

[dx.doi.org/](https://dx.doi.org/10.23925/1984-3585.2024i2930p251-268)

10.23925/1984-3585.2024i2930p251-268

Licensed under
[CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Feyerabend e a mecânica quântica:

um terreno fértil para discussões filosóficas

Rafael Velloso¹Antonio Augusto Passos Videira²

Resumo: Paul Karl Feyerabend (1924-1994) foi um físico e filósofo austríaco mundialmente conhecido por sua obra *Contra o Método* (1975). Apesar da notoriedade do *enfant terrible* da filosofia da ciência (uma das alcunhas adquiridas em razão de seus posicionamentos) vir a partir desta obra, os debates contidos nela (e em outras de suas obras) possuem uma origem um tanto curiosa: a mecânica quântica. Sendo formado em física pela Universidade de Viena, os 22 anos iniciais da vida profissional do autor tinham como um de seus principais temas a mecânica quântica, em especial as versões elaboradas por Niels Bohr, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger e Albert Einstein. A partir da mecânica quântica, Feyerabend foi capaz de experimentar e estruturar temas que lhes foram caros por toda sua vida, como: realismo, relação entre física e metafísica, relação entre ciência e sociedade, dentre outros. O presente artigo tem como objetivo apresentar de que maneira Feyerabend extrai e estrutura suas discussões desta área tão complexa, utilizando, sempre que possível, citações diretas do físico-filósofo, a fim de uma melhor caracterização do seu pensamento. Desta forma, espera-se que aqueles que não conhecem o autor, possam ter uma visão geral da tônica de suas discussões, bem como debates filosóficos podem ser construídos a partir da mecânica quântica.

Palavras-chave: Feyerabend; mecânica quântica; metafísica; visões de mundo; compreensibilidade.

¹ Rafael Velloso é doutorando em Filosofia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). É membro do grupo de pesquisa, ensino e extensão *Physikos – Estudos em História e Filosofia da Física e da Cosmologia (FACH-UFMS)* e do grupo de pesquisa *Estudos Sociais e Conceituais de Ciência, Tecnologia e Sociedade (ECTS)* do Departamento de Filosofia da UERJ. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2601-6495>. E-mail: velloso.rafa@gmail.com.

² É professor titular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), além de professor no Programa de Ensino e História da Matemática (UFRJ), professor convidado no Instituto de Biofísica (UFRJ) e pesquisador colaborador no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4369-9221>. E-mail: guto@cbpf.br.

Feyerabend and quantum mechanics: A fertile ground for philosophical discussions

Abstract: Paul Karl Feyerabend (1924-1994) was an Austrian physicist and philosopher widely known for his work *Against Method* (1975). Despite the notoriety of this “enfant terrible” of the philosophy of science (one of the nicknames he acquired due to his positions) arising from this work, the debates contained therein (and in his other works) have a rather curious origin: quantum mechanics. Being a physics graduate from the University of Vienna, the author’s initial 22 years of professional life revolved around quantum mechanics, particularly the versions elaborated by Niels Bohr, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Erwin Schrödinger, and Albert Einstein. From quantum mechanics, Feyerabend was able to experiment and structure themes that remained important to him throughout his life, such as realism, the relationship between physics and metaphysics, and the relationship between science and society, among others. This article aims to present how Feyerabend extracts and structures his discussions from this complex field, using direct quotes from the physicist-philosopher whenever possible, in order to better characterize his thinking. In this way, it is hoped that those unfamiliar with the author will gain a general overview of the tone of his discussions and how philosophical debates can be built upon quantum mechanics

Keywords: Feyerabend; physics; quantum mechanics; metaphysics; world views; comprehensibility.

Introdução

Paul Karl Feyerabend (1924-1994) foi um físico-filósofo austríaco, conhecido principalmente por obras como *Contra o Método* e *Adeus à Razão*, que lhe concederam alcunhas como “pior inimigo da ciência”, “profeta do irracionalismo” (Abrahão, 2019), dentre outras. Discutir se estas alcunhas são justificáveis ou não está além do escopo do presente artigo, mas vale destacar algo, a saber: elas colocaram, em diversos momentos, membros da comunidade científica e filosófica na situação desejada pelo austríaco – a de debate, crítica, incômodo, incertezas. De onde vem esta atitude? Qual incômodo com a situação vigente da ciência? Por que a física, em especial a mecânica quântica, foi sua área de interesse por mais de 20 anos? Esses, sim, são questionamentos de interesse do presente artigo.

Apesar de ser mais conhecido como um filósofo da ciência, Feyerabend tem uma formação de base, que, ao mesmo tempo, gera certa curiosidade e justifica interesses seus: Feyerabend cursou física na Universidade de Viena. Inicialmente os cursos escolhidos foram história e sociologia, pois ele queria entender o que havia ocorrido recentemente – a 2ª Guerra Mundial – e como a Áustria se transformou de um poderoso império multiétnico em um pequeno e pobre país. Posteriormente, ele se transferiu para a física (o próprio autor justifica que a migração se deu devido o abismo da grade dos cursos de história e sociologia e a situação austríaca no imediato pós-guerra; Feyerabend, 1996; Preston, 1997). Durante o seu período universitário, Feyerabend admite que esteve sob considerável influência da maneira positivista de conceber o conhecimento (Preston, 1997), ou seja, dava grande importância ao empirismo (na década de 1940 o positivismo lógico do Círculo de Viena ainda possuía influência em diferentes universidades): aquilo que não fosse possível de medir, não era ciência (Feyerabend, 1996; Preston, 1997).

Em 1948, ainda na Universidade de Viena, Feyerabend se torna membro do Círculo de Kraft, clube de estudos filosóficos centrado em torno da figura de Viktor Kraft, mais tarde o orientador de sua tese de doutorado (*Zur Theorie der Basissätze*, ‘Sobre a teoria dos enunciados de base’; ver Abrahão, 2015a). Ainda como estudante, publica em 1948 o ensaio “Der Begriff der Verständlichkeit in der modernen Physik” (‘O conceito de compreensibilidade na física moderna’¹), que foi motivado pelo artigo

¹ Este artigo foi traduzido do alemão para o inglês por Daniel Kuby e Eric Oberheim (2015), ambos especialistas em Feyerabend. Na tradução, eles optam por traduzir *Verständlichkeit* e seus cognatos por inteligibilidade. Usualmente, na filosofia da ciência e no vocabulário dos físicos germânicos, o termo que se

“Die Besonderheit des Weltbilds der Naturwissenschaft” (‘A peculiaridade da visão de mundo das ciências naturais’²) do também austríaco Erwin Schrödinger, publicado nesse mesmo ano em *Acta Physica Austriaca*.

