é que a Lógica Clássica, tida como *usual*, não pode ser baseada apenas neles (tomados como axiomas). Ainda pode-se formulá-los de maneiras diferentes, não equivalentes, então qual delas seria a correta, adequada?

Podemos dar alguns exemplos de apresentações distintas do Princípio da Identidade:

1. Na linguagem da Lógica Proposicional Clássica
(p é uma variável proposicional):

$$p \rightarrow p \quad (2.0.4)$$

ou ainda

$$p \leftrightarrow p \quad (2.0.5)$$

2. Na linguagem da Lógica de Predicados (Primeira Ordem):

$$\forall x(x = x), \quad (2.0.6)$$

O que pode ser lido como a ideia intuitiva de que todo objeto é igual a si próprio.

3. Na Linguagem da Lógica de Segunda Ordem:

(F é uma variável para propriedades e x é uma variável para indivíduos)

$$\forall x \forall F(F(x) \rightarrow F(x)) \quad (2.0.7)$$

ou

$$\forall x \forall F(F(x) \leftrightarrow F(x)) \quad (2.0.8)$$

Em uma Linguagem de Primeira Ordem, como apresentado por [French e Krause \(2006\)](#), podemos tentar estabelecer uma Teoria da Identidade, em que ela é representada por um símbolo binário de predicado ($=$) e descrita como um conceito primitivo afetado pelos seguintes axiomas (lembrando que aqui a identidade é aplicável apenas a indivíduos, e não também a propriedades, como é no caso de teorias de tipos):

- Axioma da Reflexividade:

$$\forall x(x = x) \quad (2.0.9)$$

(Também conhecido como Princípio da Identidade ou Lei Reflexiva da Identidade)

- Axioma da Substitutividade:

$$\forall x \forall y(x = y \rightarrow (\alpha(x) \rightarrow \alpha(y))) \quad (2.0.10)$$

$\alpha(x)$ pode ser uma fórmula qualquer, enquanto $\alpha(y)$ resulta da substituição de pelo menos uma ocorrência livre de x por y em $\alpha(x)$. x e y devem ser variáveis individuais tal que y é livre para x em $\alpha(x)$. Esse axioma pode ser entendido como a possibilidade de se permutar objetos iguais e ainda assim preservar-se a *verdade*¹ ([MENDELSON, 1997](#), p. 95).

Também devemos atentar aos seguintes teoremas:

- A relação de igualdade (identidade) é **simétrica**:

$$(x = y \rightarrow y = x) \quad (2.0.11)$$

¹ No entanto, pode haver uma confusão entre *uso* e *menção* nessa afirmação.

- A relação de igualdade (identidade) é **transitiva**:

$$\forall x \forall y \forall z ((x = y \wedge y = z) \rightarrow x = z) \quad (2.0.12)$$

Vemos então que a igualdade é uma *relação de equivalência*, já que é binária, reflexiva, simétrica e transitiva. Porém, além disso, a identidade é uma *congruência*, pois é uma relação de equivalência sobre o domínio D de alguma estrutura que preserva as relações dessa estrutura. No entanto, é sabido que a identidade/diagonal do domínio ($\Delta_D = \langle x, x \rangle : x \in D$) (COSTA; KRAUSE; BUENO, 2007, p. 827) não é axiomatizável de modo não-ambíguo em primeira ordem (FRENCH; KRAUSE, 2006, pp. 252-254), o que não nos permite discernir entre os objetos de D . Portanto, uma das alternativas é abandonarmos a lógica clássica nesse contexto e tentarmos adotar uma nova forma de descrever os indivíduos (discerníveis entre si) e os não-indivíduos, entes como esses da física os quais podem ser muitos e indistinguíveis. A saber, a alternativa considerada foi a Teoria de Quase-Conjuntos².

2.1 MAS POR QUE A INDISCERNIBILIDADE É IMPRESCINDÍVEL NA FÍSICA?

Podemos agora discutir o porquê de não aceitarmos nem em princípio atributos como substância individual para caracterizarmos os objetos quânticos. Williams (2006) diz ser a metafísica a ciência mais completamente empírica, que “cada objeto experienciado deve ser um exemplo e caso de teste para as categorias da ontologia analítica”. Ele sugere que suponhamos três pirulitos, cada qual parcialmente semelhante aos outros, mas também parcialmente diferente. Dizer que a é parcialmente semelhante a b é dizer que uma parte de a é totalmente semelhante a uma parte de b . Para objetos macroscópicos parece fácil encontrar diferenças, pois é muito improvável que os arranjos de suas bilhões de moléculas sejam exatamente os mesmos, mas Williams inicia supondo dois palitos de pirulitos perfeitamente semelhantes³ e dá-lhes nomes logo a seguir. Isso é conceder alguma forma de identidade transcendental a esses objetos, pois sendo indistinguíveis um do outro, o que garante que não sejam confundidos, mesmo que tenham nomes distintos? A nomeação é dada de maneira ostensiva, apontando-se para cada um dos palitos e concedendo-lhe um nome. Mas e depois, como saber qual é qual? E a troca de palitos faria com que os pirulitos se tornassem diferentes?

De acordo com o apresentado anteriormente, Williams recorre a uma noção própria de *tropos*. Para explicar suas relações, o autor explica que a conexão pode se dar de duas

² Tal qual descrita por Krause e Arenhart.

³ Mas numericamente distintos, o que contraria a Identidade dos Indiscerníveis: a lógica clássica estabelece que seriam na verdade apenas um objeto (ver seção 2)

formas: a da localização e a da semelhança⁴. A localização, em sua forma mais básica, é a cotidiana, de 'compresença', ou 'coincidência' espaço-temporal física. Porém, também é defendido por Williams que se estenda esse conceito para algo que ocorra na *consciência*⁵. A semelhança também não teve um limite definido, então poderíamos considerá-la como um critério cujas minúcias continuam valendo até o nível subatômico? Os tropos citados como exemplos de abstratos mais primordiais foram *cor* e *forma*. Mas essas duas propriedades são dependentes de arranjos entre partículas elementares e da forma como elas trocam energia entre si. Se assumirmos esses objetos físicos elementares como a base para a construção da nossa ontologia, como não temos meios de distingui-los, precisaríamos obter o limite em que a combinação de vários faça surgir as diferenças. Qual será ele? A localização e a semelhança sozinhas não parecem fornecer todas as relações possíveis entre tropos, ao contrário do afirmado em Williams (2006). Vale a pena insistir na ideia de tropos se ela não facilita a resolução de nossos problemas? É apontado pelo autor que a soma de todos os tropos precisamente semelhantes a determinado tropo corresponderia a um universal abstrato, que seria a essência (os tropos nos seriam úteis caso efetivamente nos ajudassem a vencer o essencialismo); bem como a soma de tropos espaço-temporalmente coincidentes seria um particular concreto.

Contudo, isso parece não funcionar na física. Para tentarmos agradar a nossas intuições, consideremos, por exemplo, moléculas grandes, como as de fulereno C_{60} (sessenta átomos de carbono). Quando isoladas umas das outras, supostamente teríamos nas somas de suas propriedades as essências individuais de cada uma delas. Saberíamos por suas coordenadas espaciais, usando conjuntamente o critério da semelhança, que o universal abstrato que representa 'o que é ser a molécula de fulereno *a*' é diferente daquele que indica 'o que é ser a molécula de fulereno *b*'. Cada uma das moléculas seria um particular concreto ('bolinhas tangíveis', num extremo abuso imaginativo). Lembremos também que Williams definira 'tropos' como particulares abstratos (ocorrências de uma essência), logo também haveria em cada uma das moléculas a instanciação de características que, mesmo fazendo parte de universais distintos (os que definem cada molécula individual), são idênticas entre si. Portanto, os particulares abstratos para a massa e a quantidade de átomos de carbono em *a* e *b* seriam referentes aos universais 'massa de repouso de uma molécula genérica de fulereno C_{60} ' e 'quantidade de átomos de carbono numa molécula genérica de fulereno C_{60} ', que fazem parte dos universais de cada 'indivíduo' *molécula de fulereno C_{60}* .

No entanto, como mencionado anteriormente, a física nem sempre é compatível com as intuições humanas. As moléculas de fulereno C_{60} são indiscerníveis uma das outras e apresentam comportamentos *quânticos* característicos. Portanto, o conjunto delas, ao

⁴ Há o recurso à noção de "acarretamento necessário" para determinar a semelhança entre tropos. Williams não deixa claro como isso se dá, e a vagueza do termo também não auxiliou na compreensão do conceito.

⁵ Também não definida, portanto, não foi considerada seriamente na presente análise.

apresentarem esses comportamentos (como ao respeitarem o Princípio da Incerteza de Heisenberg), é que seria a essência (universal abstrato) que caracterizaria ‘o que é ser uma molécula de fulereno C_{60} ’. O comportamento dual onda-partícula, aliado à indiscernibilidade entre as moléculas, também proporciona situações em que o coletivo delas é que agiria como particular concreto (devido à coincidência espaço-temporal). A indiscernibilidade também tornaria iguais o conjunto de todos os particulares abstratos e o universal abstrato. Além disso, mesmo que nomeássemos ostensivamente cada molécula isolada para que fossem dotadas de algo abstrato que as diferenciasse, como faríamos para reidentificá-las no futuro, caso as deixássemos circular umas entre as outras? Os universais que as definem seriam diferentes dependendo do contexto (isoladas ou em contato com outras)? Caso fossem, não se tornariam outros objetos, já que os tropos estariam envolvidos na caracterização de cada indivíduo? Se nessas moléculas grandes, com as quais deveríamos ter certa facilidade descritiva, já há confusão, muito mais seria gerada caso tentássemos aplicar tais conceitos a materiais mais estranhos, tais quais condensados de Bose-Einstein e superfluidos, cujos componentes comportam-se como bósons, muitos deles ocupando os mesmos estados de energia simultaneamente. Tal densificação já é o suficiente para eliminar-se a distinção baseada nas coordenadas espaço-temporais dos componentes menores da matéria. Ainda mais dificuldades são acarretadas pela falta de definições precisas nessa teoria de tropos. Não é dito o que é um “tipo” lógico, na verdade o autor diz que nem ele tem clareza quanto a esse conceito. Mesmo assim, indica que “todos concordam” que uma soma é do mesmo tipo que seus termos, da mesma forma que o todo é do mesmo tipo que as partes. Isso aparenta fortemente ser uma falácia de composição/divisão. É dado o exemplo de que “o homem é do mesmo tipo que seus braços e pernas” (WILLIAMS, 2006, p. 10), o que até pode ser verdade se forcemos uma certa interpretação. Mas é claro que isso não funcionaria se disséssemos que “o homem é do mesmo tipo que suas hemácias” ou que “é do mesmo tipo que seus aminoácidos”. Se formos mais fundo, poderemos afirmar que o homem é concreto, mas formado por uma soma de tropos abstratos. Com efeito, não pertencem ao mesmo tipo. Além de tudo, essa ontologia é qualitativa e quantitativamente inflada. Tudo pode ser tropo e a identidade surge nas coisas de um modo não explicado, o que não é adequado no tratamento que buscamos para a física quântica. Tomemos então outro caminho.

