

EM BUSCA DO CONTEÚDO REALISTA: TEORIA, INTERPRETAÇÃO, MECÂNICA QUÂNTICA

Jonas R. Becker Arenhart

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
orcid.org/0000-0001-8570-7336

Raoni Wohnrath Arroyo

Università degli Studi Roma Tre, Roma – Itália
Universidade Estadual de Campinas, Brasil
orcid.org/0000-0002-3800-8505

RESUMO: Neste artigo discutimos alguns dos desafios relacionados com a formulação e adoção de uma posição realista acerca da mecânica quântica não-relativística. Numa abordagem padrão à ontologia, os compromissos ontológicos das teorias científicas podem ser extraídos das mesmas. O realismo científico é a postura segundo a qual nossas melhores teorias científicas são aproximadamente verdadeiras e, por isso, seus comprometimentos ontológicos possuem uma correspondência com a realidade. A mecânica quântica problematiza essa imagem ao introduzir uma exigência de interpretação que atrela à teoria uma concepção de como a realidade deve ser. Isso gera dificuldades abrangentes: na medida em que separamos teoria e interpretação temos uma concepção clara de teoria, mas não de interpretação e de como extrair a respectiva ontologia. Por outro lado, se de alguma forma identificamos teoria e interpretação, temos uma concepção razoavelmente clara da ontologia que se quer, mas perdemos nossas melhores caracterizações de teoria e nossos métodos de extração de ontologia passam a ser inócuos. Esperamos com isso mapear os desafios para futuras rigorosas abordagens realistas à mecânica quântica.

PALAVRAS-CHAVE: Mecânica quântica não-relativística. Realismo Científico. Teoria. Interpretação. Ontologia.

IN SEARCH FOR THE REALISTIC CONTENT: THEORY, INTERPRETATION, QUANTUM MECHANICS

ABSTRACT: In this article, we discuss some of the challenges related to formulating and adopting a realist position regarding non-relativistic quantum mechanics. In a standard approach to ontology, the ontological commitments of scientific theories can be extracted from them. Scientific realism is the standpoint that our best scientific theories are approximately true, and thus, their ontological commitments, roughly speaking, correspond to reality. Quantum mechanics complicates this view by introducing an interpretational requirement that links a particular conception of how reality should be to the theory. This generates comprehensive

100

difficulties: when we separate theory and interpretation, we have a clear conception of theory but not of interpretation and how to extract its ontology. On the other hand, if we somehow identify theory and interpretation, we have a reasonably clear conception of the desired ontology but lose our best characterizations of theory, rendering our methods for extracting ontology ineffective. Our aim is to map out the challenges for future rigorous realist approaches to quantum mechanics.

KEYWORDS: Non-relativistic quantum mechanics. Scientific Realism. Theory. Interpretation. Ontology.

INTRODUÇÃO: UMA TRÍADE PROBLEMÁTICA

Conforme usualmente caracterizado, o *realismo científico* é a postura filosófica segundo a qual aceitar uma teoria científica significa aceitar que a teoria descreve o mundo de maneira aproximadamente verdadeira. Isso envolve, em particular, aceitar que sentenças da teoria em que ocorrem termos teóricos fazendo referência a entidades não-observáveis devem ser (aproximadamente) verdadeiras em um sentido correspondencial da verdade e, como consequência, tais termos referem a tais entidades. Essa concepção bastante geral, que não vamos analisar com detalhes aqui, envolve uma crença direta acerca da *mobília do mundo*: o objetivo é mobiliar a realidade com aquelas entidades que são postuladas por nossas melhores teorias científicas.¹

A caracterização do realismo pode ser generalizada para abarcar domínios diferentes, não apenas as teorias científicas. Podemos ser realistas acerca de um determinado tópico X (ciência empírica, matemática, lógica, ética, estética, etiqueta...), e não ser realistas acerca de outro tópico Y. Uma forma de realismo acerca de X e a ontologia de X estão estritamente conectados. Somos realistas acerca da ontologia que reconhecemos como sendo fornecida por nossa melhor ou melhores teorias acerca do domínio X. Realistas acerca de X postulam a realidade com as entidades que a nossa melhor teorização sobre X exige (confira Arenhart e Arroyo (2021a) para uma discussão acerca da ontologia e sua relação com questões de existência). Se X for a mecânica quântica (e vamos tratar apenas do caso não-relativístico), isso exige que acreditemos na existência das entidades por ela postuladas. Em uma concepção bastante genérica do realismo científico, isso significa que as entidades postuladas pela

¹ Para uma apresentação do realismo e algumas variantes, ver Arenhart (2023, cap.10).

mecânica quântica correspondem às entidades do mundo que já estavam lá, e que apenas foram por ela descobertas.

Até aqui, tudo parece ir bem, caso se deseje adotar o realismo. Os desafios já são bem conhecidos, e realistas sabem o que devem enfrentar na articulação de sua posição.² Todavia, como tudo que envolve a mecânica quântica, esse processo de delimitação do catálogo da realidade é muito mais complexo do que parece.³ A mecânica quântica torna mais agudas algumas das dificuldades já enfrentadas por realistas na busca por fundamentar seu realismo. Um *primeiro obstáculo* diz respeito a uma dificuldade de se delimitar precisamente o que é ‘a’ teoria quântica em questão.⁴ Desde sua formulação madura com Heisenberg e Schrödinger, não há apenas uma teoria à qual possamos chamar de ‘a’ mecânica quântica e à qual possamos recorrer para buscar obter o catálogo da realidade. Existem, de fato, diferentes formulações matemáticas da teoria, cada uma delas com fundamentação conceitual diferente e nos contando o que parece ser, a princípio, uma história diferente acerca da realidade.⁵ O primeiro desafio para realistas é explicar qual formulação está adotando para aplicar seu processo de extração do catálogo da realidade e justificar essa escolha. Vale dizer, contudo, que esse tipo de desafio não é uma peculiaridade da mecânica quântica. Ele também é enfrentado por outras teorias como a mecânica Newtoniana, que possui, por exemplo, as formulações de Lagrange e de Hamilton,⁶ mas é significativamente exacerbado no caso da mecânica quântica com o número constantemente crescente de novas formulações matemáticas para a teoria.

Um segundo obstáculo ao realismo diz respeito a uma particularidade da mecânica quântica, que é a existência de diferentes *interpretações* para um *mesmo formalismo*. Pense na “interpretação de muitos mundos”, segundo a qual (simplificando ao máximo) a realidade se divide em diferentes mundos sempre que uma medição ocorre, ou mesmo na interpretação segundo a qual é preciso uma consciência como uma entidade que escapa a uma descrição física para que se tenha um resultado único toda vez que se realiza a um experimento na mecânica quântica.⁷ Interpretações como essas fazem mais do que nos ajudar a entender a teoria: *elas*

² Para uma breve análise dos argumentos bem conhecidos, ver Arroyo e Arenhart (2020).

