

Zulena dos S. Silva

O PROBLEMA DA CAUSALIDADE NA INTERPRETAÇÃO DE BOHR DA MECÂNICA
QUÂNTICA SOB A ÓTICA DE HUME

Dissertação de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Orientador: Dr. Luiz Pinguelli Rosa

Rio de Janeiro

2015

S586p

Silva, Zulena dos Santos

O Problema da Causalidade na Interpretação de Bohr da Mecânica Quântica sob a Ótica de Hume / Zulena dos Santos Silva. -- Rio de Janeiro, 2015. 165 f.

Orientador: Luiz Pinguelli Rosa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Decania do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, 2015.

1. O Problema da Causalidade. 2. Argumentos de Hume. 3. Teoria Quântica. 4. Nova Antinomia. 5. Teoria do Conhecimento. I. Pinguelli Rosa, Luiz, orient. II. Título.

A meu querido e amado filho, Hugo, dedico estas páginas na esperança de que lhe inspire a busca de conhecimento, e a reconhecer este como um valor para a existência. É sempre saber que o conhecimento pode ficar de mãos dadas com o afeto: com amor escrevo essas palavras para ele.

Ao meu muito querido sobrinho, Lucas, também com carinho essas palavras como estímulo para sua reflexão sobre o mundo, e para ter o conhecimento como norte em sua vida, reconhecendo-o como um patrimônio humano.

E para ambos lembrarem que o esforço requerido para o conhecimento não nos relega à servidão, antes é expressão de liberdade.

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. Luiz Pinguelli Rosa**, em especial, todo meu carinho, admiração e apreço, por sua incomum receptividade a novas ideias, seu apoio para o desenvolvimento dessa pesquisa, pelas aulas de Física e conversas que me orientaram o aprendizado de conceitos significativos para o escopo da pesquisa. Essas palavras não são suficientes para demonstrar toda minha gratidão por esse feito.

Ao **Prof. Dr. Francisco Caruso** por toda atenção dedicada, o que proporcionou estímulo para prosseguir. As suas indicações e seus empréstimos, a mim, de diversas obras de Filosofia da Física, foram, sem dúvida, de considerável importância para a realização desta tese. Suas aulas e esclarecimentos de Física foram fundamentais para meus estudos. Também a ele sem palavras suficientes para agradecer.

Ao **Prof. Dr. Carlos Koehler** com quem muito aprendi sobre História das Ciências, cujas aulas foram enriquecedoras e motivadoras para os estudos realizados. Agradeço por toda atenção dedicada a mim nestes anos no programa de HCTE.

Ao **Prof. Dr. Oscar Matsura** por sua gentileza e atenção todas as vezes que conversamos e trocamos ideias sobre as ciências, bem como sobre Filosofia da Ciência.

Ao **Prof. Dr. Antônio Augusto Videira** por esclarecimentos em aulas de Introdução à Filosofia da Ciência, bem como por indicações preciosas de leituras para minha pesquisa.

Ao **Prof. Dr. Ricardo Kubrusly** por suas ideias inquietantes, as quais promovem reflexão constante, dúvidas e mais dúvidas, movendo assim pensamentos atentos.

Ao **Prof. Dr. Francisco Dória** pelo incentivo a “ideias doidas”, o que muito estimula a criatividade e a ousadia para pensar.

À **Prof.^a Dra. Nadja Paraense** pelas aulas de Historiografia, relevantes não apenas para os estudos de História da Ciência, mas também para os de Filosofia da Ciência.

Ao **Prof. Dr. José Carlos** por diversas conversas, em que mesmo como opositor, suas ideias foram significativas para manter o pensamento aberto a novos conhecimentos.

Ao **Prof. Dr. Agamenon**, por suas perguntas instigantes quando da exposição de minhas ideias sobre o tema deste trabalho, por ocasião do *Scientiarum Historia* III.

Em memória, ao **Prof. Dr. Saul Fucks** pela receptividade.

Aos prof.s com quem pude tornar mais precisos meus estudos, aqui no programa de HCTE: **Prof. Dr. Alexandre Lyra** (Física, OV), **Prof. Dr. Flávio** (Biologia, UFRJ), **Prof. Dr. José Simões** (Física, UFRJ).

Ao **Prof. Dr. Roberto Horácio** (Filosofia, UFRJ, IFCS) pelas atenciosas conversas sobre Filosofia, relevantes para lembrar a necessidade de rigor nos trabalhos acadêmicos. E devo a ele ter conhecido as interpretações do Sr. Barry Stroud, fundamentais para meus estudos sobre Hume e Filosofia.

Aos **colegas** com quem convivi neste programa de HCTE na busca de conhecimento, e me permito não citar nomes aqui pelo risco da memória falhar quanto a todos que merecem a lembrança. Mas preciso lembrar dos artigos e informações passadas por **Roberto Pimentel**, interessantes e úteis para os estudos de História e Filosofia da Ciência. E necessário destaque para o saudoso **Paulo Strauch**, quem me contagiava com seu entusiasmo pelos estudos das técnicas e das ciências.

A **Fátima e Daniele**, secretárias na COPPE, pela recepção solícita e simpática nas vezes que precisei de atendimento para orientação com o Prof. Pinguelli.

À **equipe da Secretaria** do Programa de HCTE, da UFRJ, pelos préstimos ao longo dos anos, e à **Prof.^a Regina Dantas**, Coordenadora do programa de HCTE, pela atenção.

Ao meu amigo **Rafael Juliani**, com quem debati, divergindo ou concordando, sobre diversos assuntos relacionados aos nossos temas de pesquisa. Ao amigo **Felipe Abraão**, com quem pude conversar sobre as ciências e questões filosóficas. Ao também amigo **Rodolfo Petronio** (Unirio), com quem pude manter conversas sobre idéias relativas à minha tese. Ao amigo **Felipe Oliveira** (Filosofia, UFRJ) por todo carinho e trocas de ideias nas vezes que precisei ao longo desses anos de realização dessa pesquisa. A **José Luis Couto** (*College*, Canadá), amigo com quem pude conversar sobre temas de minha pesquisa. A **Thiago Luis**, pelo empréstimo generoso de livro precioso de Filosofia, apropriado a reflexões acerca da argumentação humeana, todo meu apreço.

Aos meus pais, Domilson e Maria Zuleide, por todo incentivo, apoio, compreensão nesses anos em que me dediquei a essa pesquisa. Eles foram e são imprescindíveis, sempre. Com carinho e amor, minha insuficiente gratidão nesta menção.

UFRJ, HCTE: Zulena dos S. Silva

“Sê filósofo, mas, em meio de toda a tua filosofia, não te esqueças de ser homem.”
David Hume

“[...] causalidade não refere-se à dependência lógica; significa dependência de coisas reais de uma outra natureza. O problema do que isto significa em geral não é simples.”*

Max Born

“– (...) Sabe o que é filósofo, Visconde?”

O Visconde sabia, mas fingiu não saber. A boneca explicou:

– É um bicho sujinho, caspento, que diz coisas elevadas que os outros julgam que entendem e ficam de olho parado, pensando, pensando.”

Memórias da Emília, de Monteiro Lobato

“A experiência é um farol ligado para trás.”

Pedro Nava

“Sinto-me nascido a cada momento// Para a eterna novidade do mundo...”

Alberto Caeiro

* “[...] *causality does not refer to logical dependence; it means dependence of real things of nature on one another. The problem of what this means is not simple at all.*” Max Born

RESUMO

SILVA, Zulena dos S.. **O Problema da Causalidade na Interpretação de Bohr da Mecânica Quântica sob a ótica de Hume**. Dissertação de Doutorado em História das ciências e das Técnicas e Epistemologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

O que se pretende mostrar nesta tese é que a Teoria Quântica (TQ) revela uma abordagem física compatível com a reflexão filosófica de David Hume sobre a causalidade. Segundo Hume, causalidade não pode ser percebida como impressão que a mente humana recebe ou apreende pelos sentidos – uma vez que a conjunção entre fenômenos, como se causa e efeito fossem um do outro, é apenas expectativa resultante do hábito –, nem ocorre realmente na natureza, não sendo, portanto, um dado ou variável escondida ainda a ser precisamente identificada e demonstrada por uma teoria científica e filosófica. Ver-se-á então, que os seus argumentos críticos à causalidade encontram exemplo no fenômeno quântico da “não localidade”, ao qual o estudo aqui se reportará. Para esse intento, situa-se o problema da causalidade dentre as questões da Teoria do Conhecimento, em Filosofia: o problema sobre a possibilidade de conhecimento da realidade, se o acesso a esta é possível e como, se mediado ou não por arcabouço teórico, e também questões quanto ao método, e a possibilidade da causalidade situada entre essas, uma vez que tangencia a questão sobre por que a realidade ser o que é e como é. Com isso, apresenta-se a argumentação de Hume, à qual se seguem contra-argumentos de Mário Bunge, e contrária a esses, por sua vez, expõe-se a defesa à perspectiva de Hume por Barry Stroud. Essas discussões constituem a abordagem filosófica do problema da causalidade, que também será considerada em discussões acerca de sua possibilidade na Física, conforme propõe Max Born. Então, causalidade aparece como tema instigante na Teoria da Relatividade Geral de Einstein, uma vez nesta o fenômeno do Tempo pensado como curvo. Aliás, a partir da argumentação crítica de Hume à causalidade essa questão pode ser pensada em relação ao tempo: se causalidade não é factível, como pode ser entendida a sequência temporal? Por fim, e objetivo aqui, exposição das características da Teoria Quântica no seu nascedouro conforme Interpretação de Copenhagen, sustentada por Niels Bohr. Disso decorrem controvérsias, dentre as quais se destacam a crítica do EPR – em artigo dos físicos Einstein, Podolsky e Rosen – e a oposição de Karl Popper à TQ. Propõe-se nesta tese uma revisão dessa posição de Popper, mostrando que sua crítica à TQ é problemática. E mediante a visão de Bohr, ressalta-se a argumentação de Hume como fazendo sentido para entendimento do fenômeno quântico da não localidade. Assim, conclui-se com a apresentação de uma Nova Antinomia, considerando-se a divergência entre a concepção de Bohr e a de Einstein sobre o fenômeno quântico.

Palavras-chave: Causalidade. Teoria Quântica. Antinomia.

ABSTRACT

SILVA, Zulena dos S.. **O Problema da Causalidade na Interpretação de Bohr da Mecânica Quântica sob a ótica de Hume**. Dissertação de Doutorado em História das ciências e das Técnicas e Epistemologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

What intends to show in this thesis is that quantum theory reveals a physical approach compatible with the philosophical reflection of David Hume on causality. According to Hume, causality cannot be perceived as impression that the human mind perceives or receives through the senses – as the conjunction of phenomena as cause and effect were to each other, is only resulting expectation of habit – or actually occurs in nature and is not therefore a hidden variable data or yet to be precisely identified and demonstrated by a scientific and philosophical theory. View will be then that the critical arguments of this causality are example in the quantum phenomenon of "non-locality", on which the study will report here. For this purpose, lies the problem of causality among the issues of Theory of Knowledge in Philosophy : the problem of the possibility of knowledge of reality, if access to this is possible and how, if mediated or not by theoretical framework, and also questions as to the method, and the possibility of causality situated between these, since the question touches on why the reality being what it is and how it is. Thus, it exposes to Hume's argument, which following Mario Bunge's counterarguments, and contrary to these, we present the defense to Hume perspective by Barry Stroud. These discussions form the philosophical approach to the problem of causality, which will also be considered in discussions about their possibility in Physics, as proposed by Max Born. So causality appears as thought-provoking theme in Einstein's Theory of General Relativity, because the phenomenon "time" is thought as curved. In fact, from the critical argument Hume causality that question can be thought of in relation to time: if causality is not feasible, can be understood as the temporal sequence? Finally, and purpose here, exposure of Quantum Theory features in its birth as Copenhagen Interpretation, supported by Niels Bohr. That controversies arise, among which stand out the critique of EPR - in Article physicists Einstein, Podolsky and Rosen - and too an opposition by Karl Popper to TQ. It is proposed in this thesis a review of this Popper's position, showing that his criticism of TQ is problematic. And by the sight of Bohr, it emphasizes Hume's argument as making sense for understanding the quantum phenomenon of non-locality. So concludes with the presentation of a new antinomy, given the divergence between the interpretation of Bohr and Einstein on the quantum phenomenon.

Keywords: Causality. Quantum Theory. Antinomy.

RÉSUMÉ

SILVA, Zulena dos S.. **O Problema da Causalidade na Interpretação de Bohr da Mecânica Quântica sob a ótica de Hume**. Dissertação de Doutorado em História das ciências e das Técnicas e Epistemologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Qu'est-ce l'intention de montrer dans cette thèse est que la théorie quantique révèle une approche physique compatible avec la réflexion philosophique de David Hume sur la causalité. Selon Hume, la causalité ne peut être perçue comme l'impression que l'esprit humain perçoit ou reçoit par les sens – que la conjonction de phénomènes comme cause à effet ont été à l'autre, ne est attente de habitude résultant – ou effectivement produit dans nature et ne est donc pas une donnée variable cachée ou encore être précisément identifiés et démontrés par une théorie scientifique et philosophique. Voir sera alors que les arguments critiques de cette causalité sont par exemple dans le phénomène quantique de "non-localité", sur laquelle l'étude rendra compte ici. A cet effet, se trouve le problème de la causalité entre les problèmes de théorie de la connaissance dans la Philosophie: le problème de la possibilité de la connaissance de la réalité, si l'accès à cela est possible et comment, si la médiation ou non par le cadre théorique, et aussi des questions quant à la méthode, et la possibilité de causalité entre ces situés, depuis que la question touche à la raison pour laquelle la réalité étant ce qu'elle est et comment il est. Ainsi, il expose à l'argument de Hume, qui, après des contre-arguments Mario Bunge, et contrairement à ceux-ci, nous présentons à la défense de Hume perspective par Barry Stroud. Ces discussions constituent l'approche philosophique au problème de la causalité, qui sera également prise en compte dans les discussions sur leur capacité Physique, tel que proposé par Max Born. Donc, la causalité apparaît comme thème de réflexion dans la Théorie d'Einstein de la Relativité Générale, que cette fois le phénomène considéré comme courbe. En fait, à partir de l'argument de Hume de causalité critique cette question peut être considérée en fonction du temps: si la causalité est impossible, peut être comprise comme la séquence temporelle? Enfin, et le but ici, l'exposition de la Théorie Quantique dispose de sa naissance comme Interprétation de Copenhague, soutenu par Niels Bohr. Ce naissent des controverses, parmi lesquelles se détachent la critique de l'EPR - à l'article physiciens Einstein, Podolsky et Rosen - et combattue par Karl Popper à TQ. Il est proposé dans cette thèse un examen de la position de cette Popper, montrant que sa critique de TQ est problématique. Et à la vue de Bohr, il met l'accent sur l'argument de Hume comme faisant sens pour comprendre le phénomène quantique de la non-localité. Ainsi se termine par la présentation d'une nouvelle antinomie, compte tenu de la divergence entre entre la conception de Bohr et Einstein sur le phénomène quantique.

Mots-clés: Causalité. Théorie Quantique. Antinomie.

1 INTRODUÇÃO	11
2 A CRÍTICA DE HUME À CAUSALIDADE	25
2.1 EXPOSIÇÃO SOBRE O PROLEMA DA CAUSALIDADE A PARTIR DA CRÍTICA DE HUME	26
2.2 ANÁLISE DE M. BUNGE DIVERGENTE DA PERSPECTIVA DE HUME E OBSERVAÇÕES EM DEFESA DA CRÍTICA DE HUME À CAUSALIDADE	38
2.3 PERTINÊNCIA DE HUME, SEGUNDO BARRY STROUD	56
3 A CAUSALIDADE NA FÍSICA	64
3.1 CAUSALIDADE: DEFINIÇÕES POR MAX BORN	65
3.2 CAUSALIDADE EM OUTRO SENTIDO? A FÍSICA DE NEWTON	73
3.3 A PRESSUPOSIÇÃO DA CAUSALIDADE COMO CONTINUIDADE	83
3.3.1 O caso da Mecânica dos Meios Contínuos	83
3.3.2 O caso dos Campos Eletromagnéticos	87
3.4 A TERMODINÂMICA: UM CASO DE ANTECEDÊNCIA	92
4 CAUSALIDADE E TEMPO: QUESTÕES A PARTIR DA TEORIA DA RELATIVIDADE DE EINSTEIN	101
4.1 LINHAS GERAIS SOBRE A TRG, A PARTIR DE MAX BORN	102
4.2 CAUSALIDADE E TEMPO: A TRG	111
5 A TEORIA QUÂNTICA E A “NÃO-LOCALIDADE” COMO EXEMPLO FÍSICO PARA A CRÍTICA DE HUME À CAUSALIDADE	121
5.1 DOMÍNIO DE QUESTÕES CARACTERÍSTICAS DA TQ	123
5.2 CRÍTICAS ESPECÍFICAS À TQ E À “NÃO CAUSALIDADE” A PARTIR DE CASOS FÍSICOS	134
5.2.1. O EPR (Einstein, Podolsky e Rosen): Descrição da Realidade Física	134
5.2.2 Argumentação de Karl Popper em oposição à Interpretação de Copenhagen	138
5.3 REVISÃO DA CRÍTICA DE K. POPPER À TQ: A ARGUMENTAÇÃO DE HUME RESISTE	143
5.4 CONSIDERAÇÕES DE NIELS BOHR SOBRE O PROBLEMA DA CAUSALIDADE	149
6 UMA NOVA ANTINOMIA OU DA INDECIDIBILIDADE ENTRE O EPR E A INTERPRETAÇÃO DE BOHR SOBRE A MECÂNICA QUÂNTICA	155
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
REFERÊNCIAS	163

1 INTRODUÇÃO

O tema da causalidade na Física é o que se tem em vista pesquisar, fazendo uma interface da Filosofia com a Física. Podem ser notadas diferenças entre esses conhecimentos no que diz respeito à prática ou procedimento, ao instrumental de investigação; a Física, como outras ciências, volta-se para objetos, fenômenos da realidade, a Filosofia lida com o modo como tal(is) ciência(s) se ocupa(m) com seus objetos ou fenômenos, ou seja, pode-se compreender que a Filosofia reflete sobre o modo de a Física se realizar, e daí buscar saber sobre as conquistas científicas, sobre os sistemas físicos explicativos dos fenômenos da natureza; mediante isso, faz-se a busca pelo(s) significado(s) de conceitos ou ideias pressupostos pela Física, examinando-se a pertinência, alcance ou implicações desse uso.

Por meio de questões filosóficas, a partir da argumentação de David Hume, discorre-se sobre a pressuposição problemática da causalidade e como tal problema se vislumbra na Física. Especificamente, intenta-se demonstrar como a não causalidade pode ser conferida na Física Contemporânea, em um fenômeno peculiar da Teoria Quântica (TQ), qual seja, o fenômeno da “não localidade”. Necessário dizer que serão abordadas as discussões sobre esse fenômeno quando do nascedouro da Teoria Quântica, conforme a Interpretação de Copenhague defendida por Niels Bohr, na seção 5 desta tese.

Para esta introdução, em I, apresenta-se o panorama das investigações da Física, quando do surgimento da TQ. A partir desse resumo, faz-se, em II, uma breve exposição de questões relativas à Teoria Quântica em seu surgimento. Mediante as discussões nesse domínio, em III são ressaltadas questões filosóficas – com o que é feito um esclarecimento acerca do problema do Idealismo, distinguindo-o da questão sobre a interação entre observador e o observado presente na TQ. E em IV, segue-se indicação do problema da causalidade levantado por David Hume, filósofo do século XVII, cujas ideias sustentam interpretação sobre a TQ, tal como pensada na Interpretação de Copenhague, como teoria pertinente, o que se pretende concluir nesta tese. Por fim, em V, apresenta-se a configuração do desenvolvimento de toda pesquisa realizada.

I

A Física, no final do século XIX e início do XX, passa por uma revisão profunda e desconcertante. Um problema para a Física de então era o da intensidade da radiação emitida por um corpo aquecido, ao que diz respeito o problema do “corpo negro”, corpo este que teria a propriedade de absorver a energia que incide sobre ele, reprocessa esta e a reemite, por

propriedades gerais suas – e como observa Toledo Piza, o próprio Universo é um caso de “corpo negro”¹, cujo espectro é conhecido como “radiação de fundo”; mas quanto a isso parece pertinente perguntar: se o próprio Universo foi (como) um “corpo negro”, onde está seu limite, o qual absorve e reemite a radiação que recebe? E do que recebe radiação? A “escuridão” do Universo tem limite? Qual é a matéria desta escuridão? O que é esta matéria? Faz sentido cogitá-la? Qual “experiência”, raciocínio nos permite pensar o Universo como um “corpo negro”? Tudo isso lembra o pensamento de Anaximandro, no VI a. C., na Grécia Antiga, sobre o ilimitado (*apeíron*) como unidade primordial da “geração e corrupção”, “início” e “fim” de todas as coisas – se é que possamos usar, nesta perspectiva cosmológica, tais vocábulos com sentido.

Com o “corpo negro” fica em questão a compreensão da natureza da radiação luminosa – tal corpo em equilíbrio térmico, ou seja, a radiação emitida por ele sendo absorvida pelas paredes de sua cavidade. O problema seria: uma vez que um corpo aquecido, a uma dada temperatura, emite radiação eletromagnética (luz) com certa intensidade, como explicar a intensidade da radiação em função de sua frequência? Em outras palavras: como a intensidade da radiação emitida, a certa temperatura, depende do valor da frequência com que era emitida a radiação?

O físico alemão Max Planck, para explicar o fenômeno do espectro luminoso, considerando o fenômeno das trocas de energia de emissão e absorção, imaginou a hipótese de que a troca de energia seria descontínua e proporcional à frequência da radiação luminosa. Descontínua, essa troca de energia – por assim dizer, um “comportamento” ou “ação” da radiação, ação de emissão e de absorção – leva ao entendimento sobre a “quantidade” de energia desse processo descontínuo, i.e., um “*quantum* de ação”, como que uma “parte” ou “parcela”, como um “pacote” ou “portadora” da troca de energia, que em “partes” configura-se como descontínua.

Einstein considerará que a própria energia da radiação luminosa também é descontínua, e não apenas as trocas de energia; e mostra que a energia luminosa é também proporcional à frequência da onda luminosa. Essa compreensão de que a propriedade da radiação luminosa é descontínua, por “partes” ou quantidades, divergia da teoria eletromagnética clássica, pela qual se concebe a natureza da luz como onda.

Einstein adotou a noção de *quantum* de luz – então denominado fóton – associando a noção de

¹ Cf. DE TOLEDO PIZA, A.F.R.. Mecânica Quântica. In: *Física hoje; uma aventura pela natureza: dos átomos ao universo*. Orgs.: Ivan S. Oliveira e C. L. Vieira. Instituto Ciência Hoje: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2007. p.156.

partícula à de onda eletromagnética. Com isso pode ser entendido que a energia da luz não se distribui continuamente no espaço, mas é constituída de partículas, *quanta* de energia, partículas que se movem “aos saltos”. A luz assim é concebida de maneira dual, constituída de partícula e onda. Contudo, não era aceita essa hipótese de que a luz constituía-se de *quanta*, apenas a concepção de que a troca de energia assim consistia era admitida.

A este ponto do panorama das questões da Física Contemporânea, ao início do século XX, conjuga-se a investigação sobre a estrutura do átomo. Ocupemo-nos brevemente com esse tópico.

J.J. Thomson concebe o átomo esférico, com carga positiva uniformemente distribuída e com elétrons negativos incrustados nela e em movimento. Este modelo foi alterado devido à necessidade de explicar por que partículas alfa sofrem espalhamento para trás (em ângulo menor que 90°), ou caem para fora do átomo, em colisões com estes, o que não se concilia com o modelo de Thomson.

Rutherford então propõe um novo modelo atômico, com a noção de “núcleo atômico”, uma “carga central concentrada em um ponto” e do átomo como “sede de um campo elétrico intenso”.² O que precisa ser explicado agora é como os elétrons “se comportam” em relação ao núcleo. Daí ser imaginado que os elétrons não estão parados no átomo, mas orbitam em torno do núcleo positivo e pesado, atraídos para ele pela força eletromagnética. Mas encontram-se neste segundo modelo de átomo, análogo ao sistema planetário, os seguintes problemas: 1) é instável, pois os elétrons orbitando o núcleo emitem radiação contínua devido a aceleração centrípeta, e, portanto, parecem perder energia – um outro problema subjacente então é sobre se a energia se conserva; 2) é preciso explicar o espectro da radiação emitida em frequências – número de ciclos por unidade de tempo de um fenômeno periódico, como uma sucessão de ondas – e séries definidas para cada tipo de átomo, e pelas séries podem ser identificados os átomos emissores da radiação.

O estranho é que o átomo seja estável, quer dizer, que os elétrons saltem de um nível de energia para outro, mas não colidam com o núcleo atômico e nem perca energia. Quando o elétron salta de uma órbita ou nível de energia para outro, circundando mais próximo do núcleo, o que na verdade ocorre? Perde-se energia? O átomo torna-se instável? Mas se assim fosse, como ainda um átomo seria estável, conservado, encontrado e permanente? Respeitando-se então a conservação de energia, o que se pode entender por esse “comportamento” dos elétrons

²Cf. PINGUELLI ROSA, Luiz. **Tecnociências e humanidades; novos paradigmas, velhas questões**. São Paulo: Paz e Terra, 2005. Vol. 2, p.123.

no circuito do átomo é a questão, ressaltando-se que o átomo não perde sua estabilidade. O que está em jogo é a determinação das órbitas dos elétrons, ou melhor, do estado dos elétrons no átomo.

O terceiro modelo atômico surge com explicações de Bohr, um dos expoentes da “nova” Física, sobre essas questões. Bohr considera as trocas de energia para os níveis de energia dos átomos, níveis estes quantificados: as órbitas dos elétrons correspondem a níveis de energia quantificados e os elétrons mudam de órbita em saltos descontínuos de um nível de energia para outro³ – e isso ocorre conforme a relação entre o elétron e o núcleo por troca de energia, pela emissão e absorção de radiação, que se dá com uma frequência ν . Ele concebe então que os elétrons mudam de órbita aproximando-se progressivamente do núcleo em órbitas menores; o elétron, por assim dizer, “salta” de um nível de energia para outro, o que é denominado “salto quântico”. O que ocorre é que quando o elétron se aproxima do núcleo, emite a diferença de energia de uma órbita para outra; há relação entre a frequência da radiação emitida pelo átomo e os níveis de energia. Em condições experimentais, isto significa que a radiação eletromagnética (luz) emitida por um tipo de átomo equivale à cor que reluz deste processo, i.e., à frequência ou comprimento de onda do elétron.

Essas questões remontam ao panorama de investigações que ocorrem do final do século XIX ao início do XX sobre as “linhas espectrais” e a “dualidade partícula-onda”.

A respeito das linhas espectrais pode-se dizer que estão relacionadas a elementos químicos: a luz ou as linhas espectrais emitidas por um elemento químico aquecido revelam sua identidade, i.e., cada elemento apresenta um padrão para a emissão de luz, seu espectro.

O problema nesse tocante era saber como ocorria a relação entre um elemento químico e suas linhas espectrais. Com a descoberta dos elétrons, as linhas espectrais foram associadas à vibração destes dentro do átomo; a vibração dos elétrons indica um movimento regular que causa a frequência observada.

Vale notar quão estranho também que a transição ou salto do elétron de um nível para outro seja espontâneo, sujeito à probabilidade – sobre isso cabe ver, na seção 5.4 desta tese, a citação de Michel Paty acerca de reflexão de Einstein sobre os *quanta* de luz; bem como causa estranheza também que partícula e onda estejam associados ou interligados; e nesse caso a estranheza reside em como uma coisa e outra estão associadas; o mesmo que perguntar: o que é a dualidade partícula-onda? Além dessas estranhezas mediante as novas perspectivas da Física do início do século XX, pode-se ainda considerar outras situações instigantes, como se segue.

³ PATY, MICHEL. **A física do século XX**. Tradução: Pablo Mariconda. Aparecida, SP: Ideias e Letras, 2009. p. 54.

Faz-se agora descrição breve e grosso modo de um desconcertante experimento, o experimento da dupla fenda, o qual concerne à passagem de uma partícula de cada vez por dois orifícios em um anteparo A seguindo para outro anteparo B: pelo experimento conclui-se que um elétron passa simultaneamente pelos dois orifícios; no mundo macroscópico isto não é observável e plausível, ou uma ou outra possibilidade, pois são mutuamente opostas, aí então excluída uma terceira possibilidade dadas as condições de possibilidades (“terceiro excluído”); mas no mundo subatômico não é assim que se passa, como no caso da partícula no experimento realizado: registram-se as interferências da acumulação de impactos sobre o outro anteparo, o B, na passagem da partícula pelos dois orifícios em A, e no B surge a interferência de dados como se o elétron passasse pelos dois orifícios simultaneamente. As possibilidades mutuamente excludentes na Física Clássica coexistem e interagem entre si no mundo microscópico.

No experimento da dupla fenda, mostra-se que pode não ser uma questão epistemológica, mas ontológica a que abre nova perspectiva teórica, qual seja: não se resume ao nosso conhecimento, à nossa capacidade cognitiva da realidade, mas sim ao próprio mundo físico as explicações da nova Física.

Vale aqui citar Anton Zeilinger:

[...] Ao se tornar cada vez menores, nossos sistemas necessitarão de cada vez menos informação para serem descritos.

Qual o significado disso no que diz respeito ao experimento da dupla fenda? Grosso modo, trata-se de que o *quantum* de luz que atravessa a dupla fenda só é capaz de carregar muito pouca informação. Essa informação pode determinar qual das duas fendas a partícula atravessa ou que se formará uma imagem de interferência. Esse detalhe depende das condições do experimento. Mas, em ambos os casos, a partícula individual não pode carregar a informação suplementar sobre onde ela aterrissará na tela de observação. Isso é puramente casual. Essa informação tampouco pode estar oculta, pois nesse caso seria uma informação carregada pela partícula, o que contradiria nosso princípio de que queremos carregar a menor quantidade de informação possível. A resposta que a partícula individual oferece, quer dizer, o lugar em que ela é encontrada, tem necessariamente de ser, portanto, puramente casual. [...] O acaso na física quântica não é, portanto, um acaso subjetivo, ele existe não porque sabemos demasiado pouco, mas porque ele é objetivo. O que falamos aqui não se trata de nossa ignorância, no sentido de Heisenberg, mas é a própria natureza, antes de ocorrer o evento em particular, que não está de maneira alguma nessas situações. (ZEILINGER, p.55-56)

II

Diante dessas controvertidas ocorrências no domínio quântico, passa a ficar em questão a possibilidade de descrição causal de fenômenos microscópicos; é discutível que a medida das coordenadas do estado quântico de uma partícula obtenha certeza; é plausível, mediante experimentos, que ocorra uma interferência no que se observa por um aparelho de medida, uma

vez que este expressa um parâmetro da física clássica incidindo sobre um sistema microscópico regido pela mecânica quântica. Ocorre assim uma alteração do resultado de uma observação. Eis o problema da medida. O problema é que, se a interpretação ou “método de investigação” interfere no estado do sistema, surge a pergunta, tal como apresentada por Toledo Piza: “O que, então passa a ser um estado no contexto quântico?”⁴ Ou podemos também perguntar: como explicitar o que ocorre no estado quântico? Apenas parece ser explicitada a própria aparição do estado no processo de interferência da investigação sobre o estado, como se este fosse reduzido “para a percepção”, uma redução das ocorrências possíveis e simultâneas dos dados do sistema. E isto é possibilidade da realidade, é ela se manifestando.

Segundo Bohr, é o aparelho de medida que interfere sobre o resultado observado, ou seja, com o aparelho observamos a “redução” do fenômeno a um dos estados que o constitui e que são superpostos; a redução é aleatória e imprevisível, de modo que não observamos todos os componentes do estado quântico, ou mesmo não temos como saber qual dos componentes superpostos será observado. Tudo isso é diferente do suposto na Física Clássica, em que conhecendo-se a massa de um corpo e as forças que atuam sobre ele, considerando-se também seu estado (posição e velocidade) em determinado tempo t , pode-se saber sobre a posição e a velocidade do corpo em qualquer outro instante, passado ou futuro, em relação ao tempo em questão, ou seja, há como definir o estado com suas variáveis – note-se que isso corresponde a uma situação ideal, com conhecimento absolutamente preciso do estado em que o corpo observado está, e em situação real os valores de medidas resultam de condições conturbadas.

Aqui é interessante notar a posição de Von Neumann, outro expoente da teoria quântica, que entende o fenômeno da “redução” como uma ocorrência que se passa na mente do observador. A mente é por assim dizer um aparelho de medida. Nisso está o problema sobre a separação entre o objeto observado e a observação ou o observador. Apesar da questão idealista de ser o mundo real existente por si ou mera ficção do pensamento humano, i.e., sobre se ter ou não sua realidade independente do observador, o caso é que, na concepção de Von Neumann, a mente do observador já apreende e processa o que observa de tal modo que não o capta tal como é, interferindo na observação do observado, ou mais precisamente, percebe uma nova condição do que é observado, por assim dizer, uma “nova entidade”, como mesmo diz: “Primeiro, é inerente e inteiramente correto que a medida ou o processo a ela relacionado de percepção subjetiva é uma nova entidade relativa ao ambiente físico e não reduzida a ele.”⁵ E talvez possamos dizer que o próprio processo mental que afeta a apreensão do observado já é faceta da realidade que

⁴ Cf. DE TOLEDO PIZA, *Mecânica Quântica*. In: **Física hoje**, p.159.

⁵ Von Neumann, *Apud* PINGUELLI ROSA, *Tecnociências...*, Vol. 2, p.147.

podemos conhecer, quer dizer:

[...] a percepção subjetiva nos leva à vida intelectual interior do indivíduo, que é extra-observacional pela sua própria natureza [...] Entretanto, *é uma exigência fundamental do ponto de vista científico o chamado princípio do paralelismo psicofísico, isto é, deve ser possível descrever o processo extrafísico da percepção subjetiva como se ela estivesse em realidade no mundo físico.* [grifo nosso]⁶

Podemos admitir que está em aberto se o paralelismo psicofísico se dá na condição de representação ou substituível por uma teoria mais explícita sobre a relação do observador com o observado e sobre a descrição da realidade. Também em questão se o que é mental consiste em algo para além da matéria, *res cogitans*, como o é para Descartes, ou algo físico interagindo com ou superpondo-se a outro dado físico. Aliás, mesmo que concebamos a interioridade como *res cogitans*, não é necessário que a mente deixe de interagir com ou de se superpor ao dado físico contraposto, o observado como real.

Interpretação possível é a que diz sobre uma “multiplicação” do fenômeno, quer dizer, há uma função de onda para o objeto microscópico A e outra B para o aparelho de medida, o qual é mental, e uma terceira função de onda correspondente às anteriores entrelaçadas em um sistema A+B. Assim, a mediação da observação pelo aparelho, ou pela própria mente, não chega a uma apreensão do objeto em si, em “estado puro”. Uma interpretação idealista, pela qual se pode deduzir que o observador, interferindo no sistema A+B, revela que “a mente teria um papel na produção do mundo físico e o observador teria o ‘direito de escolher’” entre o que pode observar, a componente da função de onda que aparece no aparelho, e o que não o pode⁷, uma vez que o próprio enriquecimento do conhecimento do observador afeta o fenômeno. Ao que parece, o raciocínio desta interpretação é que se o homem produz conhecimento sobre os fenômenos, explicações e instrumentos para tal, o que é de seu arbítrio, então sua interferência sobre os fenômenos escolhe o que é observado.⁸

No entanto, mesmo a possibilidade de o aparelho mental ser unicamente físico e em superposição ao dado físico externo, isto não implica que ocorra “escolha” e produção de ocorrências externas ao mental independentemente das próprias condições externas, físicas. Ser possível a conexão, e como sê-lo, entre um lado e outro das possibilidades do paralelismo psicofísico são questões instigantes.

Sobre a demarcação entre um lado e outro do paralelismo psicofísico – o que permite levantar

⁶ Von Neumann, *Apud* PINGUELLI ROSA, *Tecnociências...*, Vol. 2, p.147.

⁷ Cf. PINGUELLI ROSA, *Tecnociências...*, Vol. 2, p.146.

⁸ Interpretação de F. London e E. Bauer mencionada em PINGUELLI ROSA, *Tecnociências...*, Vol. 2, p. 145-146.

a questão sobre o que é a realidade – são interessantes as afirmações de Von Neumann: “[...] devemos dividir sempre o mundo em duas partes, uma sendo observada e outra observando. [...] A fronteira entre as duas é arbitrária [...] pode ser empurrada arbitrariamente para dentro do corpo do observador.”⁹ A conexão entre a observação e o observado, quer dizer, a relação sujeito-objeto, interliga-se às questões filosóficas sobre se o conhecimento é possível e o que é conhecimento. E pode-se fazer confusão entre uma abordagem e outra do tema da relação sujeito-objeto, misturando-se a perspectiva da Teoria Quântica ao problema do Idealismo. Mas distinguem-se a perspectiva da Teoria Quântica, a qual retoma aquela questão metodológica pelo “problema da medida”, e a do problema filosófico do acesso à realidade, que pode recair no problema do Idealismo.

III

A questão a respeito da conexão entre a observação e o observado, por outras palavras, a relação sujeito-objeto, em última análise pode ser problematizada buscando-se saber se o conhecimento é possível, como é possível, qual a sua origem e o que é conhecimento. Aqui não se pretende antecipar o tema da interação entre observador e observado como aparece na TQ, pela Interpretação de Copenhague, tema que tangencia aquela série de questões epistemológicas. Apenas se propõe aqui abordar brevemente o problema do Idealismo – tal como surge desde o que R. Descartes cogitou em suas primeira e segunda meditações, de sua obra **Meditações metafísicas** –, que concerne à questão sobre poder ser real ou fictício o mundo externo à mente.

No caso da TQ, a interação possível entre observador e observado não diz respeito a isso. No entanto, é preciso ter claro que, quanto ao problema do Idealismo, necessário compreender que, por seu radicalismo, tal interação fica submetida a esse problema, ou seja, a questão acerca da possibilidade do conhecimento, da possibilidade da mente conhecer o que lhe é exterior, se exterior o for, pode ser especulada da seguinte maneira: a própria interação mente-mundo pode não ser real, mas fictícia – e essas questões não são metodológicas, quer dizer, não dizem respeito ao modo de acesso mais preciso à realidade observada, antes é questão sobre a possibilidade do próprio acesso.

Então é necessário perceber a distinção entre a questão do Idealismo e aquela sobre qual ou como empreender a interação mais fidedigna e precisa entre observador e observado, com a qual se ocupará este trabalho quando será abordada a Teoria Quântica, conforme a Interpretação de Copenhague, na seção 5.

⁹ *Apud* PINGUELLI ROSA, **Tecnociências...**, Vol. 2, p.147.

Sobre o radicalismo do Idealismo, vale mencionar a ponderação de Kant. Como indicado, o Idealismo consiste na problematização da possibilidade de conhecimento, quer dizer, a relação entre sujeito e objeto é questionada, de modo que a correspondência entre as representações mentais do sujeito e o objeto exterior não pode ser considerada evidente, e em princípio também não justificável; e qualquer tentativa de explicar como o conhecimento é possível ou qual sua origem pressupõe a noção de verdade como correspondência, ou seja, de relação entre pensamento e mundo externo. Um ceticismo pode ser uma perspectiva que incide sobre essa pressuposição, apregoando-se a impossibilidade de conhecimento ou mesmo ser conjecturada a recaída para o Idealismo. Essa conjectura foi considerada por Kant como “escândalo da filosofia”.¹⁰

Kant, na segunda edição da **Crítica da razão pura**¹¹, define o Idealismo por duas versões: a dogmática de Berkeley, pela qual a existência dos objetos no espaço físico é concebida como falsa e impossível; e a problemática, para a qual a existência dos objetos exteriores é duvidosa e indemonstrável – essa concepção é relativa à primeira meditação, na obra **Meditações metafísicas**, em que Descartes apresenta a dúvida como método de investigação sobre a possibilidade de conhecimento, e também se estende à segunda meditação, em que ele chega a um impasse: como sustentar que o conteúdo do pensamento corresponde a coisas ou acontecimentos de um mundo externo. Enquanto o Idealismo de Berkeley foi considerado refutado por Kant na ‘Estética Transcendental’, na **CRP**¹², a segunda versão do Idealismo exige uma avaliação cuidadosa, pois:

[...] alega apenas a incapacidade em mediante experiência imediata provar uma existência fora da nossa, [este idealismo] é *racional* e está de acordo com uma maneira filosófica de pensar bastante meticulosa, a saber, não permitir juízo decisivo algum sem que antes tenha sido encontrada uma prova suficiente. A prova exigida tem portanto que pôr à mostra que das coisas externas possuímos também *experiência* e não só *imaginação* [...] (KANT, B275)

¹⁰ Cf. KANT **Crítica da razão pura**, Prefácio, XL, nota, edição B.

¹¹ Cf. KANT **Crítica da razão pura**, Livro Segundo: Analítica dos Princípios, edição B.

¹² A ‘Estética Transcendental’ é o capítulo da **CRP** em que se define a Sensibilidade como faculdade de apreender ou intuir sensações mediante as suas formas *a priori*, Espaço e Tempo, estas condições de possibilidade da experiência possível, ou seja, formas que permitem a intuição do fenômeno – intuir é apreensão direta e imediata de um objeto na sua singularidade –, este que é consiste no modo como o dado externo aparece a nós – e Kant não quer defender com isso que não seja possível conhecimento objetivo, pois a **CRP** é um esforço para estabelecer as condições de possibilidade do conhecimento, que como tal é objetivo, tanto no sentido de ser necessário e universal, como no de voltar-se para um dado contraposto externo ao pensamento. O argumento de Kant para rebater Berkeley em suma seria: se o mundo externo é intuído por formas *a priori* da Sensibilidade, condições de possibilidade de sua apreensão, percebemos os fenômenos, o modo como as coisas nos aparecem, ainda que não possamos percebê-las em si mesmas.

É possível insistir-se em perguntar qual a diferença entre o Idealismo de Berkeley e o de Descartes, ou mais precisamente: saber quais os distintos problemas que Kant atribui às reflexões de cada um deles, quando estabelece a distinção entre o Idealismo dogmático, o de Berkeley e o problemático, o de Descartes. Como resposta, pode-se reforçar que a concepção de Berkeley não é necessária – isto é, não é logicamente necessária, pois, usando-se termos de Hume, é plausível conjecturar outra possibilidade sem contradição –, uma vez que se pode postular também o afirmado na ‘Estética Transcendental’, na **CRP**, por Kant: apreendemos fenômenos e isso não é necessariamente fictício, ainda que não percebamos as coisas em si, e podemos denominar isso de realismo moderado. Agora, Descartes propõe um problema mais radical: não é quanto a afirmar que o mundo externo é fictício mas quanto a provar que não o seja; assim, a justificação da possibilidade de relação entre sujeito e objeto real, exterior à mente do sujeito que pensa esse objeto, é o que está em questão. Em última análise, o problema radical diz respeito a saber se e como o conhecimento é possível.

IV

Questão apontada por Hume em sua **Investigação sobre o Entendimento Humano** é sobre saber se algo com objetividade pode ser apreendido pela experiência *ou* se o que é percebido resulta do hábito, sem fundamento algum de que seja objetivo, isto é, sem sustentação de que seja conhecimento universal e necessário.

Em outras palavras, Hume por um lado questiona que haja conexão necessária nos fenômenos físicos observados, ao que se costuma estabelecer o princípio de causalidade, caro ao conhecimento, uma vez que revela ou indica o fundamento do mesmo e, sobretudo, se mantém as ideias de determinação e previsibilidade; por outro, ele também questiona que da percepção do dado empírico se possa extrair ideias ou conceitos necessários e universais, um processo cognitivo que não ocorre por conexão necessária, antes sim por arbítrio, de modo que aqueles conceitos não são objetivos, como concebeu J. Locke. O conhecimento, desta perspectiva de Hume, fica reduzido ao relativismo, uma vez que fundado no hábito.

Seria a “causalidade” algo “metafísico” ou real? A causalidade parece ficar conturbada teoricamente por Hume – bem como pela TQ, aquela conforme a Interpretação de Copenhague, como poderá ser visto adiante nesta tese, seção 5.

Podemos acrescentar que a relação entre eventos é traduzível matematicamente na Física pela possibilidade de cálculo do passado e do futuro a partir de coordenadas do presente, determinismo matemático aventado por Laplace a respeito do poder da matemática na mecânica clássica. Esta mecânica assumiu papel dominante no desenvolvimento da ciência moderna

devido a sua universalidade, enfocando tanto os problemas da física como os da astronomia, e a abordagem matemática que lhe permitia um formalismo descritivo nas investigações.

Lembremos, quanto ao poder teórico da matemática na mecânica newtoniana, a argumentação proposta por Laplace, denominada “o demônio de Laplace”. Por esta visão, Laplace especula sobre a possibilidade de um ser conhecedor das posições e velocidades de todas as partículas do universo e as forças entre elas, e no tempo em que ocorrem, e que, portanto, poderia prever o futuro, uma vez que ciente de tais coordenadas procederia por equações da mecânica. Apesar de não ser acessível empiricamente as ocorrências futuras e de possível insolubilidade dos cálculos matemáticos, o que vale notar é o determinismo atribuído à mecânica teórica por Laplace. Contudo, é preciso ressaltar que nas condições possíveis, i.e., com dados inacessíveis à inteligência humana e incapacidade de se resolver inúmeras equações deterministas, a previsibilidade é negada. Laplace não é propriamente um defensor do determinismo, e em sua declaração reside a distinção entre determinismo e previsibilidade.

Essa distinção entre determinismo e previsibilidade fica clara com a concepção de Poincaré sobre as condições iniciais de trajetória de três corpos, demonstrando que possíveis alterações de percurso ocorrem “por causa” das condições iniciais sensíveis que afetam o percurso da trajetória, inviabilizando a previsão – seria a expressão “por causa” uma limitação da linguagem, uma vez que a ideia de “causa” está em jogo? Ou melhor, condições iniciais podem determinar, mas não permitem prever ocorrências futuras; mas quais são as condições iniciais? Como registrá-las? Ou seja, se não há como descrever com precisão a conexão entre as condições iniciais e a série de ocorrências possíveis que se seguem delas, como saber o que é a “condição inicial”? Parece que com isso não apenas a previsibilidade de um fenômeno da natureza não pode ser descrita, ou melhor, é atingida, mas a própria determinação, o que evidencia a concepção de Hume de que não há “conexão necessária” entre eventos naturais, i.e. leis, princípios gerais que perpassem os fenômenos, interligando-os.

Quanto a isso, Kant entende que “causalidade” é uma categoria de conhecimento *a priori*, do entendimento humano – esta compreensão já aparece na Introdução da **CRP**, com sua afirmação de que o conhecimento começa com a experiência, mas nem todo ele parte da experiência, como já mencionamos. Vale também o que Kant afirma na Analítica dos Conceitos, seção da Lógica Transcendental, da **CRP**. Segundo ele, "Transcendental" é o conhecimento daquilo pelo qual conhecemos que e como certas representações (intuições e conceitos) são possíveis unicamente *a priori*, ou seja, diz respeito à possibilidade do conhecimento, de seu uso *a priori*, daquilo que não tem origem empírica. A Lógica Transcendental volta-se para as representações que se referem a objetos não como percebidos empiricamente – o que foi abordado na Estética

Transcendental, explicitando as formas puras da intuição, Espaço e Tempo –, mas enquanto leis do entendimento e da razão. A Analítica consiste na análise do conhecimento *a priori* nos elementos puros do entendimento: os conceitos ou categorias.

E voltando ao tema do papel da matemática na teoria de Newton, lançando as reflexões humeanas sobre esta, podemos levantar o problema sobre ser empirista ou racionalista (ou mesmo idealista?) a física deste, se procede por indução ou dedução e o papel da matemática naquela – especulações cabíveis, pois é pertinente problematizar que correlações entre grandezas manejadas matematicamente, não garantem relação causal na realidade. As correlações matemáticas podem ser fictícias, uma habilidade cognitiva sem representar nada na realidade; que haja implicação entre eventos – se A, então B – pode ser apenas provável e não previsível – ainda que ocorra determinação ou causalidade, esta não pode ser precisamente definida ou identificada; e parece pertinente questionar então se o cálculo pode referir-se à realidade, com a pretensão de garantir precisão – seria a Matemática um exercício puramente lógico, representando consistência discursiva, mas não podendo ser projetada para a realidade, a natureza? A Matemática parece ser a maior invenção da humanidade exatamente por oferecer a maior das ilusões.

Hume não adentra, com suas reflexões, pelo escopo da Matemática, mas sua argumentação crítica da causalidade tem um alcance sobre discussões que envolvem esse conhecimento, e sobremaneira a Física. Necessário destacar quanto a isso os escritos de físicos sobre a causalidade como o de Mário Bunge, *Causality and modern science*, o de Max Born, *Natural Philosophy of cause and chance*, bem como *Causality and Complementarity* de Niels Born em *The Philosophical Writings of Niels Bohr*. Essas obras desses físicos sobre o tema serão contempladas no escopo desta tese.

V

Para retratar a questão motivadora que se persegue na tese, por ora vale citar Max Planck na abertura de seu ensaio O conceito de causalidade na física¹³:

Quando se faz referência à ‘relação causal’ entre dois eventos ou circunstâncias que se sucedem, é claro que há um acordo *a priori* sobre o fato de esse termo indicar determinada concatenação regular entre eles, chamando-se o primeiro de *causa* e o último de *efeito*. Mas a pergunta é: o que constitui esse tipo particular de concatenação? Existe algum sinal infalível para indicar que um evento na natureza é causalmente determinado por outro? (PLANCK, p.41)

¹³ Cf. PLANCK, O conceito de causalidade na física. In: **Autobiografia científica; e outros ensaios**. Tradução: Estela dos S. Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012, p.41.

Esse problema a que Planck se refere é aquele com que Hume se ocupa e se posiciona criticamente; ele se volta para o problema de como a noção de causalidade é construída e examina se tal encontra respaldo na natureza; sua argumentação consiste em demonstrar não ser a causalidade um fenômeno físico, e mostrando também que ela não é uma ideia *a priori*. Este procedimento de Hume, por sua vez, abriu a possibilidade de se examinar fenômenos físicos à luz de seu pensamento – aos quais se pode à primeira vista atribuir causalidade, visto que a elucidação de fenômenos da natureza pela Física conjuga-se à descrição de por que e como fenômenos são o que são, o que pode ser relacionado à noção de causa.

Tendo claro o problema, expõem-se agora as etapas e o propósito de desenvolvimento da tese.

Em primeiro lugar, na seção 2.1, será abordada a argumentação crítica de David Hume à causalidade como exposta em sua obra **Investigação sobre o entendimento humano**. Em seguida, seção 2.2, expõe-se a análise de Mario Bunge sobre a compreensão de Causalidade, em sua obra *Causality and modern science*, e a essas considerações de Bunge intercalam-se ponderações sobre as pressuposições de Hume acerca desse conceito; reflexões resultam dessa análise, de modo a reforçar o pensamento de Hume. E quanto a isso é apresentada análise de Barry Stroud sobre a visão de Hume, em defesa deste, em 2.3.

Após a abordagem do problema da causalidade pela perspectiva filosófica de Hume e das considerações de Bunge e Stroud, passa-se na seção 3 à análise, proposta por Max Born em *Natural Philosophy of cause and chance*, sobre o conceito de causalidade em teorias e fenômenos físicos, conforme as definições de causalidade observadas por ele para eventos singulares – causalidade como contiguidade e como antecedência. Nessa seção 3, as reflexões de Born sobre os fenômenos físicos são confrontadas com a argumentação contrária à possibilidade da causalidade, oferecida por Hume.

Neste desenvolvimento sobre a causalidade na Física, a tese destaca, na seção 4, o tema “Causalidade e Tempo” a partir da Teoria da Relatividade Geral, de A. Einstein, em que se discorre sobre o tema indicado brevemente por M. Born, introduzindo-se questões concernentes ao tema da causalidade em sua associação (ou não) ao Tempo – tema este já lembrado quando apresentada a interpretação de M. Bunge sobre a causalidade, na seção 2.2.

Por fim, reflexões sobre aspectos e questões da Teoria Quântica, tal como pensada por Niels Bohr, e que sustenta a Interpretação de Copenhagen; aqui, seção 5.1, o texto não se limita à descrição apenas das ideias de M. Born, então expondo os posicionamentos de W. Pauli, bem como o EPR (ver seção 5.2.1) e as críticas de K. Popper à TQ (ver seção 5.2.2). O estado da questão aqui consiste em que a TQ rivaliza com expectativas de físicos da possibilidade de uma teoria que preencha esse vazio da não causalidade entre fenômenos, propondo experimentos que

mostrem ocorrer causalidade no domínio quântico, algum episódio que indique a conexão necessária entre os dados quânticos – vale dizer que, nesse domínio factual, o experimento clássico referente à confrontação da TQ é o EPR, proposto por Einstein, Podolsky e Rosen. O fenômeno então que se considera para análise do problema da causalidade é o da “não localidade”.

Mediante todas essas considerações chama-se atenção para a pertinência ainda da crítica de Hume à causalidade (ver seção 5.3), o que se reforça no contexto da Teoria Quântica tal como aqui nesta tese está discorrido, voltando-se especificamente para exame do fenômeno quântico da “não localidade”. Por fim, culminando a abordagem sobre a Teoria Quântica, expõe-se a visão de Niels Bohr sobre o problema da causalidade, a qual se mostra afinada à argumentação de Hume (ver seção 5.4).