2.2 UM OLHAR A PARTIR DA PRÓPRIA FÍSICA

Post (1963, p. 536) argumentou que é inapropriado tentarmos conferir algum tipo de *identidade transcendental* aos objetos estudados pela mecânica quântica, ou seja, algum princípio de individuação que considere algo mais do que as características físicas descritíveis desses objetos. Segundo ele, a solução seria partir de uma visão que os considerasse como

não-indivíduos⁶ desde o início, e não como consequência dos acontecimentos, medidas... Assim, haveria algum modo de não precisarmos jogar fora a Lei de Leibniz, por exemplo, já que a identidade (aqui tratada como a existência de um único indivíduo igual a si mesmo) se aplicaria apenas a indivíduos, o que essas partículas não seriam (formalmente, o símbolo de igualdade '=' não seria aplicável a elas). Claro, para se fazer essa afirmação é preciso apresentar razões suficientemente fortes. Um dos pontos utilizados pelo autor foi o caso das chamadas 'Estatísticas Quânticas'.

2.2.1 Indistinguibilidade e 'Estatísticas' Quânticas

De modo pedagógico, Post (1963, p. 534-535) pede para considerarmos um experimento mental: temos duas partículas e duas caixas. Sendo objetos clássicos, os arranjos possíveis são apenas quatro: (i) a partícula *A* na caixa 1 e a partícula *B* na caixa 2; (ii) a partícula *B* na caixa 1 e a partícula *A* na caixa 2; (iii) as duas partículas na caixa 1 e nenhuma na 2; (iv) ou as duas partículas na caixa 2 e nenhuma na 1. Como nada indica o contrário, cada uma dessas probabilidades tem 1/4 de chance de ocorrer numa distribuição aleatória, portanto as partículas devem parar na mesma caixa na metade das vezes (casos (iii) e (iv)). Vê-se claramente que na física clássica (nesse caso, Boltzmann), mesmo que os objetos fossem de mesmo tipo, se pensava que, em princípio, eles não poderiam ser completamente indistinguíveis, já que os arranjos (i) e (ii) eram considerados distintos. Era dada, portanto, individualidade transcendental⁷ até aos objetos microscópicos, pois a incapacidade de diferenciá-los era supostamente de ordem epistemológica (poderíamos, por exemplo, necessitar apenas de aparatos tecnológicos melhores para visualizá-los), e não ontológica. Dávamos aos átomos uma forma intuitiva de individualidade assim como damos aos objetos macroscópicos, por mais semelhantes que sejam (guarda-chuvas, pianos, bolinhas de gude, gêmeos univitelinos.)

Mas o que ocorreria se considerássemos as partículas como de fato indiscerníveis, alijadas de identidade transcendental, e, assim, os arranjos (i) e (ii) fossem considerados como idênticos (iguais, o mesmo)? Ora, haveria apenas três estados possíveis, e somente em um deles as partículas estariam separadas. Ou seja, a probabilidade de se ter as duas em uma mesma caixa após uma distribuição aleatória seria de 2/3, maior que no caso clássico visto anteriormente. Bastante estranho, mas passamos a ter um modo de conferir se tais objetos comportam-se ou não como se possuíssem identidade. Caso tenham, devem seguir a estatística clássica. E, para o choque de muitos, as evidências experimentais mostram um comportamento distinto do clássico, fortalecendo a ideia da ausência de identidade.

⁶ A não-individualidade pode ser compreendida como um conceito primitivo, denotando objetos que de fato não possuem nenhuma qualidade que os distinga de outros objetos de mesma natureza.

⁷ Algo que distiguísse dois objetos sem a necessidade de evidências físicas.

Quando consideramos a 'Estatística' (Distribuição) de Boltzmann, utilizada para objetos 'clássicos', são adotadas duas hipóteses:

- Todas as ocupações possíveis têm a mesma probabilidade de ocorrer;
- A presença de um objeto em uma dessas ocupações não aumenta nem diminui a probabilidade de que outro ente se encontre no mesmo estado.

Porém, caso consideremos que as partículas são indiscerníveis umas das outras, resultados importantes surgem. E, hoje já não causa mais tanta surpresa, ao analisarmos os objetos mais elementares da física, os efeitos relacionados à superposição de suas funções de onda (φ) coincidem com aqueles em que supomos a indistinguibilidade das entidades. Aquelas partículas descritas a partir de funções de onda antissimétricas, com spin semi-inteiro, são chamadas de *férmions* (GRIFFITHS, 2011, p. 177-178). Quando o sistema é constituído por tais entes, vale o Princípio da Exclusão de Pauli. Então pode-se afirmar que:

“Se já existem n férmions em um estado quântico, a probabilidade de que outro junte-se a eles será reduzida por um fator de inibição $(1 - n)$ do que seria esta probabilidade se não houvesse a exigência da indistinguibilidade.” (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 378)

Assim sendo, caso n seja igual a 0, o fator será de $(1 - 0) = 1$; e, caso n seja igual a 1, o fator valerá $1 - 1 = 0$, tornando o estado inacessível a mais férmions⁸.

Já as partículas descritas por funções de onda simétricas, com spin inteiro, são caracterizadas como *bósons* (GRIFFITHS, 2011, p. 177-178). Para sabermos como se comportam as probabilidades de que uma dessas partículas assuma determinado estado, suponhamos um sistema formado por duas partículas indistinguíveis, descritas por funções de onda simétricas (perceba-se que de início já há algo de estranho: a necessidade de se identificar as partículas no tratamento matemático, mesmo que dentro da teoria elas sejam indiscerníveis. Isso já havia sido contestado:

“You cannot mark an electron, you cannot paint it red. Indeed, you must not even think of it as marked. If you do, your ‘counting’ will be false and you will get wrong results at every step – for the structure of line spectra, in thermodynamics and elsewhere.” (SCHRÖDINGER, 1953, p. 56)

Temos uma resolução parcial quando é considerada a permutação das partículas:

$$\Psi_s = 1/\sqrt{2}[\psi_\alpha(1)\psi_\beta(2) + \psi_\beta(1)\psi_\alpha(2)] \quad (2.2.13)$$

⁸ Como n representa a quantidade de objetos em um estado, só pode assumir valores inteiros. Ademais, quando tais objetos são férmions, n limita-se aos valores 0 ou 1, pois por seu comportamento, cada estado pode ser ocupado por nenhum ou, no máximo, um férmion.

Considerando que essas partículas estejam no mesmo estado ($\alpha = \beta$):

$$\Psi_s = 1/\sqrt{2}[\psi_\alpha(1)\psi_\alpha(2) + \psi_\alpha(1)\psi_\alpha(2)] = \quad (2.2.14)$$

$$\Psi_s = 2/\sqrt{2}[\psi_\alpha(1)\psi_\alpha(2)] \quad (2.2.15)$$

Dessa forma, a densidade de probabilidade (definida como $\Psi_s^*\Psi_s$, em que Ψ_s^* é o complexo conjugado da função de onda Ψ_s) de se atingir esse estado será:

$$\boxed{\Psi_s^*\Psi_s = 2[\psi_\alpha^*(1)\psi_\alpha^*(2)\psi_\alpha(1)\psi_\alpha(2)]} \quad (2.2.16)$$

Agora consideremos duas partículas clássicas indistinguíveis. Poderíamos descrever o sistema com a expressão:

$$\Psi = \psi_\alpha(1)\psi_\beta(2) \quad (2.2.17)$$

Se estiverem ambas no mesmo estado,

$$\Psi = \psi_\alpha(1)\psi_\alpha(2) \quad (2.2.18)$$

Logo, a densidade de probabilidade associada a esse estado será:

$$\boxed{\Psi^*\Psi = [\psi_\alpha^*(1)\psi_\alpha^*(2)\psi_\alpha(1)\psi_\alpha(2)]} \quad (2.2.19)$$

Assim, quando comparamos as equações 2.2.16 e 2.2.19, percebemos que a probabilidade de encontrarmos dois bósons no mesmo estado (sendo eles indistinguíveis) é duas vezes maior do que as chances de o mesmo ocorrer com partículas clássicas. Pode-se mostrar (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 380) que em um sistema composto por n bósons indiscerníveis, a probabilidade de ocupação de um mesmo estado será aumentada em $n!$ vezes.

Seguindo esse raciocínio, consideremos como P_1 a probabilidade de encontrarmos um único bóson em um certo estado e também os consideremos como distinguíveis. A probabilidade de que sejam encontrados n bósons nesse mesmo estado será:

$$P_n = (P_1)^n \quad (2.2.20)$$

Se acrescentarmos a exigência da indiscernibilidade dos bósons essas chances aumentarão em um fator $n!$, como citado acima.

$$P_n^{\text{bósons}} = n!(P_1)^n \quad (2.2.21)$$

Quando acrescentamos mais um bóson ao estado, temos:

$$P_{n+1}^{\text{bósons}} = (n+1)!(P_1)^{n+1} = (n+1)n!P_1(P_1)^n \quad (2.2.22)$$

$$P_{n+1}^{\text{bósons}} = (n+1P_1)n!(P_1)^n = (n+1)P_1P_n^{\text{bósons}} \quad (2.2.23)$$

Dessa maneira,

$$P_{(n+1)}^{\text{bósons}} = (n+1)P_1P_n^{\text{bósons}} \quad (2.2.24)$$

Portanto, o seguinte pode ser afirmado

"Se já existirem n bósons em um estado quântico, a probabilidade de que um outro se junte a ele será aumentada por um fator $(n+1)$ do que seria essa probabilidade se não existisse a exigência quântica da indistinguibilidade." (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 380)

Vemos aqui então a necessidade de se tratar da indiscernibilidade em física, de preferência de uma maneira a qual comporte esse fator como algo inerente à parte formal da teoria, sem a necessidade de certos artifícios para se contornar as incongruências entre a matemática subjacente e a ciência teórica e experimental. Por enquanto, então, parece que há, sim uma distinção metafísica entre as físicas clássicas e quântica. Mas será que isso implica em necessidades que a lógica clássica não pode suportar de um jeito satisfatório?