³ Vamos pressupor alguma familiaridade com o básico da mecânica quântica não-relativística. Ver Pessoa Jr. (2019) e Arroyo (2022).

⁴ Ver Muller (2015) e Arroyo e da Silva (2022).

⁵ Isso foi tema de controvérsia entre os seguidores de Heisenberg e de Schrödinger, por exemplo, e se tornou ainda mais complicado desde então (ver Styer et. al., 2002). Conforme também Bueno (2008, seção 3).

⁶ Veja também French (2011) para uma discussão.

⁷ Ver Arroyo e Arenhart (2019) para mais detalhes.

povoam a realidade com mais entidades (e.g. muitos mundos, consciências com poderes causais, partículas com trajetórias contínuas mas ocultas...). Assim, a ontologia da mecânica quântica também parece ser relativa a uma interpretação. E, para tornar tudo mais complicado, há muitas interpretações.

Qual a relação da mecânica quântica, enquanto *teoria*, com uma *interpretação* dessa teoria? São teoria e interpretação a *mesma coisa* ou uma interpretação é um *acréscimo* que se faz ao conteúdo da teoria? Cada uma dessas questões, ao ser respondida, possui consequências que o realismo científico não pode ignorar e não pode deixar de levar em conta ao desenvolver seu realismo. Na verdade, o realismo deve ser capaz de responder a essas questões para que o conteúdo realista da teoria em questão possa ser determinado.

Tipicamente, realistas acreditam nos comprometimentos ontológicos das nossas melhores teorias científicas justamente *porque* eles vieram das nossas melhores teorias científicas. A mobília da realidade origina-se na ciência e isso confere uma espécie de respeitabilidade ou garantia epistêmica para o resultante catálogo da realidade (diferente de catálogos que resultam de fontes menos bem-sucedidas, como metafísica *a priori*, mitologia, ou outras fontes sobrenaturais). Afinal, uma parte importante do empreendimento realista é considerar que nossas melhores teorias são (aproximadamente) *verdadeiras*, e isso tem como consequência considerar que os termos *referem*. Entendido dessa maneira, o realismo científico é associado a uma forma de naturalismo ao considerar a ciência como um guia para questões ontológicas.⁸ Os procedimentos conhecidos para extrair compromissos ontológicos dependem de se elaborar sobre sentenças quantificadas existencialmente (como sugerido por W. V. o. Quine (2011)), ou sobre o uso do vocabulário da teoria (como Amie Thomasson (2008)), ou sobre aparato representacional indispensável para a formulação da teoria (como defendido por Alyssa Ney (2012)), entre outros.

A questão chave para que se permita a própria possibilidade de se utilizar algum desses procedimentos de modo efetivo passa a depender de determinações ainda mais complexas e longe de estarem resolvidas: o que é uma interpretação? Como ela se relaciona com uma teoria? Essas duas perguntas se relacionam e, a depender como se responde a uma delas, teremos um guia para a resposta da outra — e, conseqüentemente, para a ontologia e para o conteúdo realista

⁸ Ver Arenhart e Arroyo (2021b).

da mecânica quântica. Se a interpretação *não* é a mesma coisa que teoria, mas antes um acréscimo posterior, como podemos ler nossos compromissos ontológicos envolvidos na interpretação? Se a interpretação é parte da teoria, ou mesmo idêntica a ela, como garantir que temos uma mecânica quântica, e não uma pluralidade de teorias?

Essas são questões que não são formuladas com frequência na literatura sobre o tema — ou, ao serem formuladas, não possuem suas implicações para o realismo científico completamente investigadas. A conexão entre ontologia, teoria e interpretação, no caso da mecânica quântica, coloca desafios que ainda precisam ser bem compreendidos para que se possa começar a vislumbrar uma forma de resposta. O presente artigo é um primeiro passo nessa direção. Nosso objetivo é formular as opções disponíveis, bem como as suas dificuldades de forma bastante clara, de modo que se possa compreender como as noções-chave envolvidas neste tipo de debate — realismo, teoria e interpretação — costumam ser articuladas e como enfrentam obstáculos que a princípio parecem nos levar a becos sem saída. Não abordaremos em profundidade o primeiro problema, que se refere à seleção de uma formulação matemática específica da mecânica quântica, pois essa questão exigiria uma discussão separada.

Todavia, conforme já mencionamos, seria equivocado dizer que o problema não possui *nenhuma* espécie de tratamento na literatura sobre o tema. Há, de fato, duas abordagens predominantes acerca da relação entre estes termos, mas, como já mencionamos, elas não exploram suas conexões a fundo o suficiente para que as dificuldades apareçam claramente. Vamos discutir estes dois casos para buscar esclarecer como a ontologia se relaciona com uma teoria e uma interpretação.

- Abordagem 1: *a teoria tem prioridade*. A interpretação vem depois, como uma espécie de ingrediente adicional que nos diz como o mundo poderia ser segundo a teoria. A ontologia é extraída a partir da teoria e a interpretação funciona como um acréscimo de fora colocado sobre o aparato da teoria. Nesse caso, fixada *uma* formulação da teoria quântica, pode haver muitas interpretações dessa mesma teoria.
- Abordagem 2: *a ontologia tem prioridade*. Ela é dada com uma interpretação e contribui para a definição de uma teoria quântica. Nesse sentido, se não houver ontologia, não há teoria para começar. A ontologia tem prioridade, ela vem de antemão. O resultado, nessa

linha de abordagem, é que há muitas teorias, cada uma delas com sua respectiva ontologia.

Em cada uma das abordagens temos uma espécie de resposta para o modo como os termos importantes para o nosso problema devem se relacionar. Como dissemos, nosso objetivo é discutir cada uma das propostas e elaborar, da forma mais clara possível, suas dificuldades tendo em vista uma abordagem realista para a mecânica quântica.

O restante do artigo está estruturado da seguinte forma. Na seção 2, apresentaremos em detalhes e discutimos a Abordagem 1. Formularemos suas principais características e apresentaremos algumas das suas dificuldades, caso se queira seguir por este caminho para se elaborar uma forma de realismo na mecânica quântica. Na seção 3, investigaremos a Abordagem 2, estabelecendo que a ontologia possui prioridade sobre a noção de teoria. Trataremos de suas virtudes, mas também de suas principais dificuldades no caso em que se busca um entendimento realista da mecânica quântica. Na seção 4 discutiremos o impacto das considerações prévias sobre o problema de se elaborar uma ontologia para a mecânica quântica, bem como para desemaranhar o par teoria/interpretação. Assim, concluiremos o texto com considerações sobre problemas ainda em aberto e sobre as lições a serem extraídas das nossas considerações. Assim, esperamos ter formulado os problemas da forma mais clara possível para que, futuramente, possam ser investigados de modo positivo.