Na seção 6, propõe-se uma Nova Antinomia, a qual se constitui pelo impasse epistemológico resultante da tensão entre a concepção de Einstein, em particular o argumento EPR, e a de Bohr acerca da Teoria Quântica. Assim, chega-se às Considerações Finais, na seção 7.

O que se pretende com a tese é dar destaque, não a uma quantidade de fenômenos constatadores de causalidade na natureza, mas antes indicar a pertinência da argumentação crítica de Hume à causalidade que, sustentando a Interpretação de Copenhague da Mecânica Quântica, permite vislumbrar, na confrontação com o EPR, uma Nova Antinomia epistemológica.

Necessário reforçar que o ceticismo atribuído a Hume não se configura com ele meramente como negação absoluta da possibilidade do conhecimento, mas fundamentalmente para incitar o pensamento à liberdade e precisão para a busca de conhecimento.

2 A CRÍTICA DE HUME À CAUSALIDADE

Neste capítulo, seção 2.1, é apresentada a argumentação crítica de David Hume à causalidade, desenvolvida em sua obra **Investigação sobre o entendimento humano**. Aqui em 2.1 pode ser visto que, para Hume, causalidade – noção significativa para o conhecimento, na medida em que com este se tem em vista explicar os fenômenos, o que se articula ao por que dos mesmos, e por sua vez a se pretender descrição de causas e efeitos – não seria uma ideia da mente humana, nem um fato ou fenômeno da natureza.

Em seguida, seção 2.2, será exposta a análise divergente de Mário Bunge à perspectiva de Hume sobre a causalidade. Em relação às considerações de M. Bunge serão feitas observações para reforçar a crítica de Hume à causalidade, e apresenta-se na seção 2.3 a pertinência dos argumentos deste, segundo Barry Stroud.

2.1 Exposição sobre o problema da causalidade a partir da crítica de Hume

Segundo David Hume a questão sobre a natureza do conhecimento, em suma, se inato ou empírico, se *a priori* ou *a posteriori*, se e como é possível, pode ser transportada para outra tão importante como a Astronomia – ciência que despertava as mentes intrigadas com os fenômenos cósmicos, no século XVII e desde a Antiguidade –, qual seja, a investigação sobre os processos mentais, i.e., sobre o que é e como funciona o entendimento humano, e se seria possível o conhecimento de tal objeto, a mente humana. Podemos citar o que diz Hume na Seção I de sua **Investigação sobre o Entendimento Humano**:

[...] No tocante às operações da mente, é estranho observar que, apesar de nos serem tão íntimas, sempre que se tornam objeto de reflexão parecem envoltas em obscuridade; e não é fácil encontrar as linhas e fronteiras que as separam e distinguem. Os objetos são demasiadamente sutis para manterem durante muito tempo o mesmo aspecto e situação; e devem ser apreendidos num rápido instante, por uma penetração superior derivada da natureza e aperfeiçoada pela reflexão. E, assim, vem a ser uma parte não insignificante da ciência conhecer simplesmente as diversas operações do intelecto...”²⁴[...] E reputaremos digno dos esforços de um filósofo dar-nos um sistema verdadeiro dos planetas e ajustar a posição e ordem desses corpos longínquos, ao mesmo tempo que afetamos desdenhar aqueles que com êxito delineiam as partes da mente, que nos tocam tão de perto? (HUME, seção I, §8)

E Hume prossegue:

[...] Mas não será de esperar que a filosofia, cuidadosamente cultivada e estimulada pela atenção do público, possa levar ainda mais longe as suas buscas e descobrir, pelo menos em parte, as molas e princípios secretos pelos quais é atuada a mente humana em suas operações? Por muito tempo os astrônomos se haviam contentado em provar, com base nos fenômenos, os verdadeiros movimentos, ordem e grandeza dos corpos celestes; até que por fim surgiu um filósofo que parece, elo mais feliz dos raciocínios, ter também determinado as leis e as forças que governam e dirigem as revoluções dos planetas. Um trabalho semelhante foi realizado no que diz respeito a outras partes da natureza. E não há motivo para desesperarmos de um sucesso igual em nossas pesquisas sobre as faculdades e a economia mental, se as realizarmos com a mesma proficiência e a mesma cautela. É provável que as operações e princípios da mente dependam uns dos outros e que, por outro lado, possam resolver-se num princípio mais geral e mais universal [...]. (HUME, seção I, §9)

Hume ainda diz: “Dirão, talvez, que esses raciocínios sobre a natureza humana parecem abstratos e de difícil compreensão; mas isso não quer dizer que sejam falsos.” (*idem*, §10) O importante agora é poder compreender como Hume conduzirá sua investigação sobre o entendimento humano e que seu curso de raciocínio apontará outra questão importante, qual

seja, saber se pode ser apreendido pela experiência algo com objetividade ou se o que é percebido resulta do hábito, sem fundamento algum de que seja objetivo, isto é, com conhecimento universal e necessário. Esta questão sobre a legitimidade ou possibilidade do conhecimento está ibrinçada àquela sobre o entendimento humano. Em outras palavras, Hume descreve a capacidade de nosso “aparelho de medida”, a mente humana, mediante o mundo físico, como e o que o entendimento humano apreende na natureza. Vejamos como o pensamento de Hume prossegue e elabora o problema da relatividade da pretensão de conhecimento.

Na obra **Investigação...**, seção II, em que reflete sobre a origem das ideias, Hume afirma que “o mais vivo pensamento é ainda inferior à mais embotada das sensações.” (§11) A mente apresenta faculdades diferentes como a sensação e a memória ou a imaginação, mas estas “podem remedar ou copiar as percepções dos sentidos, mas jamais atingirão a força e a vivacidade do sentimento original.” (*idem*) Hume distingue as percepções da mente como pensamentos ou ideias e as impressões ou sensações (cf. §12). Esta distinção das percepções mentais *parece* permitir a designação de “empirista” à concepção de Hume sobre o conhecimento, e o que ele diz no §13 pode reforçar tal compreensão:

À primeira vista, nada parece mais ilimitado do que o pensamento humano, que não só escapa a todo poder e autoridade humana, mas não se restringe sequer aos limites da natureza e da realidade. [...]

Mas, embora nosso pensamento pareça possuir essa liberdade ilimitada, examinando o assunto mais de perto vemos que em realidade ele se acha encerrado dentro de limites muito estreitos e que todo o poder criador da mente se reduz à simples faculdade de combinar, transpor, aumentar ou diminuir os materiais fornecidos pelos sentidos e pela experiência. (HUME, seção II, §13)

E continua:

[...] sempre que analisamos nossos pensamentos ou ideias, por mais complexos e sublimes que sejam, descobrimos que eles se resolvem em ideias simples, que são cópias de uma sensação ou percepção anterior. Mesmo as ideias que à primeira vista mais parecem afastar-se dessa origem mostram, a um exame mais atento, derivar dela. (HUME, II, §14)

Mas é preciso notar que com as reflexões de Hume ficará em questão a objetividade da ligação entre os conceitos de uma teoria científica e o observado, que uma teoria seja justificável como conhecimento universal e necessário a partir das observações empíricas. E a distinção que ele propõe entre impressões e ideias se desenrola até a indicação deste problema, como veremos no que prossegue.

Retomando o curso da **Investigação...**, no §17, Hume reafirma a distinção entre impressões

e ideias assim:

[...] Todas as ideias, especialmente as abstratas, são naturalmente fracas e obscuras; a mente não as retém senão por um tenuíssimo fio; estão sujeitas a serem confundidas com outras ideias semelhantes; e, depois de usar muitas vezes um termo qualquer, embora sem significado claro, inclinamo-nos a supor que ele corresponda a uma ideia determinada. Por outro lado, todas as impressões, isto é, sensações, sejam elas exteriores ou interiores, são fortes e vívidas; os limites entre elas são os mais nítidos possíveis, e não é fácil errar ou enganar-se a seu respeito. (HUME, II, §17)

E em nota a este §17, observa que não é plausível tomar as ideias como inatas, em suma:

Admitindo estes termos, impressões e ideias no sentido explanado acima, e entendendo por inato o que é original e não cópia de uma impressão anterior, podemos afirmar que todas as nossas percepções são inatas e que nenhuma de nossas ideias o é. (HUME, n.1)

O que está em questão nas entrelinhas quando Hume refere-se ao inatismo é o seguinte: se admitirmos a possibilidade de algum princípio ou ideia inata, plausível pensar que o pensamento não remonta apenas às sensações, podendo partir de um campo *a priori*, que independeria das impressões e experiência sensível. Desse modo, o conhecimento poderia ser entendido como possível não se originando apenas na experiência, com o que a possibilidade de objetividade, i.e., universalidade e necessidade seriam imagináveis e o risco de particularidade e contingência das sensações seria superado, pois não é próprio à possibilidade de conhecimento.

Notar isso é importante para compreender-se posteriormente sua elucidação sobre a impossibilidade de conhecimento objetivo, i.e., necessário e universal, e que isto não será plausível, sobretudo porque parte da experiência, com o que veremos não ser-lhe cabível tão simplesmente a designação de “empirista”, como pode parecer por uma leitura rápida de seu texto – como se pôde ver anteriormente, sua compreensão de que o pensamento ou ideias partem de impressões parece sugerir a designação de “empirismo” ao caráter do conhecimento, parecendo que a empiria é o campo de verificação e justificação do conhecimento.

Mas agora, com a concepção de Hume, o “empirismo” apresenta uma nuance inquietante: que o pensamento parta de impressões dos sentidos não implica alcance de ideias ou princípios objetivos, conhecimento. Se o pensamento, em última análise, parte das impressões, aonde ele chega? Ele encontra conhecimento sobre a natureza? O que é possível pensar e conhecer? O conhecimento pode ser vislumbrado pela mente humana? O que é conhecimento?

Percebe-se então que seu “empirismo” é peculiar: a associação entre experiência, campo das impressões e domínio de conhecimento objetivo, ideia ou leis físicas correspondentes ao observado é uma ligação controversa, ou mesmo arbitrária.

Podemos entender que Hume está comprometido com saber o que são os fenômenos empíricos manifestos ou se comportam algum “sentido” aparentemente intrínseco ao domínio empírico. Pretende elucidar as camadas de ideias arbitrariamente atribuídas aos fenômenos naturais, como se fossem dados físicos e não impregnados neles sem propriedade. Sobre esse senso crítico de Hume, digamos assim, vale citar reflexão de Einstein em **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**:

Por que é necessário fazer com que os conceitos fundamentais do pensamento científico desçam do olimpo platônico e tentar descobrir-lhes a origem terrena? A resposta é: para livrar estes conceitos dos tabus que aderiram a eles, de modo a adquirirmos maior liberdade na formação dos conceitos. Este é, em primeira linha, o mérito imperecível de D. Hume e E. Mach, o de haverem introduzido esta reflexão crítica. (EINSTEIN, p.117)

Mas lembremos que o caminho de Hume talvez não tenha como destino a possibilidade de conhecimento – nem apriorístico, nem terreno ou empírico. *O máximo que podemos admitir ao designar “empirista” o pensamento de Hume é que enuncia um empirismo tênue, fraco. Ele pretende retirar as camadas de ideias justapostas à compreensão que se tem de “sensações” ou “impressões”, e isso para percebermos a realidade empírica tal como é; e deste domínio último da realidade não se pode obter conhecimento, ao menos com as pretensões de necessidade e universalidade como contraponto à contingência ou transformações dos fenômenos da natureza. Podemos ter impressões de regularidades neste estado de coisas, mas disso não se pode depreender um “porque” necessário e universal como se pretende com a noção de “causalidade”, esta apenas uma camada que encobre a natureza tal como se manifesta.*

Precisamos insistir que a compreensão de Hume de que as impressões são mais fortes, vívidas e que o pensamento não o seja, e que este se desenvolve a partir daquelas, parece indicar a possibilidade de conhecimento claro a partir das sensações ou apenas no âmbito destas; *mas* não podemos perder de vista que este seria um “conhecimento peculiar”, uma vez que “tornando-se” pensamento perderia a clareza. E ainda temos que reconhecer que as sensações nos apresentam um dado aqui e agora, particular e contingente, não percebemos por sensações o universal e necessário, o princípio que rege os fenômenos. Sendo assim, a possibilidade de conhecimento parece implausível.

Em última análise, a noção de “indução” como processo de conhecimento fica em questão: a relação de dados singulares, percebidos por impressão, e ideias ou princípios gerais está em aberto. O que está além do fato singular observado é uma formulação geral; mas observamos um fato singular, um dado aqui e agora, uma experiência ou impressão restrita, e não “situação

geral”, a qual é apenas hipotética; em jogo está a confirmação ou conhecimento do geral pela experiência, o que já dissemos antes: como a situação singular observada pode confirmar a formulação geral ou ligar-se a ela, se o que é observado é uma parte restrita, i.e. um dado particular da realidade?

Adiante veremos como estes problemas já são indicados por Hume com suas reflexões sobre a associação de ideias e também com sua análise sobre a ideia de “conexão necessária”. Quanto a isso podemos citar o que afirma Kant nos **Prolegômenos a toda a Metafísica Futura** sobre o problema pensado por Hume:

[...] Pois, como é possível, dizia esse homem subtil, que, quando um conceito me é dado, eu possa ir além dele e lhe ligue outro conceito que aí não está contido, como se lhe pertencesse necessariamente? Só a experiência nos pode fornecer tais conexões (eis o que ele concluía desta dificuldade, que considerava uma impossibilidade), e toda essa pretensa necessidade ou, o que é a mesma coisa, todo o conhecimento *a priori* a ela adscrito, não é mais do que um longo hábito de achar verdadeira uma coisa e, por conseguinte, de considerar como objectiva a necessidade subjectiva. (KANT, A 44, 45, p. 42 in Edições 70)

Como vemos, Hume apresenta uma definição de “impressão” que demarca a possibilidade do pensamento sobre ideias e também a possibilidade, ou não, do conhecimento pelo entendimento humano. Tomemos mais uma citação de Hume:

[...] Pelo termo impressão entendo todas as nossas percepções mais vivazes, quando ouvimos, vemos, sentimos, amamos, odiamos, desejamos, ou queremos. E as impressões distinguem-se das ideias, que são as impressões menos vivazes das quais temos consciência quando refletimos sobre qualquer dessas sensações ou movimentos acima mencionados. (HUME,II,§12)

Podemos problematizar o termo “impressão”, o qual é definido por Hume como “percepção mais vivaz”: o que significa “vivaz”? Significa “claro e distinto”? Se assim, por que não concebível que ideias apresentem estas características, haja vista que Descartes assim concebera? Mas aqui continuemos com Hume.

Hume afirma que o intelecto conecta ideias com “certo grau de método e regularidade” (Seção III, §18), seja no raciocínio mais sério ou nos devaneios da imaginação ou nos sonhos, não sendo o encadeamento de ideias apenas por acaso.¹⁴

Um dos princípios de conexão de ideias pelo entendimento, aquele com que nos ocuparemos

¹⁴ Curiosa esta compreensão de Hume, pois para Freud os sonhos podem servir de material para interpretação e elucidação para a consciência de alguém sobre a cadeia de significados que foram reprimidos e lançados ao inconsciente, os sonhos então revelando alguma conexão de situações e significados para a própria pessoa que sonha (cf. Freud, **Interpretação dos Sonhos**).

aqui por ser crucial para a reflexão sobre a natureza e possibilidade, ou significado, do conhecimento, é o de causa e efeito.

Hume entende também que o entendimento se ocupa com dois tipos de objetos: i) as relações de ideias, concernentes à Matemática, e tais referem-se a “toda afirmação que seja intuitiva ou demonstrativamente certa. (...) As proposições desta espécie podem ser descobertas pela simples operação do pensamento, sem dependerem do que possa existir em qualquer parte do universo” (Seção IV, §20), ou seja, conservam certeza e evidência independentemente de experiência ou percepções de impressões; ii) e as questões de fato, cujas verificação e evidência de sua verdade não equivalem àquelas primeiras. Observemos que *as questões de fato não dispensam a conexão de ideias; o problema é saber se há legitimidade na ideia de causalidade, i.e., que a conexão das ideias de causa e efeito corresponda aos fatos, que são percebidos por impressões, e, sobretudo, que exprima ou represente universalidade e necessidade.*

Caso é que haver princípios de conexão de ideias parece indicar distração de Hume por sugerir um dado ou procedimento inato de pensamento, o que ele recusa como vimos antes; no entanto, precisamos admitir que ainda que haja tais princípios para as operações mentais, assim como os princípios lógicos regulam os raciocínios em tais operações, não significa que sejam princípios de conhecimento, quer dizer, os princípios dos processos do entendimento humano, bem como os lógicos, são formais e não se comprometem com a questão acerca da correspondência objetiva do entendimento com as sensações, os fatos. Vejamos o que diz Hume sobre a afirmação de fato:

[...] O contrário de toda afirmação de fato é sempre possível, pois que nunca pode implicar uma contradição e é concebido pelo intelecto com a mesma facilidade e clareza, como perfeitamente conforme à realidade. Que o sol não nascerá amanhã não é uma proposição menos inteligível e não implica mais contradição do que a assertiva contrária, de que o sol nascerá. Seria vão, por isso, tentar demonstrar a sua falsidade. Se isso fosse demonstrativamente falso, implicaria uma contradição e jamais poderia ser claramente concebido pelo intelecto. (HUME, seção IV, §21)

Notemos que Hume fala sobre a “proposição” e neste sentido se pode dizer “x” ou “não x” sem haver contradição em cada uma das afirmações; e vejamos que Hume parece reconhecer a Lógica como o instrumental para o raciocínio, de modo que orienta uma conexão consistente de ideias quando diz ser

[...] evidente que existe um princípio de conexão entre os diversos pensamentos ou ideias do intelecto e que, no se apresentarem à memória ou à imaginação, são introduzidos uns pelos outros com certo grau de método e regularidade. Em nosso pensamento ou raciocínio mais sério isso é tão visível que toda ideia particular que venha interromper a cadeia ou sequência regular de ideias é imediatamente rejeitada.

(HUME, seção III,§18)

Pode-se dizer que aquele “princípio de conexão entre os diversos pensamentos ou ideias” seja p.ex. o da “não contradição” (entre outros princípios lógicos) e que as afirmações de fato representam ideias, as quais não prejudicam por si o princípio lógico, são inteligíveis. Isso quer dizer, o princípio de causalidade, que envolve conexões de lógica. A esse respeito vale citar M. Bunge:

Logicians sometimes assume that the meaning of the causal principle consists in the logical structure of the statements that are formulated in order to reconstruct the causal bond in thought. This would be correct if, as Hegel believed, the structure of the world were logical. (BUNGE, p. 39)¹⁵

Precisamos reconhecer que “afirmações” são distintas do próprio fato em si, mas, segundo Hume, este se mostrará também com a possibilidade de ser x ou não x ; isto é o que parece mostrar a Física Quântica com a ideia de que o “aparelho de medida” afeta o objeto observado e que o estado quântico apresenta-se duplicado.

Lembremos que Hume também considera o pressuposto de que o pensamento com suas afirmações ou ideias parte da impressão, de modo que certa correspondência de possibilidades há entre o pensamento e a impressão e no âmbito desta poderemos conferir seus argumentos a respeito da não objetividade do conhecimento, ou seja, de que não se fere o princípio da não contradição ao admitirmos que afirmações de fato não são necessárias e universais e que o fato tem a possibilidade de ser x ou não x . Seguem as citações:

Todos os raciocínios sobre questões de fato parecem fundar-se na relação de causa e efeito. Só por meio dessa relação podemos ultrapassar a evidência de nossa memória e de nossos sentidos. [...] E aqui supomos constantemente que existe uma conexão entre o fato presente e o que dele inferimos. Se não houvesse nada para ligá-los, a inferência seria completamente precária. (HUME, seção IV, §22)

E também:

Se nos quisermos persuadir, contudo, sobre a natureza dessa evidência que nos dá garantia em questões de fato, devemos indagar como chegamos ao conhecimento dessa relação da causa e do efeito.

Aventurar-me-ei a afirmar, como uma proposição geral que não admite exceção, que o conhecimento dessa relação não é, em caso algum, alcançado por meio de raciocínio *a priori*, mas origina-se inteiramente da experiência, quando verificamos que certos objetos particulares estão constantemente ligados uns aos outros. Que um

¹⁵ Algumas vezes lógicos admitem que o significado do princípio causal consiste na estrutura lógica dos enunciados que são formulados em vista a reconstruir o nexos causal no pensamento. Isto seria correto se, como Hegel acreditava, a estrutura do mundo fosse lógica. (BUNGE, p.39) [tradução nossa]

objeto seja apresentado a um homem da maior capacidade e poder natural de raciocínio; se esse objeto lhe for inteiramente desconhecido, ele não poderá, mesmo pelo exame mais minucioso de suas qualidades sensíveis, descobrir qualquer de suas causas ou efeitos. [...] Nenhum objeto jamais revela, pelas qualidades que se manifestam aos sentidos, nem as causas que o produziram, nem os efeitos que dele decorrerão; e tampouco a nossa razão, sem o socorro da experiência, é capaz de inferir o que quer que seja em questões de fato e de existência real. (HUME, seção IV, § 23)

O que vemos neste ponto é que o princípio lógico da não contradição orienta a conexão de ideias ou o pensamento, o qual pode ser enunciado, quer dizer, que se explicita nas afirmações sobre os fatos – e tal princípio lógico perpassa também as relações de ideias, como na Matemática; em última análise o entendimento humano não pode prescindir do princípio da não contradição, seja pelas percepções do pensamento, seja pelas das impressões. Por sua vez, o princípio de causalidade reflete a pretensão do pensamento “tomar o lugar ou a vez” das impressões, associando as ideias de “causa” e de “efeito” ao que é observado dos fenômenos naturais e constitui experiência. Observando um fato pela primeira vez não temos a sensação da conexão entre causa e efeito; a rigor, o princípio da não contradição sustenta as questões de fato, mas *o princípio de causalidade, ainda que não contraditório, não garante que a conexão de ideias (as de causa e efeito) corresponda aos fatos*. Isto é, a *relação causa-efeito* parece não ocorrer no mundo físico.

Hume passa a examinar isso, como podemos ver a partir das reflexões que se seguem. Vejamos citação:

Esta proposição, de que as causas e os efeitos não podem ser descobertos pela razão, mas sim pela experiência, será admitida sem dificuldade no tocante aos objetos que nos lembramos de nos terem sido outrora completamente desconhecidos, porquanto não podemos ter deixado de sentir nossa absoluta incapacidade, naquela ocasião, de prever o que decorreria deles. [...] quando se supõe que um efeito depende de um complicado mecanismo ou estrutura secreta de partes, não temos dificuldade em atribuir à experiência todo o nosso conhecimento dele.

[...] Acreditamos que, se fôssemos trazidos de repente a este mundo, poderíamos ter inferido desde o primeiro instante que uma bola de bilhar comunicaria o seu movimento a outra bola por impulso; e que não seria preciso aguardar o acontecimento para nos pronunciarmos com certeza a seu respeito. Tão grande é a influência do costume, que, nos casos em que é mais forte, não apenas cobre a nossa ignorância natural, mas esconde também a si próprio e parece não existir simplesmente porque é encontrado no mais alto grau. (HUME, seção IV, § 24)

Vale notar sobre o dito acima que mesmo que “nossa ignorância natural” em um primeiro momento de contato com uma ocorrência ou efeito não possa vislumbrar sua causa, e, portanto, precisemos de *experiência regular e repetida da ocorrência* para supor a causa, isto não implica que uma teoria sobre o observado apresente alguma variável escondida correspondente a “um complicado mecanismo ou estrutura secreta das partes” do fenômeno ainda desconhecido, não

compreendido ou não descrito com clareza pela teoria. Ainda que alguma “estrutura secreta” seja desconhecida e seja possível a regência de um princípio objetivo no fenômeno natural, isto não significa que a possibilidade de ocorrência contrária à determinada pelo princípio seja implausível, pois não contraditória, como afirmado por Hume no § 21. Por outras palavras, vale a questão: ainda que passemos a conhecer a explicação de uma teoria sobre a variável escondida, revelando assim a estrutura do fenômeno, por que não plausível ou admissível a possibilidade contrária no próprio fato? Vale citar:

[...] Quando se nos pergunta: Qual a natureza de todos os nossos raciocínios sobre questões de fato?, a resposta apropriada parece ser que eles se baseiam na relação de causa e efeito. Mas, se tornarem a perguntar: Qual é o fundamento de todas as conclusões tiradas da experiência?, poderemos responder com uma simples palavra: a Experiência. Mas, se quisermos esmiuçar ainda mais e indagarmos: Qual é o fundamento de todas as conclusões tiradas da experiência?, isso implica uma nova questão que pode ser mais difícil de resolver e explicar.[...]
 [...] mesmo depois de termos experiência das operações de causa e efeito, as conclusões que tiramos dessa experiência não são fundadas no raciocínio ou em qualquer processo do entendimento. (HUME, §28)

E Hume esforça-se por explicar e defender essa resposta à questão proposta:

[...] Estas duas proposições estão longe de serem a mesma: Tenho verificado que tal objeto é sempre acompanhado de tal efeito e prevejo que outros objetos, que em aparência são semelhantes, serão acompanhados de efeitos semelhantes. Admitirei, se assim quiserdes, que uma proposição pode justamente ser inferida da outra; e sei, de resto, que essa inferência é feita de qualquer maneira. Mas, se insistis em que ela é feita mediante uma seqüência de raciocínios, peço que esses raciocínios me sejam apresentados. A conexão entre as duas proposições não é intuitiva. Faz-se necessária aqui uma premissa menor que capacite o intelecto a tirar uma tal conclusão, se ela é realmente tirada pelo raciocínio e pela argumentação. Quanto a mim, confesso que não consigo entender qual possa ser essa premissa menor [...]. (HUME, §29)

E ele insiste:

[...] Que não há raciocínios demonstrativos no caso, parece evidente, visto que não implica nenhuma contradição que o curso da natureza possa mudar e que um objeto aparentemente semelhante aos que já experimentamos possa ser acompanhado de efeitos diferentes ou contrários. [...] Ora, tudo que é inteligível e pode ser claramente concebido não envolve contradição, e nunca se poderá provar sua falsidade por um argumento demonstrativo ou um raciocínio abstrato *a priori*. (HUME, §30)

Em outras palavras, que causa e efeito sejam passíveis de conhecimento no próprio fato, i.e., ocorrência passada conectada à ocorrência presente ou a ocorrência presente à futura, não indica haver contradição em pensar que algum outro fato possa reverter este, de modo que o fato comporte a possibilidade de manifestação contrária à determinação ou previsão que o princípio que lhe rege define.

No tocante ao exposto no parágrafo anterior (§ 30), pode-se tentar rebater Hume argumentando-se que se está apenas substituindo uma relação de causa-efeito por outra: uma relação que se manifesta frequentemente e outra contrária a esta, ainda que não atualizada, presente, mas plausível e possível.

Mas Hume, conquanto apresente aquele raciocínio sujeito a essa objeção, está indiretamente, podemos entender, questionando a pretensão de conhecimento objetivo mediante dados observados ou mesmo experimentos, o que atinge a questão de método científico, o que foi pretendido por Francis Bacon como organização e sistematização das observações e recursos experimentais¹⁶.

Assim, o fundamental é que Hume por um lado questiona que haja conexão necessária nos fenômenos físicos observados, ao que se costuma estabelecer o princípio de causalidade, caro ao conhecimento, uma vez que se considera, por força do hábito, que causalidade revela ou indica o fundamento do conhecimento e, sobretudo, que por ela se mantém as ideias de determinação e previsibilidade; por outro, ele também questiona que a partir da percepção do dado empírico possam ser extraídas ideias ou conceitos necessários e universais, um processo cognitivo que não ocorre por conexão necessária, antes sim por arbítrio, de modo que aqueles conceitos não são objetivos. O conhecimento, desta perspectiva de Hume, parece reduzir-se ao relativismo, uma vez que fundado no hábito.

Vemos com Hume que “conexão necessária” é uma noção controversa; segundo ele, costumamos estabelecer implicação entre eventos por força do hábito, o que chama atenção com os seguintes argumentos: a) apesar da repetição de um evento acontecer até o presente, regularmente, não há contradição em dizer que no momento seguinte ele não ocorrerá; b) ou mesmo pode ser notado que na primeira percepção de um evento não temos como recorrer à causalidade como uma lei necessária e universal que já nos orientaria nesta primeira experiência, p.ex.: não pôr a mão no fogo porque ele queima; neste caso a própria experiência presente inicial não é conhecida com precisão ou exatidão.

Pode-se questionar Hume tomando-se seus argumentos como exposição de limitações epistemológicas. Kant mesmo vai nesta via quando enuncia na *CRP* que “... embora todo o nosso conhecimento comece com a experiência, nem por isso todo ele se origina justamente da experiência” (Introdução, B1), como se pudéssemos saber de condições *a priori* que garantiriam necessidade e universalidade ao conhecimento, o que ficou em xeque com o ceticismo de Hume.

Hume, porém, atinge as noções de determinação e previsibilidade quando atenta também para

¹⁶ Ver *Novum Organum*, de Francis Bacon.

o fato de não termos a experiência do futuro, o que ainda não ocorreu, e se o conhecimento partisse das sensações – como concebeu Locke, o que pode ser conferido no seu **Ensaio...**¹⁷, sobre a questão de como o entendimento obtém suas ideias e através de qual percurso elas penetram na mente, ou como são formadas nela – não valeria mesmo prever o que ocorrerá se ainda não temos a percepção desta ocorrência futura, nem temos como estabelecer conexão entre um evento e outro como se causa e efeito fossem um do outro. Se não podemos apreender ocorrência futura e não há contradição em afirmar possibilidade contrária na série de ocorrências regulares, a própria experiência não é ponto de partida certo ou seguro para o conhecimento, nada há nela que garanta conexão necessária. Repetições regulares de eventos não indicam precisão sobre os mesmos. Hume parece atingir então o domínio ontológico, e não apenas o epistemológico, assim como parece conforme à Interpretação de Copenhagen da Mecânica Quântica associada a N. Bohr, o que poderá ser visto adiante na seção 5.

É importante destacar que Hume ressalva que precisamos da experiência repetida e singular para conhecermos as leis da natureza e as operações físicas, e não de um raciocínio *a priori*. Mas nota, sobretudo, que o entendimento humano tende a fazer antecipação da experiência, passando a acreditar que aquilo que em última análise depende desta, poderia ser inferido *a priori*; mas, na verdade, isto é pretensão de costume, o que não é percebido ou concebido e admitido como habitual e, portanto, tomado como se fato fosse.

Observamos então que não há universalidade e necessidade, é apenas contingente a causalidade, pois sobre o que observamos não podemos excluir a possibilidade de afirmação de seu contrário – como visto no §21 da **Investigação**. *A questão proposta por Hume é sobre saber em que se funda o processo do intelecto ou do pensamento que liga uma ocorrência a uma causa em experiências semelhantes, recorrentes. Em que se funda a conclusão de que há conexão entre um fato e outro, como se causa e efeito fossem?* Parece que não se encontra tal fundamento pela observação dos fenômenos, nem por raciocínio *a priori*, de modo que por esse se sustente a conjugação da conexão causa-efeito à constância ou regularidade dos acontecimentos. Hume compreende que tal conjugação resulta do hábito. As palavras de Hume indicam a questão referida:

[...] Com efeito, sempre que a repetição de algum ato ou operação particular produz uma propensão de renovar o mesmo ato ou operação sem que sejamos impelidos por qualquer raciocínio ou processo do entendimento, dizemos que essa propensão é um efeito do hábito. [...] após a conjunção constante de dois objetos – por exemplo, calor e chama, peso e solidez – somos levados tão-somente pelo costume a esperar, após um deles, o aparecimento do outro. Esta hipótese parece ser, mesmo, a única que resolve a

¹⁷ Cf. LOCKE, John. **Ensaio sobre o entendimento humano**, Livro II, cap. I.

dificuldade: por que tiramos de mil exemplos uma inferência que não podemos tirar de um só exemplo, a todos respeitos igual aos outros? (HUME, §36)

Apesar da conexão entre eventos poderem decorrer apenas do hábito, pode-se pensar que o fato primeiro, inicial tenha tido uma causa, não é uma ocorrência instantânea e espontânea; mesmo que desconheçamos essa causa, não significa que ela não aconteça. O problema então reside na regularidade das ocorrências, e nisso a argumentação de Hume parece associar-se ao determinismo – consideremos este como compreensão de que por uma lei os eventos se interligam em diferentes momentos (como define M. Born), e pode-se entender que a regularidade dos fenômenos é reveladora de uma lei permanente, universal e necessária, embora a lei possa ter sua validade não apenas na regularidade das ocorrências, mas sim por permitir previsões. Precisamos examinar o que está em questão com essas reflexões de Hume, tendo atenção à seguinte pergunta: o que significa “*experiência regular e repetida de ocorrências*”? A partir daqui, voltemo-nos para as considerações críticas de Mário Bunge a respeito da “causalidade” em sua obra *Causality and modern science*.

2.2 Análise de M. Bunge divergente da perspectiva de Hume e observações em defesa da crítica de Hume à causalidade

Em sua obra *Causality and modern science*, Mario Bunge dedica-se a examinar o problema lançado por Hume. Para iniciarmos reflexões sobre o tema humeano com Bunge, precisamos voltar nossa atenção para a seguinte pergunta de Hume: “por que tiramos de mil exemplos uma inferência que não podemos tirar de um só exemplo, a todos respeitos iguais aos outros?” (**Investigação**, § 36) Envolvido nisso está a ideia de “*experiência regular e repetida de ocorrências*”. O que está em jogo quando, em crítica à causalidade, Hume argumenta que a inferência de relação entre as ideias de causa e efeito é antes extraída da frequência e regularidade de eventos? Ou o que está em jogo quando Hume lança aquela pergunta acima (**Investigação**, § 36). Levando em conta essa questão, seguiremos a análise de M. Bunge da causação ou causalidade em oposição à visão de Hume e veremos como a argumentação crítica deste à causalidade ainda é pertinente apesar das considerações oponentes de M. Bunge.

Segundo M. Bunge, as formulações do princípio causal podem ser consideradas como enunciando relações entre as variáveis C e E, as quais simbolizam tipos, classes de fatos, ou características de fatos. As relações entre essas variáveis podem ser interpretadas como indicando possibilidades de ocorrerem: 1) *algumas vezes* (se em uma porcentagem de casos fixados ou diversos) ou 2) *sempre*, i.e., para todos os valores das variáveis. M. Bunge observa:

The usual interpretation of the causal principle is obviously inconsistent with the former alternative; the causal connection is supposed to hold universally, hence the causal principle must assert the exceptionless repetition of E whenever C is the case. Consequently the word ‘always’ (the all operator) must be added to (2) if it is to become a statement of the causal principle. (BUNGE, p. 37-38)¹⁸

Assim, pode-se afirmar “Se C, então E sempre”, e tomando-se como equivalente “Para todo C e E, se C é o caso, então E é o caso”. M. Bunge nota que esta proposição condicional é associada à formulação do enunciado cotidiano, coloquial “Mesma causa, mesmo efeito” ou “Todo evento

¹⁸ A interpretação usual do princípio causal é obviamente inconsistente com a primeira alternativa; a conexão causal está supostamente considerada universalmente, daí o princípio causal tem de afirmar a repetição excepcional de E quando quer que C seja o caso. Consequentemente a palavra ‘sempre’ (o operador [universal]) tem de ser acrescentado a (2) se deve vir a ser um enunciado do princípio causal.” (BUNGE, p.37-38) [tradução nossa]

tem uma causa, e esta causa é sempre a mesma”, o que enfatiza a ideia de “mesmas” causas e efeitos, em vez de “constância de sua relação”, ou frequência da regularidade de fatos, um antes, o outro depois.

Desse modo, a palavra “sempre” (*always*) no caso não assume o significado de “para sempre” (*forever*), mas de “em todos os casos” ou “sem exceção”, ou “geralmente”. Isso porque não é o tempo que está em jogo, não estamos no domínio do processo ou devir, antes lidamos com as relações lógicas atemporais, o conceito de tempo está fora do enunciado causal referido. Quanto a isso podemos lembrar que Hume observa que a conexão de ideias “causa-efeito” segue o princípio da não contradição, mas não implica que corresponda aos fatos e que seja uma conexão necessária no domínio empírico, com o que se pode dizer, sem ferir aquele princípio lógico, o contrário de uma afirmação que compreenda “causa-efeito”.

A sentença que estamos examinando é “Se C, então E sempre”. É preciso saber se ela transmite o significado essencial usualmente ligado ao princípio causal. Os conceitos contidos na sentença são: i) *condicionalidade*, o que pode ser denominado também de sucessão existencial (*conditionalness*); ii) *constância*.

Vejam sobre i), o que diz respeito à *condicionalidade*. Do ponto de vista ontológico, os termos “Se C” enuncia a cláusula ou condição para a ocorrência de “E”, em outras palavras, esses enunciados relativos a cada variável sendo interligados, afirmam que “E ocorre devido C acontecer”. Mas condicionalidade não é peculiar à concordância com a lei (*lawfulness*); é uma exigência mínima para corresponder a algum tipo de lei, de tipo causal ou não – isso quer dizer, a relação entre E e C, mesmo sendo E devido a C, não significa que C seja causa de E sempre. A concordância com a lei causal pode ser definida como *regular não condicionalidade*; por outro lado, a não concordância com a lei é por definição incondicional ou arbitrária, o que acontece sem problema quanto a quais sejam as condições ou circunstâncias.

Ainda em relação a i), também vale abordar outro significado, extraído de *sucessão existencial ou assimetria*. Quanto a essa acepção o efeito E aparecerá apenas desde que as condições resumidas em C tenham sido preenchidas – portanto, não necessariamente após C –, a causa é existencialmente *a priori* ao efeito, mas não precisa precedê-lo no tempo. Na verdade, segundo M. Bunge, não se tem dito nada sobre um tempo decorrido entre C e E, o enunciado causal não exprime tempo.

Mas veremos adiante, em capítulo sobre ideias de Max Born, quão controvertida essa interpretação de M. Bunge, pois a crítica de Hume à causalidade pode conturbar a compreensão de tempo: por um lado, o tempo segue-se da conexão causa-efeito, se necessária for; por outro, a relação causal é que depende do tempo. Ainda que o enunciado não exprima tempo, se a relação

que estabelece entre as variáveis corresponder ao fato causal como necessário e ontológico, o tempo aparece aqui como um dado a ser considerado.¹⁹

Para o que se volta por enquanto, que é a análise de Bunge à causação, o que temos no caso é a primazia ou antecedência de C em relação a E, uma dependência assimétrica do efeito em relação à causa, e M. Bunge observa que isso “... *should not, however, be understood as logical implication, since the causal connection is a synthetic, not an analytic, connective, and has consequently nothing to do with logical (analytic) necessity.*” (BUNGE, p.39) (“... não deveria, contudo, ser entendido como implicação lógica, uma vez que a conexão causal é um conectivo sintético, e não analítico, e conseqüentemente não tem a ver com necessidade lógica (analítica).” (BUNGE, p.39)

E é por isso que Kant afirmou ter sido acordado, por Hume, do sono dogmático: causalidade não é um fenômeno da natureza, nem uma conexão analítica ou lógica entre ideias. Hume mostrou isso ao examinar causalidade como conexões de ideias que até podem respeitar o princípio de não contradição, mas não sendo ela mesma um princípio lógico, nem tampouco físico. Kant é que tenta sustentar a compreensão da causalidade como um princípio do entendimento humano, que é a capacidade de pensar, organizar os dados apreendidos pela sensibilidade.

Pode-se entender que causalidade seja uma estrutura para o pensamento inferir relações e retroagir e prever, mas não iria além dessas funções epistemológicas, conforme o pensamento de Hume – e para Hume tais funções são exercidas pelo hábito e não correspondem a fatos naturais. Bunge, por sua vez, em nota indica que B. Russel em *An Outline of Philosophy*,

[...] has referred, on the other hand, to ‘the reversibility of causal laws’, in the sense that enable us to infer backward as well as forward, to retrodict as well to predict. This statement involves the identification – unavoidable in orthodox logical empiricism – of laws with their statements. (BUNGE, p.39)²⁰

Nesse sentido, B. Russel parece estar próximo da concepção de Kant. Mas M. Bunge, na mesma nota, chama atenção para a cisão entre enunciado e lei objetiva ou de fato, cuja correspondência entre uma e outra pode não ser necessária – com o que estamos margeando o problema do Idealismo²¹ –, em suas palavras assim:

¹⁹Sobre esse tema, ver seção 4, nesta tese.

²⁰ [...] tem se referido, por outro lado, à ‘reversibilidade de leis causais’, no sentido de que habilita-nos inferir o anterior [o atrás, o passado] como o adiante, retroagir bem como prever. Este enunciado envolve a identificação – inevitável no empirismo lógico ortodoxo – de leis com seus enunciados. (BUNGE, p.39, n.12) [tradução nossa]

²¹ O problema do Idealismo, abordado em III na Introdução desta tese.

Beyond doubt, we can make law statements function in a 'reversible' way, when using them for either postdictive or explanatory purposes; but such a reversibility at the epistemological level has nothing to do with the process to which such statements refer [...]. (BUNGE, p.39)²²

Bunge faz uma distinção entre leis objetivas da natureza e enunciados de leis, sobre o que ainda veremos.

Passemos agora para o exame de outro conceito embutido no enunciado “Se C, então E sempre”, o de *constância*, a fim de averiguar se apresenta um significado essencial relativo ao princípio de causalidade. Vejamos.

Se C é o caso, invariavelmente E se seguirá, este o significado do operador “em todos os casos” (“*Always*”) – lembremos que Bunge mostra que o termo deste operador não se vincula a tempo. O enunciado não indica uma ocorrência provável ou possível em uma porcentagem de casos, antes afirma que a conexão é obtida invariavelmente. Em tal enunciado o vínculo causal é condicional, assimétrico e necessário.

Bunge questiona se “necessidade” deveria ser incluída em uma formulação adequada do princípio causal. Tradicionalmente a resposta é afirmativa, mas é preciso ter atenção a que o uso desse conceito por cientistas e filósofos modernos, assume significado diferente do tradicional e popular, segundo Bunge. A noção tradicional de necessidade envolve três significados: a) incondicionalidade: qualidade do que ocorre sob todas as circunstâncias, se ou não certas condições são dadas; b) obediência passiva: relativa à subordinação a um poder externo ou transcendente que não subjaz à natureza das coisas; c) vontade: próximo da noção de necessidade humana, e nesse caso a reação do empirismo ortodoxo a essa visão antropocêntrica consistiu em reduzir o uso válido de necessidade como o que ocorre sem exceção ou como regularidade no sentido de ciência pré-estatística. Para Bunge, não há um sentido comum para o emprego desse termo, “necessidade”, como conceito singular.

Vemos então que o enunciado “Se C, então E sempre” deve mostrar, nas palavras de Bunge:

[...] to contain three notions that are usually associated with causality: the conditionalness peculiar to lawfulness, the existential priority of the cause over the

²² Sem dúvida, podemos fazer *enunciados* legais funcionarem de um modo ‘reversível’, quando os usamos mesmo para propósito pósditivo ou explanatório; mas uma tal reversibilidade, em nível epistemológico, nada tem a ver com o processo ao qual tais enunciados referem-se [...] (BUNGE, p.39, n.12) [tradução nossa]

effect, and lack of exception. But are these traits enough to describe causation unambiguously? (BUNGE, p.40)²³

M. Bunge passa então a discorrer sobre objeções contra a fórmula usual (3), como fórmula adequada de causalidade. Uma objeção é quanto a essa formulação (3) não explicar a unicidade da conexão causal, não afirma haver uma correspondência recíproca (*one-to-one*) entre C e E. Na verdade, em (3) o termo C pode denotar qualquer das causas suficientes, daí a fórmula abrir espaço para causalidades múltiplas. “Por outro lado, causalidade simples é caracterizada por correspondência recíproca entre causa e efeito, i.e. a relação entre C e E é tal que há um E *singular* para todo C e vice-versa. A existência de E segue (não necessariamente no tempo) num *único* ou *inambíguo* modo de existência de C; ou novamente, E é uma função de valor-singular de C.” (BUNGE, p.41)

De modo diferente da condicionalidade, que é uma peculiaridade da lei objetiva, científica, unicidade, ou perda de ambiguidade, é ausência de certo tipo de lei, tais como regularidades estatísticas, as quais estabelecem conexões muitos-para-um (*many-to-one*) entre causas e efeitos. Unicidade é uma característica, embora não exclusiva, da causalidade; geralmente é descrita como a rigidez (*rigidity*) da determinação causal, e deve ser contrastada com a inconsistência (*souplesse*) da determinação estatística, largamente não sensível (*insensitive*) como é preciso detalhar (tal como o estado inicial dos componentes individuais de massa do gás). Este caráter inambíguo do nexos causal (simples) também deve ser contrastado a assim chamada plasticidade da determinação teleológica, na qual uma meta dada pode ser alcançada através de um feixe completo de meios alternativos. Podemos imaginar as seguintes possibilidades quanto a isso: a) o nexos causal é único; b) um dado número de estados iniciais pode alcançar a mesma distribuição estatística final F; c) diversos meios podem ser empregados por um organismo para alcançar uma dada meta G que é invariante sob condições mutáveis (dentro de limites).

Se apenas fatores necessários e suficientes (ao invés de exatamente suficientes) devem ser considerados como antecedentes em uma conexão causal, i.e., se *causalidade simples* é meio, então a formulação (3) tem que ser alterada para “Se C, então (e apenas então) E sempre.” (4) Essa formulação explica as seguintes características usualmente admitidas para a causalidade: condicionalidade, sucessão existencial, constância e unicidade. Mas ainda é insuficiente, segundo Bunge, como fórmula adequada para a causalidade.

²³[...] conter três noções que são comumente associadas à causalidade: a condicionalidade peculiar ao preenchimento da lei, a prioridade existencial da causa sobre o efeito, e a perda de exceção. Mas há traços suficientes para descrever causalidade inambiguamente? (BUNGE, p.40) [tradução nossa]

Bunge passa a analisar o enunciado (3) por outra formulação: a sentença “Se C, então (e apenas então) E sempre” (4). Este é um enunciado condicional universal expressando a *conjunção constante* de dois tipos de termos – *conjunção-constante* é aqui *entendida em sentido ontológico* e não lógico, i.e., não significa afirmação da reunião de duas proposições, mas *ocorrência concomitante de dois eventos*. Não enuncia uma conexão genética, mas uma associação externa, uma coincidência invariável.

Mas notemos que a usar-se esses termos, coincidência, associação externa, parece não haver garantia para se pretender justificar a conexão causal. E como mesmo Bunge afirma:

It says nothing about the active and productive nature that causal agents are usually supposed to possess, nothing of a process out of which E emerges. The sentences (3) e (4) are typically phenomenalist maxims in which the cause concept is not regard as a category of determination through change, but only as an antecedent. (BUNGE, p.42)²⁴

Isso é o que Hume questiona e aponta: *a antecedência não é suficiente para ser afirmada a causalidade na conexão entre dois eventos*; como um antecedente está interligado a outro posterior é o que se questiona filosoficamente, e pode ser investigado e interpretado pela Física. Questão que temos ainda é se esses enunciados (3) e (4) são as fórmulas de causalidade pressuposta por Hume e se há outras plausíveis não contempladas por ele, as quais seriam mais pertinentes ao domínio físico, e não apenas enunciativas lógicas. Buscar considerar aquelas formulações em sentido ontológico é uma tentativa de dar conta dos questionamentos e anseios filosóficos, e não propriamente físicos, ainda que a ciência Física p.ex. lide com eventos ou fenômenos concernentes à ideia de causalidade; a Filosofia na interface com a Física, pensando sobre os conceitos pressupostos por esta ciência da natureza, ocupa-se então com questões epistemológicas acerca da definição de ciência e com os conceitos que perpassam os objetos de investigação da ciência física, no caso aqui o conceito de “causalidade”.

Na perspectiva crítica de Hume, a noção de “antecedência” deixa em aberto ainda a possibilidade da causalidade na natureza: por que um evento causa outro, e o faz antecedendo a seu efeito é a questão. A ideia de antecedência está relacionada à de correlação ou à de assimetria, necessidade da causa agir sobre e com precedência em relação ao feito? Para Hume, antecedência da causa não ocorre porque temos apenas regularidades e que no máximo podemos

²⁴ Diz nada sobre a natureza ativa e produtiva que agentes causais, supõem-se, comumente possuem, nada de um processo fora do qual E emerja. As sentenças (3) e (4) são tipicamente máximas fenomenalistas, nas quais o conceito de causa não é considerado como uma categoria de determinação através de mudanças, mas apenas como um *antecedente*.” (BUNGE, p.42) [tradução nossa]

estabelecer correlações entre elas; mas sim porque se causa houvesse na natureza, a assimetria seria necessariamente seu atributo, i.e. causa o é de algo que é seu efeito, não podendo haver inversão nesta ordem – ordem que seja de sucessão temporal (causa antes de efeito) ou de concomitância (causa simultânea ao efeito). Lembremos que Hume observa não haver contradição na possibilidade de ocorrer o contrário do que regularmente acontece, uma inversão na ordem regular de sucessão de eventos p.ex.; ora, nesse sentido, estamos abordando o assunto pela lógica do enunciado, e não pelo âmbito dos fatos; mas neste também nada temos de sólido para justificar que causalidade ocorre na natureza, ou seja, nenhum argumento demonstra que os eventos ou fenômenos naturais confirmem causalidade como um dado físico. Continuemos examinando mais argumentos pela análise de Bunge.

Desde Hume o enunciado (3) tem sido considerado pelos empiristas como exaurindo o significado de causação e, portanto, como o enunciado correto do princípio causal. Assim Ayer escreveu que “toda proposição geral da forma ‘C causa E é equivalente à proposição da forma ‘se C, então E’, em que o símbolo ‘se’ tem de ser tomado para referir, não um número finito de instâncias reais de C, mas um número infinito de instâncias possíveis.” (*Apud* BUNGE, p.43) E Reichenbach afirmou que “por uma lei causal o cientista entende uma relação da forma *se-então*, com o acréscimo de que a mesma relação mantém-se a todo tempo.” Em concordância com a tradição empirista ele considera que o “significado da relação causal consiste no enunciado de uma repetição sem exceção.” (*Apud* BUNGE, p.43)

Segundo Bunge, pode-se ver mediante essas considerações que empiristas contemporâneos não têm utilizado a definição humeana de causalidade, i.e., aquela que ele submete à crítica, qual seja, a da relação causal como conjunção constante, a “união constante entre a causa e o efeito” (BUNGE, p.43), como afirmado por Bunge²⁵. E isso, para William James, denota a compreensão de “um mundo de mero amontoado (*witNESS*), do qual as partes eram apenas ligadas pela conjunção ‘e’.” (*Apud* BUNGE, p.43) Ou seja, os fatos são pensados na correlação com enunciados, perspectiva do Empirismo Lógico, sobre o que exporemos em digressão, adiante.

Agora, mediante essa exposição de Bunge, precisamos considerar que ainda que os significados do termo causalidade adotados pelos empiristas contemporâneos não seja aquele pressuposto por Hume em sua crítica, esses significados estão para aquela compreensão lógica a que Hume se refere quando aponta não ser contraditório imaginar-se possibilidade contrária aos eventos regulares; são como questões de razão, e não garantem resolução do tema quanto à questão de fato; parece então que os empiristas contemporâneos como que saem pela tangente

²⁵ Cf. **Tratado da Natureza Humana**, Livro I, parte III, seção XV.

quanto ao problema da causalidade levantado por Hume, assim como Kant. Vemos então que não é tanto o caso de significados distintos serem empregados para o que se entende por causalidade, mas sim como os diversos significados vinculam-se ao problema fundamental que Hume apresentou em sua crítica à causalidade: os significados de causação adotados pelos ditos empiristas contemporâneos não apontam para possibilidades de se pensar o problema da causalidade de outro modo, que não o de Hume, ou para resolução da crítica de Hume à causalidade, antes permitem que essa crítica continue valendo, eles fazem a vez do enunciado de razão, com o que não se garante que causação seja fato.

Quer dizer, a análise de enunciados, em que se baseia o empirismo contemporâneo, ou empirismo lógico, parece não ser bastante, e sim necessária a verificação empírica, e, no caso, verificação empírica do que seja excepcional, fora da regularidade, de modo a conturbar a relação, ou conexão, causal estabelecida – isso remete à compreensão de que a análise da linguagem não seria suficiente como critério de verificabilidade do significado, o conteúdo dos enunciados não se referem necessariamente aos fenômenos empíricos, por mais que aqueles respeitem a lógica; e uma vez que algo excepcional ocorra escapando à regularidade dos eventos, como entender que a noção causal estabelecida, imaginada corresponde à realidade, aos acontecimentos em si e não apenas ligados pela lógica dos enunciados?

Bunge propõe pôr à prova a visão da causação como conjunção-constante (ou regularidade da sucessão de eventos), teste esse que é feito dando-se importância às variáveis “C” e “E”, vendo se as proposições singulares resultantes são realmente causais ou não.