2.3 SOBRE ALTERAR A LÓGICA/MATEMÁTICA

Já comentamos brevemente que a lógica e a matemática subjacentes à física, mesmo a quântica, são as clássicas, o que as impede de formalizar com precisão o sentido que queremos de identidade em uma linguagem de primeira ordem (FRENCH; KRAUSE, 2006, pp. 252-254), como visto acima, gerando estruturas elementarmente equivalentes, em que não se pode discernir os objetos do domínio por meio de uma linguagem elementar. Há a possibilidade de se adotar uma alternativa ao modo usual de formalização da física quântica, uma que tenha uma lógica subjacente mais compatível com a metafísica que considera a existência de objetos não-individuais, aos quais a relação de individualidade não deveria ser aplicável, pois podem haver vários com as exatas mesmas propriedades. Porém, há quem discorde dessa medida.

2.3.1 O Argumento da Fundamentalista de Otávio Bueno

Bueno (2014) partilha de uma visão distinta daquela que vimos até o momento. Em seu artigo, argumenta a favor da ideia de que a identidade é um dos conceitos mais fundamentais para a lógica e a metafísica, concluindo que não devemos restringir sua utilização. De acordo com ele (BUENO, 2014, p. 325), quatro são os principais motivos para tal afirmação:

- (a) A identidade é pressuposta em todo sistema conceitual, sem ela não podemos formulá-los de forma clara;
- (b) A identidade é necessária para caracterizar um indivíduo, nada pode ser um indivíduo sem condições de identidade especificadas;
- (c) A identidade não pode ser definida, nem mesmo em sistemas que se dizem capazes de defini-la;
- (d) A identidade é necessária para a quantificação, sem ela os quantificadores são ininteligíveis.

Bueno (2014) também defende que o compromisso com a identidade gera uma carga mínima, sendo possível acomodá-la em sistemas metafísicos bastante deflacionários. Sua defesa do ponto (a) envolve afirmar que a identidade é o pressuposto fundamental mais básico que temos para separarmos os limites entre certas coisas e outras, para sabermos quais delas caem em determinado conceito e quais não. Segundo ele, a identidade é imprescindível até mesmo quando lidamos apenas com similaridades parciais. Assim, a identidade, mesmo podendo não fazer parte diretamente de algum sistema metafísico, seria necessária para a formulação dos conceitos que definem tal sistema, por exemplo, a predicação sobre os indivíduos. E, justamente ao tratar de indivíduos, ele passa ao ponto (b), dizendo ser razoável que algo satisfaça dois requisitos mínimos para ser um indivíduo: (i) deve ser distinguível das outras coisas e (ii) deve ser reidentificável (BUENO, 2014, p. 326). A discernibilidade enfatizaria o fato de que os indivíduos, mesmo que não tenham meios práticos para isso, podem ser (em princípio) diferenciados dos outros. A reidentificabilidade realçaria a possibilidade de determinarmos um indivíduo e sabermos exatamente sobre que coisa estamos falando. Assim, a identidade seria necessária pois para termos o conceito de *diferença* precisamos do de *igualdade*. Contudo, é apontado que talvez os itens (i) e (ii) não sejam requisitos adequados para a individualidade. A individualidade não seria instanciável, não seria nem mesmo uma propriedade, ao contrário da discernibilidade, que é relacional (algo é distinto *de outro algo*). A individualidade não seria uma relação com outros, mas algo que um indivíduo tem consigo mesmo. Se houvesse um mundo possível com apenas um objeto, ele não poderia ser distinguido de

nada (pois não haveria nada além dele, nem mesmo coordenadas espaço-temporais), mas ainda permaneceria um indivíduo. E, sendo um indivíduo, teria a propriedade modal de ser distinguível de objetos anterior ou futuramente existentes⁹ (BUENO, 2014, p. 327). Bueno vai além e afirma que mesmo que esse questionamento esteja correto, e a distinguibilidade não seja uma condição para a individualidade, a identidade ainda será. Dessa forma, diz ele, seu argumento mostraria que a assunção de que distinguibilidade e individualidade estão de fato correlacionados faz com que não sejam necessárias novas assunções, como a de que a identidade não é aplicável aos objetos quânticos¹⁰ para que tais objetos sejam não-indivíduos – e a identidade ainda seria mantida intacta.

Para o ponto (c), ele critica a alegação de que em sistemas de ordens superiores – em segunda ordem já se pode quantificar sobre propriedades, não apenas objetos – a identidade pode ser definível. De acordo com seu artigo, a identidade é pressuposta em tentativas de definição (por exemplo, em $x = y$ sse $\forall P(Px \leftrightarrow Py)$ temos que ter certeza de que falamos sobre as mesmas variáveis em cada lado do bicondicional), o que faz com que elas não sejam de fato definições (BUENO, 2014, p. 329). Até em linguagens pouco poderosas, como a lógica proposicional clássica, haveria essa mesma pressuposição (se não fossem os mesmos objetos a serem referidos em $(A \vee \neg A)$ essa fórmula seria contingencial, e não uma tautologia), mesmo que a linguagem não possa expressar a identidade.

Finalmente, quanto à afirmação (d), para garantirmos o escopo correto dos quantificadores e para que eles percorram todo o domínio que devem percorrer, deve haver identidade, segundo Otávio Bueno. Quando afirmamos que todo gato é um mamífero, precisamos conferir individualidade a cada um dos gatos para que saibamos diferenciar aqueles que já foram avaliados dos que ainda não foram. Para que consigamos ter certeza de que analisamos todos e não corramos o risco de avaliarmos repetidas vezes apenas um, que oportunamente seria mamífero, enquanto os outros poderiam não ser, precisaríamos da identidade. Também é apontado que a fórmula $(\forall x(x = x))$ é um teorema da lógica clássica de primeira ordem, então a identidade dos objetos seria profundamente pressuposta (o que não seria um problema tão grande ao argumentarmos a favor da multiplicidade lógica, já que poderíamos dispor de um sistema em que o teorema de reflexividade não fosse genericamente aplicável, uma lógica não-reflexiva). Sem a identidade, para Bueno (2014, pp. 329-330), os quantificadores universal e existencial, portanto, colapsariam um no outro: não saberíamos diferenciar a afirmação de que há um gato mamífero da de que todos eles são mamíferos.

Assim, além de breves comentários sobre a impossibilidade de se estabelecer a cardinalidade de um conjunto de objetos sem identidade (pois, novamente, não saberíamos quais já contamos e quais não), Bueno reafirma que uma metafísica deflacionária poderia

⁹ Esse ponto será veementemente negado por Krause e Arenhart (2015a).

¹⁰ ‘Novidade’ que ele atribui a French e Krause (2006).

conter a identidade sem problemas, já que ela (a identidade) não teria 'substância física'¹¹. Seria então, sobretudo, a forma que temos para apreendermos o sentido dos objetos, mas que eles não precisariam manter uma mesma propriedade chamada 'identidade' com o passar do tempo, apenas precisariam ter garantidas condições de identidade. A suposição de que isso é verdade seria uma idealização útil o suficiente para racionalizarmos sobre o mundo (BUENO, 2014, p. 331) de maneira a simplificar nossos sistemas conceituais.

Caso Bueno (2014) esteja correto, a aceitação da identidade como fundamental não atrapalharia o tratamento lógico dos entes da física quântica, minando a relevância dos planos de estabelecimento de novas lógicas que dela prescindam. Isso não ficou incontestado, como veremos, em especial num artigo escrito por Krause e Arenhart, os quais demonstraram considerável discordância com o afirmado por Otávio Bueno.

2.3.2 A Resposta de Krause e Arenhart a Bueno: Quem foi mais Convicente?

Após a leitura do artigo de Bueno, Décio Krause e Jonas Becker Arenhart escreveram uma resposta indo de encontro ao que ele afirmara, opinião que já era de se esperar devido ao histórico de pesquisas dos dois autores¹². Eles contestam os quatro tópicos apresentados por Bueno, iniciando por (a), quanto à necessidade da identidade para a distinção entre determinado conjunto e seu complemento. Os dois apontam que indiscernibilidade e identidade não são equivalentes em certos sistemas lógicos (por exemplo, aqueles que assumem a indiscernibilidade como um termo primitivo e derivam dela a identidade¹³, e que a noção mais branda de discernibilidade já seria o suficiente para demarcar os conjuntos dos entes que possuem e dos que não possuem determinada propriedade. Alguns desses sistemas que prescindem da equivalência entre diferença e discernibilidade são as lógicas de Wittgenstein e a teoria de quase-conjuntos (KRAUSE; ARENHART, 2015a, pp. 54-55). Todavia, não é nem mesmo necessário alterar a lógica para dissociar identidade de indiscernibilidade, basta usarmos os modelos *não-normais* da lógica clássica, em que o símbolo comumente tido por 'igualdade' (=) é interpretado apenas como 'indiscernibilidade'. Além do mais, como visto em (KRAUSE; ARENHART, 2015a, pp. 55), estando 'dentro' da linguagem da lógica clássica de primeira ordem, não há evidência para se descobrir se o que temos é um sistema normal ou não-normal. Não há como saber, nessas condições, se há ou não identidade no sistema. Não entraremos nesse tema aqui, mas os conceitos de complemento e negação utilizados por Bueno também são apontado por Krause e Arenhart como estritos a ponto de tornarem insustentáveis algumas interpretações já bem estabelecidas de paraconsistência, sem oferecer boas saídas para o problema.

¹¹ Ainda assim supor uma individualidade, mesmo que não física/concreta/material tem potencial para inflar assaz essa metafísica hipoteticamente deflacionária. Fica a aparência de que isso é análogo a dar alguns passos em direção ao comprometimento com infinitas identidades, pelo menos uma para cada objeto que já existiu ou virá a existir, isso se cada um mantiver eternamente a mesma.

¹² Conhecidos por investigações acerca de lógicas não-reflexivas e objetos não-indivíduos.

¹³ Isso já é um argumento contra a afirmação (c), de que a identidade seria indefinível.

Ainda sobre o ponto (a), é relatado que há especificações muito bem determinadas para caracterizar objetos físicos elementares e diferenciá-los dos de espécies diferentes. Sendo considerados ‘nomológicos’, esses objetos obedecem às mesmas leis físicas e têm precisas massas, cargas e spins que os categorizam. São indiscerníveis dos outros de mesmo tipo quando em certas condições, mas não são idênticos, são múltiplos. Há também uma imprecisão quanto ao que Bueno chama de ‘identidade’, se é uma noção intuitiva, extensional... Se tomado no sentido extensional, a afirmação de que os peixes ‘Garoupa’ e ‘Arraia’ caem no mesmo conceito de ‘respirarem dentro da água’ não se segue, pois ela pode não ter nada a ver com a identidade da propriedade ‘respirar dentro da água’. Não é porque utilizamos a mesma expressão linguística para as propriedades que os mesmos ‘universais’ dos conceitos são instanciados.