Nos anos seguintes, Feyerabend publica outros artigos que também discutem a física de sua época – em especial a mecânica quântica – como *Physics and Ontology* (1954), *On the Quantum-theory of Measurement* (1957a), *Complementarity* (1958), *Professor Bohm’s Philosophy of Nature* (1960), *Eigenart und Wandlungen physikalischer Erkenntnis* (1965) e *In Defence of Classical Physics* (1970). Nestes 22 anos que separam o primeiro artigo do último, alguns temas foram recorrentes, como: a influência de critérios não epistêmicos no desenvolvimento científico (e sua relação com visões de mundo) e a historicidade de conceitos físicos.

Do edifício físico à “casa mal-assombrada” da mecânica quântica

A caracterização da mecânica quântica como uma “casa mal-assombrada” (*Spukhaus*), ocorre em *Der Begriff der Verständlichkeit in der modernen Physik* em decorrência do esvaziamento da física clássica, ao ser reinterpretada e utilizada na mecânica quântica³. O principal objetivo

associa a inteligibilidade é *Anschaulichkeit*, palavra que possui relação com o léxico kantiano e com as palavras *Anschauung* e *Anschauungsformen* (intuição e formas da percepção, respectivamente). No entanto, nas décadas de 1920 e 1930, o termo *Anschaulichkeit* sofreu uma série de remodelações por conta dos desenvolvimentos da mecânica quântica (Cassin *et al.*, 2004). No presente artigo, optamos por traduzir este termo como compreensibilidade pelos seguintes motivos: o ensaio do Feyerabend é motivado pelo artigo do Schrödinger, publicado originalmente em alemão em 1948, mas que possui uma tradução para o inglês, feita pelo próprio físico, publicado em 1956 no livro *What is Life? and Other Scientific Essays*. Neste livro Schrödinger traduz *Verständlichkeit* como compreensibilidade e o significado utilizado é similar (para não dizer o mesmo), que o atribuído por Feyerabend. Usualmente, inteligibilidade (*Anschaulichkeit*) em física é associado com aquilo que é visualizável e/ou descrito espaço-temporalmente (apesar de ser uma simplificação do termo), já compreensibilidade é algo que engloba outras noções para além do observável. Como tanto Schrödinger quanto Feyerabend argumentam, o inobservável pode e é considerado algo compreensível, além de desempenhar um papel importante na elaboração de teorias físicas. Neste sentido, consideramos que faz mais sentido manter a tradução de Schrödinger, ou seja, *Verständlichkeit* como compreensibilidade. Além do mais, *Verständlichkeit* vem do termo *Verstand*, que significa compreensão ou entendimento.

² Este artigo foi bastante discutido no Círculo de Kraft, como uma espécie de preparação para o seminário em Alpbach, o qual Schrödinger participaria. No entanto, o físico não pode comparecer e foi substituído por Arthur March, cujo tema da palestra foi “O conceito de lei na física” (Kuby, 2016)

³ Esse processo de reinterpretação e utilização das ideias clássicas na mecânica quântica foi possibilitado, principalmente, por Niels Bohr e seus conceitos de Correspondência e Complementaridade. Noções que, apesar dos embates e divergências existentes, fazem parte do cânone da teoria quântica até hoje. Sobre a Correspondência e Complementaridade Cf. Feyerabend, 2022.

deste artigo é discutir de que maneira a ideia do que é compreensível se modifica ao longo do tempo e como isso se insere na física moderna, i. e., na mecânica quântica. Para Feyerabend:

Compreensível é qualquer regularidade a qual nos acostumamos com o uso prolongado, cuja estrutura é compreendida por si mesma. Assim, primeiro, as regularidades do ambiente local; e a seguir, aqueles de ambientes distantes que são diretamente acessíveis a nós (mecânica celeste). (Feyerabend, 1948, p. 2)

Essa concepção do que significa a compreensibilidade de conceitos físicos está intimamente ligada a outra noção, mais ampla: o que é considerado válido ou não enquanto conhecimento, aquilo que é considerado “filosoficamente correto”⁴:

A abundância de teorias que surgiram naquela época, e para cujo estabelecimento nem mesmo Newton contribuiu, é uma pista psicologicamente interessante sobre como o conceito de inteligibilidade [*Anschaulichkeit*] deve ser concebido. A máxima do absurdo da ação à distância não nos diz nada sobre as forças ativas no universo. Hoje, sabemos disso muito bem. Em vez disso, ela nos diz algo sobre a maneira de pensar daqueles que não conseguiam conceber algo além de impacto, puxão e empurrão, pois esses eram os únicos tipos de ação de força que ocorriam no ambiente imediato conhecido naquela época. Independentemente disso, Newton analisou as relações do movimento dos planetas e determinou a lei da qual todas as órbitas dos planetas podem ser derivadas por meio de uma simples superposição com um fator de velocidade constante. (Feyerabend, 1948, p. 2)

4 A utilização deste termo é uma referência a Philipp Frank, físico e filósofo austríaco, membro do Círculo de Viena e um declarado defensor do positivismo lógico. Ao longo da primeira metade do século XX, Frank produziu uma série de artigos sobre assuntos caros à física, como: o papel da intuição (*Anschauung*) no desenvolvimento de teorias físicas, a historicidade dos conceitos, a relação entre o conteúdo teórico e empírico, dentre outros. Frank também foi uma referência importante para os estudos de Feyerabend sobre Galileu e suas contribuições para a Revolução Científica do século XVII (Cf. Abrahão, 2015). Em seu artigo *Why Do Scientists and Philosophers So Often Disagree about the Merits of a New Theory?* (1941), Frank aborda como conceitos físicos considerados, inicialmente, “filosoficamente falsos” tornaram-se aceitos, compreensíveis pelo espírito da época. Como exemplos, ele cita o sistema copernicano que, apesar de ser descrito como “filosoficamente falso” (pois o sistema hegemônico na época ainda era o aristotélico), mas matematicamente correto e, portanto, amplamente ensinado nas universidades do Antigo Império Romano. De maneira similar, a teoria newtoniana foi considerada “filosoficamente falsa” pela física e filosofia da época (pois tinha como base uma ação inobservável, instantânea e a distância – a gravidade -, algo inconcebível para a época, sendo duramente criticada por nomes como Berkeley e Leibniz), mas matematicamente aceitável (Frank, 1941; Gingras, 2001)