1 – ABORDAGEM 1: A TEORIA VEM PRIMEIRO

Conforme vimos acima, a Abordagem 1 defende que a teoria possui prioridade sobre a noção de interpretação. Isso significa que a teoria é definida e compreendida, por si só, como podendo ser formulada independentemente de uma noção de interpretação. Haveria, nesse sentido, uma espécie de condição de identidade para teorias que caracterizaria uma teoria independentemente de uma interpretação. Segundo os proponentes dessa abordagem, como veremos, a ontologia não é extraída diretamente da teoria, mas de uma segunda etapa de elaboração, em que se fornece uma interpretação. Em outras palavras, a interpretação fornece a ontologia, o conteúdo realista da teoria. Poderíamos tentar resumir essa formulação em termos das seguintes identificações/simplificações:

Teoria = formalismo
Interpretação = ontologia

Há muitas defesas desse tipo de proposta. Conforme Laura Ruetsche explicita: “[w]hat a realist believes when she believes a theory T is an *interpretation of T* , an account of what the worlds possible according to T are like” (2015, p. 3433). Ou seja, o conteúdo de nossos compromissos ontológicos, a saber, a imagem da realidade segundo uma teoria quântica T , é obtido a partir de uma interpretação de T . Devemos ter a teoria formulada independentemente para que possa ser interpretada posteriormente e dotada de conteúdo realista. Essa também é a concepção avançada por Bas van Fraassen (mesmo não sendo ele um defensor de nenhuma forma de realismo científico). Segundo ele, uma interpretação fornece o “conteúdo” da teoria (VAN FRAASSEN, 1989, p. 226; 1991, p. 242). Ainda, uma interpretação nos diz como o mundo se parece de acordo com a teoria; trata de responder à pergunta “[w]hat does it say the world is like?” (VAN FRAASSEN, 1991, p. 242). Nesse sentido, a *mobília do mundo* (que é apenas outro nome para a ontologia) é providenciada por uma interpretação. Para reforçar ainda mais este tipo de abordagem, convém mencionarmos a maneira como Lawrence Sklar enuncia a situação: “[...] given the interpretation you pick, your view of what the theory is telling us about the basic structure of the world can be radically unlike that of someone who opts for a different interpretation of the theory” (2010, p. 1123).

Ou seja, a disputa acerca do que estamos sendo realistas ao sermos realistas acerca da mecânica quântica é uma disputa envolvendo o *conteúdo de uma interpretação*. Diferentes interpretações da mecânica quântica fornecem diferentes imagens da realidade (e note como isso assume uma resposta para a primeira dificuldade levantada na introdução, a de que o formalismo esteja fixo para ser interpretado). Ainda assim, todas essas imagens são imagens que devem ser compatíveis com uma mesma descrição matemática básica fornecida pela teoria quântica (um “formalismo mínimo”, um aparato matemático não-interpretado). A teoria é dada de antemão; a interpretação, ou interpretações, são acrescentadas sobre essa base comum e nos fornecem uma história sobre como o mundo pode ser de acordo com a teoria. Note que esse tipo de proposta não pode sair do chão se não tivermos como fornecer a teoria independentemente de uma interpretação.

A Abordagem 1 possui em seu favor uma espécie de naturalidade, caso se pense que uma teoria *pode* ou *deve ser* caracterizada por algum tipo de formalismo. Intuitivamente, o

formalismo é dado de antemão e, pela própria natureza dos formalismos (de serem, simplificando bastante, uma ‘forma sem conteúdo’ ou sem interpretação), é compatível com diferentes conteúdos ou interpretações, sendo estes últimos delimitados pelo formalismo. Trata-se de um tipo de cenário familiar para quem busca aproximar a formulação de uma teoria científica de um tratamento lógico.⁹

A relação entre a formulação da teoria e sua interpretação é de importância crucial para o entendimento acerca de como obtemos nossos compromissos ontológicos a partir da mecânica quântica. Uma das formas mais seguras de se fazer isso seria através da própria *teoria*. Dado que é a teoria que é testada, que faz previsões que podem ou não ser confirmadas, que possui sucesso em aplicações, a ontologia extraída da teoria deve se beneficiar do sucesso da teoria. E o privilégio epistêmico que a teoria científica goza quando comparada com outras formas de conhecimento deve ser transferido para a sua ontologia também. Dada uma teoria de sucesso com a qual nos comprometemos, se nossa ontologia se segue desta teoria, temos como consequência que ela está assegurada na medida em que a própria teoria também estiver.

Note que isso não nos envolve com nenhum tipo de apelo ao famoso argumento sem milagres (novamente, veja Arenhart (2023, cap.10)). Trata-se apenas de extrair compromissos ontológicos de uma teoria (e não de justificar a aceitação da verdade da teoria). Estamos assumindo, para fins de argumentação, que realistas justificam sua postura diante de nossas melhores teorias. Mais ainda: até mesmo antirrealistas podem estudar o processo de extração de compromissos ontológicos de uma teoria e catalogar as diferentes imagens da realidade fornecidas (como van Fraassen, de fato, faz). O que queremos é ilustrar um procedimento que realistas podem seguir, e que parece recomendável que sigam, para que possam adequadamente justificar seus compromissos ontológicos.

Vamos recapitular as metas iniciais. Começamos sugerindo que seria uma boa ideia buscar a ontologia diretamente na teoria, dado que a Abordagem 1 começa com uma exigência de que se tenha a teoria formulada claramente, ou, no mínimo, dada de antemão. Há uma série de dificuldades com esta abordagem — e elas estão relacionadas com os conceitos de “teoria” e de “interpretação”. Se vamos extrair nossa ontologia de uma teoria, devemos saber o que conta como uma teoria, certo? Isso é pressuposto pela Abordagem 1.

⁹ Há um precedente em Jammer (1974, cap.1).

Nossa melhor resposta para essa pergunta é ainda a *abordagem semântica*.¹⁰ Seguindo Patrick Suppes e van Fraassen, precursores da abordagem semântica, uma teoria é caracterizada por uma classe de estruturas conjuntistas definidas por um predicado conjuntista, o *predicado de Suppes* da teoria.¹¹ Temos, aqui, o correspondente do formalismo (o predicado de Suppes, uma fórmula de *alguma* teoria de conjuntos) e de seus modelos (as estruturas conjuntistas que satisfazem o predicado). Em um entendimento um tanto direto do que seriam as interpretações de uma teoria, os “mundos possíveis” de acordo com a teoria, poderíamos apontar para as estruturas que satisfazem ao predicado de Suppes, ou seja, seus modelos.