Quanto ao ponto (b), no qual é afirmado que para se definir um indivíduo é necessária a identidade, pois ele (i) deve ser distinguível das outras coisas e (ii) deve ser reidentificável, não se segue dele a fundamentalidade da identidade. Para isso, precisaríamos da premissa de que todos os objetos são indivíduos. O máximo que podemos afirmar sem essa premissa é que a identidade seria indispensável para a definição de indivíduos, mas nada impediria que houvesse objetos aos quais a identidade simplesmente não se aplica (como parece ser o caso das entidades quânticas). Além disso, Krause e Arenhart (2015a, p. 58) argumentam que essas exigências para individualidade são mais do que o necessário. No caso da discernibilidade, a questão é de ordem epistemológica, não sobre diferença numérica entre dois ou mais objetos. Se o exemplo do mundo possível com apenas um objeto demonstrasse de fato a não-equivalência entre discernibilidade e diferença, não seria pela justificativa das propriedades modais apresentadas por Bueno. A possibilidade de um gato deixar de ser mamífero num futuro longínquo não nos dá nenhuma informação para que se caracterize sua individualidade no mundo e momento em que vivemos. Como dito por Krause e Arenhart (2015a), em uma tradução livre:

“Lembre-se de que a individualidade de um indivíduo, intuitivamente, é precisamente aquilo que faz algo ser o que ele é, e não o que ele poderia ser. Assim, propriedades modais são de pouca ajuda para o problema originalmente proposto”. (KRAUSE; ARENHART, 2015a, p.61)

Bueno também questiona a possibilidade de se aplicar a noção de cardinalidade a um conjunto de não-indivíduos, mas o que a física nos mostra, como já apontamos acima, é que mesmo sem sermos capazes de discerni-los, nem em princípio (para que a ontologia esteja de acordo com os resultados experimentais, a impossibilidade de distinção deve ser tomada como de natureza metafísica, e não uma incapacidade epistemológica), temos evidências o bastante para afirmarmos com altíssimo grau de exatidão que são muitos. Os não-indivíduos simplesmente não podem ser discernidos dos de mesmo tipo, mas podem e são discernidos dos de tipos diferentes. Se não pudessem ser múltiplos, como

funcionaria, por exemplo, a química? Deveria haver um subtipo para representar cada átomo de um mesmo elemento? Todos os átomos de ósmio seriam diferentes uns dos outros em algum ponto? E ainda assim teriam as mesmas propriedades? Se não tivessem, a física e a biologia não funcionariam da forma com que funcionam (sabemos que numa ligação covalente, por exemplo, é indiferente quais dos elétrons são ‘compartilhados’ pelos átomos envolvidos), então a diferença deveria ser algo não material, o que já mostramos ser um comprometimento no mínimo ‘desagradável’ e que não traria benefícios a nossas análises sobre os objetos que compõem o universo. Como podemos ver em [Krause \(2013a\)](#) acerca de dois elétrons em um átomo de hélio no estado fundamental:

“There, we know that one of them has spin UP and the another one has spin DOWN in a given direction, but it is impossible (according to standard quantum mechanics) to tell which is which. Furthermore, according to most interpretations of the theory, we cannot even say that there is some hidden parameter which, once known, could provide the distinction. Both in the standard interpretations (Copenhagen view) and in Bohmian mechanics, respectively either there are no such hidden parameters or they remain hidden, and cannot be known. In both cases the impossibility of knowing which is which remains.” ([KRAUSE, 2013a](#), p. 189)

Já sobre o ponto (c), que afirma a indefinibilidade da identidade, [Krause e Arenhart \(2015a\)](#) concordam que em determinado sentido as definições de identidade não são adequadas, como bem descrito em [da COSTA et al. \(2012\)](#):

“A identidade, no sentido expresso pela diagonal do conjunto domínio, não é axiomatizável em lógica de primeira ordem, ou seja, não existe um conjunto de fórmulas de primeira ordem que tenha como modelos exatamente as estruturas nas quais essa relação vale.”([da COSTA et al., 2012](#), p. 80)

“A identidade, conforme expressa pela diagonal do domínio, é ela mesma uma relação de congruência sobre qualquer estrutura e. A dificuldade é que, para muitas estruturas, a diagonal não é a única relação de congruência, pois podem existir outras relações que igualmente satisfaçam os axiomas [...]. O que eles [os axiomas] nos garantem é que o símbolo de identidade sempre será interpretado na relação de congruência em uma estrutura. Nos casos em que há apenas uma tal relação, esta será a diagonal e, assim, não há problemas na caracterização da relação; no entanto, nos casos em que há mais de uma congruência sobre e, o símbolo ‘=’ [...] não denotará necessariamente a relação expressa pela diagonal, mas será interpretado em uma relação de congruência que não será necessariamente a identidade, entendida agora como a diagonal do domínio¹⁴.”([da COSTA et al., 2012](#), p. 81)

“Desse modo, constatamos que, no escopo da matemática e da lógica usuais, o conceito de indiscernibilidade, entendido como permutação dos elementos de um domínio de interpretação através de automorfismos, é sempre relativo a uma determinada estrutura. A grande dificuldade, nesse

¹⁴ Na situação da citação de [da COSTA et al. \(2012, p. 81\)](#) temos uma necessidade similar àquela que tínhamos ao falarmos de modelos não-normais: deve haver um dispositivo metalógico que postule/fixe o símbolo = como interpretado na diagonal do domínio, o que não é uma atitude lá tão justificável.

caso, é que mesmo para aquelas estruturas com vários automorfismos distintos da identidade, sempre podemos enriquecer a estrutura de modo a obter novas estruturas, como no caso acima do grupo aditivo dos inteiros, as quais são rígidas. De fato, em ZFC, sempre se tem que dois objetos quaisquer são idênticos ou são distintos, o que implica que, no caso de serem distintos, terão alguma diferença, expressa na teoria de conjuntos em questão, mesmo que a diferença não possa ser expressa em algumas das estruturas nas quais esses elementos fazem parte do conjunto domínio.” (da COSTA et al., 2012, p. 84)

“No entanto, como estivemos discutindo, apesar de os axiomas da lógica de primeira ordem com identidade não nos garantirem que a relação de identidade será sempre interpretada como a diagonal do domínio, a qual representaria formalmente nossa noção intuitiva de identidade, podemos assumir uma interpretação que garanta que a identidade seja interpretada na diagonal, por exemplo, quando assumimos uma estrutura rígida. Isso garantiria que na estrutura em questão não existem objetos distintos que sejam indiscerníveis, no sentido definido acima, qual seja, empregando a noção de automorfismos da estrutura. Nesse sentido, uma visão leibniziana dos objetos, que compreende o domínio de interpretação, parece completamente justificada. A dificuldade surge quando percebemos que a mecânica quântica está construída precisamente em uma teoria de conjuntos clássica, cuja interpretação intuitiva pretendida é uma estrutura rígida, com o universo conjuntista bem fundado.” (da COSTA et al., 2012, p. 85)

Contudo, a maior crítica de Krause e Arenhart não é quanto à afirmação de Bueno, mas a sua justificativa, pois ele parece ignorar o processo construtivo da ciência, inclusive das ciências formais, como a lógica e a matemática, em que conceitos são utilizados como fundamentos para o estabelecimento de uma área ou disciplina, mas que vão sendo questionados e reformulados, adequando-se às novas necessidades, já que às vezes se encontram em um ‘metanível’ no qual seus papéis são o de guiar a intuição e a racionalização do cientista que se depara com novidades com as quais não tem familiaridade. Assim, mesmo constando no processo de construção de sistemas lógicos, a identidade não pode ser imediatamente tida como indissociável deles.

Como a argumentação de Bueno já parece insustentável, o ponto em que discorre sobre a impossibilidade de se aplicar o conceito de cardinalidade sem identidade será brevemente contradito pela seguinte citação:

“As a further remark, let us mention that there is a theory of multisets (Blizard 1988); roughly speaking, a multiset is a collection of objects where a certain element may appear more than once, and the number of occurrences of the elements are relevant for the cardinal of the collection. For instance, while $1,1,2,3,3,3$ has cardinal 3 in a standard set theory like ZF, in multiset theory it has cardinal 6. A quasi-set is not a multiset. In a multiset, it is the same element that is counted more than once, while in a quasi-set, due to the fact that some of the elements may lack identity, we cannot say that, but only that a certain kind of entity may appear more than once. Anyway, the cardinal number of the collection makes sense, even without identity conditions, as the theory makes clear.”(KRAUSE; ARENHART, 2015a, p.65)

Portanto, diversas razões esclarecem nossas dúvidas ainda em aberto: há de fato diferenças significativas entre a ontologia clássica e a quântica? Em caso positivo, a lógica e a matemática clássica são adequadas para tratar da identidade e da falta dela? Sumariamente, há sim essas diferenças metafísicas relevantes. A aceitação da não-individualidade das partículas elementares é um posicionamento justificado logicamente e experimentalmente, a razão e a empiria nos indicam quão frutífera pode ser essa postura. Ademais, a lógica e a matemática subjacentes à física, mesmo a quântica, são as clássicas, o que as impede de formalizar com precisão o sentido que queremos de identidade em uma linguagem de primeira ordem, como visto com mais rigor em French e Krause (2006, pp. 252-254), gerando estruturas elementarmente equivalentes, em que não se pode discernir os objetos do domínio. Assim sendo, estão expostas razões para a importância de um tratamento mais adequado dos entes indiscerníveis na física quântica.

2.3.3 Lógicas Amigáveis à Não-Individualidade

A pesquisa brasileira relacionada ao desenvolvimento das alternativas à formulação usual da mecânica quântica, que é baseada nos fundamentos da lógica clássica (a qual, como vimos, é repleta de problemas), tem nomes relevantes, como Newton Carneiro Affonso da Costa, Décio Krause e Jonas Rafael Becker Arenhart. No já citado trabalho de 2012¹⁵, denominado “Sobre uma Fundamentação Não-Reflexiva da Mecânica Quântica”, da COSTA et al. apresentaram algumas delas: a não-reflexividade num modelo interno de ZFU e a não-reflexividade em um modelo interno de ZF, esta última utilizada como base para a definição da teoria de quase-conjuntos. Além disso, temos outras formas de lógicas vinculadas aos ‘interesses’ da mecânica quântica. Alguns trabalhos desses autores a respeito dessas lógicas cujo conteúdo vale a pena conferir são “*A Modal Logic of Indiscernibility*”, escrito por Krause, Arenhart e Pedro Merlussi (publicado em 2016, no livro ‘*Probing the Meaning of Quantum Mechanics: Superpositions, Dynamics, Semantics And Identity*’), “*Schrödinger Logics*” (publicado em 1994 por da Costa e Krause) e “*An Intensional Schrödinger Logic*” (publicado pelos mesmos dois em 1997). Olhemos então de maneira breve alguns aspectos apresentados por essas lógicas.

De acordo com da COSTA et al. (2012, p. 88), as lógicas denominadas *não-reflexivas* são sistemas lógicos os quais devem satisfazer pelo menos alguma das seguintes características:

1. Derrogam algumas das leis da identidade;
2. Limitam a aplicação da identidade a certos objetos;
3. Limitam a aplicação da identidade a objetos em certas circunstâncias;

¹⁵ Em conjunto com Jaison Schinaider.