Repare que há certa conexão entre a compreensão e, consequentemente, aceitação de teorias físicas pela visão de mundo válida. Na época de Newton, a concepção hegemônica ainda era a aristotélica, na qual inobserváveis e forças a distância eram impensáveis. Não por acaso houve grande rejeição às ideias de Newton pela comunidade física e filosófica (Gingras, 2001). Apesar de ainda em gestação, esta leitura de Feyerabend se conecta com o que ele irá abordar mais detalhadamente 22 anos mais tarde, em 1970, sobre a potência da teoria newtoniana: as ideias de Newton não se restringem à física, mas possuem em seu interior elementos não epistêmicos que, em certa medida, as conferem maior grau de versatilidade e aplicabilidade (Feyerabend, 1970; Velloso; Videira, 2022). Pode-se perguntar: que elementos não epistêmicos são esses e como isso se conecta com a mecânica quântica? Antes de avançar com Feyerabend, vejamos o que diz a fonte de inspiração deste ensaio de 1948: Erwin Schrödinger.

Ferrenho crítico do que se convencionou chamar de Interpretação de Copenhague⁵, Schrödinger em vários momentos de sua vida profissional atacou o que ele considerava como dogmático⁶ nos conceitos físicos de Bohr e seu grupo, além de evidenciar um outro aspecto de sua insatisfação que, ao menos em princípio, pode-se considerar como não epistêmico, ou não científico: o abismo entre o conhecimento físico e visões de mundo. Para ele:

Há uma tendência de esquecer que toda ciência está ligada à cultura humana em geral, e que as descobertas científicas, mesmo aquelas que no momento parecem mais avançadas, esotéricas e difíceis de entender, não têm sentido fora de seu contexto cultural. Uma ciência teórica, que desconhece o fato de que seus construtos considerados relevantes e importantes estão destinados a ser incorporados à conceitos e palavras que

5 Até os anos 1950 não havia menção de uma “Interpretação de Copenhague”. O primeiro registro é creditado ao físico soviético Dmitrii Ivanovich Blokhintsev, que em 1953 publicou o artigo “*Kritik der philosophischen Anschauungen der sogenannten Kopenhagener Schule in der Physik*” (Crítica às visões filosóficas em física da chamada Escola de Copenhague) (Chevalley, 1999). Dois anos depois, em 1955, o termo “Interpretação de Copenhague” já é encontrado em escritos de Heisenberg, onde uma conotação de unidade da teoria passa a ser empregada e defendida, a contragosto de Bohr (Camilleri, 2009).

6 Conceitos como salto quântico, colapso da função de onda, corte entre a microfísica e a macrofísica foram criticados em vários momentos. Schrödinger considerava que a inexistência da mera possibilidade de se discutir o que significa, afinal, cada um desses conceitos era um dogmatismo, uma espécie de “lei do silêncio” (Fine, 1996), extremamente danoso para a ciência – estes conceitos possuem um caráter axiomático, ou seja, devem apenas ser aplicados (Hansen; Hossenfelder, 2022). Para o físico austríaco, nenhum conceito, mesmo aqueles considerados como base da física (a causalidade, por exemplo), deve estar livre de críticas. (Schrödinger, 1948; 1952a, 1952b)

tenham influência sobre a comunidade educada e se tornem parte integrante da visão de mundo global – uma ciência teórica, digo eu, em que isso é esquecido e em que os iniciados continuam a tagarelar entre si em termos que são, na melhor das hipóteses, compreendidos por um pequeno grupo de companheiros de viagem próximos; será necessariamente isolado do resto da cultura humana; a longo prazo, está fadado a se atrofiar e ossificar, por mais que a virulenta conversa esotérica possa continuar dentro dos grupos de especialistas alegremente isolados (Schrödinger, 1952a, p. 109-110)

A profunda e acelerada especialização, o distanciamento entre ciência e sociedade e sua carência em produzir visões de mundo, i.e., noções que, de alguma maneira, dialoguem com aqueles elementos externos à alienígena linguagem científica (alienação aprofundada em face a crescente matematização da física), são problemas que também devem compor o núcleo das preocupações daqueles minimamente interessados no desenvolvimento do conhecimento científico. Uma ciência que não dialoga com a sociedade, que não é capaz de gerar qualquer tipo de visão de mundo é, para Schrödinger, uma ciência ossificada⁷. Esse é o tom adotado no artigo de 1948.

Em *Die Besonderheit des Weltbilds der Naturwissenschaft*, Schrödinger elenca como os pilares da visão de mundo científica as seguintes noções: a compreensibilidade (*Verständlichkeit*); a objetivação (*Objektivierung*). Compreensibilidade define-se por nossa esperança (*Hoffnung*) de que a natureza pode ser compreendida, mas como? Uma das formas mais comuns de sua época, ele destaca, é a concepção positivista: a natureza pode ser compreendida através da ordenação, da descrição da experiência. É uma concepção válida e, de fato, eficiente, Schrödinger destaca que ela seria insuficiente se concebida como a única maneira de compreender a natureza. Um outro importante elemento, recusado pelo positivismo, é nossa imaginação: através de nossa capacidade de nos distanciarmos, de nos distinguirmos do objeto em análise, somos capazes de conceber, de imaginar situações a fim de testar (metafisicamente) nossas teorias e, inclusive, comparar com teorias opostas. As explicações, se baseadas exclusivamente em fatos e sua ordenação, leva-nos a um terreno infértil, no qual teorias como a do calor ou o darwinismo jamais poderiam germinar (Cf. Schrödinger, 1948, p. 205). Esta noção de compreensibilidade conecta-se diretamente

⁷ Esse termo também é utilizado por Frank em um sentido bastante similar a Schrödinger: sobre como ideias físicas e/ou filosóficas com o tempo se tornam ossificadas, fossilizadas, através de sua ampla utilização, aceitação e absolutização. Em outras palavras, Frank discute como conceitos físicos, a partir do momento que são aceitos e inseridos no léxico filosófico do espírito da época, tornam-se dogmas e, conseqüentemente, são considerados inalteráveis, indiscutíveis (Frank, 1941).

com a segunda – a objetivação. Através da nossa capacidade de nos distinguirmos da natureza (de separarmos sujeito de objeto), somos capazes de construir representações mentais. Apesar de nosso corpo e mente estarem ligados ao mundo real externo, serem partes do objeto, nossa capacidade de nos retirarmos dessa imagem (*Bild*) possibilita-nos construir representações mentais da natureza, de elaborar hipóteses sobre o mundo real. Capacidade esta que também se esvazia, se nos atermos exclusivamente ao positivismo (Cf. Schrödinger, 1948, p. 206).