Essa proposta possui uma característica fortemente vantajosa: é tão rigorosa quanto uma abordagem a um problema filosófico pode ser. Dizer que uma teoria é caracterizada por uma fórmula de uma teoria dos conjuntos satisfazendo certas condições e por uma classe de estruturas é tão claro quanto se pode exigir para a identidade das *teorias*. Duas teorias com o mesmo predicado de Suppes são a mesma e única teoria. E aqui os problemas começam a aparecer: tome a mecânica quântica padrão. Caracterizada de acordo com os predicados de Suppes, a mecânica quântica padrão MQ_{pad} à la von Neumann pode ser descrita (segundo Krause e Arenhart (2017, pp. 105-107)) como a coleção de estruturas satisfazendo a seguinte definição: são sequências ordenadas $MQ_{pad} = \langle S, \{\mathcal{H}_i\}, \{A_{ij}\}, \{\hat{U}_{ik}\}, \mathcal{B}(\mathbb{R}) \rangle$ — envolvendo, respectivamente, um conjunto S de sistemas quânticos, espaços de Hilbert, operadores auto-adjuntos, operadores lineares, e conjuntos de Borel sobre os números reais — e com um conjunto de axiomas específicos envolvendo, por exemplo, o axioma do colapso. Essa caracterização é frequentemente a mesma independentemente da interpretação que se adote. Por exemplo, o predicado Suppes acima mantém-se inalterado caso a interpretação seja a da consciência causal ou uma posição instrumentalista, que não toca (vale dizer) no assunto de consciência humana.¹² Isto é, diferentes interpretações possuem *o mesmo predicado Suppes*.

Vejamos outro caso para ilustrar a situação. Em uma axiomatização diferente da anterior — seguindo Arroyo e da Silva (2022, pp. 1273-1274), mas ainda usando os predicados Suppes —, uma mecânica quântica com ramificações MQ_{ram} à la Everett pode ser definida da seguinte maneira: $MQ_{ram} = \langle \mathcal{F}, \mathcal{A}_{ram}, \mathcal{R} \rangle$. Essa sequência ordenada envolve, respectivamente: a

¹⁰ Para uma discussão da formulação seguindo uma concepção rival, a abordagem sintática, ver Jammer (1974, cap. 1).

¹¹ Ver Krause e Arenhart (2017).

¹² Ver Arroyo (2022, capítulos 1 e 3).

linguagem da teoria (*viz.*, álgebra linear e análise funcional); os axiomas específicos da teoria, que incluem o de ramificação (“*branching*”); as regras de inferência (*viz.*, as da lógica clássica). Uma questão interpretativa com significativas diferenças ontológicas é a seguinte: como devemos entender o processo de ramificação? Seria um processo de ramificação entre *mundos*, como sugere DeWitt (1971)? Ou seria um processo de ramificação entre *mentes*, como sugerem Albert e Loewer (1988) e Lockwood (1996)? Note que o predicado Suppes é o mesmo, mas — de novo — a ontologia muda de maneira radical: em uma das interpretações, a ontologia inclui *mundos*; em outra, inclui *mentes*.

Dessa maneira, o que se ganha em clareza acerca da caracterização da *teoria* se perde em profundidade para a resposta acerca do problema da *ontologia* da teoria. Teorias sendo apenas conjuntos não são nem as entidades que acreditamos serem descritas pela mecânica quântica (como elétrons, prótons, nêutrons...), nem as entidades que se acrescentam quando se elabora uma interpretação (como a consciência causal, mundos ou mentes bifurcando...).

Essa é uma faceta do *problema dos seres perdidos* (MULLER, 2011, p. 98). Conforme F. A. Muller, a abordagem semântica advogada por Suppes, entendida literalmente, promove a perda da realidade que a teoria apresentada através do predicado de Suppes deveria apresentar. De fato, na medida em que uma teoria é caracterizada por seu predicado de Suppes e por estruturas conjuntistas que o satisfazem, não temos como relacionar as estruturas com os seres que elas buscam representar. No contexto dessa abordagem, o melhor que podemos fazer é *mergulhar* certas estruturas de dados — que também são estruturas conjuntistas, representando dados experimentais — nas estruturas da teoria (em um sentido técnico de “mergulhar”, que não precisamos detalhar aqui). Com isso, a teoria fica longe de tratar das entidades reais. Tudo o que temos são conjuntos. E isso é atestado pelo próprio Suppes: “[...] my systematic views of scientific theories, does not deal at all with the problem of how to talk about actual beings or even experiments, but I have been under no illusion that it does” (2011, p.119).

O diagnóstico dessa discussão é que se sabemos definir precisamente a noção de teoria e de interpretação, perdemos a ontologia. O problema é que na prática científica que orienta esta construção, temos *uma* teoria quântica e muitas interpretações incompatíveis entre si. Para que este estado de coisas se reflita na regimentação fornecida pelo predicado de Suppes, devemos ter o mesmo predicado de Suppes (representando a teoria) sendo interpretado de diferentes maneiras (com os modelos conjuntistas fazendo o papel de interpretações). Isso

depende de se entender a noção de interpretação como sendo dada pelos modelos do predicado de Suppes. Mas, novamente, os modelos são entidades conjuntistas: não distinguem entre teorias com muitos mundos, com uma consciência com poderes causais, entre outras. Tudo é conjunto. Isso só reafirma o problema dos seres perdidos.

Uma saída seria seguir Bueno (2011) e entender a teoria como dada pelo predicado conjuntista, mas definir uma interpretação como algo adicionado a partir de fora. Uma interpretação é, nesse caso, uma espécie de *leitura informal* que se faz da teoria com um adicional ontológico. Isso muda o sentido de “interpretação”, dado acima, de modo que uma interpretação não é mais um modelo do predicado de Suppes; é algo mais informal que sobrepomos aos modelos da teoria. Atribuímos uma interpretação aos termos da teoria diretamente (seja lá como isso se realiza de fato, mas não precisamos elaborar os detalhes desta conexão entre teoria e interpretação para nossos propósitos aqui).

Essa manobra também parece ter muito a seu favor, principalmente o fato de conectar o formalismo com uma leitura mais informal, material e intuitiva que traria consigo a ontologia. Todavia, alocar a ontologia (e a interpretação) fora da teoria tampouco nos ajuda a resolver todos os problemas. Apesar de deixar a noção de teoria intacta, esse procedimento tem como consequência que a ontologia fica completamente *desconectada* da teoria. Agora, segundo este procedimento, a ontologia deve ser encaixada na teoria *a partir de fora* e, com isso, perdemos qualquer forma de privilégio epistêmico que a ontologia possuiria ao ser conectada diretamente com a teoria e obtida a partir daí. Em outras palavras, nessa leitura, a ontologia parece um acréscimo gratuito. E, portanto, possivelmente dispensável ou, no mínimo, sem nenhum lastro efetivamente físico.