4. Não encerram a identidade;
5. Utilizam uma relação que substitui a identidade em vários contextos, sem necessariamente pressupor que ela não tenha sentido;
6. *Fuzzificam* a identidade ao permitir diferentes graus de identidade.

A defesa da não-reflexividade carrega consigo, então, um posicionamento metafísico acerca da natureza dos objetos com os quais a interpretação usual da mecânica quântica se compromete. Por isso mesmo é proposta a construção de um sistema que já em suas bases restrinja a identidade a apenas algumas entidades, chegando a revogar o Princípio da Identidade. Assim, para os não-indivíduos, a indiscernibilidade não deve colapsar na identidade em sentido tradicional. Já para os objetos clássicos, essa mesma proposta idealmente captaria de modo formal a tese de Leibniz. Assim, no caso dessas entidades, a indistinguibilidade implicaria a identidade – todos os objetos indiscerníveis entre si seriam de fato o mesmo, apenas um. Dessa forma, “mesmo que esse aparato conceitual seja interpretável em uma teoria de conjuntos clássica, ele também pode ser visto como conceitualmente irreduzível a ela” (da COSTA et al., 2012, p. 94). A lógica clássica e uma lógica não-reflexiva englobam teses metafísicas profundamente distintas acerca dos objetos com os quais lidam. A última, não pode, portanto, tamanha a incompatibilidade conceitual, ser tomada simplesmente como uma parte da primeira.

Outra das alternativas à formalização usual da mecânica quântica é a Teoria de Quase-Conjuntos. Não será apresentada aqui com muita extensão, mas veremos alguns tópicos os quais atentam à sua ‘utilidade’. A Teoria de Quase-Conjuntos (também conhecida como Teoria Q) tem base nos axiomas de ZF (Zermelo-Fraenkel) com átomos (*Urelemente*) – é interpretada num modelo interno de ZF (da COSTA et al., 2012, p. 92) . Nela é inserida uma distinção entre dois tipos de átomos, os *M-átomos*¹⁶ – os quais representariam aqueles descritos por ZFU – e os *m-átomos*, os quais fariam o papel das partículas mais elementares. Para esses últimos, não vale a relação de identidade (são análogos aos não-indivíduos, e essa relação é válida apenas para indivíduos, como já dito). Para esses objetos vale um conceito (primitivo) de *indiscernibilidade* ($x \equiv y$), mais fraco que a igualdade. Todavia, ainda se deseja que eles sigam implicitamente alguma versão do Postulado da Indistinguibilidade, segundo o qual a “troca de partículas não tem efeitos observáveis” (KRAUSE, 2002, p. 58), para que a analogia com os não-indivíduos seja frutífera. Os axiomas para \equiv são:

1.

$$\forall x(x \equiv x) \tag{2.3.25}$$

2.

$$\forall x \forall y (x \equiv y \rightarrow y \equiv x) \tag{2.3.26}$$

¹⁶ Os objetos clássicos, que se comportam como indivíduos, são denominados ‘*Dinge*’.

3.

$$\forall x \forall y \forall z (x \equiv y \wedge y \equiv z \rightarrow x \equiv z) \quad (2.3.27)$$

O conceito de conjunto é estendido e torna-se o de quase-conjunto, aquilo que não é nenhum dos dois tipos de átomos. Como esperado, a ordinalidade só pode ser aplicada a quase-conjuntos os quais não contenham nenhum m-átomo, e o conceito de quase-cardinal passa a valer genericamente, possibilitando a fala sobre a quantidade de elementos em determinado quase-conjunto, mesmo que não possamos ordená-los. Ainda sobre os m-átomos, há a importância de explicitar os seguintes axiomas de Q :

1.

$$\forall x \neg (m(x) \wedge M(x)) \quad (2.3.28)$$

(Nenhum objeto é simultaneamente um m-átomo e um M-átomo, o que mantém os fenômenos de não-individualidade restritos aos m-átomos)

2.

$$\forall x \forall y (x \in y \rightarrow Q(y)) \quad (2.3.29)$$

(Átomos são vazios, aquilo que tem elementos é um quase-conjunto)

Outro conceito importante é o de *extensionalidade fraca* (KRAUSE; ARENHART, 2015b), que implica que se dois ou mais quase-conjuntos têm o mesmo quase-cardinal, sendo compostos pela mesma quantidade de m-átomos de mesmo tipo, são também indiscerníveis entre si. Essa situação parece conseguir descrever bem o que se passa em sistemas físicos, pois átomos do mesmo elemento devem funcionar da mesma forma (ou não poderíamos nem considerar a existência de ‘elementos químicos’ como os conhecemos); elétrons devem se comportar da mesma maneira quando em situação similar, não importando qual está atrelado a qual núcleo atômico numa rede cristalina, por exemplo. E ainda assim, podemos diferir entre átomos de elementos distintos, mesmo que cada ‘espécie’ de componente (prótons, nêutrons, elétrons, quarks, glúons...) comporte várias partículas indiscerníveis. Isso nos ajuda a dar uma semântica adequada para a lógica e a alcançarmos uma interpretação metafísica também mais inteligível. Vemos que essa conclusão está em consonância com o exposto em da COSTA et al. (2012) ao serem avaliadas suas empreitadas de desenvolvimento de sistemas não-reflexivos:

“Começando agora a tratar da questão sobre o interesse filosófico das construções aqui desenvolvidas, mesmo tendo sido realizadas utilizando-se o aparato conceitual clássico, e, assim, sem expressar compromisso com não indivíduos no sentido desejado, servem propósitos que extrapolam uma mera curiosidade matemática. Ambas fornecem um quadro conceitual no qual uma formulação não reflexiva da mecânica quântica pode ser erigida. Mesmo que nesses universos conjuntistas (referimo-nos, em particular, aos apresentados acima) a identidade dos objetos tratados possa sempre

ser utilizada quando consideramos as entidades de um ponto de vista global, dentro dos universos vale uma forma de não-reflexividade, e a construção de uma formulação não-reflexiva, utilizando apenas os recursos desses universos, possui grande interesse filosófico, por ser testemunha de que esse tipo de empreendimento pode efetivamente ser levado a cabo. Assim, em vez de depor contra a possibilidade de tal formulação pelo fato de respeitar a identidade globalmente, esse tipo de trabalho serve, no mínimo, como um caso particular evidenciando que a identidade não é indispensável em geral. [...] O que nos interessa, ao apresentarmos tais formulações, e, de fato, o que aparentemente seria um núcleo mínimo de exigências para formulações distintas da usual para uma teoria física, é simplesmente que seja empiricamente equivalente às formulações tradicionais da teoria e que não seja trivial, no sentido de que todas as fórmulas da teoria, na formulação em questão, sejam deriváveis. Assim, se uma formulação não-reflexiva satisfizer esses requisitos, teremos assegurado que, por direito, uma versão não-reflexiva da mecânica quântica está em pé de igualdade com a formulação clássica, mesmo que não seja aquela que é utilizada de fato pelos físicos, e poderemos tranquilamente nos concentrar no estudo de seus aspectos metafísicos, que são aqueles que motivaram a construção de qualquer modo.”(da COSTA et al., 2012, pp. 96-97)

“A ideia básica dessa teoria, repitamos aqui, é a de possibilitar a consideração de coleções, quase-conjuntos, de objetos indiscerníveis, para os quais não se aplica o conceito usual de identidade. Com isso, ainda que tais coleções tenham um cardinal, denominado de quase-cardinal, não terão um ordinal correspondente. Em outras palavras, os elementos de tais quase conjuntos não poderão ser ordenados, identificados e nomeados. Isso está em perfeita sintonia com a interpretação usual de Copenhague do formalismo quântico, como já tivemos a oportunidade de comentar acima.”(da COSTA et al., 2012, p. 97)

“Em nosso formalismo, podemos representar quantidades observáveis como combinações lineares de operadores de criação e de aniquilação, evitando, desse modo, a indexação das partículas nas expressões de tais observáveis. Apesar de nosso formalismo ser equivalente ao usual, via espaços de Fock, para todos os propósitos físicos, conceitualmente há diferenças acentuadas. Com efeito, nossa construção evita a rotulação das entidades e, dessa forma, podemos tratar de indiscerníveis sem o recurso de postulados de simetria. Como na teoria de quase conjuntos a noção de identidade não vale em geral, em especial não é universalmente válido o princípio da identidade na forma $(\forall x(x = x))$, temos uma legítima fundamentação de uma mecânica quântica em uma lógica alternativa, mais precisamente, em uma lógica não-reflexiva.”(da COSTA et al., 2012, p. 101)

Esses conceitos apresentados talvez sejam o suficiente para despertar a curiosidade sobre a aplicação da Teoria- Q e das lógicas não-reflexivas à física. O tema, claro, pode ser tratado de maneira mais formal e extensa, mas esta é apenas uma perspectiva geral sobre o tema da identidade na física.

3 ‘CARNAPVAL’

“Um número n de linguagens possíveis usa o mesmo vocabulário; em alguns, o símbolo *biblioteca* admite a correta definição ‘ubíquo e perdurável sistema de galerias hexagonais’, mas *biblioteca* é ‘pão’ ou ‘pirâmide’ ou qualquer outra coisa, e as sete palavras que a definem têm outro valor. Tu, que me lês, estás seguro de entender minha linguagem?” (BORGES, 2007, p.78)

3.1 ANTES, UMA VISÃO ALTERNATIVA

Partindo agora para outras peculiaridades dos objetos da física quântica, Carnap (1956) critica, como será visto a seguir, em 3.2, a tese de que ao afirmarmos a existência de algo estamos também nos comprometendo com sua presença na *realidade*. Dessa forma ficaríamos impossibilitados de falar legitimamente sobre entidades físicas previstas ou postuladas, mas que ainda não tenhamos confirmado existir *fora dos modelos teóricos*. Ao tentar defender um ponto de vista anti-Meinongiano (tomando-se como *Meinongianismo* a tese de que há objetos que não existem), Branquinho (2009) argumenta que a tese de Frege-Russell acerca do quantificador existencial tem más consequências para a ontologia. Um exemplo utiliza-se de paráfrases da afirmação “*mamíferos voadores existem*”, a saber:

- I A classe dos mamíferos voadores não é vazia.
- II A propriedade de ser um mamífero voador tem exemplos.
- III O conceito fregeano *Mamífero Voador* mapeia pelo menos um indivíduo no Verdadeiro.