Bunge apresenta dois exemplos: “Guerras causam barbárie” e “Maçãs vermelhas são doces”. A primeira é uma proposição abertamente causal, enquanto a última afirma uma correlação, pois ninguém seria capaz de considerar uma qualidade como a da cor “vermelha” como causa de outra qualidade, a do sabor “doce”. E note-se que tais proposições ajustam-se à fórmula (3). Temos com isso um contraexemplo que, para Bunge, bastaria para indicar que a fórmula humeana da causação não é específica o suficiente para ser considerada como uma adequada reconstrução conceptual da conexão causal.

Mas podemos perguntar se realmente é o contraexemplo uma demonstração da inadequação da formulação humeana de causação ou se ele exprime mesmo o que a crítica de Hume à causalidade propõe: nexos causais são aparentes, uma vez examinando a formulação proposicional que nosso pensamento e impressões usam e pressupõem quando acreditam, por força do hábito, ocorrer causalidade na natureza. É como se Hume estivesse chamando atenção para o seguinte: em alguns casos, como o do contra exemplo oferecido por Bunge, a aparente conexão causal é evidentemente sem sentido, podendo haver apenas correlação entre

proposições singulares correspondentes a fenômenos, *mas* mesmo quando se examina os dados mais complexos e abordados com refinamento pela investigação científica podemos reconhecer, em última análise, que causalidade ali também não ocorre.

Em outras palavras, Hume está mesmo denunciando que a fórmula (3) pressuposta na conexão de eventos que fazemos habitualmente não representa causalidade entre os fenômenos da natureza – e esse argumento, pelo contra exemplo apresentado por Bunge apenas corrobora a crítica de Hume à causalidade. Vemos com isso quão frágil, sem consistência a conexão entre eventos que por hábito fazemos, e tão sem nexos quando levada a um paroxismo como no caso da proposição “Maçãs vermelhas são doces”!

O que temos como questão – e nisso, de certo modo concordante com a análise de Bunge sobre as formulações de causalidade – é saber se, uma vez não sendo (3) a única formulação para causação, em Hume outras formulações são feitas, ainda que não explicitamente, *ou* se demais formulações, a serem encontradas em outros autores, na ciência, e não estando em Hume, são redutíveis à (3), ou melhor, estão no campo semântico da argumentação crítica de Hume.

Mediante essas ponderações em torno da análise de Bunge, como digressão, podem ser notadas as seguintes questões:

- i) A ideia ou fórmula de causação pressuposta por Hume em sua crítica à causalidade se aplica a quais casos na Física?
- ii) Ainda que outras formulações de causação existam, a de Hume é uma a mais ou as abrange?

ii.1. Sendo válida a argumentação de Hume, como se aplica a casos da Física hoje? Como interpretar a TQ no tocante à causalidade? Nesse tocante, desenvolve-se o capítulo IV desta tese.

ii.2. Se não válida, qual argumento demole a crítica de Hume? E ainda: se esse argumento houver, como este argumento crítico à crítica de Hume atinge um exemplo possível da crítica de Hume, a TQ?

Retomando as considerações de Bunge, continua-se sua análise sobre a impertinência da pressuposição de causação por Hume pela formulação (3). Segundo Bunge, a principal razão da inadequação da fórmula (3) é que também é fraca: expressa uma relação, não uma conexão. Pela afirmação de que “Se C, então E sempre” apenas uma relação constante entre dois termos é entendida, uma correlação invariável entre eventos que estão “soltos e separados”, “conjugados, mas não conectados”, nas palavras de Bunge – como descreve Hume. A fórmula humeana (3) expressa, na verdade, a condicionalidade, assimetria – quer dizer, que causa e efeito não se dão reversivelmente, a ordem dos fatores nisso altera o produto – e falta de exceção que caracteriza a

ligação causal; mas ela não é explicação para a unicidade, nem para o caráter genético da relação entre C e E. Ela não convém à produtividade ou eficácia da causação: em suma, não diz que o efeito acontece por ser produzido pela causa, mas apenas que é regularmente conjugado a ela.

Isso, insistimos, é o que Hume indica: considerando-se a formulação (3) a causação não é eficaz ou produtiva, ou melhor, ela não ocorre. Agora, quanto a unicidade entre eventos e caráter genético da relação entre eventos, é preciso examinar se não se submete realmente à análise crítica de Hume. A respeito da causação, por aquela formulação (3), não ser eficaz, não representar causalidade realmente na natureza, vale citar Bunge:

[...] a law of correlation is not a causal law, because it does not state that a given entity (or a change in it) is produced by another entity (or by a change in it), but just that the two are regularly associated. Thus hair on the one hand and teeth or horns on the others are often correlated with one another. (BUNGE, p.44)²⁶

E em nota a essa última afirmação, Bunge menciona Darwin, em **A origem das espécies**, para exemplificar o caso de uma correlação e não causação:

See, for example, Darwin (1859), The Origin of Species, 6th ed., pp. 11-12: 'Hairless dogs have imperfect teeth; longhaired and coarse-haired animals are apt to have, as is asserted, long or many horns; pigeons with feathered feet have skin betwin their outer toes; pigeons with short beaks have small feet, and those with long beaks large feet. Hence if man goes on selecting, and thus augmenting, any peculiarity, he will almost certainly modify unintentionally others parts of the structure, owing to the mysterious laws of correlation.' See also pp.149 ff. (Apud BUNGE, p.44)²⁷

Pode-se entender valer a curiosa e interessante menção a Darwin aqui, mas é necessário ressaltar que esta pesquisa de tese se cinge ao problema da causalidade na Física – não se voltando nem para casos em que a Física se integra à Biologia; pode ser presumido que essa última ciência exige uma abordagem muito distinta, peculiar de seus objetos, de modo que os conceitos que perpassam outras ciências e nela sejam aplicáveis passam a ser redimensionados, não apenas estendidos.

²⁶ [...] uma lei de correlação não é uma lei causal, porque não enuncia que uma entidade dada (ou uma mudança nela) é produzida por outra entidade (ou por uma mudança nela), mas exatamente que as duas estão regularmente associadas. Assim cabelo, por um lado, e dente ou chifres, por outro, são frequentemente correlacionados um com o outro. (BUNGE, p.44) [tradução nossa]

²⁷ Ver, por exemplo, Darwin (1859), A Origem das Espécies, 6ª ed., pp.11-12: 'Cães sem pelos têm dentes imperfeitos; animais são aptos a ter, como é afirmado, longos chifres ou alguns; pinguins com pés tem entre seus externos; pinguins com curtas tem pés pequenos, e aqueles com longas, pés amplos. Daí se o homem seleciona, e então, alguma peculiaridade, ele muito certamente modificará não intencionalmente outras partes da estrutura, devido a misteriosas leis de correlação.' Ver também pp.149 e segs.. (Apud BUNGE, p.44) [tradução nossa]

Bunge ainda conclui que, não apenas quanto à lei de correlação não há realmente conexão causal, mas neste caso também não ocorre a causalidade genética: *“In either case the genetic, productive elemento is absent – and this productivity is chiefly what renders the cause-effect connection essentially unsymmetrical.”* (BUNGE, p.44) (“No mesmo caso genético, elemento produtivo está ausente – e esta produtividade é principalmente o que essencialmente torna a conexão causa-efeito assimétrica [não simétrica].” (BUNGE, p.44))

Há mais sobre isso: muitos enunciados em matemática pura satisfazem o “Se-então sempre”. E seria difícil admitir para matemáticos a tarefa de explicação por conexões causais: fórmulas matemáticas não interpretadas não se referem ao mundo externo, mas constituem um mundo por elas mesmas – nesse tocante, pode-se supor que Bunge esteja entendendo por “fórmulas matemáticas não interpretadas” aquelas que não são utilizadas por alguma ciência, sendo aplicadas na descrição de eventos, assim como as equações de Lorentz valeram para a Teoria da Relatividade Especial ou as equações gaussianas para a Teoria da Relatividade Geral, as teorias de Einstein.

Objetos matemáticos são certamente um produto da atividade humana e podem ser correlatos a processos materiais pelo modo das regras de correspondência – mas em si mesmos objetos matemáticos não estão sujeitos à mudança: são imutáveis, e em particular eles não têm o poder de mudança sobre suas próprias explicações, por assim dizer, não afetam o sentido das suas explicações. Vale citar o que Bunge põe em nota sobre essa condição matemática:

There is neither a mathematics of rest nor a mathematics of change, any more than there is a logic of rest or a logic of change. Ideal objects, like those handled by logic and mathematics, are characterized, in contrast to materials objects, by their timelessness and lack of self-movement. The ability of scientists in connection with the use of mathematics as a language for expressing facts consists in establishing the right correspondences between symbols and materials referents, particularly among the static abstract structures and the concrete process in the restless external world. (BUNGE, p.45)²⁸

De tudo até agora exposto, Bunge conclui que produtividade é tão ausente da matemática como da fórmula de causação humeana (3). Mas é exatamente isso que Hume pretendeu

²⁸ Não há nem uma matemática da inércia, nem uma matemática da mudança, não mais do que há uma lógica da inércia ou uma lógica da mudança. Objetos ideais, como aqueles retidos pela lógica e matemática, são caracterizados, em contraste com objetos materiais, por suas atemporalidade e perda de movimento próprio. A habilidade de cientistas em conexão com o uso da matemática como uma linguagem para expressar fatos consiste em estabelecer a correspondência correta entre símbolos e referências materiais, particularmente entre estruturas estatísticas abstratas e o processo concreto no mundo externo agitado. (BUNGE, p.45) [tradução nossa]

demonstrar: naquela formulação (3), pressuposta em nossa apreensão das ocorrências sucessivas e regulares, não há causalidade, não há conexão eficaz, produtiva de causa para efeito, a conexão é arbitrária, tem-se apenas correlações. Por outras, não se encontra sustentação argumentativa para entender-se haver causalidade na natureza.

Segundo Bunge, além de ser ontologicamente incompleto, defeituoso, o celebrado criticismo de Hume sobre a eficácia da causação, pode ser mostrado que é circular. Pelo que já expusemos antes, interpretando distintamente de Bunge a formulação (3) da crítica de Hume, não concordamos que seja incompleta e defeituosa. Passemos então à averiguação da objeção a Hume, quanto a haver circularidade em sua argumentação.

O criticismo de Hume, conforme Bunge expõe, repousa sobre as seguintes admissões:

- a) impressões sensíveis são o único relato a ser considerado – como convém a uma teoria empirista;
- b) impressões sensíveis são momentâneas, i.e. não relacionadas a modo idêntico passado ou futuro;
- c) desde que o passado não é mais (*longer*) atual, não pode agir sobre o presente, de modo que *todo evento é uma entidade nova* não tendo conexão com entidades existentes no passado – uma consequência que, se desenvolvida consistentemente, deveria conduzir à conclusão de que o mundo é criado novamente a cada instante de algum modo misterioso.

Ora, conseqüentemente, Hume pressupôs o que ele pretendeu provar, a saber, que não há conexão entre passado e futuro; em outras palavras, sua refutação da causação produtiva é circular.

Essa perspectiva é nevrálgica para a argumentação de Hume, mas permite reafirmar a sua crítica à causalidade. Há realmente um círculo vicioso em sua argumentação?

Desde que o passado não pode interferir sobre o presente, uma vez que temos impressões sensíveis que são momentâneas, que não são as mesmas do passado, são singulares, então não há causalidade produtiva ou conexão necessária entre eles; se não houver conexão necessária entre tais eventos singulares, semelhantes, tudo é misteriosamente um fato novo... *O problema que Hume aponta pode ser entendido como sobre não termos uma garantia ou um argumento para sustentar haver causalidade ou conexão necessária.*

Pensando assim, *pode ser interpretado que Hume não se vale propriamente de não haver causalidade produtiva por não haver conexão necessária entre passado, presente e futuro e termos apenas fatos singulares e novos a cada vez, apesar da regularidade e semelhança entre os eventos nos diferentes momentos. Ele como que pergunta: uma vez que as impressões*

sensíveis são dados singulares na sua imediatidade, então o que garante conexão necessária, causação entre um dado singular similar a outro como se fosse mais do que uma repetição de algo passado, mas manifestação de uma conexão do passado com o que se apresenta aqui e agora sendo apreendido?

Podemos dizer que a *ratio cognoscendi* ou razão de conhecimento da não causalidade na natureza encontra-se no decorrido antes: temos fatos aqui e agora, mas conexão necessária ou causação entre fenômenos ou eventos no presente com os do passado ou do futuro, não está garantida, e o máximo que podemos afirmar sobre tais acontecimentos é que são singulares, novos, ainda que cause estranheza a inevitável conclusão disso: o mundo é novo a todo momento ou como nas sentenças heraclíticas: “Para os que entram nos mesmos rios, correm outras e novas águas”²⁹ ou “Tudo é um”³⁰.

Por sua vez, é a não causalidade a *ratio essendi* de assim termos que reconhecer, conceder, a despeito de nosso pensamento rebelar-se e insistir em vista de afirmar haver causalidade; mas Hume nos diz que essa insistência apenas se funda no hábito frente a regularidade sucessiva. Assim podemos apenas estabelecer entre os fenômenos correlações e não propriamente conexão causal. Estranhando as ocorrências, é como se pensássemos e perguntássemos assim: por que as coisas ocorrem assim, acontece agora, aconteceu antes, vai acontecer depois? Como essa sucessão ocorre? Tendemos a responder imaginando alguma conexão necessária, uma causa intrínseca a essa sucessão regular. Mas Hume observou que esta conclusão é presumida; e até podemos fazer perguntas diferentes daquelas – e que pelo hábito com o que percebemos nos induzimos acreditar haver causação –, e fazemos essas sem ferir a lógica, quais sejam: é o mesmo fenômeno que realmente acontece? Se imediata e diretamente se apreende um dado singular, aqui e agora, como podemos afirmar que se interliga a outro ainda que semelhante? Tais dados ou ocorrências do que se percebe como “semelhanças”, “regularidade” e “sucessão”, esses dados estão apoiados em que? Pode bem ser que se estabeleça apenas correlação entre o dado presente e outros, similares ou não, por hábito, levando-se a induzir isso como que sugerido pela sucessão regular de eventos ou fenômenos similares, sem que nisso haja ulteriormente conexão necessária de uma causa para os fenômenos assim ocorrerem.

Em última análise, sendo essa a argumentação de Hume, o círculo vicioso apontado nela mostra-se apenas aparente.

Bunge continua sua análise crítica da argumentação humeana, somente afirmando brevemente que a redução empirista da causação à regularidade é fundada em um equívoco, a saber, “*the*

²⁹ HERÁCLITO, fr.12.

³⁰ HERÁCLITO, fr.50.

identification of truth with its criterion, the reduction of the meaning of a proposition to the mode of its verification.” (BUNGE, p.45) (“a identificação da verdade com seu critério, a redução do significado de uma proposição ao modo de sua verificação.” (BUNGE, p.45))

Bunge com isso está lembrando a distinção entre, por um lado, verdade, ou significado de proposições, e, por outro, critério ou modo de verificação, e entende que causalidade estaria para a primeira, enquanto a regularidade de sucessão, ou formulação (3), estaria para o critério de verificação.

Podemos dizer que Hume lida com essas distinções e seu questionamento concerne à relação que se pretende estabelecer entre uma e outra: seria a regularidade um critério suficiente para a causalidade como uma verdade na natureza? E ainda: que haja uma causa como antecedente explicativo em proposições de critérios para ocorrências ou dados, isso garante que assim seja, i.e., que haja uma causa real? Ou seja, “antecedência” não seria algo presumido como critério, sem implicar que uma relação intrínseca entre uma causa e efeito, causa como verdade que interfere sobre eventos subsequentes, seus efeitos?

Essas mesmas perguntas podem ser feitas em relação a qualquer critério quanto ao que seja causalidade e buscar-se saber como pode acontecer a relação entre o critério e a verdade do fato: o problema é que o critério de verdade parece poder induzir à sensação de assimilação da verdade, de identificação da verdade; como saber que o critério é válido?

Parece que Hume se dá conta desse problema, lidando com as camadas discursivas que encobrem os fenômenos, tentando retirá-las destes; e o que encontra é apenas a possibilidade de que o mundo seja recorrentemente novo, a todo momento, por mais estranho que isso pareça ser. E ainda que possa parecer estranho, não é ilógico que assim possa ser pensado e assim seja.

Bunge chama atenção que aquele procedimento de identificação, ou confusão, da verdade com o critério, no caso da causalidade com a regularidade, se passa do seguinte modo:

1º) supõe-se que o único teste da causalidade é a observação da conjunção constante, i.e., da regularidade da sucessão de um fenômeno antecedente com outro que lhe suceda, mas então, em um modo exagerado de detrimento para a teoria, conforme Bunge;

2º) “então, pela doutrina de verificabilidade do significado, de Wittgenstein, é concluído que o significado da causalidade é exaurido pela associação da regularidade.” (BUNGE, p.46)

Vale agora digressão sobre o *Empirismo Lógico*. No início do século XX, o Positivismo como teoria de justificação da ciência fica abalado, o seu anti-atomismo e entendimento de que só há conhecimento a partir do observável, recusando especulações sobre dados abstratos, não intuitivos, reforçando o empirismo, mostra-se insustentável mediante os avanços da Física naquele momento. No entanto, um novo empirismo se consolida no Círculo de Viena, nas

primeiras décadas do século XX. Convertendo enunciados científicos sobre elementos abstratos a enunciados últimos, elementares da experiência, se vale da lógica para exame das transposições de conceitos ou enunciados científicos sobre a realidade e para análise da consistência do sistema científico. Daí ser esta nova abordagem filosófica da ciência denominada Empirismo Lógico ou Neopositivismo, que se inspirou no primeiro Wittgenstein, o da obra **Tractatus Lógico Filosófico**.

O Neopositivismo defende a visão representacional da linguagem, assumindo como pressuposto que a linguagem representa o mundo; conforme o Empirismo Lógico, denominado também Filosofia Analítica da Linguagem, podemos descrever as ocorrências do mundo com objetividade com a garantia do esclarecimento do núcleo lógico subjacente às expressões linguísticas.

Nessa perspectiva da linguagem, a relação do homem com o mundo é uma relação de significação, a qual decorre da representação fidedigna que a linguagem pode exprimir, enunciar sobre o mundo. Para se lidar com os problemas, possibilidades de imprecisões ou distorções da linguagem, basta compreender sua lógica e também reconhecer os limites da linguagem.

Pela visão representacional da linguagem, não se pode saber algo fora da linguagem, está é condição para conhecer e apreender algo – eis nisso a “virada linguística” apontando novo paradigma epistemológico: a linguagem é o domínio pelo qual a realidade se manifesta. Com a “virada” linguística se pretende superar os problemas surgidos na Modernidade acerca das reflexões sobre a possibilidade do conhecimento sobre o mundo, o que se expõe como problema da relação sujeito-objeto, i.e., de como saber que o pensamento pode acessar o mundo de modo que este, distinto daquele, não seja apenas uma imagem ou conteúdo cognitivo, mas mundo conhecido em sua exterioridade, realidade própria, distinta, que o mundo possa ser conhecido e isso de modo universal, necessário, objetivo, e não configurado pela subjetividade.

Com a virada linguística, apreendemos fatos, e não coisas, “o mundo é a totalidade dos fatos”: fatos são complexos, por meio destes temos acesso ao mundo. A linguagem representa os fatos, pelos quais acessamos o mundo. Ou seja, o fato corresponde a um enunciado sobre algo do mundo, e só podemos compreender enunciados com sentido, ainda que não representem um fato de imediato; é que a proposição, expressão linguística do pensamento, é verificável, pode encontrar sua verdade no mundo, ser factível.

Saber como a linguagem funciona, conhecer seu mecanismo lógico como expressão do pensamento que se ocupa com o mundo, permite depurar a linguagem de “enfeitiçamentos”, elucubrações metafísicas, questionamentos sobre a essência ou fundamento da realidade, sobre o porque de todas as coisas.

Não podemos falar sobre o que escapa ao domínio dos fatos, do mundo exprimível pela linguagem orientada por sua lógica. Inefável é aquilo que não pode ser expresso pela linguagem assim compreendida, podendo-se apenas mostrar, mas não dizer algo sobre isso. Eis o limite da linguagem. Isso quer dizer, para não se recair em problemas é preciso identificar o campo de aplicação da realidade verificável e admitir que algo escapa a este campo, o inefável, a saber, os fundamentos da religião, da ética e da estética, que associam-se a questões metafísicas.

Controversa esta relação da ciência com a realidade, mediada pela lógica, como se esta fosse o bastante para não se ter como questionável a relação conhecimento e apreensão direta, verdadeira do mundo. Discutível que a ciência seja um olhar continuado e preciso sobre o que se passa na realidade; distinto dessa perspectiva do positivismo lógico, tem-se o entendimento de G. Bachelard, para quem é próprio da ciência operar por imaginação e transgressão da visão de mundo estabelecida. Segundo este,

[...] a unidade da ciência, tantas vezes alegada, não correspondia jamais a um estado estável e que por conseguinte era bem perigoso postular uma epistemologia unitária. A história da ciência não somente faz aparecer um ritmo alternativo de atomismo e positivismo, de descontínuo e contínuo, de racionalismo e empirismo; a psicologia do cientista não somente oscila, em seu esforço cotidiano, entre a identidade das leis e a diversidade das coisas, mas também é a respeito de cada tema que o pensamento científico se divide em de direito e de fato. (BACHELARD, p.9)

Retomando a análise de Bunge, vemos que ele reconhece que é indiscutível que, em vista de testar hipóteses concernentes a qualquer tipo de fato, o exame de um grande número de instâncias similares é muito conveniente: quando quer que seja possível, é desejável investigar diversas coleções ou séries de fenômenos (quase) repetitivos sob algum aspecto. Mas, à parte do fato de que isto não é sempre possível na prática, uma prescrição metodológica segura não impõe que causação se identifique com a regularidade – problema filosófico que tem na base a controvertida relação entre conhecimento e apreensão direta do mundo que mencionamos no parágrafo anterior, e que remonta a correntes de pensamentos do Idealismo, e sobre o que Bachelard entende ser uma dialética própria da ciência oscilar entre racionalismo e empirismo.

Para Bunge também a redução da causação à regularidade revela:

[...] a confusion of epistemology (and, more particularly, of scientific methodology) with the theory of the most general traits of reality, namely, ontology. Likewise, the recognition of the fact that every criterion of material existence involves sensing, acting, and judging subjects does not imply that every existent is dependent upon some sensing, acting, or judging being. (BUNGE, p. 46)³¹

³¹ [...] uma confusão da epistemologia (e mais particularmente da metodologia científica) com a teoria dos aspectos gerais da realidade, a saber, ontologia. Do mesmo modo, o reconhecimento do fato de que todo critério de existência material envolve sujeitos percebendo, agindo e julgando não implica que todo

No caso da segunda observação de Bunge na citação, realmente não há implicação entre o fato ser tal como percebido pelo sujeito que o percebe, dependente deste; mas o problema que temos é quanto a saber *o que é real e não algo que depositamos de nossas especulações sobre a realidade*. Quanto à confusão entre Ontologia e Epistemologia pela interpretação de que causalidade – uma categoria talvez ontológica, um aspecto último e essencial da realidade – se identifica com regularidade – critério ou meio para se averiguar ou avaliar se uma propriedade ontológica corresponde ao real (e claro que em Filosofia há a problema sobre a validade do próprio critério de verdade) –, podemos compreender que *Hume também pretende desfazer tal distorção e ainda deixa em aberto a possibilidade do conhecimento*, uma vez que fica em aberto a questão que decorre de sua argumentação e que ressaltamos aqui, em outras palavras, o que é real e o que não o é.

Bunge conclui que a redução da causação à regularidade de ocorrências, como proposta por humeanos, equivale a confundir causação com seus testes; e que tal redução de uma categoria ontológica a um critério metodológico é a consequência do dogma do empirismo epistemológico, ao invés de um resultado de uma análise não prejudicial das leis da natureza.

Mas precisamos reforçar então, mediante essa observação de Bunge, que Hume mostra sim que associações entre eventos regulares não define causação – isso na sua **Investigação**: e a julgar pelo subtítulo da obra, “uma Metafísica da Experiência”, Hume propõe mostrar uma confusão entre a categoria metafísica da “causalidade” e o critério entendido como regularidade, percebido pelo hábito. Lembremos que Metafísica pode ser tomada como Ontologia, na pretensão de elucidar o fundamento último da realidade; e assim a confusão entre o aspecto ontológico e epistemológico sendo também abordada na obra de Hume, de modo que ele tenha pretendido desfazer essa confusão.

Mais detidamente, Bunge tenta precisar o sentido de causalidade que Hume considera para sua argumentação crítica da causalidade. No capítulo 3 de *Causality and modern science*, defende a tese de que Hume em sua crítica à causalidade, em seu *Tratado...*, estaria apenas considerando *causalidade* como entendida pelo Cartesianismo e por Leibniz, a saber, *como contiguidade*. Para Bunge a abordagem crítica de Hume nesse sentido é deficiente, uma vez que a física de Newton,

existente seja dependente de algum ser sensível, atuante ou sendo julgador [juiz]. (BUNGE, p. 46) [tradução nossa]

já bastante divulgada na época, e acessível a Hume, pressupunha uma compreensão de causalidade não contemplada por Hume, qual seja, *causalidade como antecedência*.

Contudo, podemos mostrar que *a argumentação crítica de Hume nas suas **Investigações**, obra posterior ao seu **Tratado**, distingue-se da crítica apresentada nesta primeira obra – e aquela sendo mais contundente e abrangente do que esta –, não se cingindo à compreensão de causalidade como contiguidade, atingindo também ao entendimento de causalidade como antecedência – esta que, segundo Bunge, aparece na teoria da gravitação de Newton, considerando-se a ação à distância entre corpos, o que descartaria a contiguidade.*

Sobre essa abordagem de Hume nas suas **Investigações**, de modo a argumentar criticamente sobre as acepções de causalidade envolvidas aqui, quais sejam, contiguidade e antecedência, passa-se agora para a análise de Barry Stroud em defesa da perspectiva crítica de Hume acerca da causalidade.

2.3 Pertinência de Hume, segundo Barry Stroud

Conforme crítica de Mario Bunge a Hume, a argumentação deste não atingiria a Física de Newton porque em seu **Tratado** “causalidade” não assume o sentido de antecedência, o que seria relevante para análise sobre o aspecto causal na física newtoniana, e que Hume se cinge à aceção de causalidade como contiguidade nesta obra³². Contudo, pode-se considerar o exame de Barry Stroud em defesa de Hume, tendo em vista mostrar a pertinência da argumentação crítica de Hume à causalidade em sua **Investigação**, obra posterior ao **Tratado**, na qual Hume argumenta acerca do problema da causalidade de modo a envolver as acepções de causalidade como contiguidade e também como antecedência. Significativa a interpretação de Stroud de que ainda que causalidade ocorra, argumentos comumente pressupostos para aceitação desta não confirmam sua possibilidade, e este seria o ponto que Hume atinge. Passa-se agora à análise de Stroud.

Barry Stroud chama atenção para a seguinte passagem das **Investigações**:

*If you were to ask a man, why he believes any matter of fact, which is absent; for instance, that his friend is in the country, or in France; he would give you a reason; and this reason would be some other fact; as a letter received from him, or the knowledge of his former resolutions and promises... All our reasonings concerning fact are of the same nature. And here it is constantly supposed that there is a connexion between the present fact and that which is inferred from it. Were there nothing to bind them together, the inference would be entirely precarious. (Apud STROUD, p.42-43: E, p.26-27) [grifo nosso]*³³

Notemos que na citação anterior a afirmação de que “[...] é constantemente suposto que há uma conexão necessária entre o fato presente e aquele que é inferido dele”, como em um enunciado preditivo, parece que Hume não está se cingindo a eventos contíguos, até porque a contiguidade, conforme seus argumentos, não garante a conexão necessária entre o presente e o passado ou o futuro; em última análise, ele quer mostrar que a noção de antecedência não está nas ocorrências de eventos ou de fenômenos contíguos, nem também nos não contíguos, neste

³² Vale lembrar que, se na Física de Newton causalidade pode ser tomada no sentido de antecedência, críticas a partir de perspectivas teóricas físicas baseadas na ideia de contiguidade não seriam suficientes para atingir aquela. Sobre teorias físicas que pressupõem causalidade como contiguidade, ver neste trabalho o capítulo 3, seção 3.3.

³³ Se você perguntasse a um homem por que ele acredita em algo de fato, o qual esteja ausente; por exemplo, que seu amigo está na cidade ou na França; ele daria a você uma razão; e esta razão seria algum outro fato; como uma carta recebida dele, ou o conhecimento de suas resoluções anteriores e promessas... Todos os nossos raciocínios concernentes ao fato são da mesma natureza. E aqui *está constantemente suposto que há uma conexão entre o fato presente e aquele que é inferido dele. Nada havia para ligá-los, a inferência seria inteiramente precária.* (Apud STROUD, p.42-43: E, p.26-27) [grifo nosso] [tradução nossa]

caso como aqueles pensados na física de Newton. E observemos que, se no **Tratado** não há menção à física newtoniana, na **Investigação** é feita essa indicação³⁴; Hume, portanto, não ignorou a física de Newton.

Tudo isso corrobora a ideia que se pretende defender aqui, qual seja: Hume está fazendo uma crítica aos seguintes enunciados ou pressupostos:

- i) Contiguidade revela ou garante conexão necessária, e daí em eventos contíguos pode-se depreender a relação de causa e efeito;
- ii) O antes e o depois pressuposto na relação entre eventos – o que não necessariamente diz respeito apenas a eventos contíguos –, o que se extrai da recorrente repetição de eventos sucessivos, também garantiria a relação de causa e efeito, como se o antecedente originasse o outro seguinte, o consequente.

O que vemos formalmente elaborado na argumentação crítica de Hume é um enunciado – que consiste em sua crítica à causalidade – sobre outros enunciados, os quais pressupõem haver causalidade por contiguidade e por antecedência.

Além disso tudo, em oposição a Bunge, veremos, na seção 3 desta tese, que Max Born discorre sobre o sistema newtoniano mostrando que este não comporta causalidade no sentido de contiguidade (como no item *i* acima), isso é claro, nem como antecedência (caso do item *ii*).

E Barry Stroud afirma: “*To find the origin in experience of the idea of causality Hume first looks at an example of two things we would regard as being related as cause and effect and asks what impressions we get when we perceive them.*” (STROUD, p.43) (“Para encontrar a origem da ideia de causalidade na experiência, Hume primeiro observa um exemplo de duas coisas que consideraríamos como sendo relacionadas como causa e efeito, e pergunta quais impressões temos quando as percebemos.” (STROUD, p.43))

Isso é o que pode ser visto no seguinte trecho das **Investigações**:

*I find in the first place, that whatever objects are consider'd as causes or effects, are contiguous; and that nothing can operate in a time or place, which is ever so little remove'd from those of its existence. Tho' distant objects may sometimes seem productive of each other, they are commonly found upon examination to be link'd by a chain of causes, wick are contiguous among themselves, and to the distant objects; and when we still presume it to exist. (E, p.74: Apud STROUD, p.43) [grifo nosso]*³⁵

³⁴ Pode-se conferir remissão aos estudos astronômicos na primeira citação em 2.1, deste capítulo 2.

³⁵ Eu acho, em primeiro lugar, que quaisquer objetos considerados como causas ou efeitos, são contíguos; e que nada pode operar em um tempo ou lugar, que seja mesmo tampouco removido daqueles de sua existência. Aqueles objetos distantes podem às vezes parecer produtores de cada um dos outros, eles são comumente encontrados sob exame para serem ligados por uma cadeia de causas, as quais são contíguas

Note-se com isso que além da compreensão de cadeia de causas contíguas, há também outra perspectiva, a de que mesmo entre objetos distantes, sem cadeia de causas contíguas aparente, intangível, “ainda presumimos que ela exista”. Isso é o que está presumido na Teoria da Gravitação de Newton pela ideia de “ação à distância” entre os corpos astronômicos.

Uma coisa é que *a cadeia* de causas seja contígua – isso é o que Hume conclui como “essencial” à causalidade, o que parece não se restringir à perspectiva cartesiana e à leibziana. Outra diferente é dizer que *os objetos* da cadeia causal são contíguos – esta sim a perspectiva de Descartes e Leibniz. Quanto a cadeia causal ser contígua pode-se admitir que nesta os objetos não sejam contíguos, i.e. não estejam em contato direto, mas ainda à distância, indiretamente, se possa presumir ou pressupor uma conexão causal entre um objeto e outro, o primeiro agindo à distância sobre este último; *e mesmo à distância, portanto, a cadeia causal ser contígua, não interrompida.*

Quando Hume critica a noção de causalidade por contiguidade – e assim mostrando o limite do empirismo consequente, limite que a TQ parece evidenciar e reforçar, uma vez que aponta para fenômenos que contradizem a apreensão empírica comum, a expectativa intuitiva cotidiana, enfocando fenômenos descontínuos no estado quântico, como o da “não localidade”³⁶ –, *nesta crítica está embutida também a crítica à noção de causalidade como antecedência*, a qual abrange aqueles objetos não contíguos uma vez que por tal noção se relaciona um objeto ao outro como se causa e efeito fossem um do outro apesar da distância entre eles. Essa ideia de antecedência da causa em relação ao efeito consiste na compreensão de que ela parece fazer sentido conjugada à contiguidade, bem como mediante a repetição, à constância. Mas o que podemos admitir é que um evento antes e outro depois não necessariamente seriam causa e efeito (em uma ordem temporal linear) – seja em objetos ou eventos contíguos ou não contíguos, quer dizer, distanciados espacialmente (até porque ainda que mais próximo um do outro, algum hiato espacial há, o que não impede que seja um hiato infinito, apesar da proximidade entre os fenômenos).

E como analisa B. Stroud:

It is widely believed that for Hume contiguity is a necessary condition for two things' being related as cause and effect, but he can hardly be said to have established that. He actually claims to be looking for the impressions from which the idea of causality is derived, and he admits that we do not get an impression of contiguity

entre si, e aos objetos distantes; *e quando ainda presumimos que exista.* (E, p.74: Apud STROUD, p.43)

[grifo nosso] [tradução nossa]

³⁶ Cf. adiante, nesta tese, a seção 5.

every time we observe a pair of objects which we take to be related as cause and effect. We see the sun and melted butter, and we believe that the one is the cause of the other, but we do not get an impression of the contiguity between them or of a chain of intermediate, contiguous objects. It might well be, as Hume suggests, that in such cases 'we presume' that there is contiguity nevertheless, but that is irrelevant to the search for the impressions we always get in every case of causality. It might be that, once we have the idea of causality, and hence know that contiguity is 'essential' to it, we presume that there is a chain of intermediate objects, and that the cause and effect are therefore contiguous, but we certainly do not get an impression of contiguity in every case of what we take to be a causal connection How then do we know, if at all, that contiguity is 'essencial' to causality? (STROUD: pp.43-44)³⁷

Em resumo, o que B. Stroud chama atenção aqui é que seria precipitado ou mesmo equivocado afirmar que Hume entende a contiguidade como condição necessária para a relação entre dados ser de causa e efeito. Hume procura elucidar as impressões a partir das quais a ideia de causalidade é comumente extraída; e Hume conclui que não se pode extrair a impressão da causalidade da de contiguidade: em todas as vezes que se presume a relação de causa e efeito, seja entre fenômenos, seja em uma imaginada cadeia de dados contíguos, intermediários entre os fenômenos, o que temos é que a contiguidade logicamente pode não ser uma impressão que sempre se manifesta nos casos, ou seja, não há contradição em pensar que um evento hoje, sob mesmas condições, possa não ocorrer amanhã. Sendo assim, não se pode saber que a contiguidade seja “essencial” à causalidade.

Vale lembrar também que *de acordo com o empirismo consequente*, ao que parece *nenhuma relação direta entre fenômenos ou cadeia de fenômenos intermediários*, observável, *confirma a contiguidade*, em última análise. Levada às últimas consequências, a noção de contiguidade regride ao infinito, e, portanto, como paradoxo, revela-se não sustentadora para um nexo necessário entre fenômenos, como se causa e efeito fossem um do outro.

Precisamos esclarecer dois aspectos envolvidos antes e misturados: a) uma coisa é entender contiguidade como sequência temporal entre fenômenos, o que para Hume logicamente pode ser

³⁷É amplamente aceito que para Hume contiguidade seja uma condição necessária para duas coisas serem relacionadas como causa e efeito, mas dificilmente pode ser dito que ele tenha estabelecido aquilo. Ele realmente pretende procurar pelas impressões das quais a ideia de causalidade é derivada, e ele admite que não temos uma impressão de contiguidade por *todo* tempo que observamos um par de objetos que consideramos estarem relacionados como causa e efeito. Vemos o sol e manteiga derretida, e acreditamos que um seja causa do outro, mas não temos uma impressão da contiguidade entre eles ou de uma cadeia de objetos contíguos, intermediados. Poderia bem ser, como Hume sugere, que em tais casos ‘presumimos’ haver contiguidade apesar de tudo, mas que seja irrelevante para a busca por impressões que sempre temos da causalidade. Poderia ser que, uma vez que temos a ideia de causalidade, e daí saber que contiguidade seja ‘essencial’ para ela, pode ser que presumimos que haja uma cadeia de objetos intermediários, e que a causa e o efeito sejam, portanto, contíguos, mas certamente não temos uma impressão de contiguidade em todo caso que consideramos ser uma conexão causal. Como então sabemos, se de todo, que contiguidade é essencial para causalidade? (STROUD: pp.43-44) [tradução nossa]

interrompida, com o que não temos a contiguidade como essencial à causalidade; b) *outra coisa é entender contiguidade como prioridade de um sobre o outro no tempo, um antecedente necessariamente de outro e que isso confirme uma relação direta entre eles, um nexos de um fenômeno produzindo outro*, – cabe ainda dizer que em *b* pode-se vislumbrar uma sequência temporal ininterrupta, como se *b* se reproduzisse de modo contínuo, como entendido em *a*, p.ex.: o Sol aquece a pedra, e isso aconteceu ontem, acontece hoje, e acontecerá amanhã; e que necessariamente a pedra foi aquecida pelo Sol, aquecimento como fato primeiro no tempo em relação à pedra estar quente, fato posterior àquele no tempo. Mas para Hume isso não é pertinente, em última análise, como fato ou como ideia.

Vale citar B. Stroud:

The important point Hume goes on to make is that, even if in every case of causality we did get impressions of contiguity and priority, that would not be enough to explain the origin of the idea of causality. Two objects might be related by contiguity and priority in time ‘merely coincidentally’. If, at the very moment that I look at the traffic light it turns green. I do not regard my looking as the cause of the light’s turning. So there must be some other ingredient in the idea of causality, or in the origin of it, that has yet to be accounted for.

What is the difference between what we call a ‘coincidence’ and a genuine case of causality? Obviously, in the case of causality one thing produces another, but to say that is to say no more than that they are causally connected. We believe that when two events are causally the second one happens because of the first, but that is really no better. We might believe that the second thing would not have happened unless the first one had; or that, given the first, the second had to happen. These are not equivalent, and they do not really explain anything, but they represent different rough and ready ways of expressing what we believe when we think that two contiguous events, one of which is temporally prior the other, are related causally and not just coincidentally. Hume says that we think there is a ‘necessary connection’ between cause and effect. (STROUD: pp. 44-45)³⁸ [grifo do autor]

O que vemos observado por Stroud é que Hume nos mostra que não temos uma impressão de contiguidade; se assim, como considerarmos contiguidade como essencial à conexão causal? É claro que precisamos reconhecer que uma coisa é dizer: “Os raios solares incidem sobre a pedra;

³⁸ O ponto importante que Hume vai fazer é que, mesmo se em todo caso de causalidade tivéssemos impressões de contiguidade e de prioridade, de precedência, não seria suficiente para explicar a origem da ideia de causalidade. Dois objetos poderiam ser relacionados por contiguidade e prioridade o tempo ‘meramente por coincidência’. Se a todo momento que olho a troca de luz verde em torno, não considero meu olhar como a causa do retorno da luz. Assim tem de ser algum outro ingrediente na ideia de causalidade, ou na origem dela, que tem ainda de ser explicado.

Qual a diferença entre o que chamamos ‘coincidência’ e um caso genuíno de causalidade? Obviamente, no caso da causalidade uma coisa *produz* outra, mas dizer isto é dizer não mais do que elas são causalmente conectadas. Acreditamos que quando dois eventos são causais, o segundo acontece *por causa* do primeiro, o que não é realmente melhor. Poderíamos acreditar que a segunda coisa não teria acontecido sem que a primeira *tivesse* acontecido. Não são equivalentes, e elas realmente não explicam coisa alguma, mas representam diferentes modos prontos e de expressar no que acreditamos quando pensamos que dois eventos contíguos, um dos quais precede temporalmente ao outro, estão relacionados causalmente e não exatamente coincidentemente. Hume diz que pensamos haver ‘conexão necessária’ entre causa e efeito. (STROUD: pp. 44-45) [grifo do autor] [tradução nossa]

a pedra está quente; o Sol aquece a pedra”, cuja forma é “X (aquecimento da pedra) é causado por Y (aquecimento pelo Sol); outra coisa é que sempre será assim. Mas nesse último caso sabemos que logicamente não é contraditório afirmar o contrário. E quanto ao primeiro caso, também não ajuda na busca de uma impressão a partir da qual a ideia de causalidade deriva: mesmo se em todo caso imaginado de causalidade encontrássemos impressões de contiguidade e prioridade ou antecedência isto não seria suficiente para explicar a origem da ideia de causalidade. *Contiguidade e prioridade, ou antecedência, podem aparecer na relação entre dois objetos apenas coincidentemente.*

Então, qual a diferença entre “coincidência” e o que chamamos de caso da causalidade? Esse problema aparece porque quando pensamos a causalidade pensamos que algo acontece por causa de outro antecedente, i.e., acontecendo algo primeiro, o segundo tem de acontecer; isso não é equivalente à contiguidade e antecedência ou prioridade, é um modo de expressar quando acreditamos que dois eventos contíguos e de antecedência de um em relação ao outro repetida ou frequentemente são relatados como causais e não apenas coincidentes. Hume diz que imaginamos haver nisso uma conexão necessária, causal entre os eventos ou objetos. Mas nós não encontramos qualquer impressão desta conexão.

É preciso notar que Hume não está se ocupando propriamente com investigar as impressões das quais a ideia de causalidade é derivada. Antes sim investiga por que fazemos a inferência ou transição do observado ao não observado. Ou seja, ele ocupa-se com saber sobre como e porque temos crenças sobre o que não está sendo observado. O que nos determina a fazer tal inferência? Apenas o modo do pensamento humano se exercer, i.e., o modo de funcionar de nosso “aparelho de medida” natural: por hábito.

Poderia parecer plausível dizer que não se poderia entender porque algo acontece ou começa a existir sem também acreditar-se que teve uma causa, que não dá para abrir mão da ideia de causa e que tal ideia tem de necessariamente existir, revelar-se em uma conexão física, de modo que se algo existe há, portanto, uma causa. Hume admite isso, que toda inferência do observado para o não observado é fundada na relação de causa e efeito. Mas o sentido disso para Hume não é aquele da máxima causal tradicional, tendo sido pensado que foi intuitiva ou demonstrativamente certo que todo evento tem uma causa. Portanto, *além de Hume mostrar que o hábito é o procedimento mental que nos induz à crença da legitimidade da inferência de uma causa para um acontecimento que tomamos como seu efeito – e nesse sentido uma operação mental entre ideias ou percepções de um fato como causa e outro como efeito –, ele também mostra que em realidade não temos dados físicos correspondentes a essa operação mental ou inferência, a causal; em última análise, não temos um fato correspondente ao nexos causal entre*

uma ideia e outra, ou nexo entre um fato percebido e outro. Em outras palavras, para Hume não há conexão necessária de fato só porque temos ideias de “causa” e “efeito” as quais, por sua vez, também não se justificam como relação necessária no domínio discursivo ou lógico – não há operador lógico para “causa”.

Dois coisas a serem lembradas nesse ponto. A primeira é que se pode dizer que há várias causas não apenas uma, pretendendo-se ao se dizer isso que não se pode identificar uma única causa porque existem várias causas para um evento surgir; várias causas podendo ser entendidas aqui como a dificuldade de identificação precisa de condições iniciais, as quais, ao longo de um tempo, sob qualquer alteração possível, revela alteração do curso dos acontecimentos a partir das mesmas. Mas é preciso observar que o problema apenas é transferido de lugar, não se tratando de haver uma ou várias causas para um evento ocorrer, mas que de um modo ou de outro o problema permanece: não é tal ou qual quantidade de causas, mas o nexos causal entre causa(s) e eventos como efeitos dela(s).

A segunda coisa a ser lembrada é que se pode insistir que “todo evento tem uma causa”, e por isso a busca da ciência da natureza, como a Física, faz sentido: busca-se o por que e como, daí a noção de “causa” ser relevante. Mas é exatamente isso o que está em questão: ainda que a ciência precise pressupor “causa” para sua busca, no tocante à Filosofia, uma vez “causa” estando em questão, tomá-la como pressuposto para se responder o problema da não causalidade, como posto por Hume, é recair em petição de princípio. Então, “que todo evento tem uma causa” redundante no mesmo problema mencionado antes, observado por Hume, o do nexos causal; e ainda: a afirmação universal não prova a causalidade, antes é ela que precisa ser levada à reflexão mediante a crítica de Hume; por que todo evento tem uma causa e o que garantiria isso? Como vemos por Hume, não há garantia para isso, a não ser por hábito.

Vale acrescentar também que é discutível a compreensão de que a busca pelo conhecimento da natureza se identifique com a busca pela “causa” dos fenômenos físicos. É recorrente o entendimento de que ciência não está comprometida com “causalidade”, ou que esta não é um problema, porque a ciência é descritiva. Vamos considerar as seguintes palavras de M. Bunge para vermos essa controvérsia. Bunge diz:

As may be gathered from what has been said in the foregoing, the target of my arrows will not be the causal principle but only the claim that causation is the sole category of determination and that, as a consequence, the causal principle enjoys an unlimited validity. In fewer words: I will not argue against the notion of causation but against causalism. (BUNGE, p. 29)³⁹

³⁹ Como pode ser do que tem sido dito, o de meus não será o princípio causal, mas apenas a pretensão de causalidade é a única categoria de determinação e que, como uma consequência, o princípio causal carrega

Bunge aqui distingue “causação” ou “causalidade” de “causalismo”. Para ele o entendimento da ciência como meramente descritiva, e, portanto, lidando com leis não causais, não é correto; causalidade ainda faz sentido no horizonte da ciência.

Mas Hume nos lega outro aspecto significativo para as ciências: não tomar por fato precipitadamente noções que podem ser resultados de hábito; e causalidade para ele é um exemplo de tal confusão.

Passemos para o próximo capítulo, concernente às reflexões de Max Born sobre causalidade na Física, às quais confrontaremos a abordagem de Hume.

3 A CAUSALIDADE NA FÍSICA

A partir de agora, mediante a argumentação crítica de Hume à causalidade – e as considerações de Bunge sobre o tema –, será apresentada a análise de Max Born sobre esse assunto em sua obra *Natural Philosophy of Cause and Chance*.

Seguir-se-á as reflexões de Max Born sobre causalidade na física, conforme as definições de causalidade relativa a eventos singulares propostas pelo autor para sua análise, quais sejam, a de causalidade por contiguidade e de causalidade por antecedência. Ele aplica tais definições a desenvolvimentos da Física, mas isso não por uma abordagem histórica comum, de manuais. Max Born apresenta, assim, a sua intenção: “*I shall try to analyse the scientific situation at the time of the discovery, judged by a modern mind, and describe them in terms of the definitions given.*” (BORN, p.10) (“Eu devo tentar analisar a situação científica ao tempo da descoberta, julgada por uma mente moderna, e descrevê-las nos termos das definições dadas.” (BORN, p.10))

Isso não significa que os sistemas físicos analisados por Born cumpram as definições propostas por ele, mas que representam casos em que tais definições não são aplicáveis, como se pode conferir em sua interpretação da Física de Newton. O que Born pretende mostrar com sua análise é que as teorias físicas abordadas por ele pressupõem noções causais como ele as define; mas se interpretará neste estudo que os sistemas físicos expostos por ele nem sempre condizem com as definições causais propostas por ele.

Além da Física de Newton, serão abordados a Mecânica dos Meios Contínuos e o Eletromagnetismo como sistemas físicos que pressupõem a causalidade por contiguidade. A Termodinâmica, por sua vez, conotaria a causalidade por antecedência.

As análises de Born neste capítulo serão também refletidas mediante ponderações e perguntas relativas aos pensamentos de Hume – vale dizer que por vezes a perspectiva de Kant será mencionada, ainda que sobre o pensamento deste a respeito da causalidade e conhecimento da natureza não seja apresentado um capítulo à parte, e isso porque se quer ressaltar o tema da tese, problematização da noção de causalidade, a partir da argumentação humeana.

Este capítulo desenvolve-se pelos seguintes tópicos: 3.1 Causalidade: Definições por Max Born; 3.2 Causalidade em outro sentido? A Física de Newton; 3.3 A pressuposição da causalidade como contiguidade: **3.3.1 O caso da Mecânica dos Meios contínuos** e **3.3.2 O caso da Mecânica dos Meios Contínuos**; 3.4 A Termodinâmica.

3.1 Causalidade: Definições por Max Born

Neste tópico serão apresentadas reflexões e definições de Max Born sobre causalidade e acaso ou possibilidade (*chance*)

Max Born pretende se ocupar com noções de causa e acaso não apenas como conceitos de física, mas com os significados e aplicações amplas que tais comportam. São noções utilizadas no dia-a-dia; aparecem em escritos científicos, como também nos de interesse da psicologia, teologia, história e filosofia, e com diferentes significados. Abordar todos esses em suas especificidades e usos é impraticável, inviável. Mas há algo comum aos diferentes significados, perpassando-os: *“Indeed, cause expresses the idea of necessity in the relation of events, while chance means the opposite, complete randomness.”* (BORN, p.1) (“Na verdade, causa expressa a ideia de necessidade na relação de eventos, enquanto chance significa o oposto, randomicidade [aleatoriedade] completa.” (BORN, p.1)) A natureza, como os acontecimentos humanos, está sujeita a ambas as noções: necessidade e acidente. E Max Born afirma:

Yet even accident is not completely arbitrary, for there are laws of chance, formulated in the mathematical theory of probability, nor can the cause-effect relation be used for predicting the future with certainty, as this would require a complete knowledge of the relevant circumstances, present, past, or both together, which is not available. There seems to be a hopeless tangle of ideas. (BORN, p.1)⁴⁰

Max Born chama atenção de que os físicos formam suas noções através da interpretação de experimentos⁴¹, e que ele pretende investigar os conceitos de causa e acaso nesse sentido, por essa prática interpretativa de experimentos. Este é o método da Filosofia Natural.

A história mostra que a ciência contribui consideravelmente no desenvolvimento do pensamento humano, como p.ex. o sistema Copernicano do universo e a dinâmica de Newton que decorre daquele; tais originaram concepções de espaço, tempo, matéria, força e movimento que por longo tempo influíram sobre sistemas filosóficos. Diz-se que a Metafísica de qualquer período é o “descendente” da física do período precedente. E para Max Born, se isso é verdadeiro, é obrigação dos físicos explicarem suas ideias em linguagem não tão técnica – e é o que ele pretende nesta obra. Ele espera que a Física possa trazer alguma luz sobre os problemas da causa e da acausalidade (*chance*), os quais não são importantes apenas para questões

⁴⁰ Mesmo o acidental ainda não é completamente arbitrário, pois há leis de chances [possibilidades], formuladas na teoria matemática da probabilidade, nem pode a relação causa-efeito ser usada para prever o futuro com certeza, como isto requereria um conhecimento completo das circunstâncias relevantes, presentes, passadas, ou ambas juntas, o que não é avaliável. (BORN, p.1) [tradução nossa]

⁴¹ Essa compreensão afinada com a perspectiva de Francis Bacon sobre o conhecimento, defendida em seu *Novum Organum*.

abstratas, mas também as relativas à prática, o âmbito das ações ou comportamentos humanos.

A crença irrestrita na causalidade, segundo ele, conduz à ideia de que o mundo é um autômato e nele nós somos peças, elementos subordinados a esta automação; isso significa determinismo materialista. Análogo a isso é o determinismo religioso, aceito por diversos credos, que consiste em considerar que as ações humanas são determinadas na origem, i.e. no seu instante inicial, por uma regra divina. Esta ideia determinista na ação humana envolve dificuldades consideráveis no que diz respeito à responsabilidade ética, imputação de responsabilidade à ação, independente de determinações alheias ao agente (consciência ou motivação deste). Predestinação divina – ou mesmo o determinismo materialista (social ou da natureza, este com a pressuposição de uma cadeia sem fim de causas naturais) – contrasta com a noção de vontade livre.