Apesar de Feyerabend afirmar que em sua época universitária estava sob influência do positivismo lógico (Feyerabend, 1996), quando comparamos o artigo do então jovem físico austríaco com o de Schrödinger⁸, percebemos que seu ensaio não é um testemunho de sua ligação com o positivismo⁹, como afirma o filósofo da ciência John Preston (Cf. Preston, 1997, p. 2), mas, sim, que ela é uma defesa da importância que visões de mundo, ou ainda que a metafísica possuem na construção e compreensão da física moderna. Sua postura com relação à Interpretação de Copenhague é, de fato, mais amistosa em 1948 se comparada com os anos seguintes. No entanto, curiosamente, há neste jovem Feyerabend o embrião daquilo que será explicitado em 1969, em seu famoso “*Back to Bohr*” (Feyerabend, 1969a; 1969b): a percepção que mesmo na teoria quântica estatutária (a considerada rígida e dogmática), há elementos epistemologicamente interessantes, que merecem ser revisitados. Vejamos:

Somos como um caminhante que, após várias visitas, vê claramente diante de seus olhos uma região até então completamente desconhecida e estranha. Compreendemos o novo território a partir de suas regularidades imanentes e avançamos muito mais do que se tivéssemos construído um modelo com varas e ganchos, que, de qualquer forma, estaria condenado a parar depois de algumas caminhadas. É verdade que

⁸ No início de seu artigo há uma apresentação da filosofia natural grega, com especial distinção entre aquela produzida por Platão, Aristóteles e seus seguidores; e aqueles denominados como pré-socráticos, ou filósofos naturais jônicos (como Tales de Mileto, por exemplo). Schrödinger argumenta que, enquanto o pensamento jônico era mais aberto à especulação filosófica, mais criativo e receptivo às críticas, o platônico e aristotélico era mais rígido, mais dogmático (Cf. Schrödinger, 1948, p. 201-204). Em *Eigenart und Wandlungen physikalischer Erkenntnis* (Peculiaridade e mudança no conhecimento físico) (1965), Feyerabend realiza uma argumentação bem similar, esboçando essa mesma distinção entre a filosofia jônica e a platônica-aristotélica, seguido de paralelos com a situação da física da época.

⁹ Isso pode nos fazer refletir também sobre outra caracterização de Preston, sobre Karl Popper ser “de longe” (como ele diz) a principal referência de Feyerabend (inicialmente positiva e, depois, negativa) (Cf. Preston, 1997, p. 2). Não que Popper não tenha sido uma influência, mas Feyerabend parece melhor se encaixar em toda uma geração da física austríaca, que tem como nomes Ludwig Boltzmann, Ernst Mach, Philipp Frank, Erwin Schrödinger, dentro outros.

há sempre e em toda parte a possibilidade de transferir relações já conhecidas para áreas recém-descobertas e, na prática, inicialmente procederemos dessa forma por uma questão de continuidade (= conveniência). Entretanto, não há nenhum princípio que possa garantir constantemente o sucesso desse método. Pois a chamada “unidade das forças da natureza” só existe na respectiva visão de mundo e pode ser levada ad absurdum por cada nova descoberta. (Feyerabend, 1948, p. 3)

Nesta citação percebe-se tanto sua postura favorável à criação de novos conceitos físicos (o que justifica aqui sua atitude levemente amistosa com relação à Interpretação de Copenhague), quanto o entendimento de que o processo de aceitação e compreensão destes mesmos novos conceitos não é imediato e que, de fato, inicialmente há a tendência de nos atermos aquilo que é antigo e familiar. Entretanto, nada nos assegura que o que é familiar continuará funcionando nestes novos domínios. Por exemplo: a causalidade, no caso da mecânica quântica. Pode-se perguntar: o que torna, portanto, esses novos e estranhos conceitos familiares e como inseri-los no arcabouço da física teórica? Ao final de seu artigo, o próprio Feyerabend parece indicar uma possível resposta para este questionamento:

2) [A questão da possibilidade de construções metafísicas]. Segundo o que foi mencionado até agora, não há dificuldade em promover os invariantes recém-descobertos a coisas reais e erigir uma metafísica com base nisso. Pois depois de 1) [A questão da determinação causal dos processos atômicos], o argumento da incognoscibilidade [Unerkennbarkeit] do chamado mundo externo também cai por terra. Se nos ativermos às partículas ponderáveis, é claro que é problemático como o mundo externo deve ser construído. Se, no entanto, usarmos os novos conceitos, não fica claro porque não deveríamos falar do mundo externo aqui também. Estabelecer isto é, entretanto, a tarefa da própria filosofia. (Feyerabend, 1948, p. 3)

Apesar de, ao longo do artigo, não atribuir validade ontológica para o átomo¹⁰, Feyerabend afirma que é possível construir uma metafísica a

10 Essa não atribuição de uma validade ontológica aos átomos é similar a como faziam Ernst Mach e, principalmente, Ludwig Boltzmann. Mach, apesar de crítico e suspeito com relação a capacidade do atomismo em ser um meio adequado para descrever a experiência, considerava que as maneiras pelas quais compreendemos a natureza são múltiplas e complexas, sendo o átomo, portanto, mais um desses conceitos com o qual organizamos nosso pensamento (Mach, 1897; Frank, 1937). Já Boltzmann, que era um atomista, considerava que uma teoria científica não possui valor ontológico, pois, “ela não pode ascender ao nível das essências, ultrapassando o plano determinado pelos fenômenos. O valor de verdade de uma teoria não é determinado em função da capacidade de especificar aquilo que está por detrás do fenomênico. Uma teoria é ‘verdadeira’ se, por meio de suas implicações (previsões, por exemplo), ela conduz a resultados que correspondam à experiência. [...] para Boltzmann, uma teoria científica nada mais é do que uma representação da natureza”. (Videira, 2013, p. 47).

partir desse novo conhecimento da mecânica quântica. Em outras palavras, é possível falar sobre a realidade do mundo exterior fora do arcabouço da causalidade e do mecanicismo da física clássica. Para Feyerabend, essa é, inclusive, a tarefa da filosofia.