Segundo Branquinho (2009), a aceitação dessas paráfrases causaria uma considerável inflação ontológica, pois estaríamos nos comprometendo tanto com mamíferos que voam (indivíduos concretos) quanto com classes, propriedades, espécies, conceitos fregeanos e outros objetos abstratos. Contudo, vemos aqui uma confusão, explicada por Carnap (1956), entre o ferramental linguístico de uma área e os compromissos e crenças acerca da realidade. As acepções de Frege-Russell não dizem respeito a objetos testáveis experimentalmente, as abstrações pertencem apenas à semântica do ambiente interno de suas teorias. Não há contrapartes concretas, por exemplo, de conceitos fregeanos, no mundo sensível. Tendo isso em mente, torna-se desnecessário o postulado da Universalidade da Existência (BRANQUINHO, 2009), segundo o qual “Tudo existe, todo objeto existe. Nenhum objeto é inexistente”. Podemos muito bem estipular entes em sistemas linguísticos de maneira que existam *dentro* de certas teorias, mas não fora delas. O próprio Branquinho (2009) considera necessária a

explicitação de um domínio de atuação para o quantificador existencial, que é justamente a tarefa dos referenciais linguísticos. Além disso, há outro problema em Branquinho (2009) quando nosso tema de discussão é a ontologia aplicada à mecânica quântica. Como vimos anteriormente (2.1), é imprescindível o papel das indiscernibilidade; portanto, a não ser que queiramos assumir uma visão tal qual um *anti-haecceitismo fraco* – dois objetos podem ser indivíduos e ainda assim instanciarem os mesmos universais, negando a Identidade dos Indiscerníveis –, que pode trazer diversas complicações à física (pois estamos razoavelmente convencidos a aceitar objetos não-individuais), melhor assumirmos logo a presença de não-indivíduos na ontologia. Assim sendo, não se pode aceitar a exigência metodológica do predicado monádico (sugerida por Branquinho (2009)), de que algo (um objeto) é sempre idêntico a pelo menos um objeto. Na apresentação da Teoria de Quase-Conjuntos (2.3) foi mostrado que a não-identidade e a não-reflexividade andam juntas: a não-indivíduos (os quais são objetos) não se pode aplicar a relação de igualdade/identidade, apenas o conceito primitivo de indiscernibilidade, não satisfazendo, portanto, a exigência citada. Como a Teoria *Q* é mais adequada para o domínio do conhecimento no qual estamos interessados, a tese de Branquinho (2009) cai por terra.

3.2 ‘CRITICARNAP’

Podemos, nesse caso, partir para as considerações de Rudolf Carnap (1956) a respeito de como os próprios cientistas lidam com as entidades que propõem nos seus afazeres diários. Com efeito, vemos que uma das causas de incômodo nos alunos ao estudarem uma área como a física é a necessidade da capacidade de abstração. Muitos dos eventos estudados não parecem ter um paralelo direto com a ‘vida real’, externa ao contexto do ‘fazer ciência’. Claro, os temas abordados pelos manuais foram, em geral, extensamente corroborados de maneira empírica (assim como a boa parte daquilo que a física estuda), numa busca por explicações sobre o que se passa na natureza. Porém, a *natureza* analisada, ao ser interpretada por um cientista em seu laboratório, parece ser bem diferente daquela que rodeia um cidadão ‘padrão’. É importante percebermos que a realidade é distorcida ao passar pelo prisma sociocultural de cada um: não há objetividade absoluta, nem mesmo em ciência. Atividades humanas são mediadas por sistemas de referência linguísticos, os quais pressupõem certas entidades abstratas (como números, referenciais de tempo e espaço, regras de inferência lógicas...), as quais definem o modo como teorias são desenvolvidas, testadas e interpretadas. Então, para que alguém queira e consiga compreender certos aspectos dos objetos de estudo, algo mais básico também deve ser compreendido. É a recorrente afirmação de que é preciso aprender a ‘ver como’. O ensino de capacitação para a atividade científica ‘acostuma os olhos’ dos estudantes a reconhecerem determinados padrões já descritos nos manuais, permitindo a associação de fenômenos a um vocabulário comum ao meio, utilizando-se de:

“[...]sugestões úteis ou associações pictóricas convenientes que podem tornar seu aprendizado do uso das expressões mais fácil do que faria o vazio sistema de regras. Tal caracterização é análoga a uma explicação extra-sistemática que um físico às vezes apresenta àquele que se inicia. Ele poderia, por exemplo, dizer-lhe que imaginasse os átomos de um gás *como* pequenas bolas que giram a grande velocidade, ou o campo magnético e suas oscilações *como* tensões e vibrações quase elásticas num éter.” (CARNAP, 1956)

Tal bagagem linguística é necessária para a intersubjetividade: a compreensão entre os pares é essencial para a comparação e diálogo entre diversas teorias/explicações (novamente o fator social). Sendo os conceitos e terminologias mutáveis, a participação na comunidade é importante para que o cientista continue apto a realizar o diálogo. De acordo com Hanson (1971)¹:

“Opondo-me ao que parece óbvio ao fenomenalista, sustentarei que dois observadores bem equipados podem defrontar-se com o mesmo fenômeno e, não obstante, fazer observações muito diversas. Isso porque estão *observando* e não porque estejam impingindo teorias diferentes a dados ‘puros’: observar *X* é vê-lo *como* isto ou *como* aquilo. [...] Observar é fazer uma experiência” (HANSON, 1971, tradução própria)

Tal comentário pode ser apoiado, por exemplo, ao compararmos a descrição do céu feita pelos gregos, pelos astrônomos medievais, pelos astrônomos atuais e pelos indígenas os quais vivem no território brasileiro. Tais descrições diferem até mesmo em coisas básicas, como cores e duração de ciclos. Outras diferenças interessantes são aquelas que indicam os conceitos culturais relacionados à cosmogonia dessas sociedades. No caso dos indígenas brasileiros, círculos concêntricos são a organização geométrica pensada para os astros, o que é adotado até na arquitetura de suas tribos (LEOPOLDI, 1990). Já para os astrônomos europeus medievais, epiciclos faziam o papel de manter ‘coerente’ uma visão geocêntrica, ou, como dito por Hacking (2012), eram úteis na tentativa de “salvar os fenômenos”².

Voltando a Carnap (1956), vemos como a atividade dos físicos envolve um alto nível de desconforto linguístico. Há quem considere, claro, que todas as entidades ‘suspeitas’ que figuram nos modelos físicos são apenas ferramentas, artifícios para que se possa realizar certos cálculos ou explicar certo evento. Mas elas são mais difíceis de se evitar do que as presentes na matemática pura, área à qual somos mais inclinados a aceitar abstrações, já que não se supõe a referência ao mundo natural. Na física adotar o platonismo é algo mais complicado, o ideal seria termos uma linguagem adaptada para a comunicação acerca de objetos abstratos. Como dito acima, mas aqui pensaremos como fazê-lo de forma proposital e direcionada, utilizamos referenciais linguísticos quando queremos transmitir alguma mensagem. No caso da ciência, há sistemas mais claros do que aqueles espontâneos e

¹ Para Hanson, termos fenomenalísticos são “os termos dos *dados sensórios*”

² Talvez essa expressão fosse usada de modo irônico, mas parece adequada.

cotidianos. Carnap sugere que distingamos entre dois tipos de existência: a concernente à *questão interna* – a existência das entidades no interior do sistema linguístico; e as chamadas *questões externas* – relativas à realidade do próprio sistema de entidades. No fundo o objetivo é transformar o *real* em um conceito empírico, o das coisas que são bem acomodadas no sistema a partir das regras estabelecidas: “ser real no sentido científico significa ser um elemento do sistema” (CARNAP, 1956, p. 115), sendo os sistemas escolhidos por hábito e outros critérios, como eficiência explicativa e simplicidade. Falamos do ‘mundo das coisas’ por costume, mas poderíamos desenvolver outros métodos, ou até mesmo não falar sobre ele. O importante é percebermos que ao aceitarmos um referencial linguístico não estamos nos comprometendo com a crença na realidade de seus entes e fenômenos, mas apenas com uma forma de comunicação que permite testes e troca de informações. Quando falamos da existência, digamos, de um número ímpar, no sentido interno não se negaria tal existência. Quem pensa em fazê-lo tem em vista a questão externa³. A realidade do mundo das coisas não é uma tese possível de se formular internamente, com a linguagem da teoria, então não cabe ao sistema linguístico discutir essa questão:

“Seria errado descrever essa situação dizendo: ‘o fato da eficiência da linguagem das coisas é uma evidência confirmadora da realidade do mundo das coisas’; deveríamos dizer em vez disso: ‘este fato torna oportuno aceitar a linguagem das coisas.’” (CARNAP, 1956, p. 116)

Dessa forma, vemos que as entidades físicas são valores de variáveis das teorias, e que as tentativas de explicação extra-teóricas (mais intuitivas) que fazemos têm valor didático e facilitador de alguns raciocínios, mas, “de fato, entretanto, tudo que se pode dizer com precisão acerca dos átomos está contido implicitamente nas leis físicas das teorias em questão” (CARNAP, 1956), então podemos negá-las sem negarmos o sistema. A aceitação de novos modos discursivos, de ‘novas entidades’, é a introdução de um novo sistema referencial, e não a afirmação da ‘realidade’ exterior desses objetos (hipostatização). Quando alguém adota um sistema, pode utilizar à vontade suas entidades como designatas (podem receber nomes), mesmo que a intuição nos diga que são abstratas. Quem vê nisso um problema tem, na verdade, dúvidas quanto à realidade do sistema de entidades, e não dos próprios entes – ou seja, uma questão empírica, pois a linguagem interna não diz que seus objetos populam a ‘realidade concreta’ ou que ocorram como dados imediatos dos sentidos. À semântica basta ser eficiente e frutífera:

“Sejamos prudentes ao fazer asserções e tenhamos uma atitude crítica ao examiná-las, mas sejamos tolerantes ao permitir as formas linguísticas.” (CARNAP, 1956)

³ Que Carnap (1956) acreditava ser, no momento em que escrevera essa obra, uma *pseudo-questão*, sem valor cognitivo.

3.3 ERA UMA VEZ, NUM CAMPO DE HIGGS MUITO, MUITO DISTANTE...

Corroborando de certa forma a visão de Carnap está a tese metafísica do criacionismo ficcional citada em Salis (2013, p. 15):

- “*Tese Metafísica (Criacionismo)* = As entidades⁴ ficcionais são artefactos humanos abstractos, criados por autores através da atividade de contar histórias.”