Para tornar o problema mais claro, consideremos um exemplo: métodos de “extração ontológica”, como o de Quine,¹³ exigem que a ontologia seja lida a partir das sentenças verdadeiras da linguagem da teoria que estejam prefixadas com quantificadores existenciais ligando variáveis livres na fórmula quantificada, não que seja colocada de fora, sem nenhuma conexão com o aparato referencial da teoria. Ou seja, segundo esta proposta, se temos nossa teoria e nossa interpretação colocada a partir de fora, perdemos a justificação para a ontologia

¹³ Observações similares, com as devidas adaptações, valem para os métodos de Thomasson (2008) e Ney (2012), mencionados acima.

a partir da teoria (certamente algumas vertentes antirrealistas ficam satisfeitas com o resultado, mas esse não é o objetivo aqui).

Esse obstáculo é ainda mais complicado pelo fato de que as interpretações, mesmo sendo acréscimos ao formalismo, não fazem nenhum acréscimo aos resultados empíricos, em termos de fornecer novas previsões e explicações para os dados (de fato, fazer exatamente isso parece impossível neste cenário, já que são compreendidas como um acréscimo que permanece fora da teoria), ilustrando o cenário de subdeterminação da teoria pelos dados que antirrealistas tanto enfatizam em seus embates com realistas. Com isso, além de perder qualquer privilégio epistêmico que poderia derivar da ciência, o realismo cria uma armadilha contra si mesmo ao alocar propositadamente a ontologia longe de qualquer fonte científica de justificação e permitir a multiplicação de interpretações e ontologias.

O que resulta desta discussão? Ao garantir uma definição de nossas teorias e nossas interpretações de modo rigoroso, *perdemos* nossa ontologia (lembre-se do “problema dos seres perdidos”). Ao assegurar a ontologia (colocando-a como um acréscimo que deve ser obtido de fora), perdemos qualquer vínculo específico desta última com a teoria, e temos subdeterminação da teoria pelos dados, ou, o que parece uma forma equivalente de se colocar o problema, a aceitação gratuita de uma ontologia. Não conseguimos manter os três conceitos – teoria, interpretação, ontologia – fixos e rigorosamente determinados ao mesmo tempo!

2 – ABORDAGEM 2: A ONTOLOGIA EM PRIMEIRO LUGAR

O método proposto pela segunda abordagem vai em uma direção oposta ao que foi proposto pela Abordagem 1. Em primeiro lugar, essa proposta está de acordo com a alegação de que a ontologia de uma teoria depende de se avançar uma interpretação. Todavia, em segundo lugar, essa abordagem acrescenta que interpretação (e isso inclui explicitamente uma ontologia) é um aspecto *definidor* de uma teoria. Não há teoria sem que se especifique quais os seres acerca dos quais ela trata. A “equação”, simplificada agora, é:

$$\text{Teoria} = \text{formalismo} + \text{interpretação (ontologia)}$$

Há uma ampla gama de propostas defendendo este tipo de abordagem. Segundo Cushing, há “dois componentes de uma teoria científica: seu formalismo e sua interpretação” (1993, p. 265). Com mais detalhes:

The (physical) interpretation refers to what the theory tells us about the underlying structure of these phenomena (i.e., the corresponding picture story about the furniture of the world — an ontology). Hence, one formalism with two different interpretations counts as two different theories (CUSHING, 1993, p. 265).

A ontologia, assim como a dinâmica, é parte da própria caracterização da teoria. Ontologias diferentes geram teorias diferentes. Mais do que isso, a ontologia não é extraída da teoria em nenhum sentido interessante, mas, antes, é inserida como parte própria da teoria. Michael Esfeld endossa o mesmo ponto da seguinte maneira:

[...] a physical theory has to (i) spell out an ontology of what there is in nature according to the theory, (ii) provide a dynamics for the elements of the ontology and (iii) deduce measurement outcome statistics from the ontology and dynamics by treating measurement interactions within the ontology and dynamics; in order to do so, the ontology and dynamics have to be linked with an appropriate probability measure (ESFELD, 2019, p. 222).

Note a ordem das prioridades, segundo Esfeld (e Cushing): a ontologia, que é dada pela interpretação, contribui para a própria *caracterização* de uma teoria. Não sabemos o que uma teoria é, a menos que saibamos qual é a sua ontologia. Nesse sentido, apesar de haver uma concordância superficial com a primeira abordagem, de que a ontologia possui relação direta com a interpretação, há um desacordo *profundo* acerca de onde a ontologia deve ser localizada, de qual o ponto em que a ontologia entra em questão.

Com essa ordem de prioridades, note também que não podemos mais esperar justificar nossa ontologia com base no sucesso de uma teoria. Antes, segundo a Abordagem 2, as credenciais de uma teoria *dependem* da ontologia. Na medida em que se tenha uma teoria de sucesso, a ontologia também está sendo bem-sucedida, dado que qualquer teste da teoria é também um teste da ontologia. Nesse sentido, a ontologia goza de um sucesso pós-fato (depois de postulada, ela pode ser testada). Não buscamos nossa ontologia na teoria, mas a teoria depende da ontologia.

A proposta da Abordagem 2 fica mais clara se a contrastarmos com a Abordagem 1. A teoria era dada, e buscávamos a ontologia compatível. Agora, temos a ontologia já embutida na

teoria. Conforme diz Valia Allori, ao defender sua abordagem através de uma ontologia primitiva (“*primitive ontology*”) que também se enquadra na Abordagem 2:

The primitive ontology proposal is tightly connected to a particular understanding of what physics is, what it does, and how it does it. In other words, it is connected to a particular understanding of what the scientific image is, how we arrive at it, and how it relates to the manifest image. The starting idea is that when a scientist proposes a fundamental physical theory, she already has in mind what the theory is fundamentally about: the primitive ontology. This is the *metaphysical* role of the primitive ontology: it tells us what the world is made of according to the theory (ALLORI, 2013, p. 61).

O primeiro tipo de dificuldade que teremos concerne ao tipo de justificação que esperamos obter para nossa ontologia. Ela parece definir uma teoria, mas, ao mesmo tempo, não consegue ganhar justificação da teoria. Ela precisa estar lá antes que a teoria comece a ser testada. A ontologia parece vir de alguma fonte diversa da teoria científica. Uma opção seria seguir a proposta de Allori, segundo a qual adaptamos gradualmente a ontologia de teorias que já temos disponíveis e que usamos como nossa ontologia primitiva:

[...] the scientist will typically tend to make minimal and not very radical changes to a previously accepted theoretical framework. First, she might attempt to keep the same primitive ontology as the old theory, perhaps changing the law with which it evolves. If that fails, she might go for a different primitive ontology that still will not radically change her ways of understanding things. In other circumstances, she might move to a theory that will provide a better explanation (Ibidem).