Nos anos posteriores, Feyerabend destacou, em inúmeros artigos, a relevância que a metafísica tem para a física e, vice-versa; assim como as consequências da separação entre filosofia e ciência. Um dos resultados desta separação é certo isolamento da filosofia que, ao se considerar autônoma e independente de considerações científicas, “insiste que é a única capaz de fornecer uma imagem do mundo [*pictures of the world*]” (Feyerabend, 1954, p. 10). Por outro lado, a ciência ao se apegar a noção de certeza, de precisão, de saberes absolutos, torna-se uma mera ferramenta preditiva, cujo único objeto é confirmar, matematicamente, seus próprios resultados (Feyerabend, 1954). Ferramenta preditiva é como Feyerabend caracteriza a mecânica quântica – sem qualquer espaço para a especulação filosófica, para a criatividade, para a liberdade de pensamento e incapaz de produzir visões de mundo (Feyerabend, 1958). Em outras palavras, é uma mera ferramenta axiomática.

Ao contrário desta postura, Feyerabend defende teorias universais, como a de Newton e Einstein (Feyerabend, 1965; 1970; Velloso; Videira, 2022), pois estas podem

nos mostrar conexões fantásticas e nos levar em constante progresso à descoberta de novas particularidades do mundo, a penetrar em níveis cada vez mais novos do mundo, em relação aos quais os campos agora abandonados ainda podem agir como primeiras aproximações, que são exatas o suficiente para nos possibilitar descobrir erros em nossas concepções; universais o suficiente para responder a todas as perguntas relevantes sobre o universo físico, que antes eram deixadas para a filosofia e suas especulações. (Feyerabend, 1954, p. 24)

E somente estas teorias universais só possuem esta capacidade, pois, são o que Feyerabend denomina como nossas visões de mundo moderna. Isto é, são teorias que não se restringem à precisão, verdades absolutas e/ou correntes filosóficas específicas, mas são adaptáveis o suficiente para que novas descobertas possam ser realizadas e incorporadas, podendo acarretar, inclusive, na modificação da teoria. Ou seja, Feyerabend valoriza aquele tipo de conhecimento que se mostra aberto a críticas, à discussão e que forneça uma representação, uma imagem possível do mundo (Feyerabend, 1954; 1958; 1965; 1970) – exigência também feita por Schrödinger (1948; 1950a; 1952b), vale destacar.

Esta concepção o leva a defender a interpretação para a mecânica quântica proposta pelo físico estadunidense David Bohm (1952c; 1952d; Feyerabend, 1960). Em uma resenha do livro *Causality and Chance in Modern Physics* de Bohm¹¹ (1957), Feyerabend afirma que, além da interessante proposta interpretativa alternativa à Interpretação de Copenhague, o livro possui outras características que devem ser valorizadas, especialmente quando vindas da física:

Embora trate de algumas dificuldades de uma teoria muito especializada da atualidade, a saber, a teoria quântica, o livro ainda deve ser de interesse para muitos não físicos que queiram saber sobre o mundo em que vivemos, bem como sobre as ideias que estão sendo desenvolvidas atualmente para entender esse mundo. Muitas vezes, supõe-se – e a filosofia básica de muitos físicos contemporâneos apoia essa suposição – que, no âmbito das ciências, a especulação e a engenhosidade não podem desempenhar um papel muito importante, pois as teorias físicas são determinadas de forma mais ou menos exclusiva pelos fatos. [...] O livro também mostra que, mesmo agora, é possível apresentar assuntos difíceis de forma interessante e compreensível. Mostra, assim, que a separação, tão frequentemente deplorada, entre as ciências e as humanidades se deve a uma imagem falsa, se não a uma caricatura da ciência. (Feyerabend, 1960, p. 321)

Ou seja, mais do que a própria interpretação, Feyerabend valoriza certas atitudes de Bohm ao elaborar sua alternativa. Essa valorização também se explicita ao abordar o conceito bohriano da complementaridade. Tanto na revisão do livro de David Bohm (1970), quanto no artigo sobre a complementaridade em si (1958), Feyerabend faz questão de destacar um duplo aspecto do conceito. Se, por um lado, Feyerabend admite certo caráter heterodoxo de Bohr, ou seja, durante o processo de elaboração dos princípios da correspondência e complementaridade é permeado daquilo que Feyerabend valoriza (apesar da postura dogmática adotada por Bohr, em especial depois das *Como Lectures*¹²):

¹¹ Livro que possui uma tradução para o português: *Causalidade e acaso na física moderna*, 2015.

¹² *The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory* (1928), também conhecido por *Como Lecture*, é uma forma que se convencionou chamar o artigo onde Bohr apresenta, de maneira mais formal, a Complementaridade. Este nome se deve por sua apresentação nos *Atti del Congresso Internazionale dei Fisici*, em Como – Itália, em setembro de 1927. Vale destacar também que a *Como Lecture* é fruto de uma síntese de 195 folhas manuscritas em dinamarquês, alemão e inglês, contendo quatro caligrafias distintas: Oskar Klein (físico sueco), Margrethe Nørlund Bohr (esposa de Niels Bohr e editora de uma série de seus escritos), a do próprio Bohr, além de uma quarta não identificada (Cf. Bohr, 1985, p. 58). A escrita em conjunto com outras pessoas era algo comum em Bohr. Muitos de seus artigos, principalmente aqueles não publicados originalmente em dinamarquês, foram escritos por Margrethe Nørlund Bohr, assistentes (como ocorreu com o físico holandês Hendrik Anthony Kramers) e Ellen