A ciência é uma forma que o ser humano encontrou de ‘contar histórias’ sobre o mundo em que está inserido, constatando padrões e obtendo explicações para os fenômenos observados, e com isso conseguindo realizar previsões acuradas sobre eventos futuros. Porém, essas histórias não garantem que atores⁵ e personagens⁶ sejam os mesmos entes; então ao realizarmos afirmações acerca dos acontecimentos da narrativa, não queremos dizer que aquilo se dá daquela exata maneira na natureza. Quando temos um contexto, um sistema de referência linguística, nos sentimos autorizados a dar um “passo metafísico” (SALIS, 2013) e, posteriormente, um “passo semântico”, de acordo com o qual os nomes dados aos objetos do sistema podem ser legitimamente utilizados como referências a tais personagens da história. A linguagem seria capaz de transformar um nome ficcional de um objeto no nome de um objeto ficcional, fazendo com que possamos falar verdadeiramente sobre as ficções: um uso *fingido/ficcional*, e não *hipostatizante*. Embora seja apresentada em Salis (2013) uma interpretação de que o uso ficcional levaria ao hipostatizante, a lembrança de que nos comunicamos através da mediação de um sistema referencial parece resolver a possível atribuição ocorrida caso isso acontecesse. No contexto das narrativas de Arthur Conan Doyle tendemos a falar sobre o que lemos como se fossem acontecimentos reais, mas se perguntados numa situação não contextualizada, em geral não acreditamos que possamos encontrar o detetive Sherlock Holmes nas ruas de Londres. Todavia, se falamos de energia escura na astrofísica, temos uma entidade tomada por muitos participantes da comunidade como sendo real, mesmo que também não se espere encontrá-la por aí, já que é indetectável por meios diretos. A diferença entre esses casos parece ser a de que é mais costumeiro separarmos obras ficcionais (entretenimento) da ‘realidade’, enquanto a física, aos olhos do senso comum, parece estar falando sobre essa mesma realidade, mas de maneira secretamente ficcional. Barros (2005) cita o argumento da Barba de Platão:

“Ao negarmos a existência de um dado objeto ficamos, pelo fato de o nomearmos, comprometidos com a atribuição de algum tipo de dignidade

⁴ Ao invés do termo *entidades* podemos usar *objetos* para um entendimento mais claro das concepções adotadas acerca da existência dessas ‘coisas’. O termo *entidade* pode ser interpretado como associado a ‘algo que existe’ numa tese realista mais extrema.

⁵ Quem figura na ‘realidade’.

⁶ Quem figura em nossos modelos explicativos.

ontológica a esse objeto. Objeto esse que, enquanto referente da expressão usada para o nomear, mesmo não existindo, 'é' de alguma maneira." (BARROS, 2005, pp. 1-2)

Essa afirmação é conflituosa com aquilo que discutimos anteriormente. Não assumimos compromissos com a existência de algo externamente ao contexto no qual o aceitamos como objeto. Lembremos que os próprios físicos são relutantes em fazer afirmações temerárias quanto à natureza do universo, pois muito daquilo que estudam é por bastante tempo tratado apenas como método artificial de modelar algum fenômeno. A própria quantização da energia foi considerada por Max Planck como somente um engenho matemático que resolveria por hora o problema de se descrever a emissão de radiação por corpos negros, e não como algo factual. O mero nome não seria assim uma propriedade extraordinária capaz de conceder aparência de realidade absoluta às coisas. Com os objetos *quânticos* não é adequado nem mesmo tentar sustentar uma nomeação efetiva e duradoura, pois, sendo não-indivíduos (como argumentamos anteriormente), não podem ser reidentificados em momentos posteriores. Claro, podem ser individuados, isolados e nomeados. Mas ao serem soltos novamente ao encontro de seus 'familiares', todos voltam imediatamente a ser reconhecidos apenas pelo 'sobrenome', confirmando a ausência de individualidade. São todos indiscerníveis, afinal. Aqui não funciona a velha formulação de que "há um e um só objeto tal que esse objeto é tal e tal". E se quiséssemos definir um tipo de partícula, digamos, o elétron, considerando a quantidade de objetos dessa espécie? Dizer "há tantos e apenas tantos objetos tal que esses objetos são elétrons" seria impraticável, tanto pela nossa capacidade de conhecer a cardinalidade de cada tipo de partícula quanto pela natureza mutável das entidades físicas (podem se transformar em outros tipos nas trocas de energia e em outras formas de reação). Mesmo se utilizássemos paráfrases (BARROS, 2005, p. 3) e disséssemos "o seguinte foi escrito por Max Planck: a constante de Planck existe." não seríamos felizes. É muito pouco provável que qualquer físico tenha afirmado tão explicitamente a existência de algo no ramo da física teórica. Até as confirmações empíricas são cuidadosamente tratadas, mesmo que *dentro das teorias* determinadas entidades já tivessem sido previstas/propostas/aceitas. O que o cientista quer, no fundo, é manter a coerência explicativa do sistema construído pela ciência em que atua. O desejo, mesmo que potencialmente ingênuo, é manter a estrutura de pé, para que chegue cada vez mais alto. Evita-se acrescentar remendos frágeis, mas o mais importante é que cada tijolo se relacione de uma certa forma com sua vizinhança (uma visão pendendo para o estruturalismo); não se exige que os tijolos sejam insubstituíveis. Até mesmo por isso é que há múltiplas teorias para cada fenômeno físico, com capacidade semelhante de explicá-lo, mas cada uma envolvendo objetos diferentes. A ciência física é hoje uma *colcha de retalhos*.

Nesse ponto a visão de Carnap parece próxima ao inflacionismo de Parsons (BARROS, 2005), algo um tanto quanto meinonguiano. Quando nos comunicamos no ambiente científico a existência toma um sentido próximo ao de 'haver', e não ao de 'existir na

realidade’, como já dito. Então pode-se muito bem falar de objetos possivelmente ‘inexistentes’ (não encontráveis na natureza a partir de dados sensórios ou extensões deles, como radiotelescópios), sem que isso nos leve a problemas graves, contradições ou que nos comprometamos seriamente com eles. Tanto que a ciência permanece sendo uma das melhores formas que temos de interpretar o mundo à nossa volta e gerar conhecimento. Aos objetos pode ser dada a propriedade de existir ou não de acordo com a história sendo contada (teoria/referencial linguístico), mas isso não significa que têm essa propriedade de fato. Temos assim a vantagem de continuarmos a ter esses objetos “disponíveis para afirmações verdadeiras” (BARROS, 2005), ao contrário do que se adotássemos algo na linha do eliminativismo de Russell e Quine⁷. Para Parsons, um objeto ficcional seria gerado por um dado conjunto de propriedades, assim como objetos da física, ditos ‘nomológicos’ por serem caracterizados por leis e propriedades. Tais objetos podem receber os mesmos nomes em diversas teorias, mas representar conceitos diferentes. Em cada sistema de referência podem ser descritos como desempenhando o mesmo papel (mesmo local na estrutura), mas terem propriedades distintas. É próximo ao caso de Sherlock Holmes, que, estando em domínio público, não mais se resume ao que foi escrito por Conan Doyle.

Algo curioso no inflacionismo de Parsons é que objetos ficcionais seriam incompletos, pois não é verdade que para qualquer propriedade esses objetos a tenham ou tenham sua negação. Para todos os objetos reais seria possível sabermos se eles têm ou não determinada propriedade. Isso nos faz novamente questionar se objetos da mecânica quântica são mesmo reais, pois não podemos conhecer todas as suas propriedades simultaneamente. Segundo o consenso atual da comunidade científica, nem todas as suas propriedades estão definidas antes do colapso da função de onda, podendo estar em estados superpostos. Caso entendamos que haja ‘partículas’ reais, não podemos adotar toda a tese de Parsons. Outro ponto destacável é de que não adianta postularmos objetos incessantemente, para a ciência eles precisam desempenhar alguma função. Se futuramente a empiria os refutar, alteremos a linguagem da teoria ou outras partes dela, mas tentando dar alguma razão de ser àquilo que postulamos. Não é porque podemos falar de coisas fictícias que devemos, por exemplo, agir em conflito com toda a comunidade científica e defender ideias não justificadas. Podemos analisar um exemplo da física:

De acordo com o Modelo Padrão das Partículas Elementares, há léptons e quarks, partículas as quais não possuem estrutura interna (ao contrário dos hádrons). Essas partículas são aquelas que interagem e formam a matéria que conhecemos, mas também há outras, as partículas mediadoras, as quais transmitem a ‘informação’ acerca das interações entre as partículas de matéria (MOREIRA, 2009). As forças fundamentais da natureza (forte, fraca, eletromagnética e gravitacional) funcionam como se fossem trocas de partículas mediadoras entre outras partículas (o gráviton, supostamente relacionado à gravidade, ainda

⁷ Essa forma de eliminativismo é também discutida em Barros (2005). Em poucas palavras, é a defesa de que não há objetos irrealis, ficcionais ou inexistentes.

não foi confirmado experimentalmente). Porém, essas interações se dão de maneiras muito complexas, o que inviabiliza os cálculos. A teoria de perturbações vem para aproximar esses eventos como se fossem somas de interações muito mais simples (e idealizadas) (GRIFFITHS, 2011). Cada uma das interações possíveis é representada pelos diagramas de Feynman como excitações e transferências de partículas. Essas partículas transferidas, que antes tínhamos chamado de *mediadoras*, são nesse caso denominadas partículas *virtuais*, e os estados dos sistemas em que elas figuram são os *estados virtuais*. No fundo, essas partículas nunca são encontradas sozinhas, assim como os sistemas não assumem os estados virtuais idealizados, mas uma combinação de diversos deles. Os diagramas citados são ferramentas visuais para que saibamos o papel de cada objeto numa interação, mas eles acabam causando uma confusão, pois tendemos a achar que as tais partículas virtuais são capazes de tudo aquilo que as 'reais' são. Elas compartilham características com suas contrapartes 'reais', mas não precisam obedecer certas regras físicas, como a relação de Einstein entre energia, massa e momento. Podem viajar mais rápido que a luz, para o passado (EISBERG; RESNICK, 1979)... Mas o porquê disso?

Elas são uma representação matemática do comportamento quântico dos campos, e, como sabemos de todo o resto da física quântica, há várias esquisitices. Coexistem todas as possibilidades de todos os modos vibracionais desses campos, o que é representado por uma infinidade de partículas virtuais, que não têm localização exata, e, portanto, não se deslocam seguindo uma trajetória (o que é mostrado pelo Princípio de Incerteza de Heisenberg). O próprio vácuo, por causa dessas incertezas, flutua em sua quantidade de energia (flutuações de ponto zero), tendo uma média de energia maior que zero (o termo para isso é, confusamente, 'energia de ponto zero'). E o que isso tem a ver com as partículas virtuais? Existe a chance de, quando medido, o vácuo apresentar energia diferente de zero, e, portanto, partículas. Podemos citar aqui o efeito Casimir e a radiação Hawking ('evaporação' de buracos negros), que podem nos induzir a pensar que o vácuo é uma constante criação e aniquilação dessas partículas. Porém, o que podemos tirar da teoria são as chances (estatísticas) de eventos ocorrerem quando algo interage com o vácuo (sem essas interações, o vácuo supostamente permanece estável). E falamos disso na forma de partículas e estados virtuais, que por sua vez não precisam existir independentemente para que possamos explicar os fenômenos (como exemplificado pelas *lattice field theories*, em que as partículas são substituídas por *campos*). Eles apenas coincidiram de servir bem ao propósito de se fazer essas explicações. São artefatos matemáticos, mas ainda falamos deles na linguagem das 'coisas', das 'partículas'. Novamente, dentro da comunidade acadêmica não há problema algum em se falar delas. A linguagem é usada cotidianamente e quem está envolvido sabe suficientemente qual a diferença ontológica entre as partículas virtuais e não virtuais. Não precisamos, então, acreditar que partículas virtuais existam fora do escopo dos modelos matemáticos, mesmo que nos refiramos a elas como a um livro visível na estante. De certa forma existem, e de outra não, mas não se pode negar sua utilidade,

e isso corrobora a validade do argumento contido em [Carnap \(1956\)](#) acerca da tarefa de mediação intersubjetiva desempenhada pelos referenciais teóricos/linguísticos.