Esse parece ser um bom conselho: começamos com o que já temos disponível em termos de ontologia e vamos, progressivamente, adaptando seu comportamento para que se acomode ao tipo de descrição fornecido pela teoria. Todavia, essa concepção parece oferecer obstáculos quando se trata de mudanças radicais de teorias, como foi o caso da passagem da mecânica clássica para a mecânica quântica. Manter uma concepção de uma ontologia tradicional no caso da mecânica quântica parece oferecer muitos obstáculos para o entendimento daquilo que a teoria trata. Fenômenos como a não-localidade, superposição, contextualidade, parecem pedir uma mudança de ontologia. Não basta mudar para uma “teoria que forneça uma melhor explicação”, porque a mecânica quântica já é essa teoria. Ou seja, trata-se claramente de um caso em que a teoria que desenvolvemos não parece permitir uma imagem confortável de mundo com a qual estamos acostumados (por esta razão a passagem da mecânica clássica para a mecânica quântica é entendida com uma mudança de paradigma tão radical). Ainda, perceber

que a ontologia que temos não é adequada para a descrição fornecida pela mecânica quântica nos impele para a adoção de uma nova ontologia primitiva, conforme sugerido por Allori no final da citação acima. Mas a nova ontologia primitiva deve vir de algum lugar, deve ser compatível com a teoria. Com isso, voltamos para o problema da Abordagem 1: dada a teoria, de antemão, qual é a mobília do mundo segundo a teoria? Ao realizar esse segundo movimento, perdemos a própria essência de uma ontologia primitiva.

Outra dificuldade, relacionada com a anterior, diz respeito ao tipo de desvinculação entre teoria e ontologia. Lembre-se que gostaríamos de povoar a realidade com as entidades postuladas por nossas melhores teorias científicas. Isso parece impossível no caso da estratégia 2, dado que as entidades postuladas estão lá para começar: não são uma exigência da teoria, mas, antes, é a teoria que deve de algum modo se conformar a eles. Esse tipo de abordagem está exposto ao tipo de crítica que naturalistas em metafísica e ontologia, como Ladyman e Ross (2007), avançaram contra a metafísica desengajada da ciência. Temos uma espécie de desengajamento ontológico aqui. Nossa imagem de mundo não depende de nossa melhor ciência, mas, antes, parece ter origem em uma imagem confortável da realidade com a qual já estamos acostumados e que desejamos preservar. A ontologia depende de uma imagem preferida do mundo que não é retirada de uma concepção científica oriunda em nossas melhores teorias.

Ao alocar a ontologia como um ingrediente da teoria, o adepto do segundo tipo de estratégia está gerando um tipo de crise de identidade para a noção de teoria. De fato, perdemos a chance de empregar qualquer concepção de teoria científica que já esteja disponível na literatura e seja rigorosamente formulada. Note, por exemplo, que a abordagem semântica deve falhar em sua descrição de teorias científicas, se elas forem entendidas como já envolvendo uma ontologia específica de partida. Como é importante lembrar, a abordagem semântica, ao menos em sua caracterização segundo Patrick Suppes, caracteriza as teorias em um nível muito mais geral, ou seja, realiza uma classificação pouco refinada para que se capture os detalhes e diferenças de distintas teorias segundo esta concepção da Abordagem 2.

Essas alegações são substanciadas ao notarmos que a Abordagem 2 exige que se tenha algum tipo diferente de critério de identidade de teorias, que não passa mais pela formulação de um predicado de Suppes (ou de uma axiomatização ao estilo das abordagens sintáticas). A identidade de uma teoria passa a depender da questão mais complexa acerca da identidade de

ontologias, ou interpretações. Mas quando duas interpretações contam, então, como distintas? Essa é uma questão difícil de responder e, ao avaliarmos as diferentes interpretações disponíveis, mesmo que empreguemos critérios bastante grosseiros para distingui-las, teremos como resultado um cenário de subdeterminação generalizada. Por um lado, o mesmo formalismo matemático pode estar na base de teorias diferentes, de modo que apenas a formulação do formalismo não é capaz de individuar uma teoria. Tome o caso da interpretação da consciência e da interpretação instrumentalista, conforme mencionamos na seção anterior. De acordo com a Abordagem 1, como ambas as interpretações possuem os mesmos predicados de Suppes, elas contam como interpretações diferentes da mesma teoria (onde é difícil encontrar a “diferença”, já que ela ocorre no nível ontológico que a Abordagem 1, como vimos, não consegue tratar). No caso da Abordagem 2, ambas as interpretações contariam como *teorias diferentes* devido às diferentes ontologias postuladas. O mesmo vale para o caso das “muitas mentes”, “muitos mundos”, e “dos estados relativos” de Everett que, apesar de tratarem de ramificações na realidade, possuírem traços comuns e poderem usar o mesmo formalismo matemático, postulam entidades diferentes — assim, também contariam como teorias diferentes. Por outro lado, formulações matemáticas diferentes, como a formulação de Bohm, a formulação de von Neumann, e as formulações de GRW, certamente contarão como teorias distintas. Mas isso ainda não é o suficiente para individuá-las como teorias. Isso ocorre porque ainda falta uma ontologia específica em cada caso. Diferentes formulações matemáticas ainda são abstratas demais para contarem como teorias *stricto sensu* na Abordagem 2. Esse é um pesadelo para quem quer que se considere realista.

Por fim, vale lembrar: as interpretações não fornecem resultados experimentais adicionais, para além do formalismo básico da mecânica quântica não-relativística. Com isso, diferentes teorias (já que uma interpretação conta aqui como parte de uma teoria) não podem ser distinguidas por eventuais experimentos. Determinar a nossa imagem de mundo segundo uma teoria nunca esteve tão longe. Temos subdeterminação ao nível da formulação matemática (já que temos formalismos distintos) e subdeterminação ao nível de diferentes teorias com o mesmo formalismo (já que o mesmo formalismo pode estar conectado com diferentes ontologias/teorias). E, mesmo assim, não estamos ainda falando de um outro nível, que ainda poderia ser discutido que seria o nível metafísico acrescentado sobre esta camada.¹⁴

¹⁴ Ver Arenhart e Arroyo (2021a).

3 – DISCUSSÃO E OBSERVAÇÕES FINAIS

Vamos recuperar as principais virtudes e dificuldades presentes em cada uma das estratégias vistas. A Abordagem 1 (VAN FRAASSEN, 1989; 1991; RUETSCHKE, 2015) tenta responder a uma questão sensível para o realismo científico: *Como seria o mundo, caso a teoria fosse verdadeira?* E, se o mundo envolve uma ontologia (isto é, o que existe nesse tal mundo), a questão é então traduzida da seguinte maneira: *Como seria a ontologia, caso a teoria fosse verdadeira?* O problema é que, como vimos, esse é justamente o tipo de questão que a Abordagem 1 não tem condições de responder. O motivo disso é que uma teoria é, ao menos em princípio, ontologicamente neutra. A ontologia é dada por uma interpretação que deve ser adicionada à teoria. Nessa abordagem, temos uma caracterização precisa do que conta como uma teoria — os predicados Suppes —, mas, com essa caracterização, nós perdemos à ontologia. Mesmo se concedermos que as interpretações são os modelos de uma teoria formal, nós continuamos perdendo os seres. Isso porque todas essas caracterizações são feitas em termos conjuntistas. E não há nada além de conjuntos numa descrição conjuntista. Nesse cenário, sacrificamos a ontologia em favor do rigor. Uma saída é adotar a interpretação como uma adição ontológica informal, como sugerido por Bueno (2011). Nesse caso, a ontologia dada pela interpretação é uma ontologia sem valor epistêmico para o realismo (não custa lembrar que Bueno é, ele próprio, um antirrealista!), dado que essa estratégia não permite termos meios para que se possa *extrair* a ontologia da ciência.