A ideia de complementaridade pode ser interpretada de duas maneiras diferentes. Ela pode ser interpretada como uma tentativa de fornecer uma imagem intuitiva para uma teoria existente, a mecânica ondulatória, e como um princípio heurístico que orienta pesquisas futuras. Essa interpretação não é dogmática, pois admite a possibilidade de alternativas, e até mesmo de alternativas preferíveis. Um físico que analisa a complementaridade dessa maneira considerará interessante o fato de a teoria quântica ser compatível com um ponto de vista relacional, em que a interação é uma condição necessária para a aplicabilidade significativa de termos que, na física clássica (incluindo a relatividade), são definíveis sem essa referência (Feyerabend, 1960, p. 323-324)

Por outro, ele indica que também é possível interpretar Bohr a partir de uma atitude dogmática:

Mas a ideia de complementaridade de Bohr também pode ser interpretada de uma maneira diferente. Ela pode ser interpretada como um princípio filosófico básico que é incapaz de ser refutado e com o qual qualquer teoria futura deve se conformar. O próprio Bohr certamente adotou essa perspectiva mais forte. (Feyerabend, 1960, p. 324)

Apesar do *Back to Bohr* ocorrer quase 10 anos após a publicação do artigo anteriormente citado, já é perceptível no final da década de 1950 e início dos 1960 que Feyerabend, mesmo destacando as divergências entre as suas ideias e aquelas do físico dinamarquês, valoriza atitudes heterodoxas no desenvolvimento do conhecimento físico. Por heterodoxo, entende-se uma atitude que nem restringe o conhecimento físico a uma corrente filosófica específica, nem recua diante da necessidade de remodelação (e até mesmo abandono) de conceitos físicos considerados básicos, como a causalidade.

Em *On the quantum theory of measurement*¹³ (1957a), artigo mais técnico do ponto de vista matemático, Feyerabend discute detalhadamente o processo de medição dos fenômenos quânticos e apresenta uma alternativa à interpretação de Copenhague, em especial à ideia de medição de Heisenberg (Kuby; Fraser, 2022). Tendo como base a evolução unitária¹⁴

Adler Bohr (mãe de Niels Bohr) (Kojevnikov, 2020). Kojevnikov narra, com base em cartas dos envolvidos, que era comum Bohr andar pelo cômodo, enquanto falava suas ideias para a pessoa responsável pela escrita. Algo que surtiu diversos desentendimentos, pois frequentemente Bohr não ficava satisfeito com o resultado (Cf. Kojevnikov, 2020, p. 18).

¹³ Este artigo possui uma versão em alemão – *Zur Quantentheorie der Messung*, publicado na *Zeitschrift für Physik* pouco tempo depois da versão inglesa. Apesar do conteúdo ser, em linhas gerais, o mesmo, Feyerabend faz modificações significativas no texto. A parte matemática (que é bem extensa na versão inglesa) é simplificada e todas as citações a Karl Popper são excluídas.

¹⁴ A evolução unitária pode ser caracterizada como uma evolução determinística de um sistema quântico, ou seja, dada uma condição inicial $|\varphi\rangle$ para o vetor de

e uma concepção estatística dos sistemas quânticos, o objetivo de Feyerabend é (1) realizar a medição sem a utilização das noções de salto quântico e o chamado corte de Heisenberg¹⁵; (2) mostrar que o nível clássico não é algo distinto do quântico, mas apenas um caso particular seu¹⁶ (Feyerabend, 1957a). Dos pontos (1) e (2), chegamos ao que é mais interessante para o presente artigo:

A teoria ‘exata’ [Interpretação de Copenhague] omite [as possíveis explicações para o problema da medição], não com base em um argumento racional, que não negue a existência [do problema] e que tente explicar por que podem ser negligenciadas; ela simplesmente as omite, dá um nome a esse procedimento (‘redução do pacote de ondas’; ‘corte’; ‘decisão’; ‘salto quântico’) e supõe que isso equivale a ter descoberto um novo tipo de processo físico. [...] Se quisermos entender por que isso é feito, devemos lembrar que a interpretação atual da mecânica quântica contém a seguinte tese filosófica: a mecânica quântica é uma ferramenta para produzir previsões, e não uma teoria para descrever o mundo, ao passo que os termos clássicos têm referência factual direta. Essa tese implica, é claro, que o nível clássico e o nível quântico sejam totalmente distintos e que a transição de um para o outro não possa ser analisada com mais profundidade. (Feyerabend, 1957a, p. 216-217)

Mesmo elaborando uma alternativa interpretativa que não abandona completamente a Interpretação de Copenhague, Feyerabend critica as

estado no tempo $t=$, a evolução determina $|\varphi(t)\rangle$ para qualquer tempo $t>$, o que implica que a evolução do estado seja reversível (Bellac, 2006). A descrição contínua, determinista e reversível da evolução unitária tem implicações ontológicas para a mecânica quântica, pois implica que dado um estado inicial bem definido, seu estado evoluído para qualquer tempo pode ser definido (Pessoa Jr, 2003). Há duas formas bem distintas de descrever a evolução de um estado quântico: a dita “inevitável” (Bohr, 1931) da interpretação de Copenhague (indeterminista) e a proposta por Schrödinger (determinista) que, vale ressaltar, é equivalente em termos de resultados físico ao modelo de Heisenberg (Bellac, 2006).

15 Geralmente, a mecânica quântica é considerada a teoria mais fundamental para a compreensão dos fenômenos microscópicos. Neste sentido, espera-se que, a partir da mecânica quântica, seja possível derivar os fenômenos macroscópicos. No entanto, não é isto que ocorre. Há incongruências entre o formalismo quântico e clássico, de maneira que não é possível de uma teoria transitar para a outra, e vice-versa. Esta incompatibilidade é o que, em linhas gerais, denomina-se por corte entre o macro e micro, ou corte de Heisenberg (Hance; Hossenfelder, 2022).