CONCLUSÃO

Após essa sequência de arranjos de símbolos gráficos, o que podemos concluir? Que é muito complicado fixar um estatuto ontológico para os objetos que fazem parte da física quântica. Enquanto vários parecem fazer, com efeito, parte da natureza, outros se mostram mais como artefatos matemáticos que nos auxiliam na compreensão de certos eventos. Vemos que não é possível fazer física sem se adotar uma ontologia, mesmo que não se assuma que as teorias trabalhadas reflitam de fato a *realidade* do universo. Entre indecisões sobre o que seria algo concreto ou abstrato, nos sobra como alternativa viável aquilo afirmado por Carnap (1956). Nos autorizemos a falar de entidades dentro de referenciais linguísticos, os quais serão adotados ou não pelas comunidades científicas e possibilitarão a intersubjetividade. No fim, é a eficiência preditiva o maior critério para a adoção de um sistema referencial. No futuro talvez encontremos uma forma de conhecer a realidade última da estrutura universal, mas enquanto esse momento não chega, tentemos alcançar alguma objetividade com o que temos disponível.

No decorrer do trabalho questionamos se há motivos metafísicos o suficiente para que existam diferenças em nível ontológico (no que diz respeito à individualidade, principalmente) entre os objetos clássicos e quânticos. Se, além disso, a lógica clássica não for capaz de sustentar adequadamente as necessidades decorrentes dessas diferenças, podemos ter como justificada a busca de uma nova lógica oriunda da limitação do uso do princípio de identidade. Olhamos então que a postura metafísica aparentemente mais adequada é tratarmos das partículas elementares como não-indivíduos. Também vimos que a lógica clássica não é o melhor dispositivo formal para lidarmos com certos sentidos da identidade e com objetos que dela prescindem. Assim, há de fato espaço para uma multiplicidade de lógicas que tomem nossa postura ontológica em consideração desde o princípio.

Dessa forma, percebemos que a formulação da mecânica quântica em uma nova lógica pode ser a decisão mais fecunda, por não se incorrer em certas contradições geradas quando adota-se a lógica e a teoria de conjuntos ‘clássicas’. Evitar esses problemas pode não ter um impacto muito grande no ‘fazer’ da física, já que convencer toda uma classe de cientistas a alterar seus hábitos a ponto de adotar uma matemática diferente é uma tarefa quase impraticável; além de que as teorias foram adaptadas com o tempo para que, mesmo com essas incoerências, correspondessem bem aos resultados empíricos. Os maiores impactos são, então, na comunidade de filósofos preocupados com os fundamentos das ciências, com a minimização das não-conformidades entre a ontologia, a lógica e as teorias. Contendo a física quântica vários fenômenos extremamente contraintuitivos, não

seria nada ruim termos mais condições teóricas/metafísicas para compreendê-los como algo menos ‘esquisito’, ou pelo menos tratável com mais rigor lógico.

O lidar com essas *coisas* contraintuitivas, sobre as quais não conseguimos formar imagens mentais fidedignas – como no caso dos diagramas de Feynman –, é um obstáculo epistemológico apontado por Bachelard e comentado em [Moreira \(2007\)](#). Temos tendência à prática do *coisismo*, pensamos nas partículas elementares como corpinhos imensamente diminutos, tanto em extensão espacial quanto em massa. Mas elas não são nada disso, não têm forma nem local preciso na maior parte do tempo. Não têm individualidade, não são ‘bolinhas’ que andam por aí se chocando. Essa imaginação atrapalha ainda mais a compreensão do papel que têm: “Será mesmo necessário imaginar, ou coisificar, um quark para entender o que seja tal partícula?” ([MOREIRA, 2007](#)). Não parece o caso.

Como dito por [Moreira](#):

“O importante aqui é dar-se conta que o modelo padrão da física de partículas é a melhor teoria sobre a natureza jamais elaborada pelo homem, com muitas confirmações experimentais. Por exemplo, o modelo previu a existência das partículas *Z* e *W*, do glúon e dos quarks *charm* e *top*, que foram todos posteriormente detectados, com as propriedades previstas. Mas nem por isso é uma teoria definitiva. Certamente será substituída por outra que dará conta de algumas das dificuldades apontadas, poderá ter algumas confirmações espetaculares, mas terá suas próprias dificuldades. As teorias físicas não são definitivas, ainda que sejam tão bem sucedidas como o modelo padrão.” ([MOREIRA, 2007](#), p. 170)

Pode nos ser adequado, então, pensar o conhecimento científico como o fez Gaston Bachelard em sua *filosofia do ‘não’*: “a reforma de uma ilusão, o fruto da desilusão com o que julgávamos saber” ([MOREIRA, 2009](#)). Aproveitemos a possibilidade de reconstrução da nossa linguagem, numa longa revisão daquilo que um dia julgamos ser procedente.

REFERÊNCIAS

BARROS, P. L. Objetos ficcionais: O Eliminativismo de Russell e Quine vs. o Inflacionismo de Parsons. 2005. Citado 3 vezes nas páginas 53, 54 e 55.

BORGES, J. L. *Ficções*. São Paulo: Companhia das Letras, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 49.

BORNHEIM, G. *Os Filósofos Pré-Socráticos*. São Paulo: Editora Cultrix, 1998. Citado na página 21.

BRANQUINHO, J. *A Existência é um Predicado*. Lisboa: [s.n.], 2009. Disponível em: <http://www.joaomiguelbranquinho.com/uploads/9/5/3/8/9538249/a_existencia_um_predicado.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.

BUENO, O. Why identity is fundamental. *American Philosophical Quarterly*, v. 51, p. 325–332, 10 2014. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 40.

BURNET, J. *A Aurora da Filosofia Grega*. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio, 2006. Citado na página 21.

CARNAP, R. Empiricism, semantics and ontology. In: _____. *Meaning and Necessity*. Chicago: University of Chicago Press, 1956. Citado 8 vezes nas páginas 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57 e 59.

COSTA, N. da; KRAUSE, D.; BUENO, O. Paraconsistent logics and paraconsistency. In: _____. *Handbook of Philosophy of Science. Philosophy of Logic*. New York: Elsevier, 2007. Citado na página 31.

da COSTA, N. C. A. et al. Sobre uma fundamentação não reflexiva da mecânica quântica. *Scientiæ Studia*, São Paulo, v. 10, p. 71–104, 01 2012. Citado 7 vezes nas páginas 28, 42, 43, 44, 45, 46 e 47.

EISBERG, R.; RESNICK, R. *Quantum Physics: of atoms, molecules, solids, nuclei, and particles*. New York: John Wiley and Sons, 1979. Citado 5 vezes nas páginas 24, 35, 36, 37 e 56.

FRENCH, S.; KRAUSE, D. *Identity in Physics: A historical, philosophical, and formal analysis*. Oxford: Clarendon Press, 2006. Citado 6 vezes nas páginas 27, 30, 31, 37, 39 e 44.

GRIFFITHS, D. *Mecânica Quântica*. São Paulo: Pearson Education, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 24, 35 e 56.

HACKING, I. *Representar e Intervir: Tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2012. Citado na página 51.

HANSON, N. R. *Observation and Explanation: A guide to philosophy of science (harper essays in philosophy)*. New York: Harper & Row, 1971. Citado na página 51.

- KRAUSE, D. *Introdução aos Fundamentos Axiomáticos da Ciência*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 45.
- KRAUSE, D. The problem of identity and a justification for non-reflexive quantum mechanics. *Logic Journal of IGPL*, v. 22, p. 186–205, 03 2013. Citado na página 42.
- KRAUSE, D. *Tópicos em Ontologia Analítica*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Citado na página 27.
- KRAUSE, D.; ARENHART, J. Is identity really so fundamental? *Foundations of Science*, p. 51–71, 01 2015. Citado 5 vezes nas páginas 39, 40, 41, 42 e 43.
- KRAUSE, D.; ARENHART, J. *Presenting Nonreflexive Quantum Mechanics: Formalism and metaphysics*. Campinas: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, 2015. Citado na página 46.
- LEOPOLDI, J. S. *Elementos de etnoastronomia indígena do Brasil*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1990. Disponível em: <<http://anpocs.com/index.php/previous-issues/bib-30/415-elementos-de-etnoastronomia-indigena-no-brasil/file>>. Acesso em: 15 jun. 2019. Citado na página 51.
- MENDELSON, E. *Introduction to Mathematical Logic*. London: Chapman & Hall, 1997. Citado na página 30.
- MOREIRA, M. A. A física dos quarks e a epistemologia. *Sociedade Brasileira de Física, Porto Alegre*, v. 29, n. 2, p. 161–173, 2007. Citado na página 60.
- MOREIRA, M. A. O modelo padrão da física de partículas. *Sociedade Brasileira de Física, Porto Alegre*, v. 31, n. 1, p. 1306(1)–1306(12), 2009. Citado 2 vezes nas páginas 55 e 60.
- POST, H. Individuality and physics. *The Listener*, p. 534–537, 1963. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.
- SALIS, F. Entidades ficcionais. In: _____. *Compêndio em Linha de Problemas de Filosofia Analítica*. Lisboa: [s.n.], 2013. Citado na página 53.
- SANTOS, G. Abstracta. In: _____. *Compêndio em Linha de Problemas de Filosofia Analítica*. Lisboa: [s.n.], 2014. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 25.
- SCHRÖDINGER, E. What is matter? *Scientific American, New York*, v. 189, p. 52–57, 1953. Citado na página 35.
- SUBMARINE. Direção: Richard Ayoade. Reino Unido: The Weinstein Company, 2011. 1 DVD (97 min), NTSC, color. Citado na página 27.
- WILLIAMS, D. C. *Dos elementos do ser*. São Paulo, 2006. Citado 4 vezes nas páginas 25, 31, 32 e 33.