Também a crença irrestrita no acaso é impossível, segundo Max Born; não se pode negar haver algumas regularidades no mundo, mesmo que sejam ao menos “acidentes regulados”; é necessário postular leis de possibilidades ou acasos (*chance*) que assumem a aparência de leis da natureza ou para as ações humanas. *No caso de “aparência de leis da natureza”, isso lembra a concepção de Hume de que o conhecimento é fruto do hábito: ora, não seria o hábito um motivo para se considerar haver “lei” no domínio do acaso, das mudanças sem conexão causal da natureza? Não é apenas o hábito que se respalda na regularidade das ocorrências levando a interpretar – ou mais precisamente “antecipar”, no sentido baconiano⁴² – que a natureza comporta leis necessárias, mas que em última análise não há conexão necessária entre as regularidades, pois não é ilógico considerar a possibilidade contrária no curso dos acontecimentos, segundo Hume.* Para Max Born essa perspectiva filosófica abre espaço para a vontade livre, como para as ações emanadas de Deus ou outra entidade. E religiões politeístas primitivas parecem estar baseadas em uma concepção de natureza: as coisas acontecem de um modo conforme interferências sobrenaturais com algum propósito. Estamos afastados dessas concepções, mas similarmente admitimos mudanças dentro do campo das “ciências exatas”. Sobre tudo isso, a perspectiva em que nos encontramos hoje é dualista – ou ambígua mesmo? E Max Born faz a seguinte reflexão:

[...] nature is ruled by laws of cause and laws of chance in a certain mixture. How is this possible? Are there no logical contradictions? Can this mixture of ideas be cast into a consistent system in which all phenomena can be adequately described or explained? What do we mean by such an explanation if the feature of chance is involved? Is there any room in this system for free will or for the interference of deity?
(BORN, p.3)⁴³

⁴² Francis Bacon: *Novum Organum*, Prefácio.

⁴³ [...] natureza é regulada por leis de causa e leis de chances em uma certa mistura. Como isto é possível? Não há contradições lógicas? Esta mistura de ideias pode ser fundida em um sistema consistente no qual

Algumas dessas questões serão abordadas da perspectiva da Física e por considerações filosóficas, ainda que estas apoiadas em leituras esporádicas, diletantes.

Ele chama atenção de que a consideração de que a física moderna abandonou a causalidade é infundada; físicos modernos modificaram algumas ideias tradicionais; mas cessaria de ser ciência se tivesse destacado a busca pelas causas do fenômeno. Max Born entende ser necessário formular os diferentes aspectos de noções fundamentais para se oferecer definições dos termos que parecem de acordo com a linguagem comum. Com esses conceitos ele se apoiará no desenvolvimento do pensamento físico, examinando alguns pontos de interesse na Física, e tentará aplicar os resultados disso na Filosofia.

O conceito de causalidade, segundo Max Born, está estreitamente ligado ao de determinismo, ainda que para ele não sejam idênticos. Além disso, a noção de causalidade é usada de dois modos distintos, um no uso cotidiano, da vida comum, outro, pela Física.

Sentenças causalistas podem enunciar relações sem tempo, fora do tempo, segundo ele. Elas afirmam que algo ou uma situação A causa outra B, e isso significando *aparentemente* que a existência de B depende da de A, ou que se A estivesse alterado ou ausente, B também seria modificado ou ausente. A ligação entre A e B é aparente, por exemplo: “Superpopulação é a causa da pobreza na Índia”; “Não há vida na lua porque falta uma atmosfera contendo oxigênio.”

Em outras formas de sentenças causais um evento A definido é considerado como a causa de outro B; ambos os eventos estão mais ou menos fixados no espaço e no tempo. Por exemplo: “A destruição de Hiroshima foi causada pela explosão de uma bomba atômica” e “A vida pode se desenvolver na Terra por causa da formação de uma atmosfera contendo oxigênio”.

Max Born entende que, esses dois diferentes matizes da relação causa-efeito são legítimos. O fator comum é a *relação de dependência*. Esta noção de dependência é clara o suficiente se as duas coisas conectadas são conceitos em si, algo mental, intelectual, como dois números ou dois conjuntos de números; então dependência significa o que os matemáticos denominam como “função”. Max Born afirma que esta dependência lógica não precisa de análise, e que não pode ser mesmo analisada.

Pode-se notar que o princípio de dependência lógica (“se p então q”) é assumido sem mais por Max Born; agora, é um princípio lógico, e se respalda na não contradição, regra lógica também. O caso é que a natureza, objeto da Física, não é do domínio lógico. Hume percebe isso, a

todo fenômeno pode ser adequadamente descrito ou explanado? O que fazemos por meio de tal explicação se o traço da possibilidade está envolvido? Há alguma sala neste sistema para a vontade livre ou para a interferência divina? (BORN, p.3) [tradução nossa]

despeito de fazer valer argumento crítico obedecendo à lógica; o caso é que nosso pensamento sobre o mundo precisa respeitar a lógica, daí que sua crítica, uma exposição intelectual, portanto, respeita as possibilidades lógicas ao afirmar não haver contradição em se poder conjecturar que o que regularmente tenha ocorrido até o presente momento, não venha a ocorrer no futuro; para Hume a natureza não se compromete com a regularidade, e seu curso pode ser alterado sem seguir o rigor da relação de dependência lógica entre causa e efeito, ou seja, para ele, como já mencionamos, não há conexão necessária entre um evento passado e outro seguinte. E isso não seria por causa de deficiência epistemológica, ausência de teoria com poder explicativo para tanto, antes sim é constitutivo da natureza se manifestar sem causação, esta é ideia que arbitrariamente, por hábito, projetamos sobre os eventos da natureza, e não reconhecemos a “não causalidade”, segundo Hume.

Max Born, contudo, reconhece que: “[...] *causality does not refer to logical dependence; it means dependence of real things of nature on one another. The problem of what this means is not simple at all.*” (BORN, p.6) (“[...] causalidade não refere-se à dependência lógica; significa dependência de coisas reais de uma outra natureza. O problema do que isto significa em geral não é simples.” (BORN, p.6))

Pode-se dizer que, em última análise, Hume também pensa que causalidade é uma coisa e dependência lógica é outra; por isso para ele causalidade não é uma ideia inata ao pensamento, i.e., não é *a priori*; mas também a causalidade não é um fenômeno físico, ela não ocorre na natureza, antes ela inexistente, é apenas “invenção” devido ao hábito. Para Kant algo diferente é pensado sobre a causalidade: como princípio do entendimento mostra-se uma relação de dependência que não é propriamente lógica, pois não se expressa como juízo analítico, mas como sintético *a priori*, i.e., é expressão do pensamento organizando dados sensíveis, fenômenos, daí *a priori*, mas isso por uma síntese entre pensamento e sensações que, pela Física, confirmariam a atribuição da causalidade aos fenômenos mediante experimentos, p.ex.. E o fato de haver o problema sobre o que significa tal dependência entre dados reais, não é simples porque: a) temos filosoficamente possibilidades interpretativas diversas; b) e quanto a Física, abre-se a questão de como se estabelece a necessidade da conexão entre causa e efeito, uma vez que essa relação pode ou parece não ser propriamente algo físico. A respeito do exposto nesse item b) prossegue-se à análise de Max Born.

Segue-se da afirmação de Max Born o reconhecimento de que, para a Física, abre-se a questão de como se estabelece a necessidade da conexão entre causa e efeito, uma vez que essa relação não é propriamente algo físico.

Ele afirma que diferentemente da Astrologia, a ciência aceita as relações de dependência se

elas podem ser verificadas por observações e experimentos, o que aquele estudo não realiza. Assim diz Born:

Science insists on a criterion for dependence, namely repetitive observation or experiment: either the things A and B refer to phenomena, occurring repeatedly in Nature and being sufficiently similar for the aspect in question to be considered as identical; or repetition can be artificially produced by experiment. (BORN, p. 6)⁴⁴

É preciso lembrar que Hume não admitirá haver necessidade causal nas regularidades, que essas ocorram não é algo suficiente para se considerar a causalidade como fato. Como então por experimentos e observação a ciência poderia confirmar a relação de causa e efeito?

Max Born admite, no entanto, o quão insuficiente pode ser esse procedimento científico de observações e experimentações, sem referência a noções metafísicas, concluindo: *“For no observation or experiment, however extend, can give more than a finite number of repetitions, and the statement of a law – B depends on A – always transcends experience.”* (BORN, p.6) (“Pois nenhuma observação ou experimento, embora extensos, pode dar mais do que um número finito de repetições, e o enunciado de uma lei – B depende de A – sempre transcende a experiência.” (BORN, p.6))

Esse tipo de enunciado é feito em qualquer lugar a qualquer tempo, e algumas vezes de material escasso, insuficiente. Em Filosofia, são denominados de Inferência por Indução.⁴⁵

Max Born faz distinção entre o princípio de indução e a causalidade: o primeiro é alcançado pela generalização de um número de observações de modo a se formular uma regra geral, mas não contém relação causal, nenhum enunciado de dependência: p.ex. na primavera as árvores

⁴⁴ Ciência insiste sobre um critério para dependência, quer dizer, observação ou experimento repetitivo: as mesmas coisas A e B referem-se ao fenômeno, ocorrendo repetidamente na Natureza e sendo suficientemente similar para o aspecto em questão a ser considerado como idêntico; ou repetição pode ser artificialmente reproduzida pelo experimento. (BORN, p.6) [tradução nossa]

⁴⁵ É preciso observar que a Filosofia – a não ser pela vertente de um Idealismo radical ou dogmático, ao modo de Berkeley – pode não negar a pertinência da experiência para o conhecimento, é admissível que se realize ou se conheça algo pela experiência e que se interfira na realidade por experimentos, por resultados de conhecimentos científicos, e correntes empiristas em filosofia podem assumir a experiência como dado para ser pensado o método em ciência, suas possibilidades de verificação; mas a investigação filosófica ao invés disso, pode lidar p.ex. com questões sobre como sabemos que sabemos isso – questão legada por Platão (cf. **Menon**, 80d) – e como sabemos que a realidade ou experiência física é assim – isso não implica descrédito em relação aos feitos científicos, mas busca por compreender por que tal seja possível, p.ex., e esse foi o propósito de Kant com a **Crítica da Razão Pura**, buscando então justificar a possibilidade da Física e da Matemática como conhecimentos; o objeto da Filosofia é de outra natureza, seja de um modo ou de outro, quer dizer, empirista ou não.

Outra coisa é a abordagem ética-política das realizações humanas no mundo, o que envolve questões sobre os limites de aplicação social da Ciência como expressão ou realização humana, o uso do conhecimento científico, o papel social da prática científica e a responsabilidade dos agentes de Ciência para com a sociedade – reflexões estas que podem ser realizadas pela Arte, pelo Jornalismo, pelo Direito, bem como pela Filosofia.

ficam verdes ou a noite segue ao dia e este à noite. O método do pensamento indutivo é mais geral do que o pensamento causal; é usado cotidianamente, e em ciência é aplicado para descrever; mas na vida cotidiana não se define critérios para a validade de uma indução e volta-se para intuições, percepções imediatas; enquanto a ciência funciona com um código, ou regra elaborada para sua aplicação. Então o critério de validade da indução é “[...] *the code of scientific rules. For there is no logical argument for doing so; it is a question of faith. In this sense I am willing to call induction a metaphysical principle, namely something beyond physics.*” (BORN, p.7) (“[...] o código de regras científicas. Pois não há argumentos lógicos para fazer assim; é uma questão de fato. Nesse sentido desejo considerar indução um princípio metafísico, a saber, algo além da física.” (BORN, p.7))

Hume parece também pensar a indução desse modo, uma vez que não a reconhece como procedimento legítimo de obtenção de conhecimento para as nossas sensações; ele exige um refinamento de nosso raciocínio, ou suspensão de nossas percepções e raciocínios habituais, para percebermos o que realmente é o fato apreendido pela experiência, à qual nós precipitadamente atribuímos noções que nela não são encontradas, como a de causalidade.

Em seu exame da noção de causalidade, Max Born identifica dois modos de aplicação desta: i) como relação de dependência fora do tempo, sem o tempo ou atemporal e ii) como dependência de um evento fixado a outro no tempo e no espaço.

No que diz respeito ao item i), para ele o significado de causalidade atemporal, eterna é o fundamental. Isso se torna mais evidente se tenta-se usar o termo em conexão com um caso específico sem referência implícita à abstração, p.ex.: o enunciado de que u’a má safra foi a causa da fome na Índia faz sentido apenas se tem-se em mente o enunciado atemporal (e geral) de que más safras são causas de fome em geral. Se retira-se tal referência à regra geral, a conexão entre dois eventos consecutivos perde seu caráter de causalidade, embora possa manter a característica de regularidade. Em suas palavras: *If you drop this reference to a general rule, the connexion between two consecutive events loses its character of causality, though it may still retain the feature of perfect regularity, as in the sequence of day and night.* (BORN, p.8) (“Se você destaca esta referência a uma regra geral, a conexão entre dois eventos consecutivos perde seu caráter de causalidade, embora possa ainda reter a característica da regularidade perfeita, como na sequência de dia e noite.” (BORN, p.8))

E notemos que nessa regularidade, uma coisa não é causa da outra, uma não se explica pela outra, quer dizer a razão de ser do fenômeno “dia e noite” não está em um ou em outro desses fenômenos que ocorrem numa sequência regular.

Vale lembrar que para Hume, e nisto concordante com Max Born, regularidade não implica

causalidade; mas Hume não conjectura nem mesmo a noção de causalidade atemporal – não há para ele causalidade na natureza, nem como ideia necessária, pois não é ilógico poder dispensar tal noção diante dos fatos, os quais podem ser afirmados como x ou não x, sem se recair em contradição; além disso, a afirmação da causalidade é fruto de hábito que se apoia apenas na regularidade.

Outro exemplo lançado por Max Born é um indicativo de determinismo, podendo-se prever ocorrência futura mediante uma informação, mas o “por que” dessa sequência e possibilidade de previsão é algo que não se justifica por isso. Ele pretende mostrar que determinismo não dever ser identificado à causalidade, como se pode ver em suas palavras:

Another example is the time-table of a railway line. You can predict with its help the arrival at King's Cross of the 10 o'clock from Waverly; but you can hardly say that the time-table reveals a cause for this event. In other words, the law of the time-table is deterministic: You can predict future events from it, but the question 'why?' makes no sense. (BORN, p. 8)⁴⁶

O *determinismo* refere-se, então, a regras as quais se segue para se prever a ocorrência de um evento B a partir do conhecimento de um evento A (e vice-versa). Mas isso sem a ideia de que haja uma ligação física atemporal (e também não espacial) entre todas as coisas do tipo A e todas do tipo B. *Causalidade*, por sua vez, envolve dependência atemporal, no entendimento de Max Born. E ele afirma que sobre essa dependência atemporal é o que pesquisadores, por observação e experimentação, entendem quando ligam um certo fenômeno a uma certa causa por variação sistemática das condições – ou seja, variando as condições sistematicamente se pode compreender em que circunstâncias o fenômeno se manifesta e daí se poder elucidar sua causa, que é geral, que se revela independente das condições variadas.

Quanto ao item ii), para se referir à causalidade como dependência entre dois eventos, os quais seguem um ao outro, um uso tão comum, Max Born sugere que se complemente atributos relativos ao tempo e ao espaço, e observa que: é sempre admitido que a causa preceda o efeito, e a isso Max Born denomina “*princípio de antecedência*”; por outro lado, é geralmente considerado inadmissível que algo cause um efeito não estando presente – quer dizer, n’ao estando no local, i.e., não sendo localizável –, ou não possa ser ligado por outras coisas; a isso Max Born entende haver a pressuposição do que ele denomina “*princípio de contiguidade*”.

⁴⁶ Outro exemplo é a tabela de tempo da linha ferroviária. Você pode prever com sua ajuda a chegada das 10h a King's Cross, de Warvely; mas você dificilmente pode dizer que a tabela de tempo revela uma causa para o evento. Em outras palavras, a lei da tabela de tempo é determinista: você pode prever eventos futuros a partir dela, mas a questão ‘por que?’ não faz sentido. (BORN, p.8) [tradução nossa]

Podem ser sintetizadas como seguem essas reflexões de Max Born.

O *determinismo* postula que eventos em diferentes momentos (tempos) estão conectados por leis de tal modo que predições de situações desconhecidas (passadas e futuras) possam ser feitas. Para Max Born, por tal formulação a predestinação religiosa, divina está excluída, se é admitido que apenas Deus conhece o livro do destino. Em outras palavras, se apenas Ele é onisciente, onipresente e onipotente, então pretender justificar a predestinação divina é algo sem sentido, pois não temos como saber o que está destinado, somos finitos e não comportamos as qualidades divinas para pretendermos reafirmar a predestinação.

A *causalidade* postula que a existência de um ente B de certa classe ou tipo depende da ocorrência de um ente A de outra classe ou tipo, em que o termo “ente” significa algum objeto físico, fenômeno, situação ou evento. Assim, A sendo designado “a causa” e B “o efeito”. Tem-se assim uma ideia geral, de caráter geral, lógico.

Quando causalidade é referida a eventos singulares, os seguintes atributos, relativos à temporalidade e à espacialidade, precisam ser considerados: a *antecedência*, com a qual se postula que a causa tem que ser anterior, ou ao menos simultânea, ao efeito, e a *contiguidade*, pela qual se postula que causa e efeito têm de ser por contato espacial ou conectados por uma cadeia de coisas intermediárias em contato.⁴⁷

⁴⁷ Causalidade como contiguidade pode ser exemplificada com o modelo de Descartes sobre o movimento planetário e a ideia de matéria contínua, com corpúsculos engendrando movimento em outros sucessivamente.

3.2 Causalidade em outro sentido? A Física de Newton

A teoria pré-newtoniana dos movimentos celestes é um exemplo de descrição matemática e determinista, *embora não causal*. Isso considerado para o sistema Ptolomaico bem como para o Copernicano, incluindo os refinamentos de Kepler. Ptolomeu representou o movimento dos planetas por modelos cinemáticos, cíclicos e epiciclos em torno um do outro e em uma esfera celeste fixa. Copérnico modificou o ponto de partida e colocou o sol no centro do movimento planetário cíclico, enquanto Kepler substituiu os ciclos por elipses. Não se quer com isso minimizar a contribuição de Copérnico para a concepção do Universo, mas contemplá-la a partir da questão que se discute aqui: causalidade, e sua distinção do determinismo. Com isso, Max Born afirma:

Neither Ptolomy nor Copernicus nor Kepler states a cause for the behavior of the planets, except the ultimate cause, the will of the Creator. What they do is, in modern mathematical language, the establishment of functions, for the coordinates of all particles, depending on time. (BORN, p. 10)⁴⁸

Há que se notar que Copérnico objetivou estabelecer suas funções – ou mais acuradamente, suas estruturas geométricas correspondentes – como mais precisas ou simples do que as de Ptolomeu; mas ele se absteve de defender as consequências cosmológicas de seu sistema – vale lembrar que o cardeal Osiander prefacia sua obra, justificando que a concepção de Copérnico acerca do movimento dos corpos celestes são demonstradas por uma teoria que não precisa estar comprometida com a verdade dos fatos da natureza, bastando que seja consistente, com valor funcional. Isso indica a perspectiva Instrumentalista em Ciência.⁴⁹

Esse passo dado por Copérnico foi reafirmado, após sua morte, longo tempo depois pelas observações de telescópio por Galileu, as quais revelaram em Júpiter e seus satélites a repetição do sistema Copernicano em escala maior. *O que se quer chamar atenção aqui é para o não comprometimento com a ideia de causalidade, expondo-se descrições sobre os movimentos dos corpos celestes.*⁵⁰

⁴⁸Nem Ptolomeu, nem Copérnico, nem Kepler afirmam uma causa para o comportamento dos planetas, exceto a causa última, a vontade do Criador. O que eles fazem é, na linguagem matemática moderna, o estabelecimento de funções, para as coordenadas de todas as partículas, dependentes do tempo. (BORN, p.10) [tradução nossa]

⁴⁹Cf. sobre Osiander e Copérnico em PINGUELLI ROSA, Luiz. **Tecnociências e humanidades; novos paradigmas, velhas questões**. São Paulo: Paz e Terra, 2005. Volume 1, capítulo III; também sobre o Instrumentalismo, ver nesta mesma obra o capítulo IV.

⁵⁰Ver também T. Kuhn em **A Tensão Essencial (TE)**: na interpretação de Kuhn não se deixa de se pressupor “causa”, antes muda-se o sentido de “causa”: cf. **TE**, pp.48-54; de todo modo, o sentido de “causa” assumido por Max Born quanto a isso, em última análise, pode não ser contemplado pela ideia de

A cosmologia de René Descartes, a qual defende um movimento de vortex de algum tipo de éter – que arrastaria os planetas em ciclos em torno de um eixo –, pode ser considerada como uma tentativa de se estabelecer leis causais para as órbitas planetárias; e segundo Max Born, esse modelo cartesiano do vortex, na tentativa de se preservar a causalidade nas explicações sobre o fenômeno do movimento planetário, corresponde à *contiguidade* – a pressuposição, na causalidade efetuada no espaço, de que a relação causa e efeito deriva-se de uma sequência de contatos entre coisas, fenômenos interligados, ou por outras, que causa e efeito estão conectados por uma cadeia de coisas intermediárias em contato.

Para Max Born esse modelo foi rechaçado porque não se respaldava em uma característica importante para o avanço científico: uma razoável indução dos fatos. Certamente não havia um código de regras naquele tempo, e os princípios do código aceitos hoje são os que se encontram implicitamente nos trabalhos de Galileu e Newton em Física e Astronomia.

Ou seja, no caso das explicações de Galileu e Newton, os fatos correspondiam às descrições e observações que o telescópio, p.ex., e os experimentos permitiam. Entendamos por avanço científico a tentativa de elucidar os fenômenos o mais próximo possível do que sejam em si mesmos, quer dizer, como aparecem para nós pela perspectiva que podemos abordar em vista de descrevê-los.

Com isso, Max Born pode dizer que os trabalhos de Galileu precederam os de Newton não apenas no tempo, mas também em uma ordem lógica.⁵¹

Enquanto o material astronômico de Newton era observacional e restrito, Galileu partia de experimentos com objetos terrestres de acordo com regras de repetição e variação de condições – procedimento esse que permite avaliar ou ponderar sobre o que se pode descrever de um fenômeno e o alcance dessa descrição, i.e., o limite da explicação oferecida para tal ocorrência: por observação, experimento e variações de condições compreende-se até onde vale a explicação, e, sobretudo, se os acontecimentos observados em condições diversas correspondem a uma explicação ou causa geral. É nesse sentido que Galileu observou como é o movimento de um corpo em queda – o movimento de queda em linha reta e em parabólica, p.ex. – e estudou também quais as condições de que o movimento depende, quais sejam, espaço, tempo, velocidade e alguma outra constante para se poder explicar a queda dos corpos na Terra.

Os resultados das observações de Galileu podem ser resumidos em uma fórmula bem conhecida para a coordenada vertical de um pequeno corpo ou partícula como uma função de

causa material ou eficiente.

⁵¹ Cf. sobre isso **Evolução da Física**, p. 18 e 19, de Einstein e Infeld: os autores aqui apontam para uma conexão entre força e alteração da velocidade, notada por Galileu e Newton, nos estudos e observações sobre o movimento.

tempo, assim: $z = -\frac{1}{2}gt^2$, onde g é uma constante – i.e., independe não apenas do tempo, mas também da queda do corpo. A única coisa de que a quantidade g pode depender é do corpo em direção ao qual o movimento dirige-se, a Terra – essa conclusão é tão óbvia que dispensa ser formulada. Se o movimento é aparado pela mão, sente-se o peso como uma pressão dirigida a Terra. Daí que a constante g ter de ser interpretada como uma propriedade da Terra, e não da queda do corpo.⁵²

Max Born observa que “usando os cálculos de Newton (que denotam o tempo derivado por um ponto) e generalizando para todas as três coordenadas, obtém-se as equações $\ddot{x} = 0$, $\ddot{y} = 0$, $\ddot{z} = -g$, a qual descreve as trajetórias das partículas pela Terra com posições e velocidades iniciais arbitrárias.” (BORN, p.11) E ele continua:

These formulae condense the description of an infinite number of orbits and motions in one single simple statement: that some property of the motion is the same for the whole class, independent of the individual case, therefore depending only on the one other thing involved, namely the earth. Hence this property, namely the vertical acceleration, must be ‘due to the earth’, or ‘caused by the earth’, or ‘a force exerted by the earth’. (BORN, p.11-12)⁵³

⁵² Neste ponto podemos perguntar: isso poderia já ter sido óbvio com Galileu? Isso não dependeu do esclarecimento pela lei gravitacional? Além disso: a se considerar o Heliocentrismo agora confirmado pela luneta de Galileu, não se poderia imaginar que a constante g do movimento de queda dos corpos representasse algo outro que não o movimento em direção a Terra? Não se poderia imaginar que essa constante não corresponderia a algo que perpassasse também o movimento dos corpos planetários em órbita do sol? A Terra não poderia ser considerada, como a mão que interrompe o movimento, algo que aparasse o movimento dos corpos terrestres, não soltos no Cosmo?

Tais perguntas podem fazer sentido na medida em que os corpos celestes não caem na Terra, seus movimentos não vêm em direção a Terra. E por que é assim quanto ao movimento deles? Por que os corpos na região da Terra têm seus movimentos em direção a ela, e os corpos celestes em torno do Sol? Nesse sentido, não se poderia imaginar então que a Terra apara o movimento dos corpos próximos a ela, de modo que eles não orbitem no Cosmo, como ela? Sendo assim, a constante g do movimento não é também uma informação relativa, i.e., circunscrita a um determinado sistema de referências (movimento dos corpos na Terra)?

Com Newton é que se vislumbra uma Força (F), a gravitacional, como constante cuja quantidade está relacionada à distância entre os corpos em atração – i.e., maior a F quando menor a distância entre os corpos, menor a F , quanto maior a distância entre eles, ou seja, a F gravitacional exercida sobre os corpos é inversamente proporcional à distância entre os corpos; assim, os corpos terrestres vêm em direção à F gravitacional da Terra, os corpos celestes distantes não vêm na direção dela.

Mas há que se considerar também que a massa e volume dos corpos constituem a F gravitacional, p.ex. os corpos celestes gravitam em torno do sol porque a massa deste é maior? Os corpos terrestres, a Terra, os corpos celestes e o sol compõem sistemas que se interpenetram pelas leis de F .

É a F que, em última análise, seria a causa do movimento dos corpos? Mas Galileu propôs a ideia de movimento uniforme, o que sugere haver movimento sem F que o cause. A F quando exercida sobre o movimento altera a sua velocidade – o que por si é constante (é mru) – provocando aceleração do movimento, da velocidade. A F não é causa do movimento ou da velocidade, mas da aceleração ou da desaceleração, isto é, uma conexão entre força e alteração da velocidade.

⁵³ Essa formulação condensa a descrição de um número infinito de órbitas e movimentos em um enunciado singular simples: que alguma propriedade do movimento é a mesma para qualquer classe, independente do caso individual, portanto dependendo apenas de uma outra coisa envolvida, a saber, a Terra. Daí essa propriedade, denominada ‘aceleração vertical’, tem de ser ‘devido à Terra’, ou ‘causada pela Terra’, ou ‘uma força exercida pela Terra’. (BORN, p.11-12) [tradução nossa]

Quer dizer, pela concepção de Newton pode-se vislumbrar, por cálculo, que ao se ter informação sobre a localização de uma partícula e de sua velocidade, pode-se identificar o tempo de seu movimento ou deslocamento, e mediante tais variáveis ou coordenadas pode-se, em tese, saber sobre ela no futuro e no passado. (E há um aspecto determinístico nisso.)

Considerando-se as informações elaboradas de tal modo, pode-se transpor essa formulação para órbitas planetárias ou qualquer outro movimento, pois vale como descrição de propriedades ou constituintes do movimento (com Newton não a velocidade, mas a aceleração, e o tempo e o espaço) em qualquer classe, i.e., vale para o movimento em geral, e não apenas para um caso específico. Sendo assim, se corpos terrestres são dirigidos para a Terra, algo interfere no movimento (afetando, alterando os valores ou quantidades de suas propriedades ou coordenadas – a princípio cogitados em movimento uniforme (m.u.), como proposto por Galileu), ou seja, alguma outra coisa está envolvida no movimento: “uma força exercida pela Terra”, algo que atrai o corpo movendo-o para sua direção, no sentido (do foco) da atração ou Força (F).

Max Born chama atenção que “força” indica uma especificação da noção geral de causa, uma causa mensurável. Isto é, um ente B, no caso o movimento de queda dos corpos (propriamente a “aceleração vertical”), depende de outro ente A, o qual é de outra classe, no caso a F.

Quanto ao trabalho de Galileu, descontado o refinamento de Newton, indica causa como causalidade ordinária. Vale lembrar que “causalidade ordinária” significa relação de dependência entre um evento e outro; no caso de Galileu, há uma constante que independe do tempo e da queda do corpo, e essa constante sendo a causa do movimento de queda e do tempo no deslocamento ou percurso da queda. É preciso notar que para Galileu o movimento pode ser concebido por m.u., sem causa física que o engendre ou inicie, mas, a respeito da queda dos corpos, a constante g é um algo mais que causa o movimento de queda, ela é postulada pelas observações e experimentos realizados por Galileu; a diferença com Newton é que este ampliou, estendeu a concepção sobre o movimento planetário para a compreensão dos movimentos dos corpos terrestres, e também introduziu a ideia de aceleração, alteração da velocidade, a qual é provocada pela F: a F altera a velocidade, provocando aceleração, i.e., altera a quantidade da velocidade no tempo, por assim dizer.

A lei de generalização por três coordenadas (espaço, tempo e constante g/F) envolve tempo, desde que o ‘efeito’ da F é uma aceleração, índice de mudança da velocidade no tempo – F provocando alteração na velocidade, aumentando-a, acelerando-a. Isso é um resultado de observações e medidas e não tem qualquer raiz metafísica. Uma consequência disso, por sua vez, é o caráter determinístico da lei: *“if the position and the velocity of a particle are given at any*

time, the equations determine its position and velocity at any time. In fact, any other time in the past or future.” (BORN, p.12)

O fato de tal lei envolver tempo parece corresponder à ocorrência física, aquela no âmbito da realidade temporal, e não a algo metafísico. Mas não podemos esquecer que, na Física de Newton, tempo é tido como absoluto e, como o espaço, isso sugere algo de metafísico imiscuído na Física.⁵⁴

Considerando-se tal determinismo, a lei de Galileu não denota o postulado de antecedência – que um efeito, uma consequência resulte de causa, ou ocorrência precedente –, ainda que indique causa no sentido ordinário, como vimos antes, pois no caso de sua lei vemos que *“uma dada situação inicial não pode ser considerada causa de uma situação posterior, porque a relação entre elas é completamente simétrica; cada uma determina a outra.”* (BORN, p.12) Para Max Born isso corresponde à noção de tempo que Galileu usou e que Newton tratou de definir explicitamente.

Segundo Max Born, também *o postulado da contiguidade – pressuposição de que causa e efeito estão conectados por uma série ou cadeia de fenômenos intermediários em contato – não vale para a lei de Galileu*, uma vez que a ação da Terra sobre o movimento das partículas não precisa de nenhum contato, ao menos aparentemente. Se o éter se mostrar plausível, necessário e não supérfluo, ao menos para alguma teoria física, essa compreensão de Max Born fica em questão. Mas admitindo-se que o éter seja uma hipótese não necessária, então procede o que é defendido por ele: a lei de Galileu não pressupõe a causalidade no sentido de contiguidade. Isso é melhor compreendido mediante a generalização de Newton.

Newton applied Galileo’s method to the explanation of celestial motions. The material on which he based his deductions was scanty indeed/ for at that time only six planets (including the earth) and a few satellites of these were known. I say ‘deductions’, for the essential induction had already been made by Kepler when he announced his three laws of planetary motion as valid for planets in general. (BORN, p.12)⁵⁵

Sobre Kepler, Max Born esclarece continuando:

⁵⁴Cf. abordagem, no que concerne ao “espaço”, desse problema por Max Jammer, *in* **Conceito de espaço: a história das teorias do espaço na física**, capítulo IV; ver também de CARUSO, Francisco e SILVA, Zulena dos S., Dimensionalidade do Espaço ou da Extensão: Nota sobre a contribuição do Jovem Kant, *in* **Revista Tempo Brasileiro**. 189/190. Rio de Janeiro, Ed. Tempo Brasileiro. Abril-Setembro de 2012, em que se expõe a perspectiva do jovem Kant mediante o problema do espaço absoluto.

⁵⁵ Newton aplicou o método de Galileu para explanação dos movimentos celestes. O material em que ele baseou suas deduções era na verdade escasso; naquele tempo apenas seis planetas (incluindo a Terra) e uns poucos satélites eram conhecidos. Eu digo ‘dedução’, pois a indução essencial já havia sido feita por Kepler quando anunciou suas três leis de movimento planetário como válidas para planetas em geral. (BORN, p.12) [tradução nossa]

The first two laws, concerning the elliptic shape of the orbit and the increase of the area swept by the radius vector, were based mainly on Tycho Brahe's observations of Mars, i.e. of one single planet. Generalized by a sweeping induction to any planet they are, according to Newton, equivalent to the statement that the acceleration is always directed towards the sun and varies inversely as the square of the distance r from the sun, ur^{-2} , where u is a constant which may differ from planet to planet. (BORN, p.12-13)⁵⁶

Max Born ressalta que a terceira lei indica a relação causal do Sol: *“It says that the ratio of the square of the period and the cube of the principal axis is the same for all planets – induced from data about the six known planets. This implies, as Newton showed, that the constant u is the same for all planets.”* (BORN, p.13) (“Ela diz que o raio da distância do período e o cubo do eixo principal é o mesmo para todos os planetas – induzido do dado sobre os seis planetas conhecidos. Isto implica, como Newton mostrou, que a constante u é a mesma para todos os planetas.” (BORN, p.13))

Daí que como no caso de Galileu, a constante poder depender apenas de outro corpo singular envolvido, o Sol; a interpretação obtida para o trajeto dos planetas em torno do Sol, e atraídos por ele, é a de que a aceleração centrípeta (ur^{-2}) ‘deve-se ao sol’, ou ‘causada pelo sol’, ou por ‘uma força exercida pelo sol’. Esta F exercida pelo sol é tal considerando-se a distância do planeta: se mais próximo ou menos distante, maior a F interferindo sobre a sua órbita, provocando aceleração; se menos próximo ou mais distante, menor a F com o que o movimento de órbita do planeta desacelera – com isso pode ser entendido também que a formulação matemática descreve a órbita como elíptica para todos os planetas.

A lua e outros satélites planetários eram os materiais para a indução de que Newton se serviu para chegar à *generalização da ideia de atração mútua de todos os corpos entre si*. O passo seguinte surpreendente foi o de inclusão dos corpos terrestres nas leis celestes, e, portanto, as leis tornam-se gerais, cósmicas: *“[...] terrestrial gravity was regarded by Newton as identical with celestial attraction.”* (BORN, p.13) (“[...] gravidade terrestre era considerada por Newton como idêntica à atração celeste.” (BORN, p.13))

Em suma, pode ser visto que com todo esse caminho de descrição do movimento dos corpos celestes ao movimento dos corpos terrestres, Newton fez uma generalização da ideia de atração

⁵⁶ As duas primeiras leis, concernentes à forma elíptica da órbita e ao aumento da área varrida percorrida pelo vetor de raio, estavam baseadas nas observações de Tycho Brahe sobre Marte, um planeta singular. Generalizadas, ampliadas, transpostas para qualquer planeta, de acordo com o programa de Newton, são equivalentes ao enunciado de que a aceleração é sempre dirigida em direção ao sol e varia inversamente [i.e. desacelera] pelo quadrado da distância r do sol, ur^{-2} , onde u é uma constante que pode diferir de planeta para planeta. (BORN, p.12-13) [tradução nossa]

mútua dos corpos, abrangendo os celestes e os terrestres. Assim, causa assume um aspecto geral, lógico e não temporal, não sendo, portanto, expressão do postulado da ideia de antecedente nem da de contiguidade, as quais são variações da compreensão de causa na ordem do tempo e no espaço. A F assume esse sentido de causa, como algo formal. Nesse caso, F é formal no tocante à teoria, mas incide sobre ocorrências físicas. No entanto, poderia ser entendida como algo metafísico? A F parece assim algo estranho, uma causa para fora do espaço e do tempo, mas o movimento o fenômeno que se pode observar e interpretar considerando-se a F.

Retomando a análise sobre o ponto da aplicação das leis do movimento de Newton, além da aplicação dessas ao sistema Terra-Lua, Max Born afirma que:

Newton also succeeded in generalizing the laws of motion for other non-gravitational forces by introducing the notion of mass, or more precisely of inertial mass. Newton's method of representing his results in an axiomatic form does not reveal the way he obtained them. It is, however, possible to regard this step as a case of ordinary causality derived by induction. One has to observe the acceleration of different particles produced by the same non-gravitational (say elastic) forces at the same point of space; they are found to differ, but not in direction, only in magnitude. Therefore, one can infer by induction the existence of a scalar factor characteristic for the resistance of a particle against acceleration or its inertia. This factor is called 'mass'. It may still depend on velocity as is assumed in modern theory of relativity. This can be checked by experiment, and as in Newton's time no such effect could be observed, the mass was regarded as a constant. (BORN, p.14)⁵⁷

Note-se que Max Born pretendeu tornar claro que as equações de Newton implicam a noção de *causa* no sentido usado pelos experimentalistas, como *dependência verificável de uma coisa ou outra*; além disso, que *nessa relação de dependência há uma quantidade peculiar*, denominada aceleração; tal peculiaridade não consiste meramente em algo que não pode ser visto ou lido por uma fita métrica, identificado por uma medida, mas *aquilo que contém implicitamente o tempo* (BORN, p.15) – em outras palavras, a noção de causa embutida na Física de Newton, por estar na ordem do tempo, não seria um princípio metafísico. Ele continua:

⁵⁷ *Newton prosseguiu também generalizando as leis de movimento para outras forças não gravitacionais introduzindo a noção de massa, ou mais precisamente massa inercial. O método de Newton de representar seus resultados em uma forma axiomática não revela o modo de obtê-las. Contudo, é possível considerar esse passo como um caso de causalidade ordinária derivado da indução. Tem-se que observar a aceleração de diferentes partículas produzidas pelas mesmas forças não-gravitacionais (ditas elásticas) no mesmo ponto do espaço; elas encontram diferenças apenas em magnitude, mas não na direção. Portanto, pode-se inferir por indução a existência de um fator escalar característico para a resistência de uma partícula contra/oposta aceleração ou sua inércia. Este fator é denominado 'massa'. Poderia ainda depender da velocidade como é assumida na teoria moderna da relatividade. Isso pode ser averiguado por experimento, e como no tempo de Newton nenhum tal efeito pudesse ser observado, a massa era considerada como uma constante. (BORN, p.14) [tradução nossa]*

In fact, Newton`s equations determine the motion of a system in time completely for any given initial state (position and velocity of all particles involved). In this way, `causation` leads to `determination`, not as a new metaphysical principle, but as a physical fact, like any other. (BORN, p.15)⁵⁸ [Grifo nosso]

Nesse caso, é mútua e simétrica a relação entre duas configurações consecutivas do sistema. Isso recai sobre a questão de se o princípio de antecedência se mantém, pois este deixa de fazer sentido, uma vez que as configurações do sistema são simétricas, e se assim se considerasse, i.e., se fizesse sentido causa como no postulado da antecedência, uma configuração seria causa da outra, e não compatível ou simetricamente o inverso.

As this applies, according to our definition, only to the cause-effect relation between single events, one has to change the standpoint. Instead of considering the acceleration of one body to be caused by the other bodies, one considers two consecutive configurations of the whole system and asks whether it makes sense to call the earlier one the cause of the later one. But it makes no sense, for the relation between the two states is symmetrical. One could, with the same right, call the later configuration the cause of the earlier one. (BORN, p.15-16)⁵⁹

A raiz dessa simetria é a definição de tempo, em Newton. O que quer que Newton diga sobre a noção de tempo como fluxo contínuo (cf. *Scholium I, Principia*), o uso que ele faz da noção de tempo, segundo Max Born, não consiste em fluxo em uma direção.

Max Born pode ser citado:

[...] the use he makes of it contains nothing of a flow in one direction. Newton`s time is just an independent variable t appearing in the equations of motion, in such a way that if t is changed into $-t$, the equations remain the same. It follows that, if all velocities are reserved, the system just goes back the same way; it is completely reversible. (BORN, p.16)⁶⁰

Max Born nota que a variável t , concernente ao tempo, é uma idealização abstrata de um

⁵⁸ De fato, as equações de Newton determinam completamente o movimento de um sistema no tempo para qualquer estado inicial dado (posição e velocidade de todas as partículas envolvidas). Deste modo, ‘causação’ conduz à ‘determinação’ *não como um novo princípio metafísico*, mas como um fato físico como qualquer outro.” (BORN, p.15) [grifo nosso] [tradução nossa]

⁵⁹ De acordo com a nossa definição, aplica-se a relação causa-efeito por antecedência entre fenômenos singulares, com que se tem de mudar o ponto de partida. Ao invés de considerar-se a aceleração de um corpo causada por outros corpos, considera-se duas configurações consecutivas de todo sistema e pergunta-se se faz sentido chamar a anterior causa da posterior. Mas isso não faz sentido, pois a relação entre os dois estados é simétrica. Poder-se-ia, com o mesmo direito, chamar a configuração posterior [recente] de causa da anterior. (BORN, p.15-16) [tradução nossa]

⁶⁰ [...] o uso que ele faz dele não contém nada sobre um fluxo em uma direção. Tempo em Newton é exatamente uma variável independente t aparecendo em equações do movimento, de tal modo que se t é modificado para $-t$, as equações permanecem as mesmas. Segue-se que, se todas as velocidades são reservadas, o sistema volta exatamente para o mesmo modo; é completamente reversível. (BORN, p.16) [tradução nossa]

modelo mecânico simples e de observações astronômicas, encaixando-se bem em um modelo celeste, mas não na experiência ordinária.

Vale dizer que em escala astronômica, os fenômenos com grandezas como ano-luz, distâncias entre um corpo celeste e outro, trajetórias tais podem ser pensados por um “tempo” com outra dimensão ou possibilidade, a reversibilidade, que não como o que vivenciamos aqui na Terra – e também que as mudanças de um corpo celeste ou de escala de medida astronômica estão em uma ordem muito maior do que aquela de um tempo por segundos, minutos, horas, enfim. Max Born chama atenção para o fato de que nossa compreensão ou vivência de tempo na Terra é incompatível com o “tempo” do Cosmo: *“To us it appears that life on earth is going definitively in one direction, from past to future, from birth to death, and the perception of time in our mind is that of an irresistible and irreversible current.”* (BORN, p.16) (“Parece-nos que a vida na terra está definitivamente indo em uma direção, do passado ao futuro, do nascimento à morte, e a percepção do tempo em nossa mente é aquela de uma corrente irresistível e irreversível.” (BORN, p.16))

Poderíamos, contudo, perguntar se a reversibilidade do tempo é factível ou apenas uma possibilidade vislumbrada a partir do recurso proporcionado pela lógica da equação matemática em termos astronômicos. Aliás, é preciso notar que se está pressupondo que a Matemática seja literalmente “linguagem” correspondente aos acontecimentos da natureza, com o que se reforça seu caráter descritivo e preciso dos fenômenos naturais; podendo-se considerar que ela seja uma linguagem correspondente a um modelo de mundo ou de natureza, sua precisão e descrição seriam, portanto, expressões da consistência do modelo.

No entanto, levando-se em conta a crítica de Hume à causalidade, a noção de tempo irreversível é atingida. Vejamos questões sobre o Tempo e conforme problematização da “causalidade” por Hume.

Destituindo-se a causalidade de sentido, apontando-a como resultante do hábito, o tempo se mantém ou não? Se não temos mais a noção de “causa”, ainda faz sentido a noção de “tempo”? Se perdermos a noção de precedência e procedência implicadas na de “causa” como se ocorressem por conexão necessária, mantém-se pertinente a de “tempo” em uma direção?

Note-se que ainda que a antecedência ou sucessão de um evento em relação a outro no espaço ocorra em realidade, aparecendo em um sistema, isso não implica que o tempo seja fatalmente linear. Extraímos da noção de antecedência ou sucessão uma noção de “linearidade” que pode não ser suficiente para a compreensão do tempo, este pode ser de tal forma “desordenado”, não linear, a ponto de ser plausível sua reversibilidade (e por que não sua descontinuidade?), desordenada ou mesmo linear, i.e., “de trás para frente”. Tal

*reformulação da compreensão do tempo pode ser extraída da problematização feita por Hume à causalidade: uma vez que não temos impressão da causalidade, a noção de tempo pode ser alterada, se se presume que ele não esteja associado àquela, pressupondo-se linearidade nas ocorrências, de modo a se conectar precedência e consequência dos acontecimentos; mas a antecendência e a irreversibilidade não são as únicas indicações da possibilidade temporal.*⁶¹

Outra característica da dinâmica de Newton foi rejeitada por contemporâneos, seguidores da cosmologia de Descartes, a qual atende o princípio da contiguidade, i.e., o postulado de que a condição de causa e a de efeito deveriam estar em contato espacial. O caso é que, segundo Max Born: *“Newton’s forces, the quantitative expressions for causes of motion, are supposed to act through empty space, so that cause and effect are simultaneous whatever the distance.”* (BORN, p.16) (*“Forças de Newton, as expressões quantitativas para causas do movimento, são supostas agir através do espaço vazio, de modo que causa e efeito sejam simultâneos, qualquer que seja a distância.”* (BORN, p.16))

Como entende Max Born, Newton absteve-se da controvérsia metafísica quanto a isso, insistindo que os fatos conduziam categoricamente a seus resultados; como a observação dos fatos permitia que a teoria fizesse sentido, as objeções filosóficas foram silenciadas. Em última análise, tornou-se dispensável buscar entendimento da causa dos fenômenos em termos mecânicos, na dinâmica de Newton, importando que Força representasse a ideia de “causa” do movimento dos corpos – ou mais precisamente, “causa” da alteração (aceleração) do movimento. Em parte, com isso, satisfiz-se o desejo da ciência pela explicação do fenômeno em questão. Max Born chama atenção que, contudo, apenas quando novos fatos revelaram a propagação das forças com velocidade finita, o problema da contiguidade na gravitação foi retomado. *Parece então que o problema da contiguidade passou a incidir sobre a própria ideia de Força, de modo a se pensar sobre o que mantém sua potência sem interrupção, propagando-a continuamente, sem que se acabe. Ou mais precisamente em questão, o que seria a “causa” da Força para que um fenômeno comporte velocidade finita e não permanente.* Isso é o que se verá sobre os Campos Eletromagnéticos.

⁶¹Ver sobre isso em Hume e a Indicação da Teoria Quântica, de SILVA, Zulena dos S. e PINGUELLI ROSA, Luiz, em **Livro de Anais de Scientiarum Historia III**, 3º Congresso de História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia do Programa de HCTE. 2010.

3.3 A pressuposição da Causalidade como Contiguidade

Neste tópico estão abordados dois casos físicos correspondentes à definição de causalidade por contiguidade, conforme análise de Max Born: em 3.3.1 O caso da Mecânica dos Meios Contínuos e em 3.3.2 O caso dos Campos Eletromagnéticos.

3.3.1 O caso da Mecânica dos Meios Contínuos

Max Born defende que causalidade – bem como seus atributos de antecedência e contiguidade – não seja metafísica, e que apenas a inferência por indução transcenda a experiência, i.e., permite alcançar conceitos, os quais representam com generalidade os fenômenos; contudo, ele reconhece que tais ideias (causalidade como antecedência e causalidade como contiguidade) têm poder sobre a mente humana e influenciaram o desenvolvimento da física clássica.⁶²

Esforços são feitos no sentido de conciliar as leis de Newton aos postulados da causalidade, quais sejam, contiguidade e antecedência. *Contiguidade* está estritamente vinculada à introdução de forças de contato, pressões, tensões em corpos materiais ordinários, bem como no éter eletromagnético, e então à ideia de campos de forças. Mas a aplicação sistemática da contiguidade à gravitação enfraqueceu a teoria de Newton para a descrição desse domínio de fenômenos, os eletromagnéticos, a qual veio a ser substituída pela Teoria da Relatividade (TR) de Einstein.

Quanto à *antecedência* (outro postulado da causalidade) no desenvolvimento da física, esteve vinculada à irreversibilidade no tempo e encontra sua primeira formulação quantitativa na termodinâmica. Também, tentou-se conciliar esse ramo da física com as leis de Newton pelo atomismo e pela física estatística: a ideia era de que a acumulação de um número imenso de partículas newtonianas invisíveis, átomos ou moléculas, parecem ter, para o observador, a característica da irreversibilidade por razões estatísticas. Os átomos, inicialmente, eram tidos como hipotéticos, mas logo levados a sério, buscando-se por eles e isso com sucesso; eles tornaram-se reais e tangíveis; então se revelaram como o que não eram na concepção newtoniana das partículas em geral. Após o que toda física clássica explodiu, para ser substituída pela Teoria Quântica (TQ). E Max Born afirma:

⁶² De certo modo, essa posição de Max Born é compatível com o que entende Hume, ao afirmar este que por força do hábito pensamos pressupondo causalidade; a indução é uma operação do intelecto ao lidar com os fenômenos, e Hume não nega esses, mas ele observa que a indução não alcança, em última análise, conceitos, generalizações causais correspondentes aos fatos.

Looked at from the point of view of our principles, the situation in quantum theory is reversed. Determinism (which is so prominent a characteristic of Newton's theory) is abandoned, but contiguity and antecedence (violated by Newton's laws) are preserved to a considerable degree. Causality, which in my formulation is independent of antecedence and contiguity, is not affected by these changes: scientific work will always be the search for causal interdependence of phenomena. (BORN, p.17-18)⁶³

Neste ponto, é preciso destacar que Max Born concorda com Hume quanto à ideia de que causalidade não depende da antecedência e da contiguidade; vale reforçar que Hume chama atenção que pressupor a relação de antecedência e a de contiguidade, e também a de regularidade, entre fenômenos não implica causalidade. Contudo, Max Born entende que a causalidade é preservada como “norte” da busca científica pelo porque dos fenômenos, “a interdependência causal dos fenômenos” é algo que move a busca científica. Mas a questão que temos a partir de Hume é se causalidade é realmente possível e que, não o sendo, precisamos ter clareza de que se prefigura, se não uma impossibilidade da ciência da natureza, ao menos uma nova compreensão desta.

Após esse resumo da discussão que se seguirá, retomemos a questão sobre por que a violação do princípio da contiguidade e antecedência na teoria de Newton foi primeiramente aceita (embora não sem protesto), e depois veio a ser alterada e finalmente rejeitada; quer dizer, que os atributos de contiguidade e antecedência tenham sido dispensados pela teoria de Newton, foi algo não aceito, e essa não aceitação deveu-se à transposição da mecânica celeste para a terrestre. A teoria newtoniana teve sucesso na interpretação do movimento planetário, o poder da mecânica analítica de descrever e prever observações levou a se pensar que era modelo para outras interpretações científicas de fenômenos em geral.⁶⁴ Quanto a isso, Newton mostrou o

⁶³ Observada do ponto de vista de nossos princípios, a situação na teoria quântica é revertida. Determinismo (o qual é uma característica tão proeminente da teoria de Newton) é abandonado, mas contiguidade e antecedência (violadas pelas leis de Newton) são preservadas a um grau considerável. Causalidade, que em minha formulação é independente de antecedência e contiguidade, não é afetada por essas mudanças: trabalho científico sempre será a busca pela interdependência causal do fenômeno. (BORN, pp.17-18) [tradução nossa]

⁶⁴ Segundo Max Born, esse quadro de suspensão das noções de contiguidade e antecedência, foi reforçado pela investigação matemática das equações do movimento, como nos trabalhos de Lagrange, Laplace, Gauss, Hamilton; os trabalhos deste último são os mais recorrentes na posteridade, devido a sua formulação mais geral e elegante das leis de Newton. Sobre a matematização na Física e sobre como se procede com explicações por equações, ver KUHN, T., Conceitos de Causa no Desenvolvimento da Física, in **A tensão essencial**, p. 45-54. Nesse estudo, Kuhn (p.50) considera que “[...] no século XIX, uma mudança que já havia começado na mecânica propagou-se pouco a pouco por toda física. À medida que o campo se matematizava, a explicação dependia cada vez mais da apresentação de formas apropriadas e da derivação de suas consequências. Com relação à estrutura, mas não em substância, a explicação ainda era a da física aristotélica. Impelido a explicar um fenômeno natural específico, o físico escrevia uma equação diferencial apropriada e deduzia, talvez em conjunto com condições de contorno especificadas, o fenômeno em questão. Seguramente podia ter de justificar a escolha das equações diferenciais, mas o que podia ser contestado era a formulação empregada e não o tipo de explicação

caminho e, por sua vez, calculou a velocidade do som em um fluido. Eventualmente, a mecânica dos sólidos elásticos provocou uma modificação da definição de força, de modo a satisfazer a noção de contiguidade.

Notemos que fluido elástico sugere ou indica contiguidade; assim, a ideia newtoniana de relação entre corpos através de um espaço vazio passa a ser revista, e com isso a definição de força, que passa a ser associada – ou, se não substituída, aprimorada – à de pressão, por exemplo. E vale notar que tal meio elástico para se pensar a propagação do som em um fluido, sua velocidade neste, aponta para a possibilidade do éter como sustentador da propagação do som e da luz, embora Newton fosse defensor do atomismo, o que pressupõe a ideia de descontinuidade ou “espaço” vazio, o que dispensa o éter como meio físico para explicação do fenômeno do movimento.