16 Essa argumentação de Feyerabend é bastante similar ao que o filósofo da ciência Michal Stöltzner (2003) chama de indeterminismo de Viena. De acordo com o filósofo, é possível identificar nos físicos austríacos do final do século XIX e início do XX (como Mach, Boltzmann, Exner, Frank, Schrödinger, dentre outros) posicionamento bastante similares. Dentre estes posicionamentos, está a concepção de que a causalidade como princípio físico é uma questão de convenção, algo historicamente estabelecido, não sendo, portanto, algo imprescindível para o desenvolvimento do conhecimento físico. Outro elemento importante é a relação entre causalidade e acausalidade, para estes físicos austríacos ambas as concepções são como faces de uma mesma moeda, não antagônicas. Para mais informações sobre o indeterminismo de Viena (Cf. Stöltzner 2003).

chamadas “leis do silêncio¹⁷” e, assim como Schrödinger, aponta a insuficiência da teoria quântica. A teoria física, repleta de conceitos que nada explicam e que servem para omitir estas mesmas insuficiências, leva o físico e filósofo austríaco a novamente apontar para a necessidade de que a física não seja apenas um instrumento matemático, mas que nos ajude a compreender o mundo através da elaboração de visões de mundo. Apesar de toda a matemática utilizada no artigo, Feyerabend nos informa, já em 1957, que a carência da mecânica quântica não é de cerne tecnológico, de precisão e até mesmo matemático. Ao não abandonar completamente a Interpretação de Copenhague e propor uma alternativa por dentro de seu léxico, Feyerabend parece indicar que a insuficiência da teoria quântica se encontra em um nível mais fundamental.

Considerações Finais

Retomando a questão inicial do artigo sobre o lugar que a mecânica quântica ocupa no pensamento de Feyerabend, do que foi dito é possível perceber que entre 1948 e 1970 o tema era central para o autor de *Contra o Método*. Através da mecânica quântica, Feyerabend discorria sobre assuntos que lhes foram caros por toda sua vida – realismo, pluralismo, historicidade dos conceitos, relação entre o empírico e teórico etc. Apesar de nebulosa até mesmo para cientistas especialistas, a mecânica quântica foi para Feyerabend uma espécie de amalgama daquilo que ele considerava interessante e enfadonho, heterodoxo e dogmático, plural e especializado. Através do diálogo (nem sempre amistoso) com as comunidades física e filosófica, Feyerabend foi capaz de fazer da mecânica quântica uma espécie de laboratório para suas ideias. A partir de temas como o problema da medição, o papel de visões de mundo no conhecimento físico, a historicidade

17 O filósofo da ciência Arthur Fine (1996) denomina como “lei do silêncio” um conjunto de conceitos que fazem parte do arcabouço teórico da mecânica quântica, cuja definições são consideradas insuficientes, circulares ou até mesmo inexistentes. Dentre esses conceitos estão corte entre macro e micro, colapso da função de onda, salto quântico etc. Para Fine (1996), Balsas e Videira (2013) essa lei do silêncio é uma espécie de “norma”, de valor estatutário, sobre questões que não devem ser formuladas, pois considera-se que a teoria quântica está correta necessitando, apenas, sua aplicação. De acordo com Balsas e Videira: “*Philosophers – if so disposed – were entitled to peruse over metaphysical points, bearing in mind, however, that there was absolutely nothing lacking or amiss as far as the physics of the theory’s foundations were concerned. One consequence of this being that all young (or even not so young) physicists willing or merely inclined to peering over the conceptual basis of QM were frowned upon by their peers and their superiors, thereby being often constrained to forgo a career in physics and pursue instead one in philosophy or history of science. The end result of all this, within the ranks of international physics, is the overall consensus about which ‘philosophers speculate, physicists calculate’*” (Balsas; Videira, 2013, p. 252)

daquilo considerado como compreensível, Feyerabend foi capaz de extrair de uma área extremamente especializada (e matematizada) considerações que estão na base de seu pensamento filosófico a partir da década de 1970 – em especial em *Contra o Método* (1975) e *Adeus à Razão* (1987).

O físico-filósofo austríaco foi capaz de mostrar, desde os anos iniciais de sua vida profissional, que a mecânica quântica nem era uma terra arrasada (como defendiam setores da filosofia e da física da época, mais próximos do mecanicismo de Newton), nem era o ápice do desenvolvimento físico (como professavam – e ainda professam – especialistas), mas uma área que, além dos possíveis debates a partir de suas controvérsias, exhibe um problema crônico da ciência moderna: sua incapacidade de produzir visões de mundo e seu afastamento da sociedade – afastamento que nos dias atuais se manifesta no ainda mais perigoso negacionismo. Apesar de identificar os sintomas na mecânica quântica, Feyerabend foi capaz de identificar que o problema estava em um âmbito maior: a crise na mecânica quântica é, na verdade, um desdobramento da crise na ciência moderna. Como afirma o próprio físico-filósofo:

Visões de mundo também respondem a perguntas sobre origens e propósitos que, mais cedo ou mais tarde, surgem em quase todos os seres humanos. As respostas para essas perguntas estavam disponíveis para Kepler e Newton e foram usadas por eles em suas pesquisas; elas não estão mais disponíveis hoje, pelo menos não nas ciências. (Feyerabend, 1994, p. 146)

As visões de mundo seriam, portanto, parte obrigatória das teorias científicas, cumprindo a necessária tarefa de esclarecer, para todo e qualquer ser humano, o propósito mais importante da ciência.

Agradecimentos

Rafael Velloso agradece a bolsa de doutorado concedida pela Capes; Antonio Augusto Passos Videira agradece as bolsas de pesquisa concedidas pelo CNPq (303507/2022-5) e pela UERJ (Prociência).

Referências

- ABRAHÃO, Luiz. Henrique de Lacerda. Feyerabendiana (1951): tradução e comentários. *Tradução em revista*, Rio de Janeiro, v. 2019, p. 13-38, 2019.
- ABRAHÃO, Luiz. Henrique de Lacerda. Koyré e a “epistemologia histórica” de Kuhn e Feyerabend. In: KOYRÉ, Alexandre (org.). *História e Filosofia das Ciências*. Belo Horizonte: Fino Traço, 2015b, v. 1, p. 203-235.

ABRAHÃO, Luiz. Henrique de Lacerda. *O pluralismo global de Paul Feyerabend*, 351 f. Tese de Doutorado (Filosofia), Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015a.

BALSAS, Álvaro; VIDEIRA, A. Luciano L. Truth by fiat: the Copenhagen interpretation of quantum mechanics. *Revista Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2. 2013, p. 248-266.

BELLAC, M. L. *Quantum physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.