Isso nos leva à Abordagem 2 (CUSHING, 1993; ALLORI, 2013; ESFELD, 2019; MAUDLIN, 2019). Nela, uma teoria já contém uma interpretação, não é neutra. A interpretação (que envolve a ontologia, lembre) caracteriza a teoria. Ela responde à questão inversa da Abordagem 1, a saber: *Como seria a teoria caso a ontologia fosse verdadeira?* Uma consequência imediata disso é que perdemos a caracterização rigorosa de teoria que tínhamos com a abordagem semântica (pressuposta pela Abordagem 1). O resultado é que fica extremamente difícil determinar como se deve individuar uma teoria segundo essa abordagem, e isso gera um problema com a própria ontologia: devemos saber que duas ontologias são diferentes para saber que fundamentam diferentes teorias. Mas, como saber disso sem uma teoria? Parece que estamos diante de um círculo vicioso, ou de uma situação sem fundamentação sólida. A boa notícia para a ontologia é que agora ela está clara. Afinal, ela foi

fixada de início. Isso, no entanto, traz mais problemas do que soluções para o realismo ao menos em duas direções: (i) toda vez que houver uma diferença na ontologia, teremos *também* uma diferença na teoria — e isso é um pesadelo para realistas que querem obter uma imagem única do mundo, pois as opções multiplicam-se ainda mais; (ii) perde-se qualquer perspectiva de privilégio epistêmico das ontologias, uma vez que (como foram postuladas) não podem ser *extraídas* da ciência. Isso, como já antecipou Russell no contexto do debate sobre os fundamentos da matemática, pode ser — na verdade, foi por ele mesmo — visto com maus olhos: “[t]he method of ‘postulating’ what we want has many advantages; they are the same as the advantages of theft over honest toil” (1919, p. 71). O problema de não se ter uma proposta completamente naturalista na ontologia é que a sua garantia epistêmica depende de nossas preferências por uma imagem de mundo confortável. Não deixamos que a ciência nos guie acerca de como deve ser o mundo, mas, em certo sentido, guiamos a ciência acerca de como ela deve descrever a realidade, dada em traços que nos favoreçam.

Pelos desafios colocados até aqui, parece que precisamos de uma abordagem que esteja no meio do caminho entre as duas abordagens investigadas. Qualquer que ela seja, uma equação envolvendo teorias, ontologia, interpretação, não é fácil de determinar. Uma tentação é livrarmo-nos da ontologia inteiramente. Afinal, pode-se sugerir que consciências causais, multiplicidade de mundos, etc., são adições desnecessárias para a boa prática da física. E essa sugestão pode até ter certo apelo, dada a frustração de décadas de investigações inconclusivas a respeito de qual dessas ontologias é a que verdadeiramente corresponde com o mundo em que vivemos. No entanto, em um sentido bastante importante, a ontologia não pode ser totalmente descartada. A física deve ser capaz de dizer algo sobre elétrons, prótons, nêutrons, quarks, etc. Isto é, uma disciplina empírica não pode ter, nas palavras de Carnap “a splendid isolation from the world” (1966, p. 237): a mecânica quântica não pode ser reduzida à álgebra linear em espaços vetoriais; ela deve falar sobre entidades *físicas*. E essas entidades são — devem ser! — compartilhadas por todas as descrições rivais dos fenômenos quânticos.¹⁵ Essa ontologia mínima é bastante cara para o realismo científico, caso queira aplicar-se à mecânica quântica (e não há motivos para que não seja, dado o sucesso empírico da teoria). No entanto, os métodos de “extração ontológica” são, até o momento, desconhecidos. E aqui jaz um desafio para o realismo científico.

¹⁵ Ver também a discussão em Ladyman (2019).

Por fim, como se isso não fosse problema suficiente, convém lembrar que essas dificuldades não estão sozinhas. Conforme mencionamos na introdução, a formulação desses problemas e a busca por uma resolução dependem de se ter uma resposta para um problema anterior, relacionado com a formulação matemática da própria mecânica quântica. A teoria quântica pode ser formulada de diferentes maneiras, com aparatos matemáticos que parecem, cada um a seu modo, ser compatíveis com ontologias bastante diferentes. Já se tem argumentado que algumas formulações devem ser privilegiadas por serem mais compatíveis com determinadas ontologias como, por exemplo, a formulação via espaços de Fock para uma ontologia de partículas sem individualidade,¹⁶ ou formulações sem colapso para ontologias de ondas; todavia, esse tipo de argumento coloca a escolha da ontologia em primeiro lugar, guiando a escolha do formalismo e, com isso, voltamos a ter problemas que já discutimos anteriormente neste artigo. Dificilmente se pode sugerir que todos os formalismos possuem algo em comum, que poderia indicar uma ontologia mínima comum a todos eles.¹⁷ O desafio para o realismo é enorme, mas, para que se possa começar a enfrentá-lo, é importante que esteja formulado de forma precisa. Esperamos que este trabalho seja uma contribuição nessa direção.

REFERÊNCIAS

ALBERT, David; LOEWER, Barry. Interpreting the many-worlds interpretation. *Synthese*, 77, 1988, pp. 195-213.

ALLORI, Valia. Primitive ontology and the structure of fundamental physical theories. In: NEY, Alyssa; ALBERT, David Z. (eds.) *The wave function. Essays on the metaphysics of quantum mechanics*, pp. 58-75. Oxford: Oxford Un. Press, 2013.

ARENHART, Jonas R. B. Notas sobre ontologia analítica. Pelotas: Editora da Ufpel (*Coleção Nephil*), 2023.

ARENHART, Jonas R. B.; ARROYO, Raoni W. Back to the question of ontology (and metaphysics). *Manuscrito*, 44, 2021a, pp. 1-51.

_____. The spectrum of metametaphysics: mapping the state of art in scientific metaphysics. *Veritas*, 66, 2021b, p. e41217.

¹⁶ Ver French e Krause (2006, cap. 9).

¹⁷ Ver também a discussão em Bueno (2008, seção 3).

ARROYO, Raoni W. Consciência e mecânica quântica: uma abordagem filosófica. Florianópolis: Editora NEL (no prelo), 2022. *Preprint*. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2201.09663>>. Acessado em: 30 de setembro de 2023.