O matemático Cauchy empreendeu trabalhos nessa direção: pensar um sólido como um agregado de partículas pequenas, agindo uma sobre as outras por forças newtonianas não contíguas de curto alcance – antecipando o ponto de partida do atomismo moderno. Mas naquela época não havia evidencia da realidade física dessas partículas. Nas aplicações físicas, todos os traços ou vestígios delas foram obliterados pelo meio. A forma desses resultados sugeriu a Cauchy outro método de abordagem pelo qual partícula mecânica é descartada. Matéria é considerada um contínuo real na acepção matemática, de modo fazer sentido falar de força entre duas partes da matéria separadas por uma superfície. Isso, de nossa perspectiva, parece incorreto, pois, conforme diz Max Born, sabemos que matéria é descontínua. Os trabalhos de Cauchy, contudo, mostraram como introduzir contiguidade na mecânica. Curiosa a menção ao éter feita por Max Born, a partir disso:

[...] the importance of this point became evident when the new method was applied to the ether, the carrier of light and of electric and magnetic forces, which even to-day is still regarded as continuous – thought it has lost most of the characteristic properties of a substance and can hardly be called a continuous médium. (BORN, p.19)⁶⁵

Pode-se ver que Max Born enuncia que o éter não precisa ser tido como contínuo, sua constituição pode ser descontínua; e a se considerar que perdeu sua propriedade de substância –

oferecida. Tivesse ou não escolhido a correta, era uma equação diferencial, uma forma que dava explicação para o ocorrido. Na condição de explicação, a equação não é divisível para além disso. Não se poderia extrair dela, sem graves distorções, um agente ativo ou uma causa isolável temporalmente anterior ao efeito.”

⁶⁵ [...] a importância deste ponto tornou-se evidente [...] quando o novo método foi aplicado ao éter, o suporte [portador] da luz e das forças elétricas e magnéticas, que mesmo hoje é ainda considerado como contínuo – embora tenha perdido muito das propriedades características de uma substância e dificilmente possa ser considerado um meio contínuo. (BORN, p.19) [tradução nossa]

i.e., não mais equivale a algo de substancial, mas comporta “certa abstração” por sua intangibilidade, digamos assim –, então não cabe pensá-lo como meio contínuo.

As citações a seguir correspondem a um esboço da mecânica dos meios contínuos:

Mass, velocity, and all other properties of matter are considered continuously distributed in space. The mass per unit volume or density p is then a function of the space coordinates, and the same holds for current of mass $u = pv$ (namely the quantity of mass passing through a surface per unit area and unit time). The conservation (indestructibility) of mass then leads to the so-called continuity equation [...].

Concerning the forces, one has to assume that, if the substance is regard as separated into two parts by a surface, each part exerts a push or pull through this surface on the other which, measured per unit area, is called tension or stress. (BORN, p.20)⁶⁶

E Max Born observa que

[...] the new equations of motion which satisfy the postulate of contiguity. They are prototype for all subsequent field theories. In the present form they are still incomplete and rather void of meaning, as the stress tensor is not specified in its dependence on the physical conditions of the system – just in the same way as Newton’s equations are void of meaning if the forces are not specified with their dependence on the configuration of the particles. (BORN, p.21)⁶⁷

Neste ponto, pode ser lembrada a brecha na teoria de Newton que se mostra insistente na pergunta: o que é a “força”? Força (F) é tida como um pressuposto da teoria, e esta faz sentido considerando-se as explicações sobre o movimento e relação entre corpos à distância, mas o que vem a ser fisicamente a força no sistema não está especificado; ela é sugerida por cálculo matemático tomando-se a massa das partículas, velocidade, espaço e tempo de trajetória, de movimento. Ou seja, nada implica que força constitua fisicamente o comportamento das partículas, que esteja relacionada à configuração das partículas. Agora, com a perspectiva física do meio contínuo parece resolver-se o estranhamento provocado pela ideia de ação à distância, e inclusive poder ser explicado o fato da velocidade finita. Mas Max Born reconhece que um

⁶⁶ Massa, velocidade e todas as outras propriedades da matéria são consideradas continuamente distribuídas no espaço. A massa por unidade de volume ou densidade p é então uma função das coordenadas do espaço e o mesmo considera-se para a corrente de massa $u = pV$ (a saber, a quantidade de massa passando através de uma superfície por unidade de área e unidade de tempo). A conservação (indestrutibilidade) da massa então leva a assim denominada equação de continuidade [...].

No que concerne à força, tem-se que admitir que, se a substância é tomada como separada em duas partes por uma superfície, cada parte empurra ou puxa a outra através dessa superfície, o que, medido por unidade de área, é designado tensão ou *stress*. (BORN, p.20) [tradução nossa]

⁶⁷ [...] as novas equações do movimento satisfazem o postulado da contiguidade, e são protótipos para as teorias de campo subsequentes. Mas inicialmente a forma dessas equações é ainda incompleta e vazia de significado, dado que o tensor de *stress* não é ainda especificado em sua dependência nas suas condições físicas do sistema – exatamente como as equações de Newton são vazias de significado se as forças não são especificadas em sua relação com a configuração das partículas. (BORN, p.21) [tradução nossa]

número finito de variáveis não representa um sistema contínuo, de modo que este precisa ser representado por uma função, a de “componentes de pressão”:

The configuration of a continuous system cannot be described by the values of a finite number of variables, but by certain space functions, called ‘strain-components’. They are defined in this way: A small (infinitesimal) volume of initially spherical shape will be transformed by the deformation into an ellipsoid [...]. (BORN, p.21)⁶⁸

Max Born chama atenção para o seguinte ponto: *“Contact forces spread not instantaneously but with finity velocity. This is the main feature distinguishing Cauchy’s contiguous mechanics from Newton’s non-contiguous. The simplest example is an elastic fluid (liquid or gas).”* (BORN, p.22) (“Forças de contato não se propagam instantaneamente, mas com velocidade finita. Esta é a característica principal que distingue a mecânica contígua de Cauchy da não contígua de Newton. O exemplo simples é um fluido elástico (líquido ou gás).” (BORN, p.22))

3.3.2 O caso dos Campos Eletromagnéticos

Max Born observa que equações de onda foram usadas para *“descreverem as observações, onde agora phi significa a amplitude da vibração”* (BORN, p.22). E ele pergunta: o que vibra? O éter é uma ideia em voga, sobre o qual se considerava como meio pelo qual são propagadas ondas transversas, isso sugerindo que era comparável a um sólido elástico. Então, se entendeu que o éter ou vácuo preenchido fosse o transporte, o carregador de forças de contato, propagadas com velocidade finita.⁶⁹

As forças de contato com velocidade finita – propagadas pelo éter – eram existentes, segundo Max Born, não apenas para as forças instantâneas da gravitação de Newton, mas também para outras forças similares introduzidas para descreverem experiências elementares em eletricidade e magnetismo. Essas forças são comumente ligadas ao nome de Coulomb, quem as verificou por medidas diretas da intensidade de atração e repulsão entre corpos carregados com baixa carga, e entre os pólos de magnetos (com formas de agulhas, em bússolas p.ex.)⁷⁰. Isso quer dizer, corpos carregados se atraem ou se repelem e essas interações ocorrem conforme o princípio de forças de Newton.

⁶⁸ A configuração de um sistema contínuo não pode ser descrita pelos valores de um número finito de variáveis, mas por certas funções espaciais, denominadas ‘componentes de pressão’. Eles são definidos deste modo: Um volume pequeno (infinitesimal) de molde esférico será inicialmente transformado em elipsoide pela deformação [...]. (BORN, p.21) [tradução nossa]

⁶⁹ Cf. EISTEIN, Albert e INFELD, Leopold. **A evolução da física**. Ed. Zahar. Rio de Janeiro. p. 94-95.

⁷⁰ Cf. EISTEIN, Albert e INFELD, Leopold. **A evolução da física**. Ed. Zahar. Rio de Janeiro. p.75-77.

Segundo Max Born,

It was the attempt to formulate the mechanical interactions between linear currents (in thin wires) in terms of Newtonian forces which entangled physics in the first part of the nineteenth century in serious difficulties. Meanwhile Faraday had begun his investigations unbiased by any mathematical theory, and accumulated direct evidence for understanding electric and magnetic phenomena with the help of contact forces. He spoke about pressures and tensions in the media surrounding charged bodies, using the expressions introduced in the theory of elasticity, yet with considerable and somewhat strange modifications. (BORN, p.23)⁷¹

Faraday cogitou que fenômenos elétricos e magnéticos resultavam de forças de contato – algo não tangível, que “aparece” sugerido nos efeitos, por assim dizer –, os termos da linguagem representativa de tais forças eram “pressão” e “tensão”, os quais indicam as forças que conduzem ou formam os fenômenos elétricos e os magnéticos. Essa linguagem parecia distanciada do bem estabelecido modelo newtoniano de descrição das forças de movimento, isto é, de forças em ação à distância afetando o movimento dos corpos.

O modelo newtoniano, como se sabe, foi pensado como aplicável também para os fenômenos físicos terrestres, e a investigação dos fenômenos eletromagnéticos envolveu-se com a mecânica newtoniana, como nos trabalhos de Coulomb. Mas é preciso notar, segundo Max Born, que não há diferenças intrínsecas entre os dois métodos, considerando-se apenas fenômenos estatísticos e estacionários.

Para compreender-se a diferença entre a Mecânica de Newton e o Eletromagnetismo é preciso reconhecer a concepção subjacente a cada uma dessas teorias: na teoria de Newton as forças atuam por ação à distância sobre os fenômenos, mas no Eletromagnetismo entende-se que a força se dá por contato, o que, respectivamente, aponta para as ideias de atomismo e meio contínuo, vazio e matéria contínua. A convicção de Faraday era de que forças de contato consistiam explicação última para os fenômenos físicos – uma vez que faziam sentido para interpretação de fenômenos elétricos e magnéticos –, de modo a terem superioridade sobre as forças de Coulomb.

Por sua vez, a reflexão de Maxwell permitiu encontrar explicação com base matemática para o que intrigava: como forças podem agir à distância? E ainda: como explicar os fenômenos

⁷¹Foi a tentativa de formular interações mecânicas entre correntes lineares (em fios finos) em termos de forças newtonianas que enredou os físicos, na primeira parte do século XIX, em sérias dificuldades. Entretanto, Faraday começou sua investigação sem base de qualquer teoria matemática, e acumulou evidência direta para entender fenômenos elétricos e magnéticos com a ajuda de forças de contato. Ele falou sobre pressões e tensões no meio circundando corpos carregados, usando a expressão introduzida na teoria da elasticidade, ainda que com modificações consideráveis e de algum modo estranhas. (BORN, p.23) [tradução nossa]

eletromagnéticos na sua singularidade, i.e., sem recorrência à ideia de força em ação à distância? Maxwell encontrou o modo de explicar os fenômenos elétricos e magnéticos com base matemática. Como afirmou Max Born, ele encontrou “[...] *the clue which made it impossible to accept forces acting instantaneously over finite distances: the finite velocity of propagation.*” (BORN, p.24) (“[...] a chave que tornou impossível aceitar forças agindo instantaneamente sobre distâncias finitas: a velocidade de propagação finita.” (BORN, p.24))

O que Maxwell demonstrou foi que forças não poderiam atuar instantaneamente, sua propagação não é permanente, se dá com velocidade finita, o que, em última análise, quer dizer: a segunda lei da gravitação é revista, pois a medida ou valor da ação da força não depende apenas da distância entre corpos, mas também da velocidade. Curioso nisso é que a força não é apenas uma grandeza que incide sobre a velocidade alterando-a, provocando aceleração, mas ela mesma é afetada pela velocidade – com essa reflexão surge, ao fundo, uma questão metafísica: qual o conceito que representa o acontecimento mais fundamental da natureza, se a força ou a velocidade, ou ainda, se haverá outro conceito que se proporá alternativo a esses.

Para Max Born, Maxwell combinou todos os fatos experimentais conhecidos: cargas, polos magnéticos, correntes e as forças entre eles; com essa combinação estabeleceu um conjunto de equações de campo do seguinte modo: conectou mudanças temporais e espaciais da intensidade (força por carga) do campo magnético e elétrico com a densidade da carga elétrica e da corrente (BORN, p.24). Ou seja, a intensidade do campo elétrico e magnético mudava no espaço e ao longo do tempo, essa mudança foi associada à densidade da carga elétrica e da corrente. Em outras palavras, a velocidade da “força” nesse sistema eletromagnético varia conforme a intensidade do campo elétrico e magnético e da densidade de uma carga e de uma corrente elétrica. Sendo assim, não ocorre propriamente “ação à distância”, antes uma força por contato entre cargas, correntes, campo, polos, com o que vislumbramos a *contiguidade* nas ocorrências da natureza.

Contudo, pode-se perceber uma inadequação nessa ideia, uma vez que tais fatos experimentais foram combinados com a condição de que qualquer mudança de carga poderia ocorrer apenas por meio de uma corrente (expressa por uma equação de continuidade). Como escreve Max Born, “*na linguagem daquele tempo, o resultado foi formulado por dizer que a ausência de correntes abertas poderia ser descrita por essa teoria.*” (BORN, p.24) Alguma coisa estaria errada nas equações, e examinando-se mais de perto pode ser notada uma característica suspeita: uma falta de simetria. Sobre isso cabe a citação:

The terms expressing Faraday's induction law (production of electric force by the

time variation of the magnetic field) had no counterpart obtained by exchanging the symbols for electric and magnetic quantities (production of magnetic force by the time variation of the electric field). (BORN, p.24-25)⁷²

Max Born chama atenção para o fato de não haver intercâmbio entre os diferentes campos, o elétrico e o magnético, com o que as equações de Maxwell pretendem uma aplicação “forjada” para fenômenos não simétricos. Vale citar:

“Without any direct experimental evidence Maxwell postulated this inverse effect and added to his equations the corresponding term, which expresses that a change of the electric field (displacement current) is, in its magnetic action, equivalent to an ordinary current. It was a guess based on a belief in harmony.”(BORN, p.25)⁷³

No entanto, esse arbitrário intercâmbio pode ser, por raciocínio matemático, associado a um fato singular significativo que bastou para convencer Maxwell da pertinência de sua conjectura: ele mostrou que suas equações modificadas conferiam soluções representando ondas, a velocidade, c , grandezas as quais poderiam ser expressas em termos de constantes puramente elétricas e magnéticas. O vácuo c acabou por tornar-se igual à razão de uma unidade de carga medida eletrostática e eletromagneticamente; o valor numérico dessa razão, uma quantidade de dimensões de uma velocidade, coincidiu com a velocidade da luz. Isso não parecia acidental, sem mais, com o que Maxwell poderia enunciar a teoria eletromagnética da luz. Posteriormente, a confirmação final da teoria de Maxwell foi obtida pela apresentação das ondas eletromagnéticas, por Hertz.

Max Born ressalta a ideia de que o uso de “forças de contato” e “equações de campo”, o que corresponde à noção de contiguidade, no eletromagnetismo, resultou de esforço contra concepções de origem newtoniana. E ele afirma que tudo isso confirma sua visão “[...] *that the question of contiguity is not a metaphysical one, but an empirical one.*” (BORN, p.25) (“[...] que a questão da contigüidade não é metafísica, mas empírica.”)

Essa compreensão de que a contigüidade é empírica concorda com Hume, este admite que a contigüidade manifesta-se nos fenômenos; contudo, Hume nota que ainda assim a causalidade não está garantida como fenômeno físico, quer dizer, que fatos sejam contíguos não implica que

⁷²Os termos expressando a lei de indução de Faraday (produção de força elétrica pela variação do tempo do campo magnético) não tinham contrapartida obtida pela troca dos símbolos para quantidades elétricas e magnéticas (produção de força pela variação do tempo do campo eletromagnético). (BORN, p.24-25) [tradução nossa]

⁷³ Sem qualquer evidência experimental direta Maxwell postulou este efeito inverso e acrescentou a suas equações o termo correspondente, o qual expressa que uma mudança do campo elétrico (corrente deslocada) é, em sua ação magnética, equivalente a uma corrente ordinária. Era uma noção baseada sobre uma crença na harmonia. (BORN, p.25) [tradução nossa]

um antecedente seja causa do outro seguinte, não há garantia de conexão necessária entre fatos contíguos. Assim, parece necessária a noção de Antecedência para o Eletromagnetismo.

Max Born então passa a se ocupar com saber...

[...] whether the laws of electromagnetism satisfy the principle of antecedence. Na inspection of Maxwell's equations (see Appendix, 4) shows that a reversal of time, $t \rightarrow -t$, leaves everything, including the continuity equation, unchanged, if the electric density and field are kept unchanged while the electric current and magnetic field are reversed. This is a kind of reversibility very similar to that of mechanics, where a change of the sign of all velocities makes the system return to its initial state. The difference is only a practical one: a change of sign of all current densities and the whole magnetic field is not as simple to perform as that of a finite set of velocities. (BORN, p. 25-26)⁷⁴

Pode-se notar neste trecho de Max Born que as equações de Maxwell comportam algo da reversibilidade como na Mecânica de Newton. Ora, se assim, como a ideia de antecedência, uma das acepções para causalidade propostas por Max Born, pode fazer sentido no Eletromagnetismo? Ele ressalva que a antecedência no Eletromagnetismo, encontraria seu sentido fisicamente por outros fatores, que não uma suplementação às equações de Maxwell – e se pode perguntar também se a antecedência garantiria conexão necessária entre os fenômenos. Aqui, essas poucas e não detalhadas indicações é o bastante, não se detém mais aqui sobre o texto de Max Born sobre a causalidade no Eletromagnetismo⁷⁵, apenas valendo ressaltar sua afirmação final: “*Maxwell's equations themselves do not satisfy the postulate of antecedence.*” (BORN, p.26) (“As equações de Maxwell em si mesmas não satisfazem o postulado da antecedência.” (BORN, p.26))

⁷⁴ [...] se as leis do eletromagnetismo satisfazem o princípio da antecedência. Uma inspeção das equações de Maxwell (ver Apêndice, 4) mostra que uma reversão do tempo, $t \rightarrow -t$, conduz a tudo, incluindo a equação de continuidade, inalterada, se a densidade e campo elétricos são mantidos inalterados enquanto a corrente elétrica e o campo magnético são revertidos. Este é um tipo de reversibilidade muito similar àquela da mecânica, onde uma mudança de sinal de todas as velocidades faz o sistema retornar a seu estado inicial. A diferença é apenas prática: a mudança de sinal da densidade de toda corrente e de todo campo magnético não é tão simples como aquela de um conjunto finito de velocidades. (BORN, p.25-26) [tradução nossa]

⁷⁵ Sobre alternativa para se introduzir a ideia de antecedência no Eletromagnetismo, por considerações acerca das equações de Maxwell, cf. BORN, p.26.

3.4 A Termodinâmica: um caso de Antecedência

Max Born ocupa-se com saber quais experiências pelas quais se distingue de modo empírico objetivo passado de futuro ou que permitem “estabelecer o princípio da antecedência na cadeia de causa e efeito”. (BORN, p.31) Ele visa a explicitar tais experiências ao explicar sobre a Termodinâmica.

As experiências pelas quais se distingue entre passado e futuro são concernentes a produção e transferência de calor e distribuição da temperatura.⁷⁶

A quantidade mensurável de calor foi inicialmente denominada calórico, como um tipo de substância invisível, e o registro de seu fluxo se dava por materiais líquidos – e admitia-se que a mudança da densidade de calor seria proporcional à mudança de temperatura, e a corrente de calor seria proporcional ao grau negativo de temperatura.

Mas o que Max Born ressalta no fenômeno é o aspecto temporal: ele chama atenção que a equação termodinâmica da *corrente de calor* não permite mudança de t para $-t$, as soluções das equações exibem uma diferença essencial entre passado e futuro, demonstra um processo singular: “[...] a definite ‘flow of time’ as one used to say – meaning, of course, a flow of events in time.” (BORN, p.32) (“[...] um ‘fluxo de tempo’ definido, como se costuma dizer – significando, certamente, um fluxo de eventos no tempo.” (BORN, p.32)). E quanto à *distribuição de temperatura*, a equação respectiva “[...] describes the spreading and levelling out of an initially high temperature concentrated near the point $x = 0$, an obviously irreversible phenomenon.” (BORN, p.32) (“[...] descreve a dispersão e nivelamento de uma temperatura concentrada inicialmente elevada próximo ao ponto $x = 0$, obviamente um fenômeno irreversível.”) (BORN, p.32))

No tocante à história da física, foi questão importante a possibilidade de conciliar essa teoria da condução do calor com as leis reversíveis da Física Newtoniana. Aqui vemos o problema de como integrar a termodinâmica à Mecânica de Newton, a partir da qual se pode formalmente retroceder do presente ao passado, considerando-se localização espacial, tempo e velocidade de uma partícula – no fenômeno do calor, algo se perpetra em uma direção sem retroceder-se ao passado, e o “declínio” de calor, por assim dizer, é no futuro, e não reversibilidade de condição física do calor ao tempo anterior (t).

⁷⁶ Para a diferença entre calor e temperatura, considera-se que a percepção subjetiva daqueles estados, o quente e o frio, é traduzida para uma linguagem objetiva em Física: a qualidade temperatura e a quantidade calor daqueles estados percebidos subjetivamente – e os instrumentos respectivos para indicação da temperatura e do calor seriam termômetro e calorímetro. Ver a respeito, EINSTEIN, A. e INFELD, L.. **A evolução da física**, Parte I, seção 6.

Segundo Born também outro passo importante foi dado: a descoberta da primeira lei da Termodinâmica, a qual corresponde à equivalência entre calor e trabalho mecânico. Esta lei foi tornada importante, como lembrado por Max Born, após a descoberta da máquina a vapor. Decorre desse quadro de ideias e invenções, investigações, a compreensão não apenas da produção de calor pelo trabalho mecânico (como pela fricção), mas também do sentido inverso, do trabalho mecânico ser produzido pelo calor (como na máquina a vapor). O enunciado característico dessa equivalência consiste em que “[...] *a given amount of heat always corresponds to a definite amount mechanical work, its ‘mechanical equivalent’.*” (BORN, p.32) (“[...] uma dada quantidade de calor sempre corresponde a uma quantidade definida de trabalho mecânico, seu ‘equivalente mecânico’.” (BORN, p.32)). Eis nesse enunciado o teor da primeira lei da Termodinâmica. Max Born expõe brevemente um histórico das ideias nos trabalhos de Mayer e Joule.

Robert Mayer pronounced this Law on very scanty and indirect evidence, but obtained a fairly good value for the equivalent from known properties of gases, namely from the difference of heat necessary to raise the temperature by one degree if either the volume is kept constant or the gas allowed to do work against a constant pressure. Joule investigated the same problem by systematic experiments which proved the essential point, namely that the work necessary to transfer a system from one equilibrium state to another depends only on these two states, not on the process of application of the work. This is the real content of the first law; the determination of the numerical value of the mechanical equivalent, so much stressed in textbooks, is a matter of physical technique. (BORN, p.32-33)⁷⁷

Mas Born não se cinge a um resumo sobre a história da compreensão do enunciado da lei da Termodinâmica explicitada pelos trabalhos de R. Mayer e Joule. Ele se volta para o fundamento lógico e filosófico da teoria do calor. Para se compreender o fundamento lógico e filosófico da teoria do calor, é preciso reconhecer o seguinte problema: como transformar impressões subjetivas de quente e frio em enunciados objetivos mensuráveis, como afirma Born (p.33). O intuito de se firmar linguagem objetiva da física acerca de tais fenômenos foi preliminar, e necessário reconhecer a diferença entre as quantidades envolvidas no fenômeno térmico, temperatura e calor.

⁷⁷ Robert Mayer pronunciou esta Lei sobre evidencia muito escassa e indireta, mas obteve um valor muito bom para a equivalência das conhecidas propriedades dos gases, sabidamente da diferença de calor necessário surgir a temperatura de um grau mesmo se o volume é mantido constante ou o gás propiciado realizar trabalho contra uma pressão constante. Joule investigou o mesmo problema por experimentos sistemáticos que provaram o ponto essencial, a saber, que o trabalho necessário para transferir um sistema de um estado de equilíbrio para outro depende apenas desses dois estados, não do processo de aplicação do trabalho. Este é o conteúdo real da primeira lei [da termodinâmica]; a determinação do valor numérico do equivalente mecânico, tão esgotado em livros textos, é um tema de técnica física. (BORN, p.32-33) [tradução nossa]

E um problema consiste em definir essas quantidades em mudanças objetivas observáveis em corpos materiais, como expõe Born (p.34). Ele também afirma que os conceitos mecânicos – como força, tensão, pressão – cumprem esse propósito, embora as leis da mecânica precisem ser mudadas: a partir da mecânica, a pressão em equilíbrio é uma dada função do volume ($p = f(V)$), como observa Born, e ele chama atenção que esta lei da mecânica está errada, se se considera as experiências de impressões subjetivas de tornar o fluido quente ou frio: a pressão pode ser modificada em volume constante – a saber, ‘por aquecimento’ ou ‘por esfriamento’. Com o que ele conclui: “*Hence the pressure p can be regarded as an independent variable besides the volume V , and this is exactly what thermodynamics does.*” (BORN, p.34) (“Daí a pressão p poder ser considerada como uma variável independente, além do volume V , e isto é exatamente o que faz a termodinâmica.” (BORN, p.34))

Born atenta que se concentrará no caso de sistemas fluidos, caracterizados por essas variáveis independentes termodinamicamente, volume (V) e pressão (p). E ele chama atenção para dois diferentes tipos de contato entre fluidos diferentes: paredes separariam os fluidos, e supõe-se que não interferem no comportamento do sistema que define a interação entre os dois fluidos, assim sendo paredes ditas fracas. Born apresenta dois tipos de paredes.

A *parede adiabática*, cuja propriedade é a de que o equilíbrio do corpo anexo a ela não é perturbado por qualquer processo externo, enquanto envolvido por ela – nesse caso, forças à distância não estão consideradas (BORN, p.34-35). Uma observação instigante feita por Born é que na definição da propriedade adiabática se está dispensando a noção de calor, isso é essencial para não se recair, logicamente, em petição de princípio, i.e., aquilo mesmo que está sendo investigado não pode ser considerado no encaminhamento ou nas condições da própria investigação ou na definição daquilo mesmo que se pretende definir, e em suas palavras: “[...] *for as it is our aim to define the thermal concepts in mechanical terms, we cannot use them in the elementary definitions.*” (BORN, p.35) (“[...] pois como é nosso objetivo definir conceitos térmicos em termos Mecânicos, não podemos usá-los nas definições elementares.” (BORN, p.35))

E Born acrescenta que a abordagem deste tema “[...] *cannot avoid the assumption of the possibility of isolating a system thermally; without this no calorimeter would work and heat could not be measured.*” (BORN, p.35) (“[...] não pode evitar a admissão da possibilidade de isolar termicamente um sistema; sem isto nenhum calorímetro trabalharia e calor não poderia ser medido.” (BORN p.35))

A outra parede é a *diatérmica*, introduzida para representar impossibilidade de troca de material; a propriedade que define esta parede é a de que o equilíbrio de dois corpos separados

desse modo não se deve aos valores de suas variáveis (p_1 , V_1 e p_2 , V_2), mas “[...] apenas se uma relação definida entre essas quatro quantidades é satisfeita” (BORN, p.35).

A propriedade de equilíbrio pode ser entendida como uma “experiência de que dois corpos em equilíbrio térmico com um terceiro, estão também em equilíbrio térmico com o outro” (BORN, p.35). Isso é a base do conceito de *temperatura*, segundo Born. E ele enfatiza o problema que reside nisso: este terceiro corpo, tomado como parâmetro da temperatura seria arbitrário, poderia ser substituído por qualquer outro; e daí ser estabelecida uma escala de temperatura empírica, de qualquer substância, não garantiria objetividade da descrição do fenômeno térmico (de equilíbrio térmico). Sendo assim, segundo Born: “the definition of an ‘absolute’ scale of temperature was therefore an urgent problem which was solved by the discovery of the second law of thermodynamics.” (BORN, p.36) (“A definição de uma escala ‘absoluta’ era, portanto, um problema urgente que foi solucionado pela descoberta da segunda lei da termodinâmica.” (BORN, p.36)

Calor, o outro conceito fundamental da termodinâmica, pode ser definido em termos de quantidades mecânicas (BORN, p.36), e isso por interpretação de experimentos de Joule, e o essencial desses experimentos reside no seguinte fato: *If a body in an adiabatic enclosure is brought from one (equilibrium) state to another by applying external work, the amount of this work is always the same in whatever form (mechanical, electrical, etc.) and manner (slow or fast, etc.) it is applied.* (BORN, p.36) (“Se um corpo em um recipiente adiabático é levado de um estado (equilíbrio) a outro aplicando-se trabalho externo, a quantidade deste trabalho é sempre a mesma de qualquer forma (mecânica, elétrica, etc.) e maneira (lenta ou rápida, etc.) que seja aplicada.” (BORN, p.36)

Desse pressuposto – de que a quantidade de trabalho aplicado em um sistema para conduzir um corpo de um estado de equilíbrio para outro, em recipiente adiabático – decorre que o trabalho feito adiabaticamente, sobre um dado estado inicial, é uma função do estado final, esta função sendo denominada *energia* do sistema; e a diferença entre o estado de equilíbrio para outro será zero (0). Em um processo não adiabático a diferença de uma condução de um estado inicial para o estado final não será zero, como discorre Max Born (p.36); esta diferença é chamada de *calor*, o qual é fornecido para o sistema durante o processo, e indica a definição de calor em sentido mecânico. (BORN, p.37)

Este procedimento pressupõe a possibilidade de o trabalho mecânico ser medido, ainda que aplicado, o que significa, nas palavras de Born, que “[...] *the displacements of and the forces on the surface of a stirringwheel in a fluid, or the current and resistance of a wire heating the fluid, must be registered even for the most violent reactions.*” (BORN, p.37) (“[...] os deslocamentos e

as forças sobre a superfície de uma roda movente em um fluido, ou a corrente e resistência de um aquecimento do fluido, tem de ser registrado mesmo com as mais violentas reações.” (BORN, p.37)). E ele afirma que a medição do calor é praticamente difícil, implementada por processos de longa duração em que as fases iniciais e finais podem ser negligenciadas, ou por processos extremamente lentos; e ele observa que esses processos são reversíveis, desde que energia cinética não seja produzida, a qual poderia ser irreversivelmente destruída por fricção, como observa Born (p.37). A Termodinâmica ordinária entende que se segue infinitamente um aquecimento ou esfriamento lento ao se conduzir o sistema ao contato térmico com uma série de grandes reservas de calor que diferem por quantidades pequenas de temperatura (BORN, p.37).

Mas para Born, essa consideração de reversibilidade do sistema é artificial, não corresponde a um experimento real, e é também supérflua. E ele observa que, em sistemas de fluidos separados por paredes adiabáticas ou diatérmicas, a energia e o trabalho feito são adicionais (de acordo com as definições das “paredes” expostas antes).

Experiências térmicas elementares são desconsideradas pela Termodinâmica clássica, segundo Max Born, e para ele seria de se esperar que as leis da termodinâmica estivessem relacionadas a propriedades daquelas.

But classical thermodynamics proceeded in quite a different way, introducing the conception of idealized thermal machines which transform heat into work and vice versa (William Thomson – Lord Kelvin), or which pump heat from one reservoir into another (Clausius). The second law of thermodynamics is then derived from the assumption that not all processes of this kind are possible: you cannot transform heat completely into work, nor bring it from a state of lower temperature to one of higher ‘without compensation’ (see Appendix, 6). These are new and strange conceptions, obviously borrowed from engineering. I have mentioned that the steam-engine existed before thermodynamics; it was a matter of course at that time to use the notions and experiences of the engineer to obtain the laws of heat transformation, and the establishment of the abstract concepts of entropy and absolute temperature by this method is a wonderful achievement. [...] But even as a student, I thought that they deviated too much from the ordinary methods of physics [...] (BORN, p.38)⁷⁸

⁷⁸ Mas a termodinâmica clássica procedeu de modo muito diferente, introduzindo a concepção da máquina térmica idealizada que transforma calor em trabalho e vice versa (William Thomson – Lord Kelvin), ou bombear calor de um reservatório para outro (Clausius). A segunda lei da termodinâmica é então derivada da admissão que nem todos os processos deste tipo são possíveis: você não pode transformar calor completamente em trabalho, nem levá-lo de um estado de baixa temperatura a um de elevada ‘sem compensação’ (ver Apêndice, 6). Essas são concepções novas e estranhas, obviamente emprestada da engenharia. Eu mencionei que a máquina a vapor existia antes da termodinâmica; era um tema de curso naquele tempo usar as noções e experiências da engenharia para obter as leis da transformação de calor, e o estabelecimento dos conceitos abstratos de entropia e temperatura absoluta por este método é uma conquista maravilhosa. [...] Mas mesmo como estudante, eu pensava que eles se desviaram bastante do método ordinário dos físicos. [...] (BORN, p.38) [tradução nossa]

Max Born enfatiza ser necessária a mudança de método. Ele interpreta o propósito de Kelvin e Clausius com o intuito de compreender a segunda lei da Termodinâmica em outra base.⁷⁹ Os princípios dos quais decorreu a segunda lei foram formulados de modo a abranger uma série extensa, o quanto possível, de processos não passíveis de execução, e ele nota que isso não implica que calor possa ser completamente transformado em trabalho ou levado a um nível alto de temperatura (BORN, p.39). Bastaria conhecer a existência de algum processo que revelasse ser impossível tal fato para extrair a segunda lei – como observa amigo de Born, e, para Born, esse raciocínio exprime uma vantagem lógica. E Born enfatiza que essa impossibilidade já poderia ser admitida por se perscrutar os experimentos de Joule de maneira mais acurada. Assim, insistindo no reconhecimento desses *processos impossíveis* – em que calor nem sempre é transformado em trabalho ou conduzido a uma alta temperatura –, Born declara:

They consisted in bringing a system in an adiabatic enclosure from one equilibrium state to another by doing external work.. it is an elementary experience, almost obvious, that you cannot get your work back by reversing the process. And that holds however near the two states are. One can therefore say that there exist adiabatically inaccessible states in any vicinity of a given state. (BORN, p.39)⁸⁰

Max Born chama atenção para uma questão sobre o comportamento da entropia (que nunca decresce) no caso da condução do calor. A Termodinâmica lida com processos em que o estado inicial e o final estão em equilíbrio. Então: “*What is the final state of that initially separated bodies brought into thermal contact?*” (BORN, p.43) (“Qual é o estado final de dois corpos inicialmente separados trazidos ao contato térmico?” (BORN, p.43))

Born observa que a mudança da entropia se define em processo quase-estático adiabático; e a mudança súbita de isolamento térmico para o contato é descontínua e o processo dentro do sistema não controlável (BORN p.43). A temperatura pode ser tomada igual, por mudança de volume (mudança quase-estática adiabática), e isto sem mudança de entropia – com o que o contato ocorrido sem descontinuidade, e os volumes inicialmente restaurados (quase estaticamente), também sem mudança de entropia. A situação agora, observa Born, é a mesma

⁷⁹ Max Born mostra que suas reflexões acerca desse tema desenvolvem-se por conversas com seu amigo matemático, Carathéodory, quem, segundo Born, encontrou soluções mais satisfatórias, estranhas ao método clássico e interpretação canônica da Termodinâmica que persiste nos livros. Born expõe sobre as expressões matemáticas relativas a essa discussão, pela análise de seu amigo e também das equações de Pfaff, sobre as quais não se deterá aqui neste estudo, ocupando-se com o conteúdo dos temas físicos. Sobre o aspecto matemático acerca do método e experiências para sustentação da segunda lei da Termodinâmica, cf. BORN, p.38-42, capítulo V.

⁸⁰ Eles consistiam em conduzir um sistema em recipiente adiabático de um estado de equilíbrio a outro por ação de trabalho externo: é como uma experiência elementar, quase óbvia, que você não pode obter seu trabalho de volta revertendo o processo. E que considera, contudo, serem próximos os dois estados. Pode-se dizer, portanto, que existem adiabaticamente estados inacessíveis em qualquer vizinhança de um estado dado. (BORN, p.39) [tradução nossa]

como no estado inicial, e daí qualquer processo conduzindo ao estado final ter de aumentar a entropia. Mas ele observa que a Termodinâmica lida com estados em equilíbrio, e mesmo quando dois corpos entram em contato térmico, a temperatura tende a se equilibrar pelos dois corpos.

Por sua vez, R. Feynman explica:

Quando as coisas têm a mesma temperatura, não há energia disponível para fazer nada. O princípio da irreversibilidade é o seguinte: se coisas com temperaturas diferentes são deixadas por conta própria, as temperaturas se aproximam e a disponibilidade de energia decresce com o tempo.

Isso é outro modo de se referir à lei da entropia, que diz que a entropia sempre aumenta. As palavras não importam; o importante é que a disponibilidade de energia diminui. É uma característica do mundo, decorrente dos movimentos moleculares irregulares. Coisas com temperaturas diferentes, deixadas por conta própria, tendem à mesma temperatura. [...] Essa unidirecionalidade corresponde sempre a uma redução de energia. (FEYNMAN, p.127)

Mas Feynman reconhece que a “[...] irreversibilidade, não é uma consequência das leis fundamentais; ao contrário, está bastante afastado delas.” (FEYNMAN, p.127) Quer dizer, a lei fundamental dita que a entropia aumenta, mas no estado de coisas termodinâmico ela decresce.

Essa admissão de Feynman acerca da irreversibilidade não estar contemplada por leis fundamentais da natureza, coincide com as indicações de Born, decorrentes de sua análise da Termodinâmica, as quais se seguem:

In fact, the expression ‘thermodynamics’ is misleading. The only dynamical statements possible are concerned with the irreversible transitions from one equilibrium state to another, and they are of a very modest character, giving the total increase of entropy or the decrease of free energy [...]. The irreversible process itself is outside the scope of thermodynamics. (BORN, p.43-44)⁸¹

O que Born nota e destaca é que, temperatura de dois corpos ou sistemas tende a se equilibrar, e que energia decresce com tal equilíbrio; para se saber do estado final, supõe-se aumento de entropia; se dois estados em contato térmico tendem ao equilíbrio térmico, então entropia decresce, não aumenta – assim fosse, não ocorreria equilíbrio térmico. E Born nota, sobretudo, que a despeito de a energia decrescer e a possibilidade do equilíbrio térmico entre dois estados em contato, a irreversibilidade é uma incógnita, ou seja, não se vincula a essas grandezas, temperatura e energia; ou ao menos, não há como percebê-la como factível, se o estado final de

⁸¹De fato, a expressão ‘termodinâmica’ é mal compreendida. Os únicos enunciados dinâmicos são concernidos a transições irreversíveis de um estado de equilíbrio a outro, e elas são de um caráter modesto, dado o aumento total de entropia ou a decrescimento da energia [...]. O processo irreversível em si mesmo está fora do escopo da termodinâmica. (BORN, p.43-44) [tradução nossa]

um sistema térmico não é identificável, uma vez que por contato com outro sistema se tende ao equilíbrio de temperatura entre tais sistemas.

Born conclui que “*The principle of antecedence is now satisfied; but this gain is paid for by the loss of all details of description which ordinary dynamics of continuous media supplies.*” (BORN, p.44) (“O princípio de antecedência está agora satisfeito; mas este ganho é pago pela perda de todos os detalhes de descrição que a dinâmica ordinária do meio contínuo requer.” (BORN, p.44))

Não se ocupará aqui com o ponto da relação entre o que propõe a descrição dinâmica do meio contínuo, o que, aliás, foi abordado em item anterior (2.3.1), mas com a afirmação de Born quanto a ser o princípio de antecedência satisfeito na Termodinâmica.

O que se pode notar pelas últimas afirmações de Born é que o princípio assume um sentido teórico, mas este não se vincula à irreversibilidade, que não está em conexão necessária com a antecedência, que aparece no estado de coisas termodinâmicos. O instigante ou estranheza nisso é que a irreversibilidade parece dar sentido às ocorrências físicas no mundo, e tudo mais que ocorre no mundo. Como expõe Feynman sobre o incômodo provocado por tal noção, a de irreversibilidade, não estar contemplada por leis físicas fundamentais, no quadro dos fenômenos da Termodinâmica:

Temos aqui um exemplo em que um fenômeno óbvio, a irreversibilidade, não é uma consequência das leis fundamentais; ao contrário, está bastante afastado delas. É preciso analisar muito para entender as razões disso. O efeito é de importância primordial no funcionamento do mundo. Minha memória, minhas características, a diferença entre passado e futuro dependem inteiramente disso e ainda assim a compreensão não está *prima facie* disponível a partir do conhecimento das leis. É necessário um bocadinho de análise. (FEYNMAN, p.127-128)

Valem nesse ponto as questões sobre *se causalidade é precedente à sucessão passado-futuro, i.e., se é condição para o fluxo temporal ou se a sucessão temporal é que é condição para a causalidade*. Essas perguntas expostas e valendo aqui, uma vez que Max Born examina a Termodinâmica mostrando que esse domínio de fenômenos corresponde ao princípio de antecedência, o qual caracterizaria causalidade, como ele concebe, e cuja definição pode ser revista em 3.1. Mas pode-se ressaltar que talvez mesmo a antecedência no caso da Termodinâmica não seja suficiente para sustentar ou garantir a factibilidade da causalidade – e é muito estranho mesmo que os conceitos físicos que estão relacionados ao princípio de antecedência, como entropia, estejam, em última análise, distanciados da irreversibilidade – isso porque só se chega a estado de equilíbrio de temperatura, em que se perde energia, de modo que não se pode converter o calor residual (com temperatura em equilíbrio) em trabalho; mas como

esse estado térmico é de equilíbrio, e não final (ou terminal, i.e., não equivalente a zero), então não se pode associar a Termodinâmica à irreversibilidade.

E é preciso lembrar que a partir do problema da causalidade, como levantado por Hume, a relação entre eventos passados e futuros, como se tais eventos estivessem em conexão de causa e efeito respectivamente, na ordem temporal, é passível de questionamento: não há conexão necessária nisso, não há modo empírico objetivo para apreensão de tal conexão entre experiências passadas e futuras.

Pode-se inclusive perguntar se ‘fluxo do tempo’ e ‘fluxo de eventos no tempo’ não seriam diferentes, não necessariamente identificáveis, ainda que possível associá-los – este raciocínio reaparecerá adiante, quando se apresenta questionamento à crítica feita por Popper para a Interpretação de Copenhague acerca da Mecânica Quântica (em 5.3).

Com isso se abrem questões sobre *a ordem temporal e a causalidade*, tema a ser visto no próximo capítulo, o terceiro deste estudo, o qual envolverá a TRG de Einstein.

4 CAUSALIDADE E TEMPO: QUESTÕES A PARTIR DA TEORIA DA RELATIVIDADE DE EINSTEIN

Neste capítulo aborda-se o problema da causalidade na sua relação com o tempo, considerando-se a Teoria da Relatividade (TR) de Einstein; como primeira parte, em 4.1, expõe-se em linhas gerais o que Max Born discorre sobre a Teoria da Relatividade Geral (TRG), bem como sobre a TR a partir do escrito de divulgação *A teoria da relatividade especial e geral*, de Einstein; em 4.2, apresenta-se o tema da relação entre Causalidade e Tempo considerando-se aspectos da TR. O destaque de considerações sobre a TR e a causalidade neste capítulo à parte – não as inserindo no capítulo sobre sistemas físicos relacionados à *contiguidade*, uma vez que Max Born considera a TR uma teoria representante dessa acepção de *causalidade* – deve-se às reflexões sobre *causalidade e tempo* a partir da TR que são interessantes e relevantes para a pesquisa que se faz aqui.

Necessário ressaltar que neste capítulo se pode entrever como problema quanto ao sentido da possibilidade da causação, na medida em que pela TRG o tempo é descrito como curvo. E vale também destacar que a partir a argumentação crítica e Hume à causalidade, se pode problematizar a noção de tempo irreversível: se causalidade não é um fenômeno natural, nem ideia de nossa mente, a noção de sequência temporal irreversível pode ser pensada independentemente da conexão necessária desfeita pelos argumentos de Hume? A sucessão temporal irreversível implica necessidade ou tempo pode ser reversível, uma vez que se pode considerar, mediante a crítica de Hume à causalidade, tempo como reversível? Em outras palavras, cabe perguntar: o que prescinde do que, sucessão temporal depende da conexão causal ou esta daquele?

4.1 Linhas gerais sobre a TRG, a partir de Max Born

Segundo Max Born, a teoria eletrodinâmica de Maxwell, entre outras teorias – a da mecânica de Cauchy das substâncias contínuas e a da mecânica de Newton da ação instantânea sobre qualquer distância – parecia ser a mais promissora e fértil, com o que se começou a difundir que “... possibly all forces of nature might be of electromagnetic origin.” (BORN, p.27) (“... possivelmente todas as forças da natureza poderiam ser de origem eletromagnética.” (BORN, p.27))

O problema previsto nisso era o de como reconciliar as forças gravitacionais de Newton com o postulado da contiguidade – quer dizer, a teoria eletrodinâmica assumia a ideia de que a propagação de forças elétricas dava-se por contato contíguo de cargas, de início, o que posteriormente veio a ser redimensionado pela ideia de campo, i.e., em um campo eletromagnético perpassa os fatores ou constituintes eletromagnéticos em causa; a própria ideia de campo parece servir para sustentar a de contiguidade⁸²; para Max Born a solução estava na teoria da relatividade geral de Einstein: Max Born defende que contiguidade pode ser sustentada pela TR de Einstein como uma solução para o problema da reconciliação das forças gravitacionais de Newton com o postulado da contiguidade.

Esta história que compreende a noção de causa, com que nos ocupamos aqui, e outros conceitos filosóficos relativos ao espaço e tempo não será detalhada por Max Born, como ele mesmo afirma, por levar em conta a ampla divulgação da relatividade nos currículos acadêmicos. Assim ele faz uma exposição sumária do tema, em vista do que ele analisa e pretende considerar: *a contiguidade é uma noção que se encontra na teoria da relatividade de Einstein. Vejamos.*

Seu resumo da teoria da relatividade consiste em considerar que os problemas que conduziram a essa teoria eram aqueles relativos ao fenômeno óptico e eletromagnético dos corpos em movimentos rápidos. Concernentes a isso, existem dois tipos de experimentos: os que usam as altas velocidades dos corpos celestes – p.ex. o experimento de Michelson-Morley – e os que usam elétrons rápidos ou íons – p.ex. medição de Bucherer da massa dos elétrons em raios catódicos como uma função da velocidade. Para Max Born, os trabalhos de Lorentz e Poincaré, p.ex., deram base para *a descoberta de Einstein de que todas as dificuldades concentravam-se na admissão de um tempo universal válido para todos os sistemas móveis de referência.* Einstein mostrou que tal noção não tinha fundamento em qualquer experiência possível *e ele substituiu*

⁸² Cf. *A Evolução da Física*, p.114-118

tal noção pela definição de tempo relativo, válido em um dado sistema de referências ou sistema de coordenadas (SC) ⁸³, mas diferente do tempo de outro sistema em movimento relativo àquele primeiro. Como afirma Max Born sobre a transformação de um SC para outro com outros valores espaço-temporais, encontrando base nas transformações de Lorentz:

*The formal law of transformation from one space-time system to another was already known, owing to an analysis of Lorentz; it is in fact an intrinsic property of Maxwell's equations. The Lorentz transformation is linear; it expresses the physical equivalence of systems relative in relative motion with constant velocity. (BORN, p.27)*⁸⁴

A teoria da gravitação de Einstein é baseada formalmente em uma generalização dessa transformação em transformações não lineares, segundo Max Born. Por meio de tais transformações não lineares pode-se expressar a transição de um sistema de referência a outro sistema de referência acelerado e deformado simultaneamente. Por trás desse formalismo matemático há a ideia física da proporcionalidade exata da massa, como definida pela inércia, e da massa como definida pela gravitação. Como Max Born afirma, “... *in other words, the fact that in Newton's law of gravitational motion the (inertial) mass does not appear*” (BORN, p.28) (“... em outras palavras, o fato de que na lei de Newton do movimento gravitacional a massa (inercial) não aparece.” (BORN, p.28))

Einstein estabeleceu equações para o campo gravitacional identificando os componentes desse campo com as quantidades G_{uv} , o que define a geometria do espaço-tempo. Ele considerou quatro dimensões admitindo que as [quantidades] G_{uv} dependem não apenas de x^1 , x^2 , x^3 , coordenadas que representam o espaço tridimensional, mas também de x^4 , que representa o tempo. No entanto, ele considerou os componentes do campo (a G_{uv}) não como funções dadas de x^1 , x^2 , x^3 , x^4 , mas como quantidades campo a serem calculadas da distribuição da matéria. É uma vez que a matéria altera o espaço-tempo, então a distribuição da matéria altera as "quantidades campo" de espaço-tempo.

Quer dizer, as quatro dimensões são componentes do campo gravitacional; esses componentes são calculados a partir da distribuição da matéria; essa distribuição da matéria define a geometria do espaço-tempo, uma vez que as quantidades relativas às coordenadas não são funções dadas de

⁸³Vale lembrar que são empregadas com o mesmo sentido as expressões “corpo de referência”, “corpo rígido”, “sistema de referência” e “sistema de coordenadas” (SC).

⁸⁴A lei formal de transformação de um sistema espaço-temporal para outro já era conhecida devido à análise de Lorentz; é de fato uma propriedade intrínseca das equações de Maxwell. A transformação de Lorentz é linear; expressa a equivalência física de sistemas relativos em movimento relativo com velocidade constante. (BORN, p.27) [tradução nossa]

x^1, x^2, x^3, x^4 , mas correspondem à (ou resultam da) distribuição da matéria. Ou seja, conforme a distribuição de matéria, espaço e tempo se alteram, e isso se exprime na quantidade que as coordenadas x espaciais e temporal possam ter, no que resulta em geometrias espaço-temporal de amplitudes distintas, dependendo da quantidade de matéria distribuída no campo. A matéria interfere nas coordenadas espaço-temporais do campo, formando assim, conforme a sua distribuição, uma geometria específica.

Se a distribuição da matéria é dada, i.e., os T_{uv} são conhecidos – quer dizer, distribuição da matéria corresponde à T_{uv} que são generalizações das tensões na matéria, o que envolve componentes de densidade de *momentum* (para o espaço) e de densidade de energia (relativa ao tempo) –, as equações de campo permitem calcular o G_{uv} , i.e., a geometria do espaço.

Max Born afirma:

Einstein found the solution for a mass point as source of the field, and by assuming that the motion of another particle was determined by a geodesic, or shortest, or straightest line in this geometry, he showed that Newton's laws of planetary motion follow as a first approximation. (BORN, p.29)⁸⁵

Ou seja, a distribuição da matéria modula a forma do espaço, e o movimento de partículas nesse espaço depende do ponto de massa, o qual é a fonte do campo gravitacional. Assim, as leis de Newton do movimento planetário indicam um campo gravitacional tal que é configurado por certo ponto de massa (o Sol), com uma distribuição de matéria tal, que molda o espaço com certa forma (não curvo), devido a localização em relação ao ponto de massa que permite supor que o espaço não seja curvo – ou melhor, neste sistema de referências das leis de Newton do movimento planetário, a distância entre os corpos distribuídos indica uma forma espacial não curva no movimento desses corpos planetários em direção ao Sol, o ponto de massa (observe-se que dizer isso é algo diferente de dizer que a órbita dos planetas em torno do Sol é elíptica); e ainda, uma coisa é apreender ou conceber um percurso, em linha reta, dos planetas em direção ao Sol, outra é cogitar que corpos astronômicos quaisquer em direção a um ponto de massa percorra uma curva – lembrando que esta curva indica a forma do espaço, a qual é determinada por distribuição da matéria num campo gravitacional, de modo que a forma do movimento se configura conforme o espaço, e este é moldado pela distribuição de matéria no campo

⁸⁵ Einstein encontrou a solução para o ponto de massa como fonte do campo, e por ter admitido que o movimento de outra partícula era determinado por uma geodésica, ou linha menor ou reta, nesta geometria, ele mostrou que as leis do movimento planetário de Newton seguem como uma primeira aproximação. (BORN, p.29) [tradução nossa]

gravitacional; e o sentido do movimento de corpos nesse campo é determinado pelo ponto de massa, fonte do campo gravitacional, i.e., o ponto que atrai para si os demais corpos distribuídos no campo.

Aqui, então, *Causalidade como Contiguidade consiste na conexão nesta cadeia de fenômenos intermediários em contato: matéria disposta ou distribuída no campo gravitacional, modulando o espaço-tempo.*

Acerca do movimento em trajetória curva em um espaço curvo, faz-se agora resumo sobre as seções 28 e 29 de **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**, de Einstein, seções estas que dizem respeito ao princípio da relatividade geral e ao campo gravitacional na TRG.

Lembremos a formulação provisória do princípio da relatividade exposta na seção 18: “todos os corpos de referência K, K' etc. são equivalentes para a descrição da natureza (ou para a formulação das leis gerais da natureza), qualquer que seja seu estado de movimento”. (EINSTEIN, p.54 e p.80) Segundo Einstein, esta versão não pode ser mantida na TRG: nesta, a descrição espaço-temporal não pode mais empregar SC euclidianos ou corpos rígidos, como se fazia na TRE: “O corpo de referência tem que ser substituído pelo sistema de coordenadas gaussianas.” (EINSTEIN, p.81) Quer dizer, o SC antes não apresentava um campo gravitacional, portanto, não abrangia a aceleração (um estado de movimento); agora, com o SC gaussianas, curvas podem ser contempladas, as quais representam o movimento de aceleração.