BOHM, David. A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden variables”, I. *Physical Review*, n. 2, v. 85, 1952a, p. 166–179.

BOHM, David. A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden variables”, II. *Physical Review*, n. 2, v. 85, 1952b, p. 180–193.

BOHM, David. *Causalidade e acaso na física moderna*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2015.

BOHR, Niels. *Atomtheorie und Naturbeschreibung*. Berlin: Springer, 1931.

BOHR, Niels. Foundations of quantum Physics I (1926 - 1932) (=Collected Works, vol. 6), ed. J. Kalckar. Amsterdam: North Holland, 1985.

CAMILLERI, Kristian. Constructing the myth of the Copenhagen interpretation. *Perspectives on Science*, v. 17, 2009, p. 26 – 57.

CASSIN, Barbara *et al.* *Dictionary of untranslatables: a philosophical lexicon*. Princeton: Princeton University Press, 2014.

CHEVALLEY, Catherine. Why do we find Bohr obscure? *In: GREENBERGER, D.; REITER, W.L.; ZEILINGER, A. Epistemological and Experimental Perspectives on Quantum Physics*. Vienna Circle Institute Yearbook, v. 7. Dordrecht: Springer, 1999, p. 59-73.

FEYERABEND, Paul Karl. Complementarity. *In: GATTEI, Stefano.; AGASSI, Joseph. (org.), Physics and Philosophy: Philosophical Papers*, vol. 4. New York: Cambridge University Press, [1958a] 2016, p. 49–73.

FEYERABEND, Paul Karl. Der Begriff der Verständlichkeit in der modernen Physik. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 57, 1948, p. 67–69.

FEYERABEND, Paul Karl. Eigenart und Wandlungen physikalischer Erkenntnis. *Physikalische Blätter* v. 21, 1965, p. 197.

FEYERABEND, Paul Karl. Has the scientific view of the world a special status compared with other views? IN: HILGEOORD, Jan (org.), *Physics and our view of the world*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, p. 135 – 148.

FEYERABEND, Paul Karl. In Defence of classical physics. In: GATTEI, Stefano.; AGASSI, Joseph. (org.), *Physics and philosophy: Philosophical papers*, vol. 4. New York: Cambridge University Press, [1970] 2016, p. 239–267.

FEYERABEND, Paul Karl. *Matando o Tempo: uma autobiografia*. São Paulo: Editora UNESP, 1996.

FEYERABEND, Paul Karl. On the quantum-theory of measurement. In: KÖRNER, Stephan. (org.), *Observation and interpretation*. Proceedings of the Ninth Symposium of the Colston Research Society held in the University of Bristol. Bristol: Academic Press, April 1st-4th, 1957 (Colston papers), 1957, p. 121–130.

FEYERABEND, Paul Karl. Physics and ontology. In: GATTEI, Stefano.; AGASSI, Joseph. (org.), *Physics and philosophy: Philosophical Papers*, v. 4. Cambridge: Cambridge University Press, [1954] 2016, p. 9–24.

FEYERABEND, Paul Karl. Professor Bohm's philosophy of nature. *The British Journal for the Philosophy of Science*, v. 10, n. 40, 1960, p. 321–338.

FEYERABEND, Paul Karl. The concept of intelligibility in modern physics. Tradução por Daniel Kuby e Eric Oberheim. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, v. 57, [1948] 2015, p. 64–66.

FEYERABEND, Paul Karl. Eigenart und Wandlungen physikalischer Erkenntnis. *Physikalische Blätter*, v. 21, n.5, p. 197–203. Tradução: Rafael Velloso: Peculiaridade e mudança no conhecimento físico. Em *Construção: arquivos de epistemologia histórica e estudos de ciências*, Rio de Janeiro, n. 11, 2022, p. 86 – 94.

FINE, Arthur. On the interpretation of Bohmian mechanics. In: CUSHING, J. T.; FINE, Arthur.; GOLDSTEIN, S. *Bohmian mechanics and quantum theory: An appraisal*. Dordrecht: Springer, 1996, p. 231-250.

FRANK, Philipp. Why do scientists and philosophers so often disagree about the merits of a new theory? *Reviews of Modern Physics*, v. 13, n. 3. p. 171 – 175, 1941.

GINGRAS, Yves. What did mathematics do to physics? *History of Science*, v. 39, n. 4, p. 383-416, 2001.

HAHN, Hans; NEURATH, Otto; CARNAP, Rudolf. A concepção científica do mundo – O Círculo de Viena. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 10, 1986, p. 5-20.

HANCE, Jonte R; HOSSENFELDER, Sabine. What does it take to solve the measurement problem? *J. Phys. Commun.*, n. 6, 2022.

Kojevnikov, Alexej. *The Copenhagen Network: The birth of quantum mechanics from a postdoctoral perspective*. Heidelberg: Springer, 2009.

PESSOA JR, Osvaldo. *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

PRESTON, John. *Feyerabend: Philosophy, science, and society*. Cambridge: Polity Press, 1997.

SCHRÖDINGER, Erwin. Are there quantum jumps? Part I. *British Journal for the Philosophy of Science*, v. 10, n. 3, 1952a, p. 109–123.

SCHRÖDINGER, Erwin. Are there quantum jumps? Part II. *British Journal for the Philosophy of Science*, v. 11, n. 3, 1952b, p. 233–242.

SCHRÖDINGER, Erwin. Die Besonderheit des Weltbilds der Naturwissenschaft. *Acta Physica Austriaca*, v. 1, n. 3, 1948b, p. 201–245.

SCHRÖDINGER, Erwin. *What is life? And other scientific essays*. New York: Doubleday, 1959.

STÖLTZNER, Michael. *Causality, realism and the two strands of Boltzmann's legacy (1896-1936)*, 2003, 355 f., Tese de Doutorado. (Filosofia), Fach Philosophie, Universität Bielefeld, Bielefeld.

VELLOSO, Rafael; Videira, A. A. P. A indissociabilidade entre física e visão de mundo segundo Paul K. Feyerabend. *Principia*, Florianópolis, v. 26, n. 3, 2022, p. 509 – 537.

VIDEIRA, Antonio A. Passos. *A inevitabilidade da filosofia na ciência natural do século 19: o caso da física teórica*. Ijuí: Editora Unijuí, 2013.