ARROYO, Raoni W.; ARENHART, Jonas R. B. Between Physics and Metaphysics: A Discussion of the Status of Mind in Quantum Mechanics. In: DE BARROS, José Acácio; MONTEMAYOR, Carlos (eds) *Quanta and Mind*, pp. 31-42. *Synthese Library*, vol 414. Springer, Cham, 2019.

_____. Realismo e metafísica na mecânica quântica. In: IMAGUIRE, Guido; CID, Rodrigo (eds) *Problemas de metafísica analítica*, pp. 269–309. Pelotas: Editora da Ufpel (*Coleção Nephil*), 2020.

ARROYO, Raoni W.; DA SILVA, Gilson O. *Against ‘interpretation’: quantum mechanics beyond syntax and semantics*. *Axiomathes*, 32, 2022, pp. 1243-1279.

BUENO, Otávio. Structural realism, scientific change, and partial structures. *Studia Logica*, 89, 2008, pp. 213-235.

BUENO, Otávio. Structural empiricism, again. In: BOKULICH, Peter; BOKULICH, Alisa (eds.) *Scientific structuralism*, pp. 81-103. Cham: Springer, 2011.

CARNAP, Rudolf. *Philosophical Foundations of Physics: An Introduction to the Philosophy of Science*. New York: Basic Books, 1966.

CUSHING, James T. Underdetermination, Conventionalism and Realism: The Copenhagen vs. The Bohm Interpretation of Quantum Mechanics. In: FRENCH, Steven; KAMMINGA, Harmke (eds.) *Correspondence, Invariance and Heuristics*, pp. 261-278. Dordrecht: Springer, 1993.

DEWITT, Bryce S. *Quantum Mechanics and Reality*. *Physics Today*, 23, 1971, pp. 30-35.

ESFELD, Michael. Individuality and the Account of Nonlocality: The Case for the Particle Ontology in Quantum Physics. In: LOMBARDI, Olimpia; FORTIN, Sebastian; LÓPEZ, Cristian; HOLIK, Federico (eds.) *Quantum Worlds*, pp. 222-244. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

FRENCH, Steven. *Metaphysical underdetermination: why worry?* *Synthese*, 180, 2011, pp. 205-221.

JAMMER, Max. *The Philosophy of Quantum Mechanics. The interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. New York: John Wiley and Sons, 1974.

KRAUSE, Décio; ARENHART, Jonas R. B. *The Logical Foundations of Scientific Theories: Languages, Structures, and Models*. Abingdon: Routledge, 2017.

LADYMAN, James. What is the quantum face of realism? In: LOMBARDI, Olimpia; FORTIN, Sebastian; LÓPEZ, Cristian; HOLIK, Federico (eds.) *Quantum Worlds*, pp. 121-132. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

LADYMAN, James; ROSS, Don. *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*. Oxford: Oxford University Press, 2007.

LOCKWOOD, Michael. 'Many Minds' Interpretations of Quantum Mechanics. *British Journal for the Philosophy of Science*, 47(2), 1996, pp. 159-188.

PESSOA JR., Osvaldo. *Conceitos de Física Quântica, Volume I*. 4. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2019.

MAUDLIN, Tim. *Philosophy of physics: Quantum theory, Princeton Foundations of Contemporary Philosophy*. Princeton University Press: Princeton, 2019.

MULLER, Fred A. Reflections on the revolution at Stanford. *Synthese*, 183(1), 2011, pp. 87-114.

MULLER, Fred A. Circumveiled by Obscuritads: The nature of interpretation in quantum mechanics, hermeneutic circles and physical reality, with cameos of James Joyce and Jacques Derrida. In: BÉZIAU, Jean.-Yves; KRAUSE, Décio; ARENHART, Jonas R. B. (eds.) *Conceptual Clarifications: Tributes to Patrick Suppes (1922–2014)*, pp. 107-135. Rickmansworth: College Publications, 2015.

NEY, Alyssa. *Neo-positivist metaphysics*. *Philosophical Studies*, 160(1), 2012, pp. 53-78.

QUINE, Willard v. O. Sobre o que há. In: *De um ponto de vista lógico: nove ensaios lógico-filosóficos*, pp. 11-35. São Paulo: Ed. Unesp, 2011.

RUETSCHKE, Laura. The Shaky Game+ 25, or: On locavoracity. *Synthese*, 192(11), 2015, pp. 3425-3442.

RUSSELL, Bertrand. *Introduction to Mathematical Philosophy*. New York: Routledge, 1919.

SKLAR, Lawrence. I'd Love to Be a Naturalist — if Only I Knew What Naturalism Was. *Philosophy of Science*, 77(5), 2010, pp. 1121-1137.

STYER, Daniel, et.al. Nine formulations of quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 70, 2002, pp. 288-297.

SUPPES, Patrick. Future development of scientific structures closer to experiments: Response to F.A. Muller. *Synthese*, 183(1), 2011, pp. 115-126.

THOMASSON, Amie L. Existence questions. *Philosophical Studies*, 141, 2008, pp. 63-78.

VAN FRAASSEN, Bas. C. *Laws and Symmetry*. Oxford: Oxford University Press, 1989.

_____. C. *Quantum mechanics: An Empiricist View*. Oxford: Oxford University Press, 1991.

AGRADECIMENTOS

Uma versão preliminar deste artigo foi apresentada no *IX International Workshop on Quantum Mechanics and Quantum Information*, ocorrido em 22 e 23 de junho de 2023. Gostaríamos de agradecer aos participantes desse *workshop*, em especial Christian de Ronde e Otávio Bueno, por suas questões e sugestões que contribuíram para melhorar a qualidade do trabalho. Também agradecemos a Gilson Olegario da Silva e Pedro Almeida Brandão que leram uma versão prévia do artigo e fizeram sugestões que contribuíram para a melhora do texto. Naturalmente, todos os problemas que permanecem na versão final são de nossa responsabilidade. Raoni Arroyo reconhece o apoio do processo no 2022/15992-8, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

I – INFORMAÇÕES SOBRE OS AUTORES

Jonas R. Becker Arenhart

Professor do Departamento de Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Editor associado da Revista Principia. Membro do Grupo de Lógica e Fundamentos da Ciência (CNPq). E-mail: jonas.becker2@gmail.com

Raoni Wohnrath Arroyo

Pesquisador visitante na Università degli Studi Roma Tre, Roma, Itália. Realiza os estudos de pós-doutoramento no Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (CLE) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). É bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Membro do Grupo de Lógica e Fundamentos da Ciência (CNPq). E-mail: raoniarroyo@gmail.com



*Em busca do conteúdo Realista: Teoria, Interpretação,
Mecânica Quântica*
ARENHART, J. R. B.
ARROYO, R. W.

II – INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

Recebido em: 11 de outubro de 2023

Aprovado em: 22 de outubro de 2023

Publicado em: 24 de dezembro de 2023