Aquela versão então é substituída, de modo que a ideia fundamental do princípio da relatividade geral exprima-se no enunciado: “Todos os sistemas de coordenadas gaussianas são essencialmente equivalentes para a formulação das leis gerais da natureza”. (EINSTEIN, p.81)

Einstein mostra também como esse princípio pode ser considerado como ampliação do princípio da relatividade especial, assim: a) na TRE: as equações que representam as leis gerais da natureza – no caso, tendo a velocidade da luz como constante e limite para os fenômenos – traduzem-se em equações com a mesma forma através das transformações de Lorentz: no SC K galileano as variáveis espaço-temporais x, y, z, t passam a ser x', y', z', t' , em outro SC, o SC K'; b) na TRG as equações se transformam em outras da mesma forma substituindo-se as variáveis gaussianas, “... pois toda transformação (e não somente as transformações de Lorentz) corresponde à passagem de um sistema de coordenadas gaussianas para outro.” (EINSTEIN, p. 81)

E ele ainda considera esse novo quadro da natureza como abrangendo nossa visão tridimensional – empregando-se mesmo a TRE em que o tempo é tido como mais uma coordenada, portanto aquela visão dentro de um sistema quadridimensional –, e notando que também pode ser representada como uma região em um campo gravitacional, como se pode

conferir:

Se não quisermos renunciar à nossa maneira de ver habitual (tridimensional), poderemos caracterizar da seguinte maneira esse desenvolvimento da ideia básica da Teoria da Relatividade Geral: a Teoria da Relatividade Especial refere-se a regiões galileanas, isto é, a regiões onde não existe campo gravitacional. Como corpo de referência serve um corpo de referência galileano, isto é, um corpo rígido num estado de movimento tal que, relativamente a ele, seja válido o princípio de Galileu do movimento retilíneo uniforme de pontos materiais ‘isolados’.

Certas considerações sugerem que relacionemos essas mesmas regiões galileanas também a corpos de referência não galileanos. Relativamente a estes, existe então um campo gravitacional de tipo especial (itens 20 e 23). (EINSTEIN, p.81)

Mas o que acontece agora com a TRG? Ou melhor, quais fenômenos físicos são contemplados pela TRG? Podemos expor as características desse novo quadro da natureza:

i) Uma vez existindo campo gravitacional, qualquer SC com base euclidiana será insuficiente para proporcionar descrição dos fenômenos do movimento em todos os seus estados.

ii) O campo gravitacional afeta o ritmo do relógio, daí que a definição ou determinação do tempo não se dê com o mesmo grau de evidência possível como o da TRE. O próprio tempo depende da localização no campo gravitacional.

iii) Os SC apresentam, portanto, movimento arbitrário e também no decorrer desse movimento o próprio SC passa por mudanças arbitrárias de forma. Com isso, *a definição do tempo faz-se em relação a um ponto (ou posição) neste SC móvel*, por assim dizer – nas palavras de Einstein: “Devemos imaginar cada um dos relógios como estando fixo a um ponto do corpo de referência não rígido.” (EINSTEIN, p.82)

iv) Considerando-se isso e também as coordenadas gaussianas como representantes dos eventos descritos pela TRG, então *a simultaneidade* de dois relógios (indicações de tempos) próximos, p.ex., *apresenta uma diferença infinitamente pequena*; quer dizer, não ocorre precisamente simultaneidade ou essa se dá com uma “variação” temporal infinitamente pequena entre um evento e outro, se assim se pode dizer...

v) “Este corpo de referência não rígido [móvel], que não sem razão poderíamos denominar ‘molusco de referência’, equivale no essencial a um sistema de coordenadas gaussiano quadridimensional qualquer.” (EINSTEIN, p.82)

vi) “O que confere ao ‘molusco’ um certo atrativo em relação ao sistema de coordenadas gaussiano é a conservação formal (a rigor, injustificada) da existência separada das coordenadas espaciais em face da coordenada temporal.” (EINSTEIN, p.82) E aqui o tempo depende do espaço.

Mediante as características indicadas por Einstein até aqui, é cabível pensar que todo o Universo pode ser representado por coordenadas gaussianas, e ainda: corpos (pontos ou coordenadas) em aceleração (curvas) denotam existência de um campo gravitacional, e este é tão potente que afeta tempos e espaços através dos movimentos acelerados dos corpos. Adiante, veremos sobre essas considerações em item b, relativo ao segundo aspecto acerca de como Einstein mostra solucionar o problema da gravitação.

vii) Em iii) vimos que a determinação do tempo faz-se em relação a uma posição ou ponto que é, no SC móvel (“molusco”), uma localização espacial. Talvez possamos dizer com isso que o tempo depende do espaço...

Sobre a relação dos pontos (ou corpos) com esse SC móvel, podendo-se marcar com “pontos” o espaço nesse SC, vejamos o que Einstein afirma: “Todo ponto do molusco é tratado como um ponto espacial, todo ponto material que está em repouso (em relação a ele) é considerado simplesmente como estando em repouso enquanto o molusco for considerado como corpo de referência.” (EINSTEIN, p.82)

viii) Notemos que Einstein considera que se conserva formalmente a existência separada das coordenadas espaciais em relação às coordenadas temporais. Nisso o SC móvel (“molusco”) difere do SC gaussiano.

“Todo ponto do molusco é tratado como um ponto espacial...” Ora, se o “molusco” é SC móvel, todo ponto espacial nele é também móvel, daí espaço ser móvel, variável não apenas formalmente – isto é, em um sistema de equações –, mas como algo físico: *ele se move*.

Em continuação é afirmado que “... todo ponto material que está em repouso (em relação a ele) é considerado simplesmente como estando em repouso enquanto o molusco for considerado como corpo de referência.” (EINSTEIN, p.82)

Um ponto material em relação ao “molusco” é tido como em repouso em relação a este que está sendo considerado seu SC (ou corpo de referência) – em relação a outro SC ele poderá estar em movimento. Ao que parece, o SC móvel (molusco) em seu movimento, carregando o corpo

(ou ponto material) nele, é como se este estivesse em repouso – assim como uma mãe andando (i.e. em movimento) com seu bebê no colo: em relação à própria mãe (em movimento) o bebê está em repouso; visto por outra pessoa que esteja andando mais rápida ou vagarosamente do que a mãe (também um SC móvel, outro “molusco”), o bebê será visto em movimento também.

E assim Einstein conclui:

O princípio da relatividade geral exige que todos esses moluscos possam, com igual direito e com igual êxito, ser empregados como corpos de referência na formulação das leis gerais da natureza; as leis devem ser totalmente independentes da escolha do molusco. (EINSTEIN, p.82-83)

Nesse momento, Einstein está se referindo, ainda que remota ou indiretamente, ao estranhamento mencionado quanto a uma lei da natureza parecer não valer em diferentes SC; a situação mencionada para isso, era sobre a lei ou princípio da mecânica clássica⁸⁶ não valer para outros SC ou corpos de referência. Como vemos em citação: “Tanto na mecânica clássica como na Teoria da Relatividade Especial faz-se distinção, por conseguinte, entre corpos de referência K (em relação aos quais as leis da natureza são válidas) e corpos de referência K’ (em relação aos quais elas não são válidas).” (EINSTEIN, p.62)

Agora, como que resolvendo o aparente problema que causou estranhamento na seção 21, Einstein chama atenção para o caso de que *leis da natureza* concernentes a Sistemas de Referências acelerados não dependem dos “moluscos” escolhidos (i.e. dos sistemas de coordenadas móveis e acelerados), mas *podem ser gerais*, valerem para todos esses SC, como afirmado em palavras da citação anterior das páginas 82-83.

Assim, Einstein pretende mostrar como solucionar o problema da gravitação, qual seja, que haja uma lei geral para todos os SC em aceleração. *E isso vem a ser pensado no domínio físico, e não apenas no geométrico.*

Para compreendermos isso, observemos alguns aspectos.

1º) Precisamos considerar uma região galileana: região, em relação a um SC K, em que não há campo gravitacional; aqui, medidas espaciais e temporais em relação ao SC K são determinadas por meio da TRE, i.e., conhecemos o comportamento de régua e relógios, “[...] assim como os pontos materiais ‘isolados’ [corpos], que se movem em linha reta e uniformemente.” (EINSTEIN, p.83)

⁸⁶ Nas palavras de Einstein, o princípio da mecânica referido reza que “[...] pontos materiais suficientemente afastados de outros pontos materiais efetuam movimentos retilíneos uniformes ou permanecem em repouso”. (EINSTEIN, p.62)

2º) Relacionamos essa região a um SC gaussiano ou “molusco”, um SC K' ; em relação a este SC K' reconhecemos existir um campo gravitacional G (“de um tipo especial”, nas palavras de Einstein); daí que:

a) pelas transformações gaussianas passamos saber o “... comportamento de réguas e relógios em relação a K' , assim como de pontos materiais que se movem livremente.” (EINSTEIN, p.83);

b) então, com o auxílio do SC gaussianas, “Interpretamos este comportamento como sendo o comportamento de réguas, relógios e pontos materiais sob a ação do campo gravitacional G .” (EINSTEIN, p.83) Lembremos que o SC gaussianas refere-se a curvas as quais são associadas à aceleração; e ainda, cada ponto correspondente a uma coordenada conjuga tempo e espaço, p. ex..

c) Segue-se disso “a hipótese de que a ação do campo gravitacional sobre réguas, relógios e pontos materiais que se movimentam livremente obedece às mesmas leis, mesmo quando o campo gravitacional reinante não pode ser deduzido do caso particular galileano por uma mera transformação de coordenadas.” (EINSTEIN, p.83) Quer dizer, mesmo quando não se pode deduzir do sistema galileano um campo gravitacional, as leis da natureza são gerais – até porque aquelas coordenadas estão como que embutidas no SC gaussianas, uma vez que representam uma região até certo ponto (um Pu , e até uma distância ds de outro P') deste SC, por assim dizer; de modo que as transformações do SC galileano para um SC que descreva a aceleração em um campo gravitacional sejam realizadas por equações gaussianas.

3º) O próprio comportamento espaço-temporal do campo gravitacional G pode ser examinado, derivando esse campo por transformação de coordenadas do caso particular galileano; esse comportamento do campo G é descrito mediante uma lei sempre válida, independentemente do SC móvel ou “molusco” escolhido. E Einstein observa: “Esta ainda não é a lei geral do campo gravitacional, pois o campo gravitacional G estudado é de um tipo especial. Para encontrar a lei geral do campo gravitacional é necessário generalizar a lei assim obtida.” (EINSTEIN, p.84)

4º) Para encontrar a lei geral do campo gravitacional, Einstein considera que:

Isso pode ser conseguido, sem nenhum grau de arbitrariedade, levando-se em conta as seguintes exigências: (a) a generalização procurada também tem que satisfazer ao postulado da relatividade geral; (b) se na região considerada existir matéria, o que

importa para sua ação geradora de um campo é apenas a sua massa inercial, o que, de acordo com o item 15, equivale à sua energia; (c) o campo gravitacional e a matéria devem satisfazer conjuntamente à lei de conservação de energia (e de momento). (EINSTEIN, p.84)

Em suma, é necessário: a) generalização correspondente ao princípio da relatividade geral, o qual abrange todos os estados de movimento; b) havendo matéria na região enfocada, importante considerar a sua massa inercial, esta que corresponde à energia, o que na ação da matéria gera campo gravitacional; c) campo gravitacional e matéria conjuntamente satisfazem a lei de conservação de energia e do momento.

5º) Apenas citando:

Finalmente, o princípio da relatividade geral nos permite determinar a influência do campo gravitacional sobre o curso de todos os eventos que, no caso da ausência de um campo gravitacional, se desenrolam segundo leis conhecidas, isto é, leis que estão incluídas no quadro da Teoria da Relatividade Especial. Aqui se procede, em princípio, segundo o método discutido antes para réguas e pontos materiais que se movem livremente. (EINSTEIN, p.84)

Finalizando esse resumo sobre o campo gravitacional e o princípio da relatividade geral, na TRG de Einstein, passaremos a relação entre tempo e causalidade.

Devemos observar que Max Born não se ocupará com todas as consequências da teoria gravitacional de Einstein. Ele apenas observa um tópico que considera importante, mas não tão bem conhecido. Como Max Born expõe:

The assumption that the motion of a particle is given by a geodesic is obviously an unsatisfactory feature; one would expect that the field equations alone should determine not only the field produced by particles but also the reaction of the particles to the field, that is their motion. Einstein, with his collaborators Infeld and Hoffmann, has proved that this is in fact the case [...]. On the basis of these admirable papers, one can say that the field theory of gravitation is logically perfect [...]. (BORN, p.29)⁸⁷

Ora, Max Born nota que as equações de campo indicariam o campo provocado, formado pelas partículas, como também o movimento dessas partículas nesse mesmo campo. Por que seria necessário o expediente da geodésica para se explicar a reação da partícula ao campo, o seu movimento no campo gravitacional?

⁸⁷ A admissão de que o movimento de uma partícula é dado por uma geodésica é obviamente um traço insatisfatório; é de se esperar que somente as equações de campo apenas devam determinar não somente o campo produzido por partículas, mas também a reação das partículas ao campo, que são seus movimentos. Einstein, com seus colaboradores Infeld e Hoffmann, provou que isto é de fato o caso (...). Com base nesses escritos admiráveis, pode-se dizer que a teoria de campo da gravitação é logicamente perfeita [...] (BORN, p.29) [tradução nossa]

4.2 Causalidade e Tempo: a TRG

Mediante o problema filosófico da causação, objeto de análise de Max Born em sua obra *Natural Philosophy of Cause and Chance*, ele ressalta que agora a geometria física da Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Einstein – não algum sistema matemático abstrato, mas o aspecto geométrico do comportamento dos corpos reais – está sujeita à relação causa-efeito e a todos os princípios relatados como qualquer outro ramo da ciência. Por outro lado, a matematização acentua ou enfatiza o ponto de vista oposto, o de que os fenômenos físicos, uma vez redutíveis a formulações matemáticas, podem ser explicados fundamentalmente por tal formalização, e disso decorre a ideia de geometrização da física. E Max Born continua: “[...] *but though it cannot be denied that the mathematical beauty of this method has inspired numerous valuable investigations, it seems to me an over-estimation of the formalism.*” (BORN, p.30) (“[...] mas embora não possa ser negado que a beleza matemática deste método tenha inspirado numerosas investigações valiosas, parece a mim uma superestimação [extrema valorização] do formalismo.” (BORN, p.30))

Nesse ponto, Max Born chama atenção para o fato de que agora com a teoria gravitacional de Einstein se vislumbra que a Física possa lidar com suas questões, não apenas por formalização matemática, mas da perspectiva dos próprios fenômenos físicos. Com isso, pode-se agora examinar os fenômenos por si mesmos em vista a se conferir se em sua ocorrência se dá causa e efeito ou propriamente se em um sistema físico proposto pode-se depreender a relação causa-efeito – isso não fica explícito na matematização, uma vez que nesse domínio de linguagem basta a consistência das proposições matemáticas, sem com isso haver garantia de que a formalização matemática represente o mundo e tal como esse se manifesta, e daí conferir a ocorrência da relação causa-efeito. Tendo-se uma geometria física das ações e das reações de corpos reais, pode-se então pensar esses fenômenos à luz da relação causa-efeito, e não apenas do parâmetro da consistência. Mas vejamos o que Max Born tem a dizer sobre a relação causa-efeito nesse caso.

The main point is that Einstein's geometrical mechanics or mechanical geometry satisfies the principle of contiguity. On the other hand, antecedence, applied to two consecutive configurations as cause and effect, is not satisfied, or not more than in electrodynamics; for there is no intrinsic direction in the flow of time contained in the equations. (BORN, p.30)⁸⁸

⁸⁸ O ponto principal é que a geometria mecânica ou mecânica geométrica de Einstein satisfaz o princípio de contiguidade. Por outro lado, antecedência, aplicada a duas configurações consecutivas de causa e efeito, não é satisfeita, ou não mais do que na eletrodinâmica, pois não há direção intrínseca no fluxo do tempo contido nas equações. (BORN, p.30) [tradução nossa]

Lembremos que contiguidade não garante relação causal, como podemos ver com Hume; isso porque, apesar da regularidade de fatos consecutivos, contíguos, não há contradição na afirmação da possibilidade de assim não mais ocorrer. Precisamos notar que afirmar possibilidade sem contradição está para o domínio lógico, da consistência discursiva, e ocorrer de fato está para o domínio ontológico; pode ser que a Física, lidando com este último domínio, apresente esclarecimentos sobre a causalidade ser possível, i.e., ser mais do que um conceito, manifestando-se, portanto, intrinsecamente na relação entre os fenômenos. Mas considerando-se a crítica de Hume à causalidade, o fato de a matéria ser distribuída no campo gravitacional modular o espaço-tempo, conforme a TRG, pode não ser uma relação causal de contiguidade de matéria, campo gravitacional e espaço-tempo. E para Max Born, a Causalidade (relação causa-efeito) definida como antecedência não se apresenta na mecânica geométrica de Einstein porque com o tempo curvo pode-se vislumbrar uma alteração na sucessão dos eventos, de modo que a noção de ordem irreversível do tempo mostra-se discutível⁸⁹.

Essa mecânica geométrica, segundo Max Born, pode até ser determinística em princípio, ao menos, quer dizer, o passado ou o futuro do movimento e da distribuição das partículas do campo gravitacional podem ser previsíveis pelas equações, se a situação em um dado tempo for conhecida juntamente com as condições limites para todo tempo. Agora, como o campo gravitacional perpassa as partículas com velocidade finita pressupõe uma explicação bem diferente do determinismo newtoniano, uma vez que na mecânica geométrica de Einstein está envolvida a necessidade de um conhecimento que não existe na teoria de Newton, a saber: o conhecimento não apenas de todas as partículas, em tese, mas também de todas as ondas gravitacionais. Vemos que são teorias deterministas distintas, as de Newton e a de Einstein, e este até considera o determinismo como um postulado necessário a toda teoria física, com o que acaba rejeitando perspectivas físicas contemporâneas que não satisfazem tal exigência.

Para Max Born, o determinismo nas teorias de campo parece-lhe de muito pouco significado, reduzindo-se à resolução de numerosas equações, sejam as diferenciais ordinárias newtonianas ou as parciais da teoria de campo com as partículas como singularidades – isso remonta à ideia de Laplace de confirmar o poder da Mecânica, inventando ou imaginando um ser capaz de calcular, predizer o futuro do mundo, uma vez fornecidas as posições e velocidades de todas as partículas no momento em que são dadas a ele. Aqui, basta ater-se às palavras de Max Born:

⁸⁹ Quanto a isso se pode perguntar, contudo, se com o tempo curvo se mantém a sequência dos eventos e a curvatura não implicaria portanto um retorno de tempo, mas um retorno no espaço, de modo que o tempo em curva não faz voltarem os fatos no mesmo lugar, mas segue irreversivelmente em outra localização.

Here I only wish to remark that determinism in field theories seems to me of very little significance. To illustrate the power of mechanics, Laplace invented a super-mathematician able to predict the future of the world provided the positions and velocities of all particles at one moment were given to him. I can sympathize with him in his arduous task. But I would really pity him if he had not only to solve the numerous ordinary differential equations of Newtonian type but also the partial differential equations of the field theory with the particles as singularities. (BORN, p.30)⁹⁰

Sobre essa passagem de Born, pode-se depreender o quanto é difícil empreender o cálculo determinístico pelas equações diferenciais ordinárias do tipo newtoniana, e também as equações diferenciais parciais da teoria de campo. Mas pode ser dito que o quão difícil fazer isso é diferente de não poder-se fazer isso. O presente capítulo, contudo, não se envolve com a questão quanto a se poder ou não fazer cálculos determinísticos; apenas são expostas aqui as ponderações de Max Born sobre a causalidade na TRG, e, aqui, uma vez que antecedência não se mostra plausível nesta mecânica geométrica, o determinismo ficaria reduzido a teorias de campo, envolvendo a contiguidade entre matéria, campo e espaço-tempo, e o determinismo nestas teorias parece-lhe de pouco significado.

Deixando as considerações de Max Born sobre o determinismo na Mecânica Clássica, retomase a sua posição quanto a TRG não satisfazer a noção de causalidade como “antecedência”, uma vez que o fluxo temporal não está definido naquela teoria. Quanto a isso, algumas outras reflexões podem ser introduzidas aqui: assunto associado ao da causalidade, uma vez as críticas de Hume – e claro, ele aparece por outros caminhos na Física –, é o da caracterização do “tempo”: se causalidade fica em questão, conforme crítica de Hume, então:

i) ou vínculos entre ocorrências no tempo não se baseiam no tempo, ou seja, sucessões de ocorrências são no tempo, mas não garantem causalidade, se se entende que tempo seja linear e contínuo; quer dizer, se não há causalidade nos fenômenos, pois o antes e o depois não são suficientes para se confirmar conexões entre eles como necessárias, segundo Hume, então a ocorrência física de sucessão é temporal, mas não causal; e se causalidade houvesse estaria

⁹⁰ Aqui eu apenas desejo observar que o determinismo em teorias de campo parece-me de muito pouco significado. Para ilustrar o poder da mecânica, Laplace inventou um super-matemático capaz de prever o futuro do mundo dadas as posições e velocidades de todas as partículas em um dado momento a ele. Eu posso simpatizar com ele em sua árdua tarefa. Mas eu realmente me penalizaria dele se ele tivesse não apenas que resolver as numerosas equações diferenciais ordinárias do tipo Newtoniana, mas também as equações diferenciais parciais da teoria de campo com as partículas como singularidades. (BORN, p.30) [tradução nossa]

desvinculada de temporalidade linear – aliás, essas reflexões podem estar supostas naquela afirmação de Max Born mencionada anteriormente: “[...] *antecedence, applied to two consecutive configurations as cause and effect, is not satisfied [na Mecânica Geométrica de Einstein], or not more than in eletrodynamics; for there is no intrinsic direction in the flow of time contained in the equations.*” (BORN, p.30) (“... antecedência, aplicada a duas configurações consecutivas como causa e efeito, não está satisfeita [na mecânica Geométrica de Einstein], ou não mais do que em eletrodinâmicas; pois não há direção intrínseca no fluxo do tempo contida nas equações.”(BORN, p.30));

ii) ou uma vez que causalidade está em xeque, e associando-a ao fluxo temporal tido como linear, pode-se então redefinir tempo, não pensá-lo como linear ou contínuo. Talvez possamos falar de tempos – aliás, Einstein parece ir por aí, embora não confrontando causalidade, ou pelo menos não vislumbrando isso (ainda que para Max Born, causalidade como antecedência não apareça no sistema de Einstein) –, mas, sobretudo, admitir-se tempo com outros sentidos: tempos descontínuos, tempos reversíveis, ou outros possíveis. Neste último caso, p.ex., há que se saber como a Física investiga isso e se pensa sobre critérios para conferir se tal é factível.

E há que se considerar a conservação de energia. Vale lembrar que para encontrar a lei geral do campo gravitacional, em **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**, Einstein considera que:

Isso pode ser conseguido, sem nenhum grau de arbitrariedade, levando-se em conta as seguintes exigências: (a) a generalização procurada também tem que satisfazer ao postulado da relatividade geral; (b) se na região considerada existir matéria, o que importa para sua ação geradora de um campo é apenas a sua massa inercial, o que, de acordo com o item 15, equivale à sua energia; (c) *o campo gravitacional e a matéria devem satisfazer conjuntamente à lei de conservação de energia (e de momento).* (EINSTEIN, p.84) [grifo nosso]

Se na conservação de energia o fluxo do tempo está definido, direcionado, então a TRG – concernente ao campo gravitacional (e ao movimento acelerado), e satisfazendo à lei de conservação de energia – parece não sujeita, então, à crítica de Max Born quanto à TRG não apresentar causalidade como antecedência, devido o fluxo temporal não o ser; se a TRG está conforme a conservação de energia, e se nesta o fluxo temporal estiver direcionado, então “antecedência” se encontra na TRG.

Mas pode ser que:

a) Causalidade como antecedência também não esteja definida na conservação de energia – isto

consta aqui como especulação, lembrando ter-se visto no capítulo 3, ao final da seção 3.4 com as reflexões de R. Feynman, que isso está em aberto: problemas acerca da relação entrenexo causal e conservação de energia.

b) Ou ainda que causalidade como antecedência esteja integrada à conservação de energia, esta talvez pode não ser contemplada, em última análise, na TRG, como Einstein pretendeu e vimos em suas palavras citadas antes. Observo que essa reflexão feita aqui segue apenas a motivação lógica de não haver contradição em possibilidade contrária acerca de teses – há que se conferir as condições ou considerações físicas a esse respeito.

c) Outra reflexão que se apresenta aqui acerca de causalidade e tempo é a de Christopher Hitchcock, em seu artigo *Causation*, em *The Routledge Companion to Philosophy of Science*. Ele observa que a compreensão de causalidade como antecedência, i.e., de que a causa precede, no tempo, ao efeito, leva a um problema em relação à TRG: torna falsa, por definição, a causação no retorno do tempo, no caso de curvas causais, validadas por equações gerais de campo: trajetórias temporais ao longo das quais um objeto poderia percorrer de uma região espaço-temporal A até uma distante região espaço-temporal B e então voltar à região A; pode acontecer que o estado do objeto em A cause o estado do objeto em B, e o estado do objeto em B cause o estado do objeto em A. Esses modelos não descrevem o universo real – quer dizer, acessível a nossa percepção cotidiana –, o que pareceria ser um problema empírico e não propriamente *a priori* de nossas definições de causa e efeito. Isso é desejável para ser possível explicar causação como independente da direção da causação, i.e., da direção ou sentido do fluxo temporal. Quer dizer, se causalidade é dissociada de tempo, se pode ver nessa teoria não mais um problema empírico de causação no retorno temporal.⁹¹

⁹¹ Vale citação: *Challenges: There are a number of challenges that an adequate account of causation must meet. [...] A second challenge is to distinguish causes from effects. Typically, perhaps even universally, when one event C causes another event E, it is not also the case that E causes C. In such typical cases, an adequate theory of causation must correctly rule that C causes E, but not vice versa. Some philosophers have attempted to address this problem by stipulating that. By definition, causes occur earlier in time than their effects. Thus if we have two events C and E that are related as cause and effect, we can identify the cause as the one that occurs earlier, and the effect as the one that occurs later.*

This solution to the problem has the disadvantage that it renders claims of backward-in-time causation false by definition. For example, there are solutions to the general field equations of general relativity that permit closed causal curves: time-like trajectories along which an object could travel from spatio-temporal region A to the distant spatio-temporal region B, and then back to A. Along such a trajectory, it may happen that the state of the object at A causes the state of the object at B, and the state of the object at B causes the state of the object at A. While such models may not describe the actual universe, that would seem to be an empirical matter, and not one to be settled a priori by our definitions of 'cause' and 'effect'. Thus it would be desirable for a theory of causation to provide an independence account of the directionality of causation. Trecho do artigo "Causation", de Christopher Hitchcock, em *The*

Por um lado, essa investigação, como exposta no item **c)**, corresponde à reflexão do item **i)** aqui: causalidade dissociada de tempo; no entanto, Christopher Hitchcock aponta para a possibilidade da causalidade na TRG, ainda que não associada a tempo, e no caso de **i)**, tempo em sentido linear e em uma direção única, irreversível.

Por outro lado, essa investigação associa-se ao item **ii)** aqui: considerando-se a possibilidade de tempo reversível, pode-se mesmo assim pensar causalidade como independente do tempo. Mas isso faria sentido?

Também é indicada *causalidade recíproca entre causa e efeito*, digamos assim – embora mesmo nesse caso, um e outro sejam causa ou efeito a cada vez, i.e., da região A afetando o estado de um corpo na região B, e desta região B afetando o da região A, respeitando a sucessão “antes” e “depois”.

Resumindo o que se expõe aqui no item c pode-se destacar: na TRG, espaço e tempo dependem da distribuição da matéria no campo gravitacional, o qual é móvel – já na TRE, espaço e tempo são revistos e indicados como não absolutos; daí, espaço e tempo na TRG serem curvos, eles encontram-se em um sistema de referência ou sistema de coordenadas móvel, o campo gravitacional que se move conforme a matéria ali se encontra e também afetada por esse campo, vai se dispondo, se movendo afetando-o também – essas considerações resultam da necessidade de explicação sobre o movimento acelerado; o espaço é móvel, bem como o tempo alterável, conforme os corpos se dispõem no campo gravitacional; a região é assim espaço-temporal, em que o espaço interfere no tempo, que depende dos corpos distribuídos e móveis na extensão do campo. Disso pode-se depreender – como o fez Max Born – que o fluxo temporal não tem direção definida.

Routledge Companion to Philosophy of Science. Edited by Stathis Psillos and Martin Curd. Routledge, pp. 317-326. 2008. [“Mudanças ou Desafios: Há um número de desafios aos quais uma explicação da causalidade deve atender. (...) Um segundo desafio é distinguir causa de efeito. Tipicamente, talvez mesmo universalmente, quando um evento C causa outro evento E, não é também o caso que E cause C. Em tais casos típicos, uma teoria adequada da causalidade tem de regular corretamente que C causa E, mas não vice versa. Alguns filósofos têm tentado dedicar-se a este problema estipulando isso. Por definição, causa ocorre anteriormente, no tempo, a seus efeitos. Assim, se nós temos dois eventos C e E que estejam relacionados como causa e efeito, podemos identificar a causa como o que ocorre antes, e o efeito como o que ocorre depois.

Esta solução para o problema tem a desvantagem de que torna alegações de causalidade no retorno no tempo falsas por definição. Por exemplo, existem soluções para as equações de campo da relatividade geral que permitem curvas causais fechadas: tempo como trajetórias ao longo das quais um objeto poderia viajar, percorrer de uma região espaço-temporal A para a distante região espaço-temporal B, e então voltar a A. ao longo de uma tal trajetória, pode acontecer que o estado do objeto em A cause o estado do objeto em B, e o estado do objeto em B cause o estado do objeto em A. Enquanto tais modelos podem não descrever o universo real, aquele pareceria ser um problema empírico, e não um a ser assentado *a priori* em nossas definições de ‘causa’ e ‘efeito’. Então seria desejável para uma teoria da causalidade proporcionar uma explicação independente da direcionalidade [direção] da causalidade.” [tradução nossa]]

À primeira vista essa conclusão pode parecer problemática, uma vez que exemplos contrários se oferecem macroscopicamente: modelos cosmológicos estipulam uma direção do tempo, do passado para o presente – como a teoria do *Big Bang*, grosso modo, uma explosão original da qual se constitui o Universo tal como até hoje.

No entanto, não se pode perder de vista o cerne das reflexões apresentadas: em tese, a partir da crítica de Hume à causalidade, pode-se perguntar sobre como se entender o fluxo temporal; por sua vez, se na TRG, como lembra Max Born, o tempo é curvo, e assim ao que parece reversível a ordem temporal, então a sequência da causação ou de determinação causal se conturba; e ao que parece, a sequência temporal não comporta direção definida. Sendo assim, as teorias científicas podem ser eficientes, mas em última análise frutos do hábito e seus resultados e explicações em nada garantiria verdade da causalidade, ou seja, esta não sendo um fato natural.

Acerca dessas discussões, Christopher Hitchcock, em seu artigo *Causation*, observa sobre a possibilidade de dissociação entre causalidade e tempo, uma vez haver possibilidade empírica – ainda que isso não acessível a nossa percepção cotidiana, mas em tese validada por equações – de retorno do tempo na TRG, quer dizer, *se não há fluxo temporal definido, e matematicamente viável curvas causais fechadas, o que parece sugerir reversão do tempo, o tempo pode retroceder, em tese; isso, por sua vez, não corresponde à compreensão de causalidade como antecedência, i.e., a pressuposição de causa como antecedendo o efeito; sendo assim, causalidade nesse sentido é afetada, o que também parece sugerir ser necessária uma revisão da definição de causalidade.*

Temos como questão se faz sentido causalidade física, em última análise, destituída da noção de antecedência. É preciso chamar atenção que com essa dúvida não se está predispondo um pensamento avesso à possibilidade física de reversão do tempo – assunto interessante, o qual depende de teorias físicas; apenas se quer lembrar que, no que diz respeito à noção de “causa”, pode ser que definições propostas pressuponham, ainda que subliminarmente, a “antecedência”. Lembre-se também que não se está aqui lidando com acepções metafísicas de causalidade, como as propostas por Aristóteles.⁹²

Com isso, causalidade não aparece na TRG apenas porque não é tematizada, mas porque pode não ser possível ao menos como antecedência, podendo fazer sentido como *contiguidade*, conforme Max Born; mas também essa, contudo, é discutível seguindo-se a argumentação humeana, vista no capítulo 2 nesta tese.

⁹² Sobre os diferentes usos da noção de “causa” ao longo da história do pensamento científico, ver **A Tensão Essencial**, de T. Kuhn, capítulo 2.

Pela compreensão de Max Born quanto à causalidade como contiguidade ser pertinente na TRG, vale notar que então podemos dissociar causalidade de tempo, ao menos entendido como em uma direção irreversível, pois podemos conceber eventos contíguos de trás para frente, i.e., em sentido reverso, embora isso cause, com perdão da palavra, estranheza no tocante à causalidade. Como o efeito “causa” a causa?

A respeito da causalidade como antecedência estar ou não indicada, ou ser ou não indicável, na TRG de Einstein, pode-se pensar sobre a relação entre dois eventos como temporal, seguindo a sequência “antes” e “depois”. O que é preciso conferir é se os termos “antes” e “depois” são suficientes para se estabelecer ou garantir causalidade. As noções de “antecedência” e de “contiguidade”, as quais se interligam àqueles termos, estão sujeitas à análise crítica de Hume, e mesmo de Max Born considerando-se sua observação a respeito de o fluxo temporal não estar definido na TRG e causalidade como antecedência por isso não ser identificada nesta teoria, de modo que o campo gravitacional parece não ter direção temporal intrínseca, com o que ficam comprometidas as noções de “antes” e “depois”.

Retomando-se a análise de Max Born, pode ser notado que no trecho citado (p.30 de sua obra), ao afirmar que na mecânica geométrica de Einstein "antecedência, aplicada às duas configurações consecutivas como causa e efeito, não está satisfeita [...], pois não há direção intrínseca ao fluxo do tempo contido nas equações" (BORN, p.30), parece indicar uma compreensão da *relação tempo-causalidade correspondente ao item ii*), mencionado antes. Max Born parece apontar então que *causalidade está, nesse sentido, vinculada a tempo em sentido linear em uma direção irreversível*; mas uma vez que na mecânica geométrica de Einstein não há direção intrínseca para o fluxo temporal, a direção do tempo não é definida como necessária em um sentido ou em outro; uma vez entendendo-se causalidade associada a tempo linear com direção definida, então nessa mecânica a noção de causalidade não é satisfeita, mais precisamente, a ideia de antecedência e sucessão de eventos, em conexão necessária como se causa e efeito fossem um do outro, não está contemplada. Em última análise, a mecânica relativista de Einstein parece abrir possibilidade para se pensar tempo sem linearidade irreversível e, portanto, parecer destituir de significado a ideia de causalidade – ao menos na acepção exposta no item ii – no domínio físico.

Em suma, vejamos sobre o que foi percorrido aqui. A respeito de causalidade como vista no item i, ou seja, causalidade não vinculada a tempo, ou melhor, não tendo o tempo como condição, pode-se depreender que: i.1) ainda que a sucessão temporal seja de linearidade, não é suficiente para fundamentar ou garantir a causalidade – nesse tocante, se poderia dizer que do ponto de vista das equações, que são idealizações, isso ainda não nega a existência de

causalidade real física, no Universo; mas por outro lado, é preciso também admitir que não é pela consistência que as equações matemáticas sustentam em uma teoria que se confirma ou se verifica causalidade nos fenômenos da natureza; i.2) abre-se a possibilidade de se pensar o fluxo temporal como não necessariamente retilíneo e em uma única direção, sem retorno – há que se perguntar se isso é factível, considerando-se a condição física da conservação de energia.

Por sua vez, causalidade como no item ii, vinculada a tempo em sentido retilíneo – ainda que não necessariamente dependente do tempo, i.e., tendo a ordem da linearidade como condição para a causalidade (podendo sê-lo ou não) –, assume aquele sentido do postulado da antecedência proposto por Max Born, e também compatível com a compreensão de Kant de causalidade como princípio do entendimento humano que ordena a percepção das ocorrências no tempo (sucessivas podem ser, mas não necessariamente como relação de causa-efeito; até mesmo podemos imaginá-las como sucessivas de trás para a frente, do fim para o início, o que nos faz pensar sobre se há princípio de causalidade intrínseco a uma tal "desordem", ou ao menos uma ordem que escapa a nossa intuição cotidiana).

Quanto ao pensamento de Kant, na **Crítica da Razão Pura (CRP)**, a relação de causalidade com o tempo nos permite compreender que ambos estão ligados, o “tempo” como forma *a priori* da intuição, em nossa Sensibilidade, e a “causalidade” como princípio *a priori* do Entendimento, capacidade de nossa mente ordenar ou organizar por conceitos o que intuímos por nossa Sensibilidade, esta a nossa capacidade de perceber os fenômenos; lembremos que aquela ligação entre “tempo” e “causalidade” nessa acepção kantiana pode ser prevista nas palavras de Kant: *"Pensamentos sem conteúdos são vazios, intuições sem conceitos são cegas."* (CRP, B75)

É preciso ressaltar que na Sensibilidade estão as formas mentais do “espaço” e do “tempo” e que “causalidade” é um princípio do Entendimento. Sendo assim, a pergunta insistente é: por que Kant compreende “espaço” e “tempo” como formas da Sensibilidade, faculdade mental de intuir, condições para se apreender os dados externos? A perplexidade não está, ressalve-se, no caso de se compreender àqueles como formas mentais, mas por serem da Sensibilidade; por que não do Entendimento? Por que “espaço” e “tempo” possibilitam apreensão do particular e os princípios organizam estes em formulações gerais, conceituais? Por que “espaço” e “tempo” não seriam conceitos? Precisa-se lembrar neste ponto que essas considerações, considerando-se o pensamento de Hume, podem não ter uma posição privilegiada para resolução do problema da causalidade: podem ser meras especulações para além da experiência, metafísica por assim dizer, ideias distantes dos fenômenos forjadas por hábito.

Ao menos com essas questões podemos ver indícios de uma dissociação de causalidade da noção de tempo, ou mais precisamente, não é intrínseca à causalidade a compreensão de um

tempo como retilíneo, como apenas em um sentido, não reversível, enfim. Cabe à Física construir os conceitos, ou como se queira dizer, apontar possibilidades físicas com novas visões de experiência, ainda que alguma estrutura *a priori* aponte as condições de possibilidade da experiência, conforme pensa Kant.

Sobre toda essa análise da TRG por Max Born, é preciso fazer a seguinte pergunta: o fato de causalidade como antecedência não ser contemplada na geometria mecânica de Einstein, implica que não possa sê-lo de modo algum nessa teoria e que ela não seja algo físico? Vale observar que, à primeira vista, a proposta de uma mecânica geométrica, por Einstein, não significa que se está abordando um nível da Geometria por si, mas sim um domínio físico que se exprime geometricamente com precisão; temos com isso um campo de fenômenos físicos que, ainda que expressáveis geometricamente, são entes físicos e não matemáticos. Pode-se questionar a aplicação de um dado conjunto de axiomas de uma Matemática ou Geometria, a partir da qual se descreve fenômenos físicos, e assim buscar novas expressões matemáticas ou geométricas para descrição de outros fenômenos físicos não alcançáveis pela linguagem ou sistema matemático-geométrico disponível – Einstein mesmo inicia por questionamentos acerca da verdade de axiomas da Geometria Euclidiana para pensar sobre o conteúdo físico das proposições geométricas, em vista a chamar atenção para fenômenos físicos que escapam dos limites ou contexto daquela Geometria, para, posteriormente, dar uma ideia da teoria da Relatividade por outro modelo geométrico.⁹³

Deriva-se de todos esses pontos *mais estas questões acerca da Causalidade: esta tornou-se uma ideia dispensável nas investigações físicas? Por quê? Não se mostra física, antes especulação metafísica ou fruto do hábito? Resulta disso tudo uma abertura para uma nova compreensão da ciência. Este tema a ser visto no próximo capítulo, com a Interpretação de Copenhagen da Mecânica Quântica.*

⁹³ Cf. Seções 1, 2 e 3 de **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**, de A. Einstein.

5 A TEORIA QUÂNTICA E A “NÃO-LOCALIDADE” COMO EXEMPLO FÍSICO PARA A CRÍTICA DE HUME À CAUSALIDADE

É preciso ressaltar que a abordagem da Interpretação de Copenhague da Mecânica Quântica (MQ), no nascedouro da Teoria Quântica (TQ) com a visão de Niels Bohr, é o que será considerado neste capítulo, em que se versará sobre quão intrigante a natureza se apresenta no domínio quântico: os dados (ou variáveis) do sistema quântico são independentes, quer dizer, dois ou mais dados desse sistema não são simultâneos, não são conjugadamente definíveis, de modo que a descrição da ocorrência de um permita descrever ou determinar a do outro, e assim há *indeterminação*, sabendo-se de um dado não se sabe concomitantemente do outro com certeza.

Mediante esse estado de coisas, algumas questões são características da MQ, como as que seguem:

- i) como se comportam as partículas no sistema quântico;
- ii) interligado a essa está o problema da medição do trajeto ou movimento da partícula no estado quântico, uma vez que o aparelho de medida interage com o objeto observado, alterando assim a medição, com o que ela fica, se não imprecisa, incerta sob critérios clássicos – ver-se-á neste tocante que se pode descrever com precisão e objetividade esse estado da partícula, embora não por parâmetro da Mecânica Clássica (MC);
- iii) disso decorrem novos fenômenos individuais, engendra-se algo novo, inusitado;
- iv) independência dos dados quânticos um em relação ao(s) outro(s);
- v) daí que uma descrição determinista dos fenômenos nesse estado revela-se discutível.

Apresenta-se o domínio da TQ, na seção 5.1, considerando-se aquelas questões características, ressaltando-se as apontadas em ii) e v); em seguida, discorre-se sobre críticas específicas à causalidade a partir do fato da “*não localidade*”, pelo qual se problematiza a noção de contiguidade – daí então se ocupará com as questões apontadas em i), iii) e iv). É preciso lembrar que apenas para fim didático os itens são discutidos em separado, mas um e outro item acompanha os demais, interligando-se um ao outro, quer dizer, pode-se considerar a ideia de independência dos dados quânticos de modo que se vislumbre a indeterminação, pois tudo se transforma simultaneamente, i.e., cada interferência engendra⁹⁴ novos acontecimentos, alterando

⁹⁴ À primeira vista parece haver contradição ao se usar o termo “engendrar” aqui pois “engendrar algo” pode ser entendido como determinar, fazer acontecer; mas se está considerando também determinar como

o sistema, que escapa à compreensão de determinação – e ao que parece conseqüentemente a de causalidade.

Além da exposição e controvérsias sobre os aspectos da TQ, retoma-se a argumentação crítica de Hume à causalidade como suporte para compreensão do que representa o novo fato físico da “não localidade”, no domínio quântico.

Quanto a se estabelecer relação do argumento crítico de Hume sobre a causalidade com a “não localidade” na TQ, necessário notar dois pontos significativos: i) a análise de Hume sobre o que podemos apreender dos fenômenos percebidos, eliminando resquícios metafísicos ou apriorísticos da observação, retirando os excedentes para apresentar precisamente o conteúdo real das sensações ou impressões; ii) e que a “causalidade” é uma tal noção excedente, sem legitimidade, sem o que sustente sua aplicação sobre os fenômenos observados, apenas o hábito ou o costume a justificam. Sendo assim, quem sabe leis estatísticas não são, em última análise, refinamento (intelectual) do hábito?

Em 5.2, serão abordadas críticas à interpretação de Copenhagen da MQ, as quais consistem no EPR (seção 5.2.1) e argumentos de Karl Popper (seção 5.2.2). Segue-se revisão das críticas de Popper à TQ em 5.3, examinando-se então se tais críticas resistem à visão da TQ apoiada na perspectiva de Hume. Por fim, em 5.4, as considerações de Niels Bohr sobre o problema da causalidade e a perspectiva da TQ que dispensa a ideia de causalidade.

prever e poder-se registrar com objetividade e certeza o que pode acontecer. Assim, pode-se entender “engendrar” como simplesmente fazer acontecer algo indefinido, inesperado, incerto.

5.1 Domínio de questões características da Teoria Quântica

A “não localidade” pode ser entendida como um exemplo físico sobre o qual se aplica o argumento crítico de Hume, aquele fenômeno incitando uma nova forma de pensar a realidade física, revelando-se cada vez mais complexa, de modo que certas noções impregnadas no domínio da cultura ficam dispensadas, requerendo-se que nosso pensamento desvincilhe-se delas. A partir do pensamento de Hume e considerando a “não localidade” na Teoria Quântica (TQ) podemos admitir que “probabilidade” é o termo mais afeito a nossa observação do mundo empírico do que causalidade.

Diante dessas considerações, podemos perguntar: a probabilidade na TQ é uma ideia que confere um caráter relativo ao conhecimento, uma vez que por ela não se tem assegurado a previsibilidade, vigorando a indeterminação, a não relação causal entre coordenadas em um sistema físico? Ou seria a probabilidade uma ideia universal e necessária da ciência Física? Um termo imprescindível do conhecimento da realidade? Ou um termo dispensável caso se formule uma teoria física mais precisa? A probabilidade é epistemológica ou ontológica?

É atraente pensar que causalidade pode também ser um conceito substituído pelo de probabilidade como constitutivo do entendimento, na perspectiva de Kant. Contudo, para este, “necessidade e universalidade rigorosa são, portanto, seguras características de um conhecimento *a priori*...” (CRP, Introdução, II), com que se ocupa o entendimento. E bem pode ser que causalidade como Princípio do Entendimento, na visão de Kant, seja apenas um produto do hábito, como afirma Hume. Sendo assim, não se lança mais luz sobre o problema quanto à completude da TQ, se é que isso é um problema, pois talvez possamos sim admitir que o caso da “não localidade” na TQ requeira reformulação na maneira de pensar e observar tal fenômeno físico.

Há que se considerar, contudo, que mesmo sendo ontológica – e por isso comportando contingência no processo de devir –, a probabilidade pode ser apreendida com precisão, nas teorias físicas, mediante o cálculo estatístico. Essa probabilidade estatística é o que Max Born vai considerar como expressando causalidade mesmo no estado quântico.

Na obra em que nos baseamos aqui, *Natural Philosophy of Cause and Chance*, Max Born pretende elucidar a causalidade nos sistemas físicos. Discorre sobre aqueles que se apoiam na noção de “causa”, como a Mecânica Clássica e o Eletromagnetismo. Observa que o conceito de “causa” compreende duas acepções, a seu ver, a de relação de dependência por antecedência e por contiguidade. Cada um dos sistemas físicos expostos satisfaz uma ou outra dessas acepções de “causa”.

Max Born, em sua análise sobre a causalidade na Física, reconhece que alguns fenômenos e leis científicas indicam a relação entre eventos não por causalidade, mas por uma outra compreensão, a de possibilidade ou acaso, indeterminação (*chance*), algo diferente de causalidade – ou podemos dizer, ao menos, que a possibilidade de identificação causal é conturbada. Este é o caso da MQ, em sua análise. Isso porque o estado de um sistema quântico sofre interferência.

Tal interferência compromete, de certo modo, a objetividade a respeito dos dados observados. Sobre isso, vale citar Max Born:

“Dynamical problems arise in a somewhat different way from those in classical theory. There it has a definite meaning to speak about the motion of particles in a closed system, for instance of the orbit of Jupiter in the planetary system. In quantum theory a closed system settles down in a definite stationary state, or a mixture of such states [...]. But then nothing is changing in time; one cannot even make an observation without interfering with the state of the system. In classical physics it is supposed that we have to do with an objective and always observable situation; the process of measuring is assumed to have no influence on the object of observation. I have, however, drawn your attention to the point that even in classical physics this postulate is practically never fulfilled because of the Brownian motion which affects the instruments. We are therefore quite prepared to find that the assumption of ‘harmless’ observations is impossible.”(BORN, p.99) [grifo nosso]⁹⁵

Ele discorda de Einstein quanto a pretender algo determinado objetiva e precisamente quanto aos fenômenos abordados pela TQ, no caso, a partícula em sua singularidade não pode ser tida como um dado incompleto, não observável com completude, segundo Einstein. E para Max Born, em TQ a objetiva apreensão de fenômenos físicos não ocorre. Sobre isso, vale citação.

Dynamical problems in quantum theory therefore, in contrast to those in classical theory, cannot be defined without a subjective, more or less arbitrary decision about what you are interested in. In others words, quantum mechanics does not describe an objective state in an independent external world, but the aspect of this world gained by considering it from a certain subjective standpoint, or with certain experimental means and arrangements. This statement has produced much controversy, and though it is generally accepted by the present generation of physicists it has been decidedly rejected by just those two men who have done more for the creation of quantum

⁹⁵ Problemas dinâmicos surgem de algum modo diferente daqueles em teoria clássica. Há que haver um significado definido para falar sobre o movimento de partículas em um sistema fechado, por exemplo, da órbita de Júpiter no sistema planetário. Na teoria quântica um sistema fechado instala-se em um estado estacionário definido, ou uma mistura de tais estados [...]. Mas então nada está mudando no tempo; não se pode mesmo fazer uma observação sem interferência com o estado do sistema. Na física clássica está suposto o que temos a fazer com uma situação observável frequente e objetiva; o processo de medição é admitido como não tendo influência sobre o objeto da observação. *Eu tenho, contudo, que chamar sua atenção para o ponto de que mesmo na física clássica este postulado praticamente nunca está preenchido por causa do movimento Browniano, o qual afeta os instrumentos. Estamos portanto totalmente preparados para declarar que a suposição de observações ‘inocentes’ [‘imparciais’] é impossível.* (BORN, p.99) [grifo nosso] [tradução nossa]

physics than anybody else, Planck and Einstein. Yet, with all respect, I cannot agree with them. In fact, the assumption of absolute observability which is the root of the classical concepts seems to me only to exist in imagination, as a postulate which cannot be satisfied in reality. (BORN, p. 99-100) [grifo meu]⁹⁶

Mas Max Born reconhece o problema quanto à explicação teórica ser estatística e indeterminada.

There is not doubt that the formalism of quantum mechanics and its statistical interpretation are extremely successful in ordering and predicting physical experiences. But can our desire of understanding, our wish to explain things, be satisfied by a theory which is frankly and shamelessly statistical and indeterministic? Can we be content with accepting chance, not cause, as the supreme law of the physical world? (BORN, p. 101) [grifo nosso]⁹⁷

Seu posicionamento diante desse problema vem a ser o seguinte:

To this last question I answer that not causality, properly understood, is eliminated, but only a traditional interpretation of it, in this identification with determinism. *I have taken pains to show that these two concepts are not identical.* Causality in my definition is the postulate that one physical situation depends on the other, and causal research means the discovery of such dependence. This is still true in quantum physics, though the objects of observation for which a dependence is claimed are different: they are the probabilities of elementary events, not those single events themselves. (BORN, p. 101-102) [grifo nosso]⁹⁸

Quer dizer, a dependência de um evento acontecer em relação a outro pode ser identificada na

⁹⁶ Problemas dinâmicos na teoria quântica, portanto, em contraste a aqueles em teoria clássica, não podem ser definidos sem uma decisão subjetiva, mais ou menos arbitrária sobre o que você está interessado. Em outras palavras, *mecânica quântica não descreve um estado objetivo em um mundo externo independente*, mas o aspecto deste mundo obteve-se por considerá-lo de um certo ponto de vista subjetivo, ou com certos meios e arranjos experimentais. Este enunciado tem proporcionado muita controvérsia, e embora ele seja geralmente aceito pela presente geração de físicos, *tem sido decididamente rejeitado justamente por aqueles dois homens que mais tem feito para a criação da física quântica do que qualquer um, Planck e Einstein. Com todo respeito, eu ainda não posso concordar com eles. De fato, a suposição de observabilidade absoluta, a qual é a rota dos conceitos clássicos, parece-me apenas existir na imaginação, como um postulado que não pode ser satisfeito em realidade.* (BORN, p.99-100) [grifo nosso] [tradução nossa]

⁹⁷ Não há dúvida de que o formalismo da mecânica quântica e sua interpretação estatística são extremamente bem sucedidos em ordenar e prever experiências físicas. Mas nosso desejo de entender, de explicar as coisas, pode ser satisfeito por uma teoria que é franca e impudentemente estatística e indeterminista? *Podemos ficar contentes com a aceitação do acaso, nenhuma causa, como a lei suprema do mundo físico?* (BORN, p.101) [grifo nosso] [tradução nossa]

⁹⁸ *A esta última questão eu respondo que nenhuma causalidade, propriamente entendida, é eliminada, mas apenas uma interpretação tradicional dela, nesta identificação com o determinismo.* Eu tenho feito esforço para mostrar que esses dois conceitos não são idênticos. *Causalidade em minha definição é o postulado de que uma situação física depende de outra, e investigação causal significa a descoberta de tal dependência. Isto é ainda verdadeiro em teoria quântica, embora os objetos da observação, para os quais uma dependência é pretendida, sejam diferentes: eles são probabilidades de eventos elementares, não aqueles eventos singulares em si mesmos.* (BORN, p.101-102) [grifo nosso] [tradução nossa]

física quântica (em um sistema quântico); agora, algo diferente é dizer que este estado de dependência identificado se reproduza regularmente de modo a se poder inferir uma determinação nos acontecimentos quânticos, mesmo sendo identificada a ocorrência causal uma vez. Portanto, o determinismo (ou causalidade tomada como este) não é necessariamente deduzido daquela única relação de dependência indicada entre um evento e outro.

Mas Max Born observa que ainda assim isso é verdadeiro, vale para um objeto de observação: para as probabilidades dos eventos elementares, ou seja, a relação de dependência é verdadeira para tais objetos, mas não o é, contudo, para os singulares: em termos de probabilidade (estatística) pode-se até observar a dependência entre eventos, não, porém, enquanto uma partícula se manifesta em sua singularidade no estado quântico.

Pela estatística a probabilidade dos eventos quânticos é registrada então com objetividade, ainda que a singularidade do objeto na dimensão quântica esteja sujeita à interferência que conturba a sua apreensão com objetividade; e, ao que parece, a própria natureza do estado quântico não é objetivável, uma vez sujeita à interferência de dados que a ele se conjuga, como o espaço, tempo – i.e. de acordo com a TR de Einstein espaço e tempo interferem no observado, quer dizer, a cada sistema de referência, com espaço e tempo diferentes, se tem uma observação distinta do fenômeno.

Concordante com a posição de Max Born sobre leis estatísticas garantirem validade objetiva à MQ, ainda que esta teoria não corresponda às condições da física clássica acerca da realidade da matéria, encontramos as palavras de Wolfgang Pauli, em *The Theory of Relativity and Science, in Writings on Physics and Philosophy*:

In quantum mechanics also one discusses possible measurements with the aid of conceptual experiments (Gedankenexperimente), relying on an assumed mathematical structure of the laws of nature, statistical in this case. This is just the method which Einstein has used with such success in physics and thereby again made fashionable.

In spite of this, Einstein held firmly to the narrower concept of reality of classical physics; from this point of view a description of nature which permits single events not determined by laws was bound to appear to him 'incomplete'. [...] Motivating his attitude, he frankly explained that to depart from the narrower reality concept of physics before quantum mechanics seemed to him to be getting perilously close to a point of view in which it is impossible to discriminate sufficiently clearly between dream or hallucination and 'reality'. As against this, the objective character of the description of nature given by quantum mechanics has appeared to the rest of us to be adequately guaranteed by the circumstance that its statistical laws describe reproducible process, and that the results of observation, which can be checked by anyone, cannot be influenced by the observer, once he has chosen his experimental arrangement. (PAULI, p. 110-111) [grifo nosso]⁹⁹

⁹⁹ Em mecânica quântica também se discute medidas possíveis com a ajuda de experimentos conceituais (*Gedankenexperimente*), recaindo sobre uma suposta estrutura matemática de leis da natureza, estatísticas no caso. Este é exatamente o método que Einstein usou com tal sucesso em física e o fez novamente com

Considerando-se o trecho grifado na citação, podemos lembrar a associação feita por Max Born entre causalidade e leis estatísticas na MQ, o que pode ser relacionado às palavras de Pauli, sublinhadas na citação anterior.

Partindo da ideia de que os resultados da observação não podem ser influenciados pelo observador, uma vez escolhida a aparelhagem experimental, pode ser visto que nisso está o pressuposto de que a possível relação causal entre os dados observados não pode sofrer interferência e, portanto, se pode elucidar pelas leis estatísticas esse nexos causal.

No entanto, pode-se inquirir se mesmo tendo-se antes escolhido o aparelho de medida – sabendo-se então as condições às quais o observado será ajustado, ou seja, qual a situação que o aparelho enfocará –, se mesmo assim não está fora de questão que o aparelho de medida interfira sobre o observado, com o que apreendemos a indeterminação dos dados ou variáveis no estado quântico.

O problema da indeterminação dos dados em um sistema quântico pode ser visto como exposto por W. Pauli em duas passagens de *Matter*, em *Writings on Physics and Philosophy*:

[...] As this indeterminacy is an unavoidable element of every initial state of a system that is at all possible according to the new laws of nature, the development of the system can never be determined as was the case in classical mechanics. The theory predicts only the statistics of the results of an experiment, when it is repeated under a given condition. Like an ultimate fact without any cause, the individual outcome of a measurement is, however, in general not comprehended by laws. (PAULI, p.32) [grifo nosso]¹⁰⁰

E também:

[...] the possible sources of information about the object are irrevocably altered by observations. The existence of such alterations reveals a new kind of wholeness in nature, unknown in classical physics, inasmuch as an attempt to subdivide a

elegância.

A despeito disto, Einstein considerou firmemente o conceito restrito de realidade da física clássica; deste ponto de vista uma descrição da natureza que permite eventos singulares não determinados por leis, estava fadada a parecer-lhe ‘incompleta’. [...] Motivando sua atitude, ele explicou francamente que abandonar o conceito mais restrito de realidade da física antes da mecânica quântica parecia-se aproximar-lhe mais de um ponto de vista em que é impossível discriminar clara e suficientemente entre sonho ou alucinação e ‘realidade’. Em oposição a isto, *o caráter objetivo da descrição da natureza dada pela mecânica quântica tem parecido para o restante de nós ser adequadamente garantido pela circunstância de que suas leis estatísticas descrevem processos reproduzíveis, e que os resultados da observação, o qual pode ser checado por qualquer um, não pode ser influenciado pelo observador, uma vez que ele tenha escolhido seu aparato experimental.* (PAULI, p.110-111) [grifo nosso] [tradução nossa]¹⁰⁰ [...] Como esta indeterminação é um elemento inevitável de todo estado inicial de um sistema que é de todo possível de acordo com as novas leis da natureza, o desenvolvimento do sistema pode nunca ser determinado como era o caso na mecânica clássica. A teoria prediz apenas as estatísticas dos resultados de um experimento, quando ele é repetido sob uma dada condição. *Como um fato último sem qualquer causa, o resultado individual de uma medida não é, contudo, em geral não compreendido por leis.* (PAULI, p.32) [grifo nosso] [tradução nossa]

phenomenon defined by the whole experimental arrangement used for its observation creates an entirely new phenomenon. (PAULI, p.33)¹⁰¹

Note-se que o problema da interação entre observação e observado é entendido como solucionado mediante o registro estatístico, considerando-se que este permite plausibilidade causal na apreensão dos dados quânticos. Mas mediante as três citações é cabível destacar também dois problemas: 1º) em trecho citado (PAULI, p. 110-111), é afirmado por Pauli que “*statistical laws describe reproducible process*”: esta reprodução de processos, perpetuados não implica que causalidade ocorra, como se pode ver na crítica de Hume à causalidade¹⁰²; a relação de dependência entre os dados do processo, pelo fato de serem reprodutíveis – reprodução que a lei estatística representa, e de certo modo contemplada pela mecânica clássica em que com a apreensão de dados como tempo e velocidade de um corpo, pode-se também conhecer sua localização, bem como predizer seu estado futuro e se saber do seu passado – não garante o nexo causal nos fatos naturais dados pela MQ; 2º) que, “[...] *like an ultimate fact without any cause, the individual outcome of a measurement is, however, in general not comprehended by laws.*” (PAULI, p.32) (“[...] como um fato último sem qualquer causa, o resultado individual de uma medida não é, contudo, em geral abarcado por leis.” (PAULI, p.32))

O primeiro ponto confronta a posição de Max Born defensora da ideia de que causalidade pode ser expressa nas leis estatísticas, o que corresponderia a fazer sentido causalidade na descrição da natureza pela MQ; conforme aquele ponto da perspectiva de Pauli, pode-se ver que não necessariamente assim o é, e isso também segundo argumentação humeana. E outras palavras, a concepção de Max Born de que (leis) estatísticas indicam causalidade é discutível. E, no tocante ao segundo ponto, no caso da partícula, um dado singular da matéria, a determinação de seu aspecto individual escapa da medição, situação não passível de ser compreendida por leis – e quanto a isso pode ser afirmado não ser compreendido por leis *causais* –, mesmo as estatísticas.

Ou seja, a medição que registra o dado individual não revela leis do próprio fenômeno, pois tal medida consiste em exterioridade ao dado do sistema, tangenciando-o por interferência, e então não o apreende integralmente, uma vez que o sistema é flexível, passível de interferências; a própria medição interfere nele, e assim apreendendo uma faceta, uma camada, aquela que se mostra no instante de registro, faceta do fenômeno indicada pela estatística – neste tocante vale

¹⁰¹ [...] as fontes possíveis de informação sobre o objeto são irrevogavelmente alteradas por observações. A existência de tais alterações revela um novo tipo de totalidade na natureza, desconhecida na física clássica, na medida em que uma tentativa de subdividir um fenômeno, definido pelo arranjo [aparelho, processo] experimental total usado para sua observação, cria um fenômeno inteiramente novo. (PAULI, p.33) [tradução nossa]

¹⁰² Cf. capítulo 2 desta tese.

observar um aspecto que pode distinguir causalidade de determinismo: leis estatísticas e até a formalização matemática na Mecânica Clássica registram um aspecto do fenômeno que pode induzir à compreensão do determinismo na natureza, mas causalidade pode ter outra acepção: a sucessão de eventos, como se determinados por um fator inicial da cadeia ou sequência dos mesmos, não necessariamente pode ocorrer, embora formalizações consistentes possam ser elaboradas sobre tal necessidade, mas necessidade nesse sentido é formal, outra coisa e necessidade causal, de fato (mais do que formal).

Com isso o que é registrado o é sem possibilidade ou permissão para compreensão de sua causa: por um lado, a interferência sendo a *ratio cognoscendi* do dado registrado, que é o fato último, o qual mostra-se como a interferência, e daí a indeterminação, sem possibilidade de compreensão de sua causa; e, por outro lado, a contingência (ou a probabilidade) sendo a *ratio essendi* das ocorrências quânticas – notemos que probabilidade, como registro ou formulação da contingência, é assim tida como condição ontológica e não apenas limitação ou deficiência epistemológica.

E as probabilidades (ou contingências) ocorrentes no domínio quântico são a condição primeira, não sendo decorrentes das leis deterministas da mecânica clássica. E afirma Pauli:

[...]As an example of these primary probabilities I mention here the fact that the time at which an individual atom will undergo a certain reaction stays undetermined even under conditions where the rate of occurrence of this reaction for a large collection of atoms is practically certain. (PAULI, p.32)¹⁰³

Entre as variáveis no domínio quântico é estabelecida uma relação de indeterminação, ou seja, elas não estão conjugadas de modo que se possa, ao identificar e medir uma, conseqüentemente se determinar a outra – nem mesmo a respeito de uma mesma partícula se pode identificar simultaneamente sua posição e seu momentum, o que é estranho e distinto da Mecânica Clássica; pela indeterminação se tornam excludentes também a observação simultânea da partícula e da onda pelo experimento com que se pretende averiguar as propriedades de uma e conferir as da outra. É como se todos os dados do sistema interferissem um no outro, além do próprio aparelho de medida dos dados; e assim pode-se determinar um dado com um valor, mas esta medição já interfere concomitantemente no outro dado do sistema; os dados aqui não são

¹⁰³ Como um exemplo dessas probabilidades primárias eu menciono aqui o fato de que o tempo ao qual um átomo individual se submeterá a certa reação permanece indeterminado mesmo sob condições onde a taxa de ocorrência desta reação para uma coleção ampla de átomos é praticamente certa. (PAULI, p.32) [tradução nossa]

mais definíveis conjuntamente, como na Mecânica Clássica.

E Pauli chama atenção que: “*The significance of this development is to give us insight into the logical possibility of a new and wider pattern of thought.*” (PAULI, p. 32) (“O significado deste desenvolvimento é permitir-nos um *insight* da possibilidade lógica de um novo e amplo modelo de pensamento.” (PAULI, p. 32)) W. Pauli observa que no novo modelo de pensamento, proposto pela “nova física”, não se admite mais um observador destacado do fenômeno observado – como entendido pela física clássica –, mas que interage, por meio de aparelhagem experimental, com o observado de modo que *de tal interação resulte um novo estado do sistema observado*. A esse respeito cabe citar Pauli em *Space, Time and Causality in Modern Physics*:

For it follows from quantum mechanics that in order to measure exactly the position on one hand, and the momentum on the other, mutually exclusive experimental arrangements must be used, since every exact measurement of this sort involves an interaction between measuring apparatus and object measured, which is in part essentially undetermined and undeterminable. In fact, a spatio-temporal delimitation of the object to be measured is invariably associated with an undeterminable transfer of energy and momentum between it and a fixed frame. On the other hand experimental arrangements which allow this transfer to be measured precisely necessarily involve a renunciation of the possibility of following the course in space-time of the interaction between the object to be measured and the measuring apparatus. (PAULI, p. 99)¹⁰⁴

Nesse tocante, vale lembrar a pergunta de Einstein: “– A Lua só está ali quando olhamos para ela?”¹⁰⁵ Costuma-se entender isso como o problema filosófico do Idealismo, que mais precisamente teria de ser expresso nas seguintes palavras: “– A Lua é ou está ali por que olhamos para ela?” A pergunta de Einstein refere-se não a isso, mas propriamente ao seguinte: a localização deste corpo (ou de uma partícula), a Lua, em determinado espaço (ali) só poderia ser registrada como tal quando a medida (como metáfora, o olhar) é feita e se apreende este valor (a localização “ali”); não medindo (ou “não olhando”), ali não estará o corpo observado e medido; isso porque a medida interfere, interage com o observado, de modo que sua localização determinada (i.e. como “ali”) é tal no instante da medida, enquanto que não medido o fenômeno particular não se manifesta ali, pois não foi perturbado, não sofreu a interferência da medição de

¹⁰⁴ Segue-se da mecânica quântica que em vista a medir exatamente a posição por um lado, e o *momentum* de outro, arranjos experimentais mutuamente exclusivos precisam ser usados, uma vez que toda medida exata deste tipo envolve uma interação entre aparelho de medida e objeto medido, o qual é em parte essencialmente indeterminado e indeterminável. De fato, uma delimitação espaço-temporal do objeto a ser medido é invariavelmente associada com uma indeterminável transferência de energia e *momentum* entre ele [objeto a ser medido] e um referencial fixo. Por outro lado, arranjos experimentais, os quais permitem esta transferência a ser medida precisamente, necessariamente envolvem uma renúncia da possibilidade de seguir o curso no espaço-tempo da interação entre o objeto a ser medido e o aparelho de medida. (PAULI, p.99) [tradução nossa]

¹⁰⁵ Menção a essa pergunta de Einstein por Pauli, em *Space, Time and Causality in Modern Physics*, in: *Writings on physics and philosophy*, p.99.

uma aparelhagem para que aparecesse ali e não na localização em que se encontra enquanto não medido, observado (no caso metafórico, enquanto “não olhado”).

E como Pauli afirma ainda no mesmo escrito:

*[...] The circumstance that, in quantum mechanics, one must be satisfied with statistical laws need give no cause for lamentation for a lost Paradise of causality, the more so since in consequence of the new epistemological situation, which arises from the necessity of differentiating between means of measurement and object measured, and of the partial indeterminacy of their interaction, the special concept, valid in classical physics, of determinacy of phenomena loses its unambiguous meaning. (PAULI, p.102)*¹⁰⁶

Isso não significa que não haja uma realidade objetiva a ser descrita. O quadro conceitual requerido por esta nova totalidade da natureza descreve a ocorrência dos objetos atômicos em escala microscópica de modo que tal descrição válida e a ocorrência sejam compreensíveis para todo observador, e que a teoria faça uso de leis expressas matematicamente, as leis estatísticas.

Agora, *o estado do objeto observado não mais é tido como permanecendo inalterado, independentemente da interação com a observação e/ou aparelhagem experimental.* Na perspectiva da TQ, sobre essas reflexões em foco, vale citar N. Bohr:

De fato, todo arranjo experimental que permita o registro de uma partícula atômica num domínio espaço-temporal limitado, exige padrões de medida fixos e relógios sincronizados que, por sua própria definição, excluem o controle do momento e da energia transmitidos para eles. Inversamente, uma aplicação inambígua das leis de conservação dinâmicas na física quântica exige que a descrição dos fenômenos implique uma renúncia, em princípio, à localização espaço-temporal detalhada. Esse caráter mutuamente excludente das condições experimentais faz com que todo o arranjo experimental tenha que ser levado em conta numa descrição bem definida dos fenômenos. A indivisibilidade dos fenômenos quânticos encontra sua expressão coerente no fato de que toda subdivisão definível exige uma mudança do arranjo experimental, com o aparecimento de novos fenômenos individuais. Assim, o próprio fundamento de uma descrição determinista desaparece, e o caráter estatístico das previsões é evidenciado pelo fato de que, num mesmo arranjo experimental, em geral aparecem observações que correspondem a diferentes processos individuais. (BOHR, 1954, p. 113-114)

Notemos que Bohr afirma: 1) o caráter mutuamente excludente das condições experimentais – no caso, por um lado, *“o registro de uma partícula atômica num domínio espaço-temporal limitado, exige padrões de medida fixos e relógios sincronizados”*, por outro, esses, por

¹⁰⁶ [...] A circunstância de que, em mecânica quântica, tem-se de estar satisfeito com leis estatísticas não precisa dar nenhum motivo para lamentação por um Paraíso perdido da causalidade, tanto mais visto que em consequência da nova situação epistemológica, que surge da necessidade de se diferenciar os meios de medição e o objeto medido e da indeterminação parcial de sua interação, o conceito especial, válido na física clássica, da determinação do fenômeno perde seu significado inambíguo. (PAULI, p.102) [tradução nossa]

definição, “*excluem o controle do momento e da energia transmitidos para eles*”; ou seja, uma aparelhagem de medida íntegra, adequada precisa estar imune a interferências de condições iniciais e circundantes (como momento e energia), bem como não interferir sobre o sistema ou estado observado – e isso por sua vez, parece requerer um “aparelho mágico”, com um tal grau de perfeição de operacionalidade, que de tal forma ideal estaria para além da própria função de medir, de atuar sobre o seu domínio de experiência, o fenômeno quântico; e nesse caso, portanto, não há mesmo imperfeição ou incompletude do aparelho em relação ao observado; 2) por sua vez, se se pretende apreender e registrar esses fenômenos, energia e momento em um sistema quântico, é preciso admitir que captar com precisão o dado espaço-temporalmente nesse sistema é algo incompatível, como vemos em suas palavras: “*Inversamente, uma aplicação inambígua das leis de conservação dinâmicas na física quântica exige que a descrição dos fenômenos implique uma renúncia, em princípio, à localização espaço-temporal detalhada.*” (BOHR, 1954, p. 113-114)

Como tais condições experimentais manifestam-se com esse caráter mutuamente excludente, então para se descrever os fenômenos com precisão é necessário se levar em conta todo o arranjo experimental, e não afastá-lo, dispensá-lo no processo de descrição. Ocorre que a “*indivisibilidade dos fenômenos quânticos encontra sua expressão coerente no fato de que toda subdivisão definível exige uma mudança do arranjo experimental, com o aparecimento de novos fenômenos individuais.*” Quer dizer, a cada subdivisão definida do fenômeno que se pretende registrar, muda-se o arranjo experimental, mas isso capta “*novos fenômenos individuais*”. Por isso “*o próprio fundamento de uma descrição determinista desaparece*”, com o que se evidencia “*o caráter estatístico das previsões*”, caráter estatístico prevalecente (e não determinístico) porque por um mesmo arranjo experimental se observam “*diferentes processos individuais*”.

Mediante essas ponderações de Bohr, podemos concluir que a previsão estatística parece corresponder à própria natureza, e ao que parece tal indeterminação é ontológica uma vez que constitui o fato mesmo que a física registra no domínio quântico. Não se está aqui afirmando que N. Bohr tenha concluído haver indeterminação ontológica, mas apenas que se pode depreender de suas considerações tal possibilidade. Pode-se notar que uma vez proposto por ele uma interpretação ontológica que essa não se comprometa com uma interpretação sobre a indeterminação ontológica; mas isso também não está sendo afirmado aqui, apenas é dito ser possível que tal indeterminação seja de fato, uma vez considerada a perspectiva de Bohr.

O que podemos perguntar quanto àquela perspectiva de Max Born é: seria suficiente a probabilidade objetivamente apreendida por estatística para se poder admitir a causalidade como um dado físico? Uma vez que a estatística é uma operação intelectual, um cálculo, pode ser que

não corresponda à realidade física tal e qual, e por isso mesmo é probabilística: tudo vale ou não vale.

Por outro lado, ainda que se tenha a estatística com uma operação intelectual, pode-se conceber que a probabilidade é intrínseca à realidade, sendo ontológica, e não meramente uma limitação epistemológica de uma teoria; nesse caso também a previsão estatística não é suficiente para afirmar causalidade pela ideia de recorrência ou repetição provável de eventos, haja vista a crítica de Hume. Até agora, não encontramos argumentos que, em favor da noção de causalidade, a justifiquem suficientemente, em última análise. Apenas angariamos especulações que não provam a causalidade como fato real. Mesmo que a causalidade seja um fato, argumentos consistentes não aparecem para comprová-la. E para a Filosofia fatos não são argumentos, fatos não são o suficiente, argumentos são o que valem, e argumentos consistentes.

Sobre toda discussão desta seção 5.1, quanto aos fenômenos quânticos poderem ser ou não descritos com determinação e certeza, importante também mencionar reflexão de Heisenberg¹⁰⁷:

[...] Sempre disséramos, com um fácil desembaraço, que a trajetória do elétron na câmara de nuvem podia ser observada. Mas o que realmente observávamos talvez fosse muito menos que isso. Talvez víssemos apenas uma série de pontos distintos e mal definidos, pelos quais o elétron havia passado. Na verdade, tudo o que víamos na câmara de nuvem eram gotículas de água isoladas, elas mesmas muito maiores que o elétron. As perguntas corretas, portanto, seriam: pode a mecânica quântica representar o fato de que um elétron se encontra aproximadamente (ou seja, com uma certa imprecisão) num determinado lugar e se move aproximadamente (de novo, com uma certa imprecisão) com determinada velocidade? Podemos tornar essas aproximações tão estreitas que elas não provoquem dificuldades experimentais?

[...] um breve cálculo mostrou que de fato era possível representar matematicamente essas situações, e que as aproximações eram regidas pelo que depois viria a ser chamado 'princípio da incerteza' da mecânica quântica: o produto das incertezas dos valores medidos da posição e do momento (isto é, o produto da massa pela velocidade) não pode ser inferior à constante de Planck, ou um quantum de ação. Achei que essa formulação estabelecia a tão necessária ponte entre as observações da câmara de nuvem e a matemática da mecânica quântica." (HEISENBERG, p. 95-96)

¹⁰⁷ Cf. HEISENBERG, Werner. Explorando novo campo. *In: A parte e o todo*. Trad.: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. p. 95-96.

5.2 Críticas específicas à TQ e à “não causalidade” a partir de casos físicos

Neste tópico serão discutidas duas críticas à perspectiva da TQ, o EPR, a seguir em 5.2.1, e o posicionamento de K. Popper contrário à Interpretação de Copenhague da TQ, em 5.2.2.

5.2.1 O EPR (Einstein, Podolsky e Rosen): Descrição da Realidade Física

Aqui, será brevemente abordado o artigo intitulado *A Descrição Mecânica-Quântica da Realidade Física Pode Ser Considerada Completa?* (tradução nossa)¹⁰⁸, de autoria dos físicos A. Einstein, B. Podolsky e N. Rosen, publicado em 1935. Esse artigo, ou argumento defendido nele, é comumente denominado EPR, sigla cujas letras referem-se aos sobrenomes dos autores.

No resumo em início desse artigo, os autores revelam tomar como pressuposto que a linguagem representa a realidade; no caso da Física, como afirmam, “*in a complete theory there is an elemento corresponding to each element of reality*” (“em uma teoria completa há um elemento correspondente à cada elemento da realidade.”)

Afirmam também que “*a suficiente condition for the reality of a physical quantity is the possibility of predicting it with certainty, without disturbing the system*” (EPR, 1935) (“uma condição suficiente para a realidade de uma quantidade [grandeza ou variável] física é a possibilidade de prevêê-la com certeza, sem perturbação do sistema.”). Quer dizer, se *em uma teoria completa há um elemento correspondente ao dado físico, então a predição de uma teoria é condição suficiente para a realidade de uma quantidade ou grandeza (ou partícula) física, i.e., o que se pode prever e medir é real, é físico, e esse processo de prever e registrar, medir, identificar a quantidade (ou grandeza) física não prejudica, não altera o sistema observado*, pois a realidade física independe do registro ou predição sobre ela, antes a predição é que resulta do que a realidade é.

Na Mecânica Quântica (MQ), contudo, não ocorre uma identificação íntegra do que se passa no sistema, este é perturbado pela aparelhagem experimental, e a descrição ou medição da quantidade física é conturbada; desse modo, o conhecimento de uma grandeza ou quantidade (e também da partícula) impede, exclui, impossibilita o conhecimento da outra, uma vez que o foco sobre uma afeta o estado da outra (sua localização e momentum), e assim não se pode descrever, registrar com precisão uma pela outra, por predição, como plausível na Mecânica Clássica (MC). Como os autores afirmam: “*In quantum mechanics in the case of two physical quantities*

¹⁰⁸ Cf. *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?* In: *Physical Review*, vol. 47. Institute for Advanced Study. Princeton, New Jersey. May 15, 1935.

described by non-commuting operators, the knowledge of one precludes the knowledge of the other.” (EPR, 1935)

Mas eles consideram haver um problema nisso: ou (1) a descrição da função de onda em MQ não está completa, ou (2) as duas quantidades (grandezas) no sistema não podem ter realidade simultânea. Ou seja, a descrição da função de onda não seria completa porque não permite registro (por predição) das duas grandezas (ou mesmo das partículas) como simultâneas; ou então as duas grandezas ou quantidades (e as partículas) não são realmente simultâneas.

Neste ponto cabe lembrar o princípio da não-contradição¹⁰⁹, pelo qual se afirma que algo não pode ser e não ser ao mesmo tempo e sob o mesmo aspecto. Essa observação quanto ao aspecto, na formulação desse princípio é importante para compreensão da MQ, em detrimento da posição dos autores do EPR: as grandezas em um sistema quântico podem ocorrer ao mesmo tempo, embora talvez não sob o mesmo aspecto, quer dizer, ocorrem ao mesmo tempo, (talvez), embora não se possa identificá-las ao mesmo tempo – com o que temos uma realidade física não correspondendo à predição teórica, pois não é identificada a partir da identificação de outra grandeza simultânea e predição por meio desta; mas é pertinente dizer que não há problema nisso, e não há contradição porque as duas grandezas simultâneas não estão sob o mesmo aspecto: a identificação de uma afeta a manifestação da outra, esta é alterada em sua manifestação, i.e., esta outra não se comporta, sob o mesmo aspecto, como a primeira em relação ao sistema em que se encontram, enquanto são identificadas: enquanto uma é identificada, a outra simultânea não o pode ser porque é afetada por esta primeira, e assim esta última está em relação ao sistema sob outro aspecto, qual seja, o de ser afetada, o que incide sobre sua identificação concomitantemente com a ocorrência simultânea da primeira grandeza.

Os autores do EPR, por sua vez, observam que considerar o problema de fazer predições relativas, concernentes a um sistema com base em medidas feitas em outro sistema – no caso, uma partícula em uma direção (sendo um sistema) e outra em direção inversa (outro sistema); ou o tempo ou a posição (uma grandeza, com certa quantidade ou duração) e o momentum (uma grandeza ou certa quantidade de energia vezes a velocidade) de uma mesma partícula– que interagem previamente um com o outro, leva ao resultado de que se o enunciado (1) é falso, então (2) também o é – lembrando, ou (1) a descrição da função de onda em MQ não está completa, ou (2) as duas quantidades (grandezas) no sistema não podem ter realidade simultânea.

¹⁰⁹ ARISTÓTELES. **Metafísica**. Libro IV, 1005b, 15-35, 1006^a, 4-30.

Em outras palavras, uma vez que as duas grandezas são medidas e descritas, mesmo quando em sistemas distintos, elas seriam simultâneas – este o princípio na Mecânica Clássica (MC); assim, se a função de onda não permite descrição dessa simultaneidade dos sistemas das quantidades ou grandezas (ou estados das partículas), o que seria falso conforme a MC, então que as grandezas não possam ser simultâneas seria também falso, pelos moldes clássicos de medição ou registro das grandezas, o que permite predição. Assumindo-se a MC, isso nos leva a concluir que a função de onda é incompleta.

Vale citar trecho do artigo:

Then either (1) the description of reality given by the wave function in quantum mechanics is not complete or (2) these two quantities cannot have simultaneous reality. Consideration of the problem of making predictions concerning a system on the basis of measurements made on another system that had previously interacted with it leads to the result that if (1) is false then (2) is also false. One is thus led to conclude that the description of reality as given by a wave function is not complete. (EPR, 1935)¹¹⁰

Para os autores, qualquer consideração séria de uma teoria tem de levar em conta a distinção entre a realidade objetiva, que independe de qualquer teoria, e os conceitos físicos com os quais a teoria opera. Esses conceitos devem pretender corresponder à realidade objetiva, quer dizer, representar um fenômeno ou fato natural; e por meio desses conceitos imaginamos ou representamos esta realidade para nós.

Na tentativa de julgar o sucesso de uma teoria física, segundo os autores do artigo, pode-se perguntar: (1) “A teoria está correta?” e (2) “Está completa a descrição oferecida pela teoria?”. Os conceitos da teoria são satisfatórios se respostas positivas são dadas às duas perguntas. Qual seria o critério pelo qual podemos avaliar que uma teoria está correta e que a descrição dada por ela é completa? Os autores afirmam que *a correção da teoria é auferida pelo grau de concordância entre as “conclusões da teoria e a experiência humana”* (EPR, 1935).¹¹¹ Na

¹¹⁰ Então ou (1) a descrição da realidade dada pela função de onda em mecânica quântica não é completa, ou (2) essas duas quantidades [variáveis ou valores] não podem ter realidade simultânea. A consideração do problema de fazer predições concernentes a um sistema com base em medidas tornou *aquele outro sistema que tinha previamente interagido com ele chegar ao resultado que se (1) é falso então (2) também o é. Assim leva-se a concluir que a descrição da realidade como dada por uma função de onda não é completa.* (EPR, 1935) [tradução nossa]

¹¹¹ Isso, contudo, pode ser problematizado, da seguinte forma: a realidade em domínio quântico pode revelar-se de modo que nosso enfoque perceptivo não valeria como parâmetro de sua objetividade física – mesmo que nossa percepção seja desdobrada por experimentos sofisticados, cuja observação seja distante de nossa percepção cotidiana, mas traduzível e com sentido no domínio de nossa percepção cotidiana; seria uma visão antropocêntrica tomar como crivo a percepção humana como modelo ou base de acesso e descrição da realidade física objetiva. A respeito desse problema sobre os objetos do domínio quântico, Michel Paty, em **A matéria roubada**, afirma: “Eles [os objetos quânticos] escapam, com efeito, à experiência cotidiana como a qualquer percepção intuitiva, o que, voltamos a dizer, não significa que

ciência Física tal experiência, que apenas nos capacita fazer inferências sobre a realidade, consiste em experimentos e medições.

Nesse artigo, uma vez essas considerações sobre a descrição da realidade física os autores então se ocuparão com a questão (2), no tocante à Mecânica Quântica. Ou seja: vão avaliar se a descrição mecânica-quântica corresponde à experiência, no caso, acessível por e medida.

A MQ, no entanto, levanta o problema sobre o experimento interferir no observado e conseqüentemente a medida parecer não ser “completa” conforme o molde da MC, a identificação e o registro dos dados, e também de um único dado, são realizados apenas descritos por probabilidade, o que não significa que tal teoria, a MQ, careça de objetividade. Daí não se poder encontrar o dado da realidade física passível de ser crivo de avaliação da completude ou incompletude da teoria, quer dizer, o dado encontrado não pode “decidir” se a teoria está ou não completa – isso permite pensar ser necessário outro crivo de avaliação de teorias científicas.

Segundo os autores, qualquer que seja o significado admitido para o termo “completo”, ou “completude”, a seguinte exigência para uma teoria completa parece ser necessária: *“every elemento of the physical reality must have a counterpart in the physical theory”* (EPR, 1935) (“todo elemento da realidade física tem de ter uma contraparte na teoria física”). Devemos chamar isso de condição da completude. Considerando-se isso então, dizem os autores: *“The second question is thus easily answered, as soon as we are able to decide what are the elements of the physical reality”* (EPR, 1935) (“A segunda questão é assim facilmente respondida, tão logo sejamos capazes de decidir quais são os elementos da realidade física”).

Determinar os elementos da realidade física leva a uma controvérsia. Os autores afirmam que tais dados não podem ser determinados por considerações filosóficas *a priori*, mas têm de ser encontrados por meio de experimentos e medidas. E uma definição de realidade é desnecessária para o propósito deles no artigo. Segundo eles, o seguinte critério é suficiente e razoável: *“If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e., with probability equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of physical reality corresponding to this physical quantity.”* (EPR, 1935) (“Se, sem qualquer meio de perturbar um

haveria uma diferença de natureza entre o conhecimento dos objetos quânticos e o dos outros objetos físicos: isso seria conferir, de maneira antropocêntrica, um privilégio à experiência dos sentidos, de onde resulta, pelo hábito da prática, a familiaridade com certos conceitos ou tipos de abordagens supostos naturais.” (PATY, 1995, p.268)

sistema, podemos predizer com certeza (i.e. com probabilidade igual à unidade) o valor de uma quantidade física, então existe um elemento da realidade correspondente a esta quantidade física.”)

No entanto, vale lembrar, que a MQ no tocante a recorrer à experiência, por experimentos e medidas, para se identificar um elemento correspondente à descrição teórica, mostra ser problemática a apreensão e descrição do elemento observável; não se quer com isso dizer que não haja observável, referência física, mas antes que ela não se apresenta conforme o molde de abordagem clássica.

Os autores admitem que esse critério está longe de esgotar todos os modos possíveis de reconhecer uma realidade física, mas ao menos proporciona-nos tal modo, quando quer que as condições estabelecidas nele ocorrerem. Considerado não como uma condição necessária, mas suficiente da realidade, esse critério está em concordância com ideias clássicas da realidade, bem como com as da mecânica-quântica.

Um breve esclarecimento acerca das condições necessárias e suficientes precisa ser prestado aqui. No EPR, quanto a localidade, é dito ser condição suficiente: “uma condição suficiente para a realidade de uma partícula física é a possibilidade de predizê-la com certeza, sem perturbação do sistema.” Ou seja é suficiente a possibilidade medida do comportamento da partícula sem perturbação do sistema em que ela se encontra.

Outra coisa a se ter atenção: a necessidade (ter de ser e não poder deixar de ser) de “todo elemento da realidade física” ser correspondente a uma “teoria física” – esse é um pressuposto irrevogável no EPR com o que se pode entender ser a perspectiva do realismo aquela admitida pelos seus autores, daí a condição de completude ser requerida para uma teoria. Em outras palavras, uma teoria física completa representa a realidade física tal e qual ocorre, sem incerteza, e tudo o que ocorre no mundo físico é resgatável teoricamente. Esse é um pressuposto necessário no EPR e distingue-se da perspectiva da TQ.

Mas sobre a TQ pode-se entender que mesmo que o fenômeno quântico seja indeterminado e sobre seu “comportamento” no estado quântico não se possa ter certeza, isso não implica limitação epistemológica: pode-se admitir que na TQ não há propriamente incompletude uma vez que a teoria descreve, por experimentos e cálculos próprios, a realidade física tal como é, indeterminada.

5.2.2 Argumentação de Karl Popper em oposição à Interpretação de Copenhague

Popper em seu artigo *Realism in Quantum Mechanics and a New Version of the EPR Experiment*, afirma ser um realista, por acreditar na realidade da matéria, da energia, das partículas, dos campos de força, etc. E ele sugere que a MQ é mal interpretada quando não interpretada realisticamente; para ele também a MQ nada diz do que quer que seja sobre epistemologia, sobre nosso conhecimento e seus limites, e não mais do que a dinâmica Newtoniana. Ele considera que as famosas relações de incerteza, de Heisenberg, não nos informam nada sobre isso mesmo, a indeterminação. Quer dizer, segundo Popper em última análise a MQ não apresenta um problema epistemológico sobre o acesso ao mundo, sobre a possibilidade de conhecimento fidedigno do mesmo, e isso tanto quanto ou como a física Newtoniana, e as relações de incerteza, portanto, não se refeririam a um dado indeterminado; antes sim *a MQ, segundo Popper, precisa ser entendida como relacionada à realidade que como tal pode ser adequadamente conhecida: por uma teoria que corresponde à realidade, com seus conceitos representando os fenômenos físicos* – isso concordante com a perspectiva dos autores do EPR, como exposto antes –, e assim as brechas da TQ sendo passíveis de investigação e teste tentando-se aprimoramento ou certeza.

Pode-se retratar a posição de Popper, que comunga da concepção do EPR, com suas próprias palavras:

I propose that the thesis which EPR tried to establish was this: a particle possesses sharp position and momentum, and thus a trajectory; and our knowledge of a particle's position cannot, qua knowledge, disturb its momentum: the particle's momentum remains undisturbed. It remains a particle, having position and momentum and a trajectory, a path. But the Copenhagen interpretation wishes us to accept that our knowledge of the position B (obtained by measuring A) must, merely as knowledge, make the momentum of B 'indeterminate', since no particle can have both. But if this is so, then our knowledge would make the momenta on the left scatter, upon repetition (even with the screen on the left removed).

This was the EPR argument as I see it, and I wish to apply it to my experiment. On the other hand, according to the Copenhagen interpretation (and also according to Bohr, if I understand him), we are presented with the following paradox: If we obtain knowledge of the position on the right, then this knowledge should disturb, or make indeterminate, the momentum of the particle on the left. And this would make the momenta on the left scatter upon repetition. This is an inescapable consequence of the Copenhagen interpretation; and it is implicit in Bohr's three replies to EPR (4). But it has not, I think, been stated before explicitly (except that it was alluded to by myself (5)).

I believe that Einstein wanted to say, essentially, that our knowledge has no physical consequences – it cannot disturb the momentum of a distant particle (of course, a screen would disturb the momentum). (POPPER, p.8)¹¹²[grifo do autor]

¹¹² Eu proponho que a tese a qual o EPR tentou estabelecer era esta: uma partícula possui posição e momentum exatos, e assim uma trajetória; e nosso *conhecimento* de uma posição da partícula não pode,

Nesse seu escrito, Popper considera que três importantes doutrinas estão ligadas à interpretação não realística (“idealística” ou “positivista”) da MQ, aquela de Copenhagen, que consiste na tese de que a Física Quântica não é tanto uma física de micro partículas, mas antes uma teoria do *nosso conhecimento* destas. Essa perspectiva leva às três doutrinas seguintes:

1) A doutrina de que as formulações de Heisenberg são sobre os limites para o conhecimento humano ou para a precisão de medidas possíveis de partículas. Assim, não se poderia determinar simultaneamente posição e momentum de uma partícula.

Popper nega a tese de Copenhagen, em suas palavras “*the particles themselves possess Sharp positions and, at the same time, Sharp momenta.*” (POPPER, p.5) (“[...] as partículas em si mesmas possuem posições exatas e, ao mesmo tempo, momentum exato.” (POPPER, p.5)) Segundo Popper, para Heisenberg a incerteza no momentum deve-se às relações de dispersão, alastramento ou espalhamento estatístico, o que tornaria a predição realística e testável.

2) A interpretação de Copenhagen defende a doutrina de que partículas e ondas são visões complementares da mesma entidade microfísica: estas entidades revelam-se elas mesmas a nós, ou ao nosso conhecimento ou em alguma de nossas medições como partículas e em outra medição como ondas. Este é, segundo Popper, outro pressuposto da perspectiva não realista da TQ: a complementaridade entre partícula e onda tidas como manifestação de um mesmo

qua conhecimento, perturbar seu momentum: o momentum da partícula permanece imperturbável. Permanece uma partícula tendo posição e momentum e uma trajetória. Mas a interpretação de Copenhagen deseja que aceitemos que nosso *conhecimento* da posição de B (obtida medindo A) tem de, *meramente como conhecimento*, tornar o momentum de B “indeterminado”, uma vez que nenhuma partícula pode ter ambas. Mas se isto é assim, então nosso conhecimento constituiria o momentum da dispersão à esquerda, por repetição (mesmo com a tela da esquerda removida).

Isto era, como vejo, o argumento EPR, e eu desejo aplicá-lo ao meu experimento. Por outro lado, de acordo com a interpretação de Copenhagen (e também de acordo com Bohr, se eu o entendo), estamos diante do seguinte paradoxo: *Se obtemos conhecimento da posição à direita, então este conhecimento deveria perturbar, ou tornar indeterminado, o momentum da partícula à esquerda. E isto faria os momenta do espalhamento à esquerda por repetição.* Esta é uma consequência inescapável da interpretação de Copenhagen; e está implícita nas três réplicas de Bohr ao EPR (4). Mas não tem sido, penso eu, enunciada explicitamente antes (exceto que ela foi aludida por mim (5)).

Acredito que Einstein queria dizer, essencialmente, que nosso *conhecimento* não tem consequências físicas – ele não pode perturbar o momentum de uma partícula distante (certamente, uma tela perturbaria o momentum). (POPPER, p. 8) [grifo do autor] [tradução nossa]

Sobre as referências do autor no texto: (4)N. Bohr, *Phys. Rev.*, 48, 696 (1935); *Dialectica*, II, 312 (1948); in P.A. Schilpp (ed.) *Albert Einstein: Philosopher Scientist, The Library of Living Philosophers*, (1949), p.201. Concernente à “Interpretação de Copenhagen”, ver também especialmente W. Heisenberg em *The Physical Principles of Quantum Theory, Dover Publications* (1930), p.30; e também em *Daedalus*, 87, 95 (1958). (5) K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London (1959), (tradução de *Logic der Forschung*, Julius Springer, Vienna (1934)). Para as “Relações de Espalhamento” (“*Scatter Relations*”) ver especialmente a introdução do capítulo 9, seções 75 e 76. Para o “colapso do pacote de ondas” (“*collapse of the wave packet*”) ver o fim da seção 76 (em nota de pé de página 8).

fenômeno, que ora revela-se ou é apreendido por nosso conhecimento ou medições como partícula, ora como onda.

Popper também se opõe a essa tese; sendo um realista, para ele, as partículas carregadas de energia estão sempre acompanhadas por ondas, mas ondas talvez não sejam sempre acompanhadas de partículas, elas podem estar vazias. Ele afirma que a Escola de Copenhagen previne físicos a investigarem as consequências dessa possibilidade.

Mas ao contrário dessa consideração de Popper, pode-se entender que quanto a isso pode-se admitir que, mesmo com a possibilidade de ondas vazias de partículas, aquelas que comportam partículas podem ser representativas de fenômeno diverso, o fenômeno em que onda e partícula complementam-se em um mesmo fenômeno. A interpretação de Copenhagen não precisa ser considerada como apenas uma visão parcial do estado quântico, uma interpretação incompleta por não admitir o fenômeno integralmente, mas pode ser entendida como lidando com fenômeno diverso daquele imaginado por nossas expectativas cotidianas que são sustentadas pela Física Clássica, as quais comumente atendidas por esclarecimentos dos fenômenos macroscópicos.

3) A interpretação de Copenhagen sobre o experimento de uma partícula refletida por um espelho semitransparente ao invés de atravessá-lo, consiste em defender que “a parte do pacote de onda que atravessou o espelho está sendo destruída por nosso conhecimento de que ela não pode acompanhar uma partícula (de modo que sua amplitude é zero).” (POPPER: 1985, p.5) Esta compreensão, designada como “colapso do pacote de ondas”, segundo Popper revela uma má interpretação trivial da teoria da probabilidade.

O EPR pretendia, como ele diz, “estabelecer que uma partícula possui ao mesmo tempo posição e momentum” (energia multiplicada pela velocidade), visão oposta à de Copenhagen. Popper propõe uma versão do EPR com um novo experimento para o mesmo objetivo daquele: “*to establish that a particle has both position and momentum at the same time.*” (POPPER, p.5) Ele então descreve um experimento com contadores (de Geiger, cf.) ligados com fios, e assim teremos capacidade de obter uma ideia da amplitude do espalhamento, se uma das duas fendas está amplamente aberta, então apenas os contadores próximos ao centro serão expressivos, mas se quase fechamos a fenda, então alguns contadores de ângulos mais afastados também começarão a se expressar, a se manifestar. E ele diz:

Now since we have a coincidence arrangement, only those pairs of particles are counted which arrive at the same time on both the left and the right sides; and we may

*play around by opening or closing our slits. What we ought to find is that certain results about the scatter will correspond on both sides. (POPPER, p.7)*¹¹³

Ele observa que o artigo EPR, de 1935, oferece o seguinte argumento:

[...] IF we measure the position of the particle A on the right along the y-coordinate, we obtain information about the y-coordinate of the correlated particle B on the left, the particle which, having interacted with A has gone in the opposite direction. (The source is a source of particle from which pairs of particles that have interacted are emitted in opposite directions.)

So, if we measure the position of the interacting particle going to the right, we obtain information about the position of the correlated particle going to the left; and this prediction we can check when we play around with the arrangement. (POPPER, p.7-8)¹¹⁴

E Popper continua, afirmando que temos uma expectativa acerca do movimento da partícula e a medição informa sobre a correlata de modo a atender aquela nossa expectativa. Vale citar:

*Now let us remove the screen on the left. I assert that this means that we obtain an EPR situation in the following sense: when we remove the screen on the left and measure a particle on the right with the help of the screen on the right, then we shall expect (in the majority of cases) another particle to have gone to the left; and our 'measurement' of y on the right informs us of the y-position of the correlated particle that has gone to the left. (POPPER, p.8)*¹¹⁵

¹¹³ “Agora, desde que tenhamos um arranjo coincidente, apenas aqueles pares de partículas, os quais chegam ao mesmo tempo em ambos os lados, o esquerdo e o direito, são contados; e podemos brincar de abrir ou fechar as fendas. O que deveríamos encontrar é que certos resultados sobre a dispersão ou espalhamento corresponderão em ambos os lados.” (POPPER, p.7) [tradução nossa]

¹¹⁴ “Se medimos a posição da partícula A à direita ao longo da coordenada y, obtemos informação sobre a coordenada y da partícula correlata B da esquerda, a partícula que, tendo interagido com A foi na direção oposta. (A fonte é uma fonte de partícula da qual pares de partículas que interagiram são emitidas em direções opostas.)” “Então, se medimos a posição da partícula interagindo indo para a direita, obtemos informação sobre a posição da partícula correlata indo para a esquerda.” (POPPER, p.7-8) [tradução nossa]

¹¹⁵ Agora, retiremos a tela à esquerda. Eu afirmo que isto significa que obtemos uma situação de EPR no seguinte sentido: quando removemos a tela da esquerda e medimos uma partícula à direita com a ajuda da tela da direita, então devemos esperar (na maioria dos casos) outra partícula ter ido para a esquerda; e nossa ‘medida’ de y sobre a direita, nos informa sobre a posição-y da partícula correlata que tem ido para a esquerda; e esta previsão podemos verificar quando brincamos com o arranjo. (POPPER, p.8) [tradução nossa]

5.3 Revisão da Crítica de K. Popper à TQ: a argumentação de Hume resiste

Acerca da expectativa de correlação entre as variáveis ou grandezas de uma partícula no experimento proposto por Popper, discorrer-se-á sobre dois aspectos, *I* e *II*, a seguir, tendo em vista a defesa da pertinência da interpretação de Copenhagen a partir da argumentação de Hume. Com isso, se apresenta uma interpretação que firma como o fenômeno da não localidade no estado quântico pode ser compreendido baseando-se nos argumentos críticos Hume que atingem a ideia de causalidade.

I

O aspecto abordado aqui é o da expectativa de repetição (mesmo que por simultaneidade), o qual é pressuposto por Popper. “Repetição de fato” é algo completamente diverso de “expectativa de repetição”. Vejamos.

Para corroborar a perspectiva argumentativa do EPR, Popper propõe aquele experimento em que a tela seja removida de um dos lados ao qual uma partícula se dirige. O que o EPR pretende sustentar, ou confirmar, é que uma partícula possui posição e momentum simultâneos e, portanto, uma trajetória; e nosso conhecimento da posição da partícula não pode perturbar seu momentum a ponto de não se poder registrar esse e deixar de fazê-lo com exatidão: o momentum da partícula permanece imperturbável. Por sua vez, a Interpretação de Copenhagen propõe que concedamos que nosso conhecimento da posição de B, obtido por medir-se A, tem de, meramente por ser conhecimento, tornar o momentum de B “indeterminado”, uma vez que uma partícula não pode ter ambos, momentum e posição identificados simultaneamente. Popper, contudo, contra argumenta quanto a isso o seguinte: se isso for assim – interferência, distúrbio de uma variável da partícula –, então nosso conhecimento faria o momentum do espalhamento em um dos lados (à esquerda, p.ex.) por repetição.

No entanto, Popper, mediante o problema incitado pela Interpretação de Copenhagen, volta-se para o caso de um sistema quântico de duas partículas em direções opostas, com possibilidade de correlação das medidas das suas grandezas de posição, energia (momentum) e tempo.

O que Popper deixa de reconhecer é que a repetição não é necessária, pode-se ter apenas “conhecimento” de um dado em um instante particular e imediato. E isso – que se interliga ao argumento humeano – pode ser relacionado à Interpretação de Copenhagen: que a identificação ou conhecimento de uma grandeza da partícula, ou também de uma partícula, interfere em outra grandeza de uma mesma partícula, ou em outra, que se espera como correlata àquela em outra

direção. E ainda: isso é plausível também conquanto o que se registra em ambos os lados pode não ser necessariamente correlato, isto é, não serem registros de correlatos simultâneos de um mesmo evento ou dado, mas sim de partículas em tempos diferentes.

Pertinente que seja pensado, como por Popper e pelo EPR, que a expectativa de repetição da correlação em direções opostas ocorra; mas o que é plausível também, é que a simultaneidade aconteça entre partículas cujos correlatos são diferentes e não simultâneos: uma vez que o conhecimento ou identificação ocorra, há interferência e daí algo mais rápido (ou mais lento) aparece – assim como em diferentes sistemas de coordenadas (SC) ou de referências na TR –, de modo que não se identifique ao mesmo tempo momentum e posição de uma partícula. Em outras palavras, como se a interferência do aparelho de medida criasse condições para surgimento de um novo SC, pelo qual espaço e tempo também se alteram.

O experimento proposto por Popper – pelo qual se apresenta o argumento de que retirando-se a tela de um dos lados, nada ocorrerá, ou melhor, a partícula que prossegue nessa direção da tela removida fará a trajetória sem ser afetada – não é suficiente, pois se não medimos, não sabemos sobre o que ocorre; e se medimos, ocorre a interferência. Retirando-se a tela, e, portanto, não medindo uma vez que se procede por expectativa de que a partícula continuará sua trajetória sem alteração de percurso – e a tela não estará para registrar a direção e o momentum –, apenas especulações podem ser feitas. E ainda: mesmo que a partícula prossiga sua trajetória sem alteração do percurso e do momentum em correlação à partícula que é medida no lado oposto, não implica que assim sempre ocorrerá: pode não haver conexão necessária entre o movimento em uma direção e o movimento em outra, quer dizer, o experimento proposto assenta-se em expectativas e não em “correlação necessária”.

Nesse tocante, poder-se-ia objetar que a interferência é como que uma causa de eventos, e, portanto, o fenômeno da “não-localidade” comportaria causalidade mediante essa interpretação proposta aqui, e com isso a tese recai em contradição, uma vez que se pretende mostrar que a argumentação de Hume se interliga de modo plausível à interpretação de que “não-localidade” quântica não pode ser associada à causalidade.

Então, pode ser entendido que afetar ou interferir é causar, na medida em que a interferência do aparelho de medida sobre o estado quântico engendra um fenômeno novo: a alteração do sistema ou estado quântico implica formar ou causar novo fenômeno – nesse sentido pode ser feita uma analogia com os estados de movimento: a aceleração consiste em alteração da velocidade; mas assim velocidade e aceleração seriam dois distintos fenômenos *ou* dois estados diferentes de um mesmo fenômeno?

II

Além do aspecto da “expectativa de repetição” na perspectiva de Popper, no caso do experimento proposto por ele, outro aspecto que pode ser considerado é o de que tanto a argumentação de Popper como a do EPR, por um lado, e a da TQ, de outro, mostram-se “não contraditórias”. E nesse aspecto, será destacado o caso específico de uma e apenas uma partícula.

O que pode ser considerado mediante aquela citação, é que Popper vincula a informação por medição à expectativa, e considera que o experimento verifica tal expectativa. Mas pode ser notado que tal visão de Popper em nada difere de seu julgamento da TQ como idealista, ambígua ou incompleta, e sem respaldo experimental, portanto. Quer dizer, a argumentação de Popper é tão idealista ou incerta, quanto aquela a que se opõe. Tanto a perspectiva de Popper com seu “experimento”, como *sua* análise da TQ, apresentam um componente alheio à realidade que se pretende descrever. Seu “realismo metafísico” – como ele mesmo designa seu modo de pensar – não é assim mais válido do que a TQ, comportando validade lógica por não ser contraditório, como a argumentação de Hume já exprimia: que pensar ou imaginar que um ou outro fato, em oposição recíproca, ocorra não é contraditório.

A crítica de Popper aqui não está vislumbrando a possibilidade de se pôr em questão o anseio por precisão pressupondo-se a abordagem do observado sem interferência da aparelhagem de medida nas observações. Vejamos, antes de mais, como isso procede a partir da argumentação crítica de Hume.

Os argumentos de Hume sustentam a concepção de que nosso conhecimento da natureza não é certo, preciso, apenas indica probabilidade, uma noção que vem a ser relevante na ciência contemporânea. Nosso conhecimento apenas se apoia em nossas impressões sensíveis e hábito, a partir de repetições e regularidades, nada mais que isso. A crítica de Hume atinge a pretensão de o conhecimento da realidade ser certo, vislumbrando-se com isso ser este algo impreciso, mas notemos que assim fica também comprometida a compreensão de precisão de uma abordagem do observado independente da observação: sobre um fenômeno nada para além dele pode ser relacionado como previsível e regular com precisão, apenas por probabilidade a regularidade e a previsibilidade podem ser admitidas; e neste ponto, *é curioso o problema da não localidade de uma partícula em estado quântico: a despeito de possibilidades estatísticas que registram a probabilidade, o problema, em última análise é o de uma e apenas uma partícula não poder ser identificada com precisão no estado quântico.*

O EPR tem em vista mostrar que a teoria que defende tal incerteza é que se mostra imprecisa ou insuficiente, incompleta. Mas considerando-se a argumentação humeana, a TQ ao indicar a não localidade é uma teoria consistente: não há contradição em que o fenômeno seja tal como descrito por esta teoria, escapando à compreensão que tendemos a manter por hábito, qual seja, a de que dada a indicação da localidade concomitantemente se poderia identificar também a energia (ou *momentum*) de aparecimento da partícula, ao mesmo tempo; em outras palavras, que no caso em que momentum e localidade possam ser previstos ao mesmo tempo, este é apenas um fenômeno com alguma regularidade, o que não implica que possa deixar de assim ser. *O EPR toma um pressuposto forte, o qual pode estar abalado pelas ideias de Hume, o de que uma teoria completa representa a realidade e que esta possa ser representada com precisão e fidedignamente, e ainda, que isso significa que o fenômeno é resgatável por uma teoria. Ora, mas de qual teoria se fala? Aquele pressuposto do EPR é tomado no intuito de desbancar a abordagem física quântica, mas no caso da TQ, pode ser dito que aquilo mesmo que se descreve é o fenômeno e não incompletude teórica.*

Sobre essa nova visão da natureza que a TQ incita, vale discorrer brevemente sobre considerações de Michel Paty. Para finalizar, expor as observações de Niels Bohr, pelas quais se ressalta a deficiência da ideia de causalidade para compreensão dos fenômenos físicos quânticos.

Em oposição à TQ, defende-se que a teoria está incompleta, imprecisa e que há alguma variável escondida ainda a ser elucidada, pois da perspectiva macroscópica e com a plausibilidade do determinismo nesse domínio, a noção de indeterminação é controvertida; estaria a TQ lidando com “expedientes temporários” ou então comprometendo a descrição objetiva. Por sua vez, da perspectiva da TQ não há deficiência na descrição do sistema quântico, e os fenômenos que aí se revelam comportam propriamente indeterminação, esta é constitutiva do estado de coisas fenomênico. (Sobre essa tensão epistemológica entre a TQ e concepções que defendem a possibilidade de alguma “variável escondida”, vislumbra-se aquela Nova Antinomia)

O que estamos pensando aqui? Existem, pelo menos, dois campos de realidades não interligados e não passíveis de conexão? Ou há possibilidade de uma teoria harmonizá-los, associá-los, como intentou Galileu diante dos fenômenos físicos terrestres e os astronômicos? Ou há algo peculiar ao estado quântico que não lhe confere razoabilidade sob o enfoque da ciência física clássica? E por que esse enfoque é o parâmetro para aquele? Por que é da perspectiva clássica que é preciso compreender e explicar os fenômenos quânticos? A respeito dos objetos do domínio quântico M. Paty, em **A matéria roubada**, reconhece:

Eles escapam, com efeito, à experiência cotidiana como a qualquer percepção intuitiva, o que, voltamos a dizer, não significa que haveria uma diferença de natureza entre o conhecimento dos objetos quânticos e o dos outros objetos físicos: isso seria conferir, de maneira antropocêntrica, um privilégio à experiência dos sentidos, de onde resulta, pelo hábito da prática, a familiaridade com certos conceitos ou tipos de abordagens supostos naturais. (PATY, p.268) [grifo nosso]

Sobre essa discussão, também cabe aqui expor as ponderações de Bohr em *A unidade do conhecimento*, de 1954, inserido em **Física atômica e conhecimento humano**:

[...] podemos indagar qual o sentido da própria palavra conhecimento. Não pretendo enveredar por um discurso filosófico acadêmico, para o qual eu dificilmente possuiria a erudição necessária. Todo cientista, no entanto, confronta-se constantemente com o problema da descrição objetiva da experiência, expressão que usamos para uma comunicação inambígua. Nosso instrumento básico, naturalmente, é a linguagem comum, que atende às necessidades da vida prática e do intercâmbio social. Não nos interessamos aqui pelas origens dessa linguagem, mas sim por seu alcance na comunicação científica e, em especial, pelo problema de como se pode preservar a objetividade quando aumentam as experiências que vão além dos acontecimentos da vida cotidiana. [grifo nosso]

“O aspecto principal a reconhecer é que todo conhecimento se apresenta dentro de um arcabouço conceitual adaptado para explicar a experiência prévia, e que qualquer referencial desse tipo pode revelar-se estreito demais para abranger novas experiências. (BOHR, 1954, p.85)

E continua:

[...] Apesar do assombroso poder da mecânica quântica, o afastamento radical da explicação física costumeira e, acima de tudo, a renúncia à própria idéia do determinismo deram margem a dúvidas, na mente de físicos e filósofos, quanto a estarmos lidando com um expediente temporário ou confrontados com um passo irrevogável com respeito à descrição objetiva. O esclarecimento desse problema exigia, na verdade, uma revisão radical dos fundamentos da descrição e da compreensão da experiência física. [grifo nosso]

Nesse contexto, devemos sobretudo reconhecer que, mesmo quando os fenômenos transcendem o âmbito das teorias físicas clássicas, a explicação do arranjo experimental e o registro das observações devem ser fornecidos em linguagem clara, adequadamente suplementada pela terminologia física técnica. Essa é uma exigência lógica evidente, já que a própria palavra ‘experimento’ refere-se a uma situação em que possamos dizer aos outros o que fizemos e o que aprendemos. Todavia, a diferença fundamental com respeito à análise dos fenômenos na física clássica e na física quântica é que, na primeira, a interação dos objetos e dos instrumentos de medida pode ser desprezada ou compensada, ao passo que, na segunda, essa interação é parte integrante dos fenômenos. (BOHR, 1954, p.91)

Ainda sobre as possibilidades da linguagem ou registros teóricos sobre a realidade física, vale apontar e citar mais reflexões também de M. Paty, em **A matéria roubada**:

Se ‘o conceito deve seu significado e sua justificação à totalidade das expressões sensíveis que lhe associamos’, escrevia Einstein, ‘atribuímos (entretanto) a esse conceito de objeto corporal uma significação que é, num alto grau, independente da expressão sensível que lhe deu origem’.²⁴ [24. Einstein, 1936] O conceito não é um simples reflexo da realidade que ele designa, e parece legítimo falar de hieróglifos, a respeito dos elementos do pensamento simbólico por sua relação com a realidade exterior. Foi por uma evolução progressiva – mas não isenta de rupturas_ que

passamos de uma fase da abstração a uma outra, portanto, do ‘estágio normal e familiar de nossa experiência ancestral’, e de uma maneira geral, ‘de imagens e idéias sumárias para prosseguir em sua diferenciação’, ao dos ‘abstratos-concretos’ mais recentes da física contemporânea. É com muita naturalidade que, passando de uma etapa à seguinte e, falando da passagem do macroscópico ao microscópico, depois do aprofundamento deste último, ‘de um estágio ao seguinte’, tentamos primeiro ‘para construir a representação do novo domínio, utilizar a ferramenta mental de que dispomos e que, bem ou mal, deu certo no estágio superior’. Esse processo pode ser compreendido como uma ‘longa seqüência de desrealizações [...] prudentes e [...] parciais’³⁰ em relação à concepção que temos, numa dada etapa, da realidade objetiva. Essa desconstrução de realidades abordadas, que se tornaram naturais para o espírito, é a condição prévia do acesso mais profundo a uma realidade pressentida, acesso que se tornou possível por uma nova construção do espírito. Nota 30: Bachelard 1951, p.15. Bachelard esclarece que essas ‘desrealizações’ não vão nunca à ‘fantasmatização do real’ das filosofias idealistas. (PATY, p.271)

Então agora, com tais reflexões sobre os conceitos abstratos – que apontam para o real por sugestão teórica em relação a um fenômeno observado – podemos nos conduzir à questão sobre o parâmetro para demarcação do que é real e o que não o é, em última análise, ao questionamento de se pretender tomar como referência a perspectiva clássica para avaliação dos fenômenos quânticos, por exemplo. Seriam tais fenômenos redutíveis aos parâmetros do domínio macroscópico *ou* o crivo das investigações no domínio quântico é de outra natureza? Como vimos em citação anterior de **A matéria roubada**, à p. 268, de M. Paty, submeter o domínio microscópico ao macroscópico seria um redutivismo, tomando-se uma posição antropocêntrica, o que seria limitado para a busca de conhecimento científico – se a realidade ou experiência física é acessível, sua objetividade independeria da “lógica” ou perspectiva humana; por sua vez, o domínio dos objetos físicos é reconhecível também pelo “hábito da prática” – e não seria isso um retorno à “antropocentrização” do conhecimento, apontada antes? Reconhece Paty, contudo, que os objetos quânticos revelam uma realidade de modo a forçarem uma modificação da “prática do hábito” subordinada à perspectiva macroscópica; e não se pode esquecer que o conhecimento dos objetos da física clássica, macroscópicos, como daqueles do domínio quântico, depende também do “hábito da prática”.

Mediante estas considerações de M. Paty e das questões trazidas do EPR para a TQ temos como questão se o registro de uma grandeza implica o de outra, i.e., se a ocorrência de um fenômeno, mesmo em estado quântico, pode desconsiderar tal implicação ou se ela não é necessária. Aqui chegamos a um ponto de andarmos em círculo. Tentando-se sair disso, e retomando Hume, podemos lembrar que probabilidade é a perspectiva que se tem e no caso de *uma e apenas uma partícula* está em aberto essa gama de questões; mas não se pode deixar de ver que a conexão necessária (ou “correlação necessária” entre grandezas em medição) neste caso pode ser questionada, como vimos com Hume.

5.4 Considerações de Niels Bohr sobre o problema da causalidade

Para reforçar o quanto é problemática a noção de causalidade, na medida em que se pressupõe “conexão necessária” entre ocorrências em uma ordem de antecedência ou de contiguidade, passa-se agora à exposição das ideias de Niels Bohr.

Em seu escrito de 1938, *The Causality Problem in Atomic Physics*, exposto em uma Conferência sobre Novas Teorias em Física, Niels Bohr chama atenção para a introdução do método estatístico na TQ, o problema do método nesta teoria e a Complementaridade. Nesta exposição ele destaca que a noção de causalidade nos fenômenos físicos fica conturbada pelas novas situações físicas e perspectivas da TQ. Segundo ele “a aplicabilidade irrestrita do modo causal de descrição do fenômeno físico tem sido seriamente questionada desde a descoberta do *quantum* de ação de Planck, que ressaltou uma nova característica da atomicidade nas leis da natureza ... maneira insuspeita a divisibilidade limitada da matéria.” (BOHR, 1938, p.94)

Niels Bohr considerava não ser possível o acesso, no domínio quântico, ao dado objetivo em si mesmo, ou mais precisamente, conforme definição causal, isso não significando que o dado físico não exista ou que seja apenas um conteúdo mental, passando a existir na medida em que conhecido. Portanto, também não estaria considerando que a teoria física concernente aos fenômenos quânticos seria incompleta ou insuficiente, a TQ não consistiria em uma renúncia ao conhecimento, mas tentativa de oferecer uma explicação da experiência pela linguagem inambígua, formal e precisa das equações matemáticas. O que ele pretendia afirmar, ao que parece, era que não se pode abordar integralmente o fenômeno nesse domínio conforme procedimento da Física Clássica, pressupondo-se a ideia de causalidade.

Segundo N. Bohr, a insuficiência da ideia de causalidade já vem desde problemas mecânicos e eletrodinâmicos, que culminam com a discussão sobre a constituição da radiação em espaço aberto. A ligação da energia e momentum (v.e) com a frequência e onda, “contrastam com o conceito de corpúsculo”, como afirma Bohr (1938, p.95). E ele continua:

Just this circumstance obviously excludes any possibility of describing the fate of a single photon as a causal event in space and time. Still, this implies in no way a renunciation of a comprehensive account of experience, which is fully exhausted by the statistical laws concerning the occurrence of the individual radiative effects, unambiguously determined by the superposition principle of classical theory and the conservation laws embodied in the photon idea. (BOHR, 1938, p.95)¹¹⁶

¹¹⁶ Exatamente esta circunstância exclui obviamente qualquer possibilidade de descrever o fato de um fóton singular como um evento causal no espaço e tempo. Isso não implica de modo nenhum uma renúncia a uma explicação compreensiva da experiência, a qual está plenamente exaurida por leis estatísticas relativas à ocorrência de efeitos radioativos individuais, inambiguamente determinados pelo

Pode-se aqui mencionar reflexões de Einstein sobre essa discussão acerca da estrutura da radiação ou o problema da radiação de partículas – circunscrito à introdução dos *quanta* na física que remonta ao problema do “corpo negro” –, como exposto por M. Paty em **A matéria roubada**.

[...] Respondendo a suas próprias dúvidas de 1911, Einstein podia escrever a Besso: ‘a existência dos quanta de luz está estabelecida’.

Certamente, a teoria invocada não estava ainda elaborada, e a abordagem que dela parecia possível, a mesma exposta por Einstein, padecia, segundo ele, de dois defeitos: ‘de um lado’, escrevia, ‘ela não nos traz uma conexão melhor com a teoria ondulatória; de outro, *deixa ao acaso a duração e a direção dos processos elementares*’. Essa parte deixada ao acaso estava igualmente presente na lei das desintegrações radioativas de Rutherford, cuja analogia com a da emissão Einstein, aliás, notava: portanto, ao mesmo tempo que terminava a primeira síntese sobre os quanta – e sabendo-a incompleta – Einstein se dava conta de *uma dificuldade da causalidade clássica*. (PATY, p.101) [grifo nosso]

Para Bohr, a dificuldade de manter a descrição causal não vale apenas para as questões sobre a constituição da radiação, mas estende-se àquelas sobre a estrutura da matéria; e isso é reforçado mediante a descoberta de Rutherford do núcleo atômico, que envolve as ideias sobre a estrutura do átomo; a simplicidade dessa estrutura revela que as leis mecânicas e eletrodinâmicas são inadequadas na contabilização da estabilidade dos átomos, “o que leva à suposição de que qualquer mudança das ligações de elétrons em um átomo consiste em uma completa transição do átomo de um de um de seus estado estacionário característico a outro estado estacionário.” (BOHR, 1938, p.95) E sobre isso, N. Bohr afirma:

These so-called quantum postulates are not only totally foreign to classical mechanical ideas, but imply an explicit renunciation of any causal description of such atomic processes. In particular, as regards its possible transitions from a given stationary state to other stationary state, accompanied by the emission of photons of different energies, the atom may be said to be confronted with a choice for which, according to the whole character of the description, there is no determining circumstance.

In a situation like that, all predictions can only concern the probabilities for the various possible courses of the atomic processes open to direct observation [...]. (BOHR, 1938, p. 95-96)¹¹⁷

princípio de superposição da teoria clássica e as leis de conservação incorporadas na ideia de fóton. (BOHR, 1938, p.95) [tradução nossa]

¹¹⁷Esses assim denominados postulados quânticos não são apenas estranhos para ideias da mecânica clássica, mas implicam uma explícita renúncia de qualquer descrição causal de tal processo atômico. Em particular, considerando-se suas transições possíveis de um estado estacionário dado a outro estado estacionário, acompanhado pela emissão de fótons de diferentes energias, pode-se dizer que o átomo está confrontado com uma escolha pela qual, de acordo com o caráter total da descrição, não há circunstância determinando.

A Física Moderna tenta por experimentos, cálculos e aparelhagens sofisticadas uma confirmação da apreensão do fenômeno, em tal domínio, de modo mais fidedigno ou preciso, o quanto possível. Todo o aparato experimental e o formalismo matemático-lógico apreendem o “estranho” fenômeno e assegura objetividade que dispensa o pressuposto da causalidade na descrição do mesmo. Como afirmado por Bohr,

[...] the completeness and self-consistency of the whole formalism is most clearly exhibited by the elegant axiomatic exposition of von Neumann, which in particular makes it evident that the fundamental superposition principle of quantum mechanics logically excludes the possibility of avoiding the non-causal feature of the formalism by any conceivable introduction of additional variables. (BOHR, 1938, p.98)¹¹⁸ [grifo nosso]

O problema que envolve a deficiência da ideia de causalidade na descrição da experiência quântica concerne à medida. Nas palavras de Bohr, “medir” significa:

[...] the unambiguous comparison of some property of the object under investigation with a corresponding property of another system, serving as a measuring instrument, and for which this property is direct determinable according to its definition in everyday language or in terminology of classical physics. (BOHR, 1938, p. 100)¹¹⁹

Na física clássica, a comparação da propriedade do objeto observado com a correspondente em outro sistema, não é conturbada, ao menos de modo significativo, pela interferência da aparelhagem de observação ou medição. Na TQ, ao contrário, a aparelhagem de medida interfere sobre o observado que se pretende captar, medir, descrever, registrar, e por tal interferência apreendemos o fenômeno parcialmente, ou melhor, colapsado, e assim é o fenômeno captado revelando sua propriedade intrínseca de interagir com a interferência da aparelhagem de medida – e tal apreensão também encontra respaldo lógico, como pode ser visto em suas palavras citadas antes. Vale citar novamente Bohr:

Em uma situação como aquela, todas predições podem apenas concernir às probabilidades para os vários cursos possíveis do processo atômico aberto à observação direta [...]. (BOHR, 1938, p. 95-96) [tradução nossa]

¹¹⁸ [...] a completude e auto-consistência de todo formalismo é mais claramente exibida pela elegante exposição axiomática de Von Neumann, quem em particular tornou evidente que o princípio fundamental da superposição da mecânica quântica logicamente *exclui a possibilidade de evitar a característica não-causal do formalismo* por qualquer introdução concebível de variáveis adicionais. (BOHR, 1938, p.98) [grifo nosso][tradução nossa]

¹¹⁹ [...] a comparação inambígua de alguma propriedade do objeto sob investigação com uma propriedade correspondente de outro sistema, servindo como um instrumento de medida, e pelo qual esta propriedade é diretamente determinável conforme a sua definição na linguagem cotidiana ou na terminologia da física clássica. (BOHR, 1938, p. 100) [tradução nossa]

[...] in the field of quantum theory, where the interaction between the object and the measuring instruments will have an essential influence on the phenomenon itself. Above all, we must realize that this interaction cannot be sharply separated from an undisturbed behavior of the object, since the necessity of basing the description of the properties and manipulation of the measuring instruments on purely classical ideas implies the neglect of all quantum effects in that description, and in particular the renunciation of a control of the reaction of the object on the instruments more accurate [...]. (BOHR, 1938, p. 100)¹²⁰

A respeito dessa interação entre objeto e instrumentos de medida na TQ, perspectiva em resposta ao denominado problema da observação em TQ – problema este cujas argumentações, segundo Bohr, se harmonizam com a o princípio da relatividade geral (BOHR, 1938, p.106) – é válida a descrição de Bohr sobre um experimento proposto por Einstein, a qual pode ser aqui reproduzida.

[...] the example of a typical experimental arrangement, suggested by Einstein and discussed at a meeting of the Solvay Council of Physics in 1930. In this arrangement, the exchange of energy during a contact between an atomic object and a measuring body is determined by the difference in weight of this body before and after the contact. At first sight it might appear that the weighing of the body could be performed without hindering the accurate control of the time at which the contact takes place, as registered by a clock rigidly connected with the body concerned. Obviously, however, this would furnish information about energy and time variables to the object with greater accuracy than is compatible with quantum mechanics and on closer examination, it is also seen that the use of any weighing device with a given accuracy will exclude such a control of the time of contact. In fact, the necessary latitude in our knowledge of the position of the body in the gravitational field will imply an uncertainty in the regulation of the clock, connected with the assigned accuracy of the energy measurement just by the quantum mechanical uncertainty relation. This result was of course to be expected, in view of the way in which the equivalence arguments of general relativity are based on purely kinematical and dynamical principles rationally incorporated in quantum mechanics. The main lesson of the whole discussion is rather to enforce again the necessity of describing entirely on classical lines all ultimate measuring instruments which define the external conditions of the phenomenon, and therefore of keeping them outside the system for the treatment of which the quantum of action is to be taken essentially into account. (BOHR, 1938, p. 106-107)¹²¹

¹²⁰ [...] no campo da teoria quântica, onde a interação entre o objeto e os instrumentos de medida terá uma influência essencial sobre o próprio fenômeno. Acima de tudo, temos de reconhecer que esta interação não pode ser precisamente separada de um comportamento imperturbável do objeto, uma vez que a necessidade de basear a descrição de propriedades e manipulação dos instrumentos de medida sobre ideias puramente clássicas implica a negligência de todos os efeitos quânticos naquela descrição, e em particular a renúncia de um controle da reação do objeto sobre os instrumentos mais acurados [...]. (BOHR, 1938, p. 100) [tradução nossa]

¹²¹ [...] o exemplo de um típico arranjo experimental, sugerido por Einstein e discutido no encontro do Conselho de Física em Solvay, em 1930. Neste experimento, a mudança da energia durante um contato entre um objeto atômico e um corpo de medição é determinada pela diferença de peso deste corpo antes e após o contato. À primeira vista, parece que a pesagem do corpo poderia ser realizada sem obstáculo ao controle acurado do tempo quando o contato é feito, como registrado pelo relógio rigidamente conectado ao corpo referido. Obviamente, contudo, isto forneceria informação sobre energia e tempo variáveis referentes ao objeto com maior precisão do que é compatível com a Mecânica quântica e com um exame mais cuidadoso, é visto também que o uso de algum dispositivo de medida com uma dada precisão excluirá tal controle do tempo do contato. De fato, o alcance necessário de nosso conhecimento da posição do corpo no campo gravitacional implicará uma incerteza na regulação do relógio, conectado com

Considerando-se essa circunstância de interferência ou interação entre observado e aparelho de medida, pode ser compreendido que a posição de Bohr não implica haver uma limitação epistemológica na busca do intelecto por conhecimento do mundo físico, mas sim que o dado quântico manifesta-se assim mesmo, colapsado, e essa seria uma propriedade física do fenômeno quântico, e nem por isso menos precisas a observação e medição do mesmo. Assim, seria dispensável a suspeita da possibilidade de uma “variável escondida” na explicação dessa manifestação quântica, como se ocorresse falha na medição que registra o fenômeno e permite descrever suas propriedades. Como pode ser visto nas palavras de Bohr em continuidade àquelas em citação anterior (da p.100).

This last circumstance clearly shows that the statistical character of the uncertainty relations in no way originates from any failure of measurements to discriminate within a certain latitude between classically describable states of the object, but rather expresses an essential limitation of applicability of classical ideas to the analysis of quantum phenomena. The significance of the uncertainty relations is just to secure the absence, in such an analysis, of any contradiction between different imaginable measurements. The very fact independent behavior of the objects and their interaction with the measuring instruments, lends indeed to any such phenomenon a novel feature of individuality which evades all attempts at analysis on classical lines, because every imaginable experimental arrangement aiming at a subdivision of the phenomenon will be incompatible with its appearance and give rise, within the latitude indicated by the uncertainty relations, to other phenomena of similar individual character. (BOHR, 1938, p. 100-101)¹²²

E esta condição do fenômeno quântico perturba a mente humana habituada a perceber, ou melhor, pretender perceber certezas e “totalidades” – a palavra “totalidades” significando uma apreensão “preenchida” do observado, conforme parâmetros da Física Clássica e da Metafísica.

a referida precisão da medição exata da energia devido a relação de incerteza da Mecânica Quântica. Este resultado certamente devia ser esperado, em vista do modo que argumentos equivalentes da relatividade geral estão baseados em princípios puramente cinemáticos e dinâmicos racionalmente incorporados na mecânica quântica. A lição principal de toda discussão consiste em impor novamente a necessidade de descrever inteiramente sobre linhas clássicas todos os instrumentos de medida que definem as condições externas do fenômeno, e, portanto, mantê-los fora do sistema para tratamento do qual o *quantum* de ação deve ser levado em conta na explicação. (BOHR, 1938, p. 106-107) [tradução nossa]

¹²²Esta última circunstância claramente mostra que o caráter estatístico das relações de incerteza de nenhum modo resulta de alguma falha das medições para discriminar dentro de um certo domínio entre estados do objeto descritos classicamente, mas ao invés expressa uma limitação essencial da aplicabilidade de ideias clássicas à análise do fenômeno quântico. O significado das relações de incerteza é exatamente assegurar a ausência, em uma tal análise, de qualquer contradição entre diferentes medições imagináveis. O fato de que no fenômeno quântico nenhuma separação exata pode ser feita entre um comportamento independente do objeto e suas interações com os instrumentos de medida, atribui na verdade para qualquer fenômeno uma nova característica da individualidade a qual escapa de toda tentativa de análise em linhas clássicas, porque toda aparelhagem experimental imaginável pretendendo subdivisão do fenômeno será incompatível com seu aparecimento e dá surgimento, dentro do domínio indicado, a outro fenômeno de caráter individual similar. (BOHR, 1938, p.100-101) [tradução nossa]

Essa perspectiva fundada no hábito de se pensar o observado como destacável ou independente dos meios de observação.

These conditions, which include the account of the properties and manipulation of all measuring instruments essentially concerned, constitute in fact the only basis for the definition of the concepts by which the phenomenon is described. It is just in this sense that phenomena defined by different concepts, corresponding to mutually exclusive experimental arrangements, can unambiguously be regarded as complementary aspects of the whole obtainable evidence concerning the objects under investigation. The view-point of complementarity allows us indeed to avoid any futile discussion about an ultimate determinism or indeterminism of physical events, by offering a straight forward generalization of the very ideal of causality, which can aim only at the synthesis of phenomena describable in terms of a behavior of objects independent of the means of observation. (BOHR, 1938, p.104)¹²³

Com essa citação das palavras de Niels Bohr finaliza-se a pesquisa de doutoramento sobre o problema da causalidade, mas não as reflexões físicas e filosóficas, insistentes e instigantes, motivadoras do pensamento sobre a natureza, a qual nos provoca espanto e admiração.

¹²³As condições, que incluem a explicação das propriedades e manipulação de todos os instrumentos de medição essencialmente implicados, constituem de fato a única base para a definição dos conceitos pelos quais o fenômeno é descrito. É exatamente neste sentido que o fenômeno definido pelos diferentes conceitos, correspondendo mutuamente as aparelhagens experimentais exclusivas, pode ser considerada inambiguamente como aspectos complementares de toda evidência obtível relativas aos objetos investigados. O ponto de vista da *complementaridade* nos permite na verdade evitar qualquer discussão fútil sobre determinismo ou indeterminismos últimos dos eventos físicos, oferecendo uma generalização à frente do ideal maior de causalidade, o qual pode pretender apenas síntese do fenômeno descritível em termos de um comportamento de objetos independentes dos meios de observação. (BOHR, 1938, p.104) [tradução nossa]

6 Uma Nova Antinomia ou da indecidibilidade entre o EPR e a Interpretação de Bohr sobre a Mecânica Quântica

Com a “nova” Física abre-se, por assim dizer, *mais uma antinomia da “razão pura”*. Para estabelecermos uma relação entre a questão do conhecimento na Física – a Física na perspectiva de Einstein e a “nova” Física da perspectiva de Bohr – com a noção de “antinomia”, precisamos compreender o que as “antinomias” representam na **Crítica da razão pura (CRP)** de Kant, e para isso fazemos uma breve revisão desta obra. Começemos com o problema da **CRP**.

A **CRP** ocupa-se com a questão “– O que posso (ou podemos) conhecer?” Podemos conhecer as verdades matemáticas e das ciências da natureza; mas para alcançar esta resposta, Kant busca pelo que lhe dá sustentação, daí examinar as pressuposições do conhecimento, i.e., o fundamento que torna possível para nós haver conhecimento matemático e da Física.

Todo conhecimento é expresso em um dos três tipos de juízos: a) o analítico, quando o predicado é encontrado por análise no conceito do sujeito: “Todo corpo é extenso no espaço”, “Todo objeto vermelho é colorido”, “Um triângulo tem três ângulos”; são asserções corretas, mas não ampliam o conhecimento, apenas afirmam o que já sabemos, ainda que não explicitamente; além disso, não nos fornecem nenhuma informação sobre a existência do sujeito, p.ex. que o triângulo tenha três ângulos é verdadeiro, ainda que nenhum triângulo tenha existido no mundo; os juízos analíticos são *a priori*; b) o sintético, em que o predicado não está logicamente incluído no conceito do sujeito: “O livro é novo”, “O aluno é jovem”; para se saber se são verdadeiros ou falsos precisa-se conferir a experiência, pois há livros velhos, alunos não jovens; baseiam-se na experiência e referem-se a ela se são verdadeiras, mas mesmo assim não são necessariamente verdadeiras, p.ex. pode ser dito que “Os homens vivem menos do que 200 anos”, mas como sua verdade depende da experiência, são juízos *a posteriori*; c) o juízo sintético *a priori*, curiosamente, é um tipo de afirmação necessariamente verdadeira, e portanto não se apoia na observação da experiência nem na análise lógica dos conceitos incluídos na asserção; os juízos matemáticos (teoremas) e os princípios da Física, como “Todo evento tem uma causa”, são sintéticos *a priori*.

Vale lembrar que Hume entende que o princípio de causalidade resulta do hábito ou costume, uma vez que obtido por indução e assim *a posteriori*, com o que se conclui o ceticismo na ciência.

Segundo Kant, os juízos sintéticos *a priori*, são essenciais para juízos sintéticos *a posteriori*, pois dizer que “o Sol aquece a pedra” ou que “O fogo queima a mão” é pressupor a conexão de um evento a outro como uma causa para o efeito. O problema da **CRP** é, portanto, saber “como

são possíveis juízes sintéticos *a priori*”. Em vista a saber como são possíveis esses juízos, Kant como que realiza uma revolução copernicana às avessas, a “Revolução Copernicana” da **CRP**.

Kant, no Prefácio da segunda edição da **CRP**, compara sua crítica em filosofia à revolução proposta por Copérnico na Astronomia; antes de Copérnico, era um problema explicar o movimento aparente dos corpos celestes em torno da Terra. Copérnico rejeita os epiciclos de Ptolomeu e demonstra a possibilidade de a Terra girar em torno do Sol.

Em Filosofia, antes de Kant, era um problema saber como poderia haver um conhecimento objetivo, universal e necessário, admitindo-se que o conhecimento conforma-se ao objeto. *Kant observa que é preciso distinguir entre o modo como os objetos aparecem a nós, como fenômenos, o observado, e as condições de possibilidade de apreensão ou conhecimento, que são funções da mente do observador e que revelam os aspectos a priori do conhecimento.* Assim, as características *a priori* do objeto aparecendo a nós são as condições de possibilidade da mente humana para conhecer: espaço e tempo, causalidade, por exemplo.

Copérnico realizou tal distinção entre as características aparentes, o fenômeno, e as características reais do objeto, no caso, o movimento dos corpos celestes. E nisto consistiu a revolução Copernicana na ciência da natureza.

Os fenômenos, sendo o que aparecem a nós, se dão assim porque conformam-se às estrutura e atividade sintética da mente que conhece. As faculdades, capacidades da mente para conhecer o observado, i.e., estabelecer uma síntese entre o fenômeno e a condição *a priori* de possibilidade de conhecimento são: sensibilidade ou receptividade ao dado, a qual representa nossas sensações para o nosso pensamento em formas *a priori*, a saber, espaço e tempo, ou seja, os objetos conhecidos são espaçotemporais; e entendimento, o qual conecta conceitos a juízos sintéticos sobre objetos, e as regras *a priori* para a síntese dos conceitos conectando os juízos sobre objetos são as categorias do entendimento. Em outras palavras, as formas da intuição, espaço e tempo, e as categorias do entendimento não são metafísicas nem encontradas nas coisas em si mesmas. Tais condições de possibilidade representam a objetividade como necessária e universal, conhecimento dos dados sensíveis sob a nossa estrutura *a priori*. E lembrando Kant, ambas condições, intuições e conceitos, são conjugados, pois intuições sem conceitos são cegas, conceitos sem intuições são vazios. Objetos de conhecimento são espaçotemporais e subsumidos a conceitos – estes seriam condições mentais, as quais não se apresentam à intuição, não são passíveis de conhecimento humano.

Uma questão neste ponto é se esta impossibilidade de conhecimento diz respeito à “nova” Física, uma vez que o seu cosmo é não observável, mas, sobretudo, por possivelmente não ser entendido pela categoria da causalidade; embora o universo quântico seja articulado a

experimentos que o vislumbra como espaçotemporal.

Não deixa de ser questão filosófica também que a própria Filosofia pense sobre seu fundamento uma vez que se pretende conhecimento, embora não de um objeto espaçotemporal, pois o seu discurso e reflexão não o são. Nesse ponto, vale expor sobre a distinção considerada por Kant entre *Razão Teórica e Especulativa*.

O conhecimento, além da sensibilidade e do entendimento, requer a razão, faculdade de pensamento sistemático, que pretende oferecer uma prova válida para todo sempre, onde quer que seja. A natureza apresenta uma série de fenômenos espaçotemporais e tais podem e têm que ser descritos em termos de ocorrências anteriores e posteriores aos fenômenos em foco, situando-os em uma série infinita além deles. O aspecto empírico e a posição espaçotemporal são determinadas por esta série. Em outras palavras, toda causa é como efeito na série da natureza, toda lei parece ser um caso de outra lei mais geral. Vislumbrar tal fundamento ou porque mais fundamental é tendência da razão.

A ciência lida com como as coisas são, opera uma dedução empírica explicitando como conceitos são fornecidos ou aplicados à experiência, ou melhor, busca saber sobre o sentido causal de fenômenos que se manifestam de um modo *x*, mas talvez podendo ser de outro modo, *y*. Agora, a ciência, por um sistema logicamente rigoroso, conjugando intuição e entendimento, não explora o porquê de as coisas não serem de outro modo.

A metafísica especulativa visa satisfazer tal exigência racional, conduzindo o pensamento para além do conhecimento da natureza, na tentativa de explicar por que as coisas são como são. Aqui exponho algumas questões que exemplificam essa distinção entre ciência e metafísica. Vejamos: a ciência física pergunta: o que causa o fenômeno *x*? Por leis ou hipóteses pretende-se explicar o fenômeno *x* ligando-o a outro que o causa. Mas pode-se fazer a mesma questão sobre este fenômeno que causa aquele *x*, regredindo-se ao infinito. Para se sair disso, então pode-se propor outra questão: o que levou a série de causas existir? Incluindo-se nessa série as que causam *x*, antecedendo-o, e as que partem de *x* para outros fenômenos após ele. E nova questão, mais abstrata, pode ser formulada: por que haveria quaisquer eventos? Esta última, formulada por Leibniz, e exposta com outras palavras por Heidegger em **Introdução à Metafísica**, assim: *Por que tudo e não nada?* Sobre essa formulação mais abstrata pode-se dizer que remonta ao propósito teórico dos Pré-Socráticos.

E sendo a especulação metafísica um modo de pensar que se apropria das categorias do entendimento (“causalidade”, “substância”) a fim de versar sobre objetos suprasensíveis, sem preenchimento sensível ou de percepção, é legítimo dizer que a especulação metafísica não produz conhecimento, segundo Kant.

Contudo, a especulação não é propriamente fantasiosa, pois a tendência da razão para buscar a unidade sistemática da série da natureza incita que conceitos de objetos, aqueles que funcionam dentro da experiência, persigam uma ordem completa ou princípios últimos de tudo. As categorias assim, lançadas para fora da experiência possível, tornam-se “ideias” da razão. As ideias não se referem aos objetos como eles realmente são, entender que elas conhecem as coisas em si gera ilusões. Não há conhecimento de objetos para além do domínio da ciência da natureza; a tendência racional de especular não alcança um legítimo conhecimento, mas vale como exposição sistemática de princípios *a priori* adequados à experiência e das ideias reguladoras.

Nesse sentido, a **CRP** é uma obra que também empreende uma crítica negativa à possibilidade de conhecimento, isto é, diz o que está fora de seu alcance quando explana sobre as pretensões metafísicas, as quais projetam ideias para fora do campo da experiência possível, i.e., experiência sob as condições de possibilidade de ser conhecida: espaço, tempo e conceitos.

Kant, no entanto, não se limita a mostrar ser impossível que a tendência racional especulativa sobre o “mundo” suprasensível alcance conhecimento, uma vez que se afasta da sensibilidade, condição necessária do conhecimento – aliás, conceitos sem intuições são vazios.

Contudo, a razão especulativa também produz “antinomia”, *as Antinomias da Razão*, pares de enunciados contrários, cada um destes apresentando ideias e provas válidas e expressam um interesse ou tendência racional pertinente, ou melhor, necessária: “... a razão é conduzida necessariamente a elas quando quer libertar de toda a condição e compreender em sua totalidade incondicionada aquilo que segundo regras da experiência sempre pode ser determinado só incondicionalmente” (**CRP**, B 490).

As antinomias da razão pura são quatro e limitam-se à razão teórica voltando-se para o mundo espaçotemporal, anulando especulações sobre as investigações da ciência ao aplicar as hipóteses desta para além dos limites da sensibilidade. Mas as antinomias revelam a competência ampla da razão como uma faculdade não dirigida apenas ao uso cognitivo. É surpreendente que para todo juízo sintético *a priori* sustentado em argumentos bons e necessários possa haver uma prova contrária equivalente. Nas palavras de Kant, vejamos quais as quatro antinomias:

"Se o mundo tem um início e um limite qualquer na sua extensão no espaço; se algures e talvez no meu eu pensante há uma unidade indivisível e indestrutível ou se há somente o divisível e passageiro; se sou livre em minhas ações ou, como outros entes, guiado pelo fio da natureza e do destino; finalmente, se há uma causa suprema do mundo ou se as coisas da natureza e a sua ordem constituem o objeto último em que tenhamos de deter nossas considerações: todas essas são questões..." (**CRP**, B 491)

Após essa breve exposição sobre a **Crítica da Razão Pura** de Kant, repassemos questões filosóficas para as discussões suscitadas pela “nova” Física. Agora, na perspectiva desta Física, são elaboradas novas questões que resultam na seguinte antinomia, cujo juízo sintético *a priori* é “o conhecimento é possível”, o que nos faz pensar como tal é possível na experiência, na dimensão empírica: ou por causalidade descrita com certeza e completude ou com incerteza e incompletude. Assim, o debate entre Einstein e Bohr apresenta-se como uma antinomia, com a seguinte configuração: a tese de que se pode conhecer a realidade tal como é, com explicitação e formulação teóricas novas sobre as “variáveis escondidas”, revisando uma teoria que se apresenta insuficiente, expondo conclusões baseadas na incompletude sobre o que observa; e a antítese que propõe que não se pode conhecer a realidade por uma descrição causal, mas apenas enquanto incerta, ou melhor, incerteza e incompletude constituem a própria condição da realidade tal como é.

Vou chamar esta antinomia de “antinomia Kant(Einstein)-Hume(Bohr)”, relativa a “variáveis escondidas” *versus* “incerteza” e “incompletude”.

Esclareço que expor Kant e Einstein no mesmo lado do debate é controverso. Kant separa a coisa em si da possibilidade de conhecimento; Einstein é um realista, portanto não haveria para ele uma parte da realidade não acessível ao conhecimento. Além disso, espaço e tempo para Einstein não são absolutos na natureza, o que difere da concepção de Newton sobre estes fenômenos, aliás este um pensador admirado por Kant; mas Kant, na **CRP**, não mais considerará espaço e tempo como fenômenos naturais externos, antes como formas da intuição, ou seja, condições de possibilidade, na mente, de perceber o dado sensível externo. O que Kant propõe é uma “dedução transcendental”, e Einstein uma “dedução empírica” – essa distinção foi mencionada anteriormente, em breve análise sobre o “problema da medida” na “nova” Física. Admito que isso não para por aqui, reconheço haver neste ponto uma profícua discussão, ao que antecipo o seguinte: o fato de o tempo não ser absoluto na natureza e ser relativo ao referencial, segundo Einstein, não significa que o conceito de tempo não seja pensável e perpassante as suas diversas possibilidades, i.e., como “condição de possibilidade” ser aquilo que nos permite designar ou identificar os diferentes tempos como “tempo”. Mas é preciso ressaltar também que Kant e Einstein comungam a visão de que para a ciência a racionalidade é imprescindível; e para Einstein, a ciência pode descrever a realidade por leis e oferecer explicações sobre como ocorrem os fenômenos naturais, explicitando os princípios gerais e simples da natureza; para Kant, esta visão sobre o conhecimento é relativa à dedução empírica, mas ele concorda que princípios do conhecimento são necessários e universais, embora tais não tenham origem na experiência.

Observo também que não quero dizer que cientistas não saibam ou não entendam sobre as implicações do Princípio de Complementaridade de Bohr, o que seria ingênuo de minha parte; o que quero é simplesmente usar estes casos da “nova” Física como meios para retomar um “debate” entre Kant e Hume, que a meu ver aparece ao fundo do que se dá entre Bohr e Einstein – no caso dos filósofos iluministas não ocorre uma interlocução em vida entre ambos, como se deu entre Bohr e Einstein, mas algo reflexivo de interferência das ideias de um sobre o outro de modo a se construir teoria do conhecimento ou concepção de mundo. Firma-se aqui a ideia sobre a “estrutura lógica” das antinomias da razão pura e como associados a esta, os princípios de Bohr e objeção de Einstein sobre haver “variáveis escondidas” na teoria constituem uma Nova Antinomia, refletindo a estrutura argumentativa daquelas já expostas por Kant na **CRP**.

Decorre disto que o debate entre Bohr e Einstein segue o lastro das questões filosóficas clássicas a respeito da definição, legitimidade e condições de possibilidade do conhecimento, e também se mostra como uma Nova Antinomia.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aristóteles, filósofo grego do século III a.C., enunciou na primeira linha de sua **Metafísica** que “Todo homem, por natureza, deseja conhecer”¹²⁴. E pode-se compreender que a busca pelo conhecimento motiva-se inclusive mediante o ceticismo; é no limite do pensamento, i.e., quando se permite a reflexão e se enfrenta problemas pertinentes que indicam inclusive a possibilidade de o conhecimento não ser possível, é que se pode ser impelido à *busca pelo conhecimento*. Como o ceticismo sobre a possibilidade da causalidade na natureza, o qual imperou nestas páginas, não é, em última análise, impeditivo de ideias para continuidade de reflexões, pesquisas, novos escritos, antes sendo motivador para isso devido às questões instigantes que lança ou deixa em aberto, *ainda pode ser considerada uma série de investigações que se abrem a partir dos estudos desenvolvidos aqui sobre o tema da não causalidade*.

Causalidade e Tempo envolvem questões físicas sobre a constituição do tempo, fenômeno que talvez comporte fluxos que não sejam unidirecionais ou também não irreversíveis. Outro estudo significativo em Física é o da entropia na Termodinâmica e as leis físicas sendo reversíveis; esse descompasso entre leis físicas e fenômenos físicos, o que foi notado por Feynman, é motivador à pesquisa – quem sabe causalidade não esteja definida na entropia, ainda que o estado de coisas na Termodinâmica satisfaça a noção de antecedência.

Mediante o estudo realizado, parece pertinente vislumbrar uma *nova Antinomia* epistemológica, a qual consiste na tensão entre TQ e crítica a esta por concepções físicas que se valem da causalidade, ou determinismo. (A respeito dessa nova Antinomia, ver *Apêndice*)

Esse perspectiva antinômica permite as seguintes questões:

- i) Uma das vertentes é insuficiente? Faz sentido pensar em uma realidade última, à qual outros domínios convergem? Um domínio de realidade, o microscópico, é redutível ao outro, o macroscópico? Ou o inverso? Qual o critério para se reduzir um ao outro? Faz sentido pensar em redução de um domínio de realidade a outro como se se pudesse falar em realidade última ou fundamental?
- ii) Ou ainda: "realidade última" ou "fundamental" é uma ideia metafísica incabível para a compreensão dos fenômenos?
- iii) Seria a discussão dessa ordem epistemológica um pseudoproblema por ser pressuposta uma "totalidade", uma vez que fenômenos físicos diversos mostram-se cada vez mais particulares e assim a singular constituição da realidade quântica?

¹²⁴ ARISTÓTELES. **Metafísica**, Libro I, 980^a.

A *relação entre TR e TQ*, refletindo acerca de analogias e distinções entre essas teorias físicas seriam também pesquisas para maior compreensão da natureza e abordagem filosófica desta, tomando-se aquelas teorias como exemplos para se pensar consistência teórica e verdade, e se são afetadas pela concepção do Instrumentalismo.

Buscar-se saber se faz sentido alguma *relação entre Ceticismo e Instrumentalismo*, pode ser um novo propósito de pesquisa. O ceticismo pode ser tênue, induzindo a outra compreensão de ciência, que não realista? Seria o Instrumentalismo um ceticismo atenuado?

O apriorismo filosófico sobre *o espaço e o tempo* como proposto por Kant na **CRP** e a concepção destes conceitos em Física, constituiriam outro programa de pesquisa que, como dados correntes no dia-a-dia, incitam a reflexão sobre sua natureza, sobre o *status* físico dos mesmos, se reais ou *a priori*. Ressalve-se que tempo envolve-se com o tema da possibilidade da causalidade.

Uma pergunta é bastante para outra investigação e estudo: *por que não há um operador lógico para a “causalidade”*? Vincular o problema da causalidade, apropriado à Filosofia da Física, com estudos de Lógica seria interessante, e de algum modo vincula-se ao problema do Instrumentalismo para as ciências da natureza: conceitos são reais ou sobre eles pode-se afirmar apenas que operam em um domínio semântico de uma teoria, estabelecidos e relacionados a outros por consistência?

E não se poderia deixar de observar: quais outros argumentos podem ser defendidos em oposição à possibilidade da “não causalidade” na TQ, ou se haveria alguma insuficiência na argumentação crítica de Hume à causalidade. Em outras palavras, ainda se abre a possibilidade para buscar saber *se e como possível ou factível a causalidade no domínio físico* e por argumentos, de modo que as reflexões em Filosofia da Natureza, e particularmente em Filosofia da Física mantenham-se motivadoras. Mas necessário reconhecer que *buscar saber a respeito do valor da argumentação de Hume*, sobre sua pertinência frente ao anseio humano pelo conhecimento, se preponderante ou não para as ciências, configura-se ainda uma instigante investigação.

REFERÊNCIAS:**Fonte Primária:**

BOHR, Niels. **Física atômica e conhecimento humano**. Trad.: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

BOHR, Niels. *The Philosophical Writings of Niels Bohr*. Volume IV: *Causality and Complementarity*. Edited by Jan Faye and Henry J. Folse. . Woodbridge, Connecticut: Ox Bown Press. 1998.

BORN, Max. *Natural Philosophy of cause and chance*. London: Oxford University Press. 1951.

HUME, David. **Investigação sobre o entendimento humano**. Col. “Os Pensadores”. Trad.: Leonel Valandro. São Paulo: Ed. Abril, 1973. 1ª edição.

Fonte Secundária:

ABDALA, Maria Cristina. **Bohr: O arquiteto do átomo**. Col. “Imortais da Ciência”. Coord.: Marcelo Gleiser. São Paulo: Odysseus Ed., 2002.

ARISTÓTELES. *Metafísica*. Edición trilingue por Valentín García Yebra. Madrid, Espanha: Editorial Gredos. Segunda edición. 1982.

BACHELARD, Gaston. **O novo espírito científico**. Col. “Os Pensadores”. Trad.: Remberto Francisco Kuhnen. São Paulo: Abril Cultural, 1988.

BACON, Francis. *Novum Organum*. Col. “Os Pensadores”. Trad.: José Aluysio Reis de Andrade. São Paulo: Abril Cultural, 1984.

BECK, Lewis White. *A commentary on Kant's Critique of Practical Reason*. Chicago & London: The University of Chicago Press, 1984. pp. 19-26.

BORNHEIM, Gerd A.. **Os Filósofos Pré-Socráticos**. São Paulo: Ed. Cultrix.

BUNGE, Mário. *Causality and modern science*. New York, NY: Dover. 1979. 3ªed..

CARUSO, Francisco. Dividindo o Invisível. In: **Do átomo grego à física das interações fundamentais**. Caruso, F. e Santoro, A. Editores. Rio de Janeiro: CBPF, 2000. p.43-50.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier. 2006.

CARUSO, Francisco; SILVA, Zulena dos S., Dimensionalidade do Espaço ou da Extensão: Nota sobre a contribuição do Jovem Kant. In: **Revista Tempo Brasileiro**. 189/190. Rio de Janeiro: Ed. Tempo Brasileiro. Abril-Setembro de 2012.

CRUZ, Frederico Firmo de Souza. **Faraday e Maxwell: luz sobre os campos**. . “Imortais da Ciência”. Coord.: Marcelo Gleiser. São Paulo: Odysseus Ed., 2005.

DE TOLEDO PIZA, A.F.R.. Mecânica Quântica. In: *Física hoje; uma aventura pela natureza*:

dos átomos ao universo. Orgs.: Ivan S. Oliveira e C. L. Vieira. Instituto Ciência Hoje: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2007. p.155-170.

_____ **Schrödinger e Heisenberg: A física além do senso comum**. Col. “Imortais da Ciência”. Coord.: Marcelo Gleiser. São Paulo: Odysseus Ed., 2003.

EINSTEIN, Albert e INFELD, Leopold. **A evolução da física**. Trad.: Giasone Rebuá. Rio de Janeiro: Zahar, 2008.

EINSTEIN, Albert. **A teoria da relatividade especial e geral**. Trad. Carlos Almeida Pereira. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

EINSTEIN, A., PODOLSKY, B. and ROSEN, N.. *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?* In: *Physical Review*, vol. 47. Institute for Advanced Study. Princeton, New Jersey. May 15, 1935.

FERRATER MORA, José. **A Filosofia Analítica; Mudança de Sentido em Filosofia**. Tradução: Fernando Leorne. Portugal, Porto: Ed. RÉ. 1982.

FEYNMAN, Richard. **Sobre as leis da física**. Trad.: Marcel Novaes. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012.

HEISENBERG, Werner. **A parte e o todo**. Trad.: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

HITCHCOCK, Christopher, *Causation*. In: *The Routledge Companion to Philosophy of Science*. Edited by Stathis Psillos and Martin Curd. Routledge. p. 317-326.

HUME, David. **Tratado da natureza humana**. Trad.: Déborah Danowski. São Paulo: UNESP, 2001.

JAMMER, Max. **Conceitos de espaço: A história das teorias do espaço na física**, Tradução: Rio de Janeiro: Contraponto, 2010.

KANT, Immanuel. **Crítica da razão pura**. Col. “Os Pensadores”. Trad.: Valério Rohden e Udo Baldur Moosburger. São Paulo: Ed. Abril, 1983.

KANT, Immanuel. **Prolegômenos a toda a metafísica futura**. Trad.: Artur Morão. Lisboa: Edições 70, 1982.

KUHN, Thomas. **A tensão essencial**. Tradução: Marcelo Amaral Pena-Forte. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

LOCKE, John. **Ensaio acerca do entendimento humano**. Col. “Os Pensadores”. Trad.: Anoar Aiex. São Paulo: Ed. Abril, 1983.

PATY, Michel. **A física do século XX**. Tradução: Pablo Mariconda. Aparecida, SP: Ideias e Letras. 2009.

_____ **A matéria roubada**. Trad.: Mary Amazonas Leite de Barros. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995.

PAULI, Wolfgang. *Writings on physics and philosophy*. Tradução: Robert Schlapp. Editado por Charles P. Enz e Karl von Meyenn. Berlin: Springer-Verlag, 1994.

PINGUELLI ROSA, Luiz. **Tecnociências e humanidades; novos paradigmas, velhas questões**. São Paulo: Paz e Terra, 2005. Volume 1.

_____. **Tecnociências e humanidades; novos paradigmas, velhas questões**. São Paulo: Paz e Terra, 2006. Volume 2.

PINGUELLI ROSA, Luiz ; SILVA, Zulena dos S.. Hume e a Indicação da Teoria Quântica. *In: SCIENTIARUM HISTORIA III*, 2010, Rio de Janeiro. **Livro de Anais**. Rio de Janeiro: 3º Congresso de História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia do Programa de HCTE. 2010.

PLANCK, O conceito de causalidade na física. *In: Autobiografia científica; e outros ensaios*. Tradução: Estela dos S. Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2012.

PLATÃO. **Mênon**. Trad.: Maura Iglésias. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio; Loyola, 2005. 3ªed..

POPPER, Karl. *Realism in Quantum Mechanics and a New Version of the EPR Experiment*. *In: Open Questions in Quantum Physics*. G. Tarozzi and A. van der Merwe (eds.). 1985.

STROUD, Barry. *Hume*. London and New York: Routledge, 1990.

ZEILINGER, Anton. **A face oculta da natureza; o novo mundo da física quântica**. Trad.: Luiz Repa. São Paulo: Editora Globo, 